

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**PRODUÇÃO COM TRATAMENTO ENZIMÁTICO
E AVALIAÇÃO DO SUCO DE YACON**

Edwin T. Torrez Quinteros

Prof. Dra. Hilary Castle Menezes
Orientadora

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Edwin Teofilo Torrez Quinteros aprovada pela Comissão Julgadora em 15 de fevereiro de 2001.

Campinas, 15 de fevereiro de 2001

Hilary C. de Menezes
Prof. Dra. Hilary Castle de Menezes
Presidente da Banca

**Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da
Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção do título
de Doutor em Tecnologia de Alimentos.**

Campinas, SP - Dezembro de 2000

UNIDADE 3C
 N.º CHAMADA:
T/Unicamp
T 636p
 V. Ex.
 TOMBO BC/ 45908
 PROC. 16-392/01
 C ☐ D ☒
 PREÇO R\$ 11,00
 DATA 10/08/01
 N.º CPD

CM00158364-4

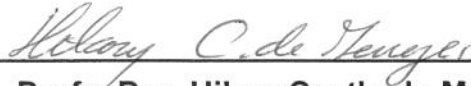
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
 BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

T636p Torrez Quinteros, Edwin
 Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de
 yacon / Edwin Torrez Quinteros. – Campinas, SP: [s.n.], 2000.

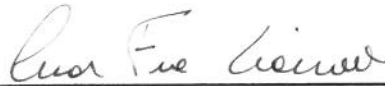
Orientador: Hilary Castle de Menezes
 Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.
 Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Inulina. 2.Maracujá. 3.Carotenóides. 4.*Frutanos.
 I.Torrez Quinteros, Edwin. II.Universidade Estadual de
 Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

BANCA EXAMINADORA



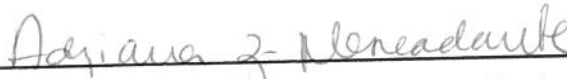
Profa. Dra. Hilary Castle de Menezes
Orientadora



Prof. Dr. César Francisco Ciacco
(UNICAMP)

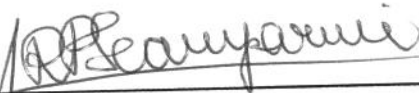


Prof. Dr. Nelson Horacio Pezoa García
(UNICAMP)



Profa. Dra. Adriana Z. Mercadante
(UNICAMP)

Prof. Dr. Franco Lajolo
(USP - SP)



Profa. Dra. Adilma Regina Pippa Scamparini
(UNICAMP)

Profa. Dra. Gláucia Maria Pastore
(UNICAMP)

À minha família pelo apoio e amor.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Hilary Castle de Menezes pela orientação competente, compreensão, amizade e apoio prestados durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Yvan Larondelle da Universidade Católica de Louvain, Bélgica pela co-orientação e apoio.

Ao Dr. Hubert Hoebregs da empresa ORAFIT (Tienen, Bélgica) pelo apoio analítico em parte do trabalho.

Aos membros da banca examinadora pela revisão da tese e valiosas sugestões.

Ao Prof. Dr. Nelson Horacio Pezoa pela amizade e incentivo.

Ao Dr. Alfredo Vitali de Almeida do FRUTOTEC - ITAL pela valiosa ajuda e colaboração no processamento.

A Profa. Dra. Adriana Mercadante, pelo auxílio nas análises de carotenóides e pela amizade.

Ao Prof. Dr. Gonzalo Alfaro da Universidade Mayor de San Simon pela amizade e incentivo.

Às pesquisadoras e técnicas do DTA-UNICAMP; Ana Koon, Ana Lourdes Gándara, Priscila Albertini e Bernadette pela atenciosa colaboração e amizade.

Ao pessoal técnico da Planta Piloto de FRUTOTEC-ITAL pela colaboração recebida.

À Sandra Regina Silva pela valiosa cooperação e amizade.

À ROHM da Alemanha pelo fornecimento de enzimas e informações.

À LEINER DAVIS Brasil pelo fornecimento de gelatinas.

Aos amigos da FEA pela convivência ao longo do curso.

Ao CNPq pela bolsa concedida bem como ao CIUF da Wallonie pelo apoio financeiro que possibilitou nosso estágio na Bélgica.

SUMÁRIO

Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xix
Índice de abreviaturas	xxi
Resumo	xviii
Summary	xxv
CAPÍTULO 1	
1. Introdução	01
CAPÍTULO 2	
2. Revisão bibliográfica	05
2.1. Yacon	05
2.1.1. Descrição da planta	06
2.1.2. Descrição da raiz do yacon	07
2.1.3. A cultura do yacon	09
2.1.4. Aspectos fitopatológicos	11
2.1.5. Aspectos fitoquímicos do yacon	11
2.1.6. Composição química e nutricional	12
2.2. Aspectos nutricionais e bioquímicos dos frutanos	17
2.2.1. Considerações gerais	17
2.2.2. Estrutura química e nomenclatura	19
2.2.2.1. Inulinas	19
2.2.2.2. Levanos	20

2.2.2.3. Graminanos	20
2.2.3. Propriedades químicas e físico-químicas	22
2.2.4. Poder adoçante	26
2.2.5. Valor calórico	27
2.2.6. Toxicidade	29
2.2.7. Biossíntese e degradação dos frutanos tipo inulina	29
2.2.7.1. Modelos de síntese e degradação	29
2.2.7.2. Características das enzimas 1-SST, 1-FFT e 1-FEH	32
2.2.8. Propriedades funcionais da inulina e dos FOS	33
2.2.8.1. Efeitos bifidogênicos e na microflora colônica	37
2.2.8.2. Efeitos na absorção de minerais	40
2.2.8.3. Efeito no metabolismo dos lipídios	40
2.2.8.4. Efeitos na carcinogênese e na resposta imune	42
2.2.8.5. Outros efeitos	43
2.3. Processamento do yacon	43
2.3.1. Produção de yacon desidratado e farinha de yacon	43
2.3.2. Produção de bebidas e purê	44
2.3.3. Produção de adoçantes e inulina	45
2.4. Referências bibliográficas	45

CAPÍTULO 3

3. Composição química e conteúdo de frutanos em yacon	65
3.1. Introdução	65
3.2. Materiais e métodos	65
3.2.1. Materiais	65
3.2.2. Métodos	66
3.2.2.1. Características físicas	66
3.2.2.2. Análises químicas e físico-químicas	66
3.2.2.3. Análise estatísticas	70
3.3. Resultados e discussão	70
3.3.1. Características físicas da raiz tuberosa	70

3.3.2. Composição química das raízes tuberosas do yacon	71
3.4. Conclusões	77
3.5. Referências bibliográficas	78

CAPÍTULO 4

4. Ocorrência de carotenóides no yacon	83
4.1. Introdução	83
4.2. Material e métodos	83
4.2.1. Material	84
4.2.2. Métodos	84
4.2.2.1. Extração	84
4.2.2.2. Análise por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)	84
4.3. Resultados e discussão	85
4.3.1. Perfil de carotenóides	85
4.3.2. Conteúdo de carotenóides e valor de vitamina A nas raízes tuberosas	86
4.4. Conclusões	89
4.5. Referências bibliográficas	89

CAPÍTULO 5

5. Inibição do escurecimento enzimático do yacon	91
5.1. Introdução	91
5.2. Material e métodos	93
5.2.1. Material	93
5.2.2. Métodos	93
5.2.2.1. Análise de fenóis totais	93
5.2.2.2. Preparação do extrato enzimático de PPO	93
5.2.2.3. Determinação da atividade de PPO no extrato enzi- mático	93
5.2.2.4. Determinação dos parâmetros cinéticos K_M e V_{max}	94

5.2.2.5. Branqueamento	94
5.2.2.6. Determinação da intensidade do escurecimento	95
5.2.2.7. Determinação da atividade residual da PPO após branqueamento	95
5.2.2.8. Determinação da cor	95
5.3. Resultados e discussão	95
5.3.1. Concentração de fenóis totais	95
5.3.2. Atividade da PPO do yacon	96
5.3.3. Determinação dos parâmetros cinéticos K_M e V_{max}	98
5.3.4. Efeito do branqueamento na intensidade do escurecimento..	99
5.3.5. Efeito do branqueamento na atividade da PPO do yacon	100
5.3.6. Determinação da cor do suco de yacon	101
5.4. Conclusões	103
5.5. Referências bibliográficas	103

CAPÍTULO 6

6. Produção do suco de yacon utilizando enzimas.....	107
6.1. Introdução	107
6.2. Material e métodos	109
6.2.1. Material	109
6.2.2. Enzimas	109
6.2.3. Métodos	110
6.2.3.1. Processamento	110
6.2.3.2. Análises químicas e físico-químicas	112
6.2.3.3. Análise Estatística	112
6.3. Resultados e discussão	113
6.3.1. Características do purê de yacon	113
6.3.2. Características do suco de yacon	114
6.4. Conclusões	119
6.5. Referências bibliográficas	119

CAPÍTULO 7

7. Processamento e estabilidade do néctar yacon-maracujá	123
7.1. Introdução	123
7.2. Materiais e métodos	125
7.2.1. Materiais	125
7.2.2. Processamento	125
7.2.2.1. Análises químicas e físico-químicas	128
7.2.2.2. Análise da cor	129
7.2.2.3. Análise microbiológica	129
7.2.2.4. Avaliação sensorial	130
7.2.2.5. Análises estatísticas	130
7.3. Resultados e discussão	131
7.3.1. Características físico-químicas e físicas do néctar yacon-maracujá	131
7.3.2. Mudanças nas concentrações dos carotenóides durante o armazenamento do néctar yacon-maracujá	135
7.3.3. Mudanças nas concentrações dos frutanos durante o armazenamento do néctar yacon-maracujá	139
7.3.4. Controles microbiológicos	140
7.3.5. Avaliação sensorial	140
7.4. Conclusões	141
7.5. Referências bibliográficas	142

CAPÍTULO 8

8. Conclusões gerais	147
----------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2-1: Distribuição do yacon na região andina	05
Figura 2-2: Sistema subterrâneo do yacon	07
Figura 2-3: Características físicas das raízes tuberosas do yacon ...	08
Figura 2-4: Fórmulas estruturais dos frutanos	21
Figura 2-5: Via degradativa dos carboidratos não digestíveis.....	28
Figura 2-6: Modelos de síntese de frutanos do tipo inulina no cito - plasma de uma célula fotossintética de cevada (A) e em uma célula de tubérculo de alcachofra de Jerusalém a partir de sacarose importada (B)	31
Figura 2-7: Microorganismos colônicos predominantes categoriza - dos em perigosos e benéficos	38
Figura 2-8: Composição maioritária da flora colônica após consu - mo de sacarose, FOS e inulina	38

CAPÍTULO 3

Figura 3-1: Fluxograma para a determinação de glicose, frutose, sacarose e inulina	68
Figura 3-2: Cromatogramas por CLAE dos carboidratos do yacon ...	72
Figura 3-3: Perfil de composição e distribuição de frutanos do yacon	74
Figura 3-4: Cromatograma obtido por cromatografia gasoso a alta temperatura de yacon amarelo	75
Figura 3-5: Concentrações de carboidratos solúveis totais e de frutanos em yacon amarelo brasileiro e boliviano	77

CAPÍTULO 4

Figura 4-1: Perfil cromatográfico dos carotenóides do yacon amarelo	86
---	----

CAPÍTULO 5

Figura 5-1: Cinética da reação da PPO do yacon e diferentes substratos	97
Figura 5-2: Representação de Lineweaver-Burk para a enzima PPO do yacon e o substrato catecol	98
Figura 5-3: Efeito do branqueamento com água a 100°C e vapor de água na intensidade do escurecimento	99
Figura 5-4: Cinética da PPO do yacon branqueado com vapor de água frente ao substrato catecol.....	101
Figura 5-5: Mudanças na cor do suco de yacon obtido a partir de raiz tuberosa branqueada com vapor por 10'	102

CAPÍTULO 6

Figura 6-1: Produção enzimática de suco de yacon em escala de laboratório	111
Figura 6-2: Reologia do purê de yacon (a 30°C)	114
Figura 6-3: Viscosidade aparente do purê de yacon (a 30°C)	114
Figura 6-4: Reologia do suco de yacon obtido por tratamento com celulase Sigma	117
Figura 6-5: Viscosidade aparente do suco de yacon (a 30°C) obtido por tratamento com celulase Sigma	117
Figura 6-6: Reologia do suco de yacon obtido por tratamento com pectinase Sigma.....	118
Figura 6-7: Viscosidade aparente do suco de yacon (a 30°C) obtido por tratamento com pectinase Sigma	118
Figura 6-8: Reologia do suco de yacon obtido por tratamento com Rohapect MA plus	118
Figura 6-9: Viscosidade aparente do suco de yacon (a 30°C) obtido por tratamento com Rohapect MA plus	119

CAPÍTULO 7

Figura 7-1: Fluxograma do processamento do néctar yacon -
maracujá 127

Figura 7-2: Mudanças da luminosidade (A) e do ângulo hue (B) do
néctar yacon-maracujá durante o armazenamento 134

Figura 7-3: Perfil cromatográfico dos carotenóides do néctar yacon-
maracujá após o preparo 136

Figura 7-4: Espectros de absorção, obtidos através de detector de
arranjo de diodos em CLAE 136

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 2-1:	Rendimentos de yacon em diferentes locais	10
Tabela 2-2:	Composição química do yacon	14
Tabela 2-3:	Conteúdo de carboidratos na raiz tuberosa do yacon ..	15
Tabela 2-4:	Fontes vegetais importantes de frutanos	16
Tabela 2-5:	Ocorrência de frutanos nas angiospermas	17
Tabela 2-6:	Conteúdo de frutanos e outros carboidratos em água, em diferentes partes da planta	18
Tabela 2-7:	Ocorrência de frutanos naturais	21
Tabela 2-8:	Propriedades físicas de alguns carboidratos presen - tes no yacon	24
Tabela 2-9:	Composição de frutooligossacarídeos e inulina de ori - gem comercial	25
Tabela 2-10:	Poder adoçante dos açúcares do yacon	24
Tabela 2-11:	Características das enzimas envolvidas no metabo - lismo de frutanos	34
Tabela 2-12:	Exemplos de alimentos funcionais baseados na inulina ou FOS, presentes no mercado internacional	36

CAPÍTULO 3

Tabela 3-1:	Peso total, das cascas e da parte comestível da raiz tuberosa de yacon	71
Tabela 3-2:	Composição nutricional de yacon dos cultivares ama - relo e roxo	71

Tabela 3-3: Concentração dos carboidratos solúveis de yacon-amarelo	76
CAPÍTULO 4	
Tabela 4-1: Carotenóides detectados no yacon amarelo	87
Tabela 4-2: Conteúdo de carotenóides e valor de vitamina A no yacon	88
CAPÍTULO 5	
Tabela 5-1: Concentração de fenóis totais em yacon	96
Tabela 5-2: Atividade da polifenoloxidase do yacon frente a diferentes substratos	97
Tabela 5-3: Atividade residual da PPO do yacon após branqueamento com vapor	101
CAPÍTULO 6	
Tabela 6-1: Características físico-químicas do purê de yacon	113
Tabela 6-2: Características físico-químicas dos sucos de yacon	115
CAPÍTULO 7	
Tabela 7-1: Características físico-químicas e físicas do néctar yacon-maracujá armazenado sob refrigeração	132
Tabela 7-2: Características físico-químicas e físicas do néctar yacon-maracujá armazenado a temperatura ambiente	133
Tabela 7-3: Concentrações dos carotenóides do néctar yacon-maracujá armazenado	137
Tabela 7-4: Concentrações dos carotenóides do néctar yacon-maracujá armazenado sob refrigeração.....	138
Tabela 7-5: Concentrações dos frutanos no néctar yacon-maracujá armazenado a temperatura ambiente e sob refrigeração	139
Tabela 7-6: Avaliação sensorial do néctar yacon-maracujá	141

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

C-RMN	Resonância magnética nuclear de carvão
CLAE	Cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC)
DP	Grau de polimerização
F	Frutose
FEH	Frutano exohidrolase
FFT	Frutano: frutanofrutosiltransferase
FOS	Frutooligossacarídeos
G	Glicose
GF	Sacarose
GF ₂	1-kestose
GF ₃	Nistose
GF ₄	β-Fructofuranosilnistose
SCFA	Short chain fatty acids / Ácidos graxos de cadeia curta
SST	Sacarose: sacarose frutosiltransferase

RESUMO

O yacon tem emergido nos últimos anos como uma matéria prima de importância pelo seu elevado teor em inulina que apresenta propriedades funcionais interessantes. Numerosos estudos tem revelado que a inulina possui propriedades bifidogênicas, imunológicas e bioquímicas em geral, que promovem a saúde. Entretanto, uma face ainda pouco conhecida dos frutanos do yacon é sua estabilidade na raiz tuberosa *in natura* e sobretudo em yacon processado.

Este trabalho visa estudar a composição química e de frutanos do yacon, as suas características como matéria-prima para a obtenção de sucos e do seu comportamento em um néctar misto (yacon-maracujá).

Desta maneira, determinou-se a composição química e da oligofrutose de duas variedades de yacon; amarela e roxa, cultivadas em dois ecossistemas diferentes, na região andina (Bolívia) e na região tropical (Brasil). Os resultados indicaram que as condições do plantio, as condições agroecológicas e os tipos de clone não exerceram diferenças significativas nas concentrações dos nutrientes. Foi verificado também que os frutanos do yacon possuem graus de polimerização de 3 a 10 e que existem traços de frutanos com graus de polimerização de até 18.

Estudou-se pela primeira vez o perfil da composição de carotenóides no yacon amarelo, encontrando-se uma dúzia de compostos diferentes, sendo o mais importante, em termos de concentração, o β -caroteno.

Em se tratando de produção enzimática do suco de yacon, foi preciso avaliar o escurecimento enzimático da raiz tuberosa e de sua inibição. Observou-se que o melhor tratamento para controlar este fenômeno consistiu na aplicação sinérgica de calor (branqueamento com água) e de um antioxidante (ácido ascórbico). A extração enzimática dos sucos de yacon foi muito bem sucedida através do emprego de pectinase e em menor grau, de celulase.

A utilização do suco de yacon no preparo de uma bebida funcional em combinação com o suco de maracujá permitiu obter um produto sensorialmente aceitável e com características químicas, fisicoquímicas e microbiológicas estáveis ao longo de seis meses. Entre as mudanças observadas destacaram-se uma extensiva degradação hidrolítica dos frutanos e um grau de escurecimento no néctar armazenado a temperatura ambiente, contrariamente ao observado no néctar refrigerado.

Palavras chave: inulina, frutanos, yacon, maracujá, suco de yacon, carotenóides.

SUMMARY

In the last ten years the tuberous root of yacon has appeared as an important raw material due to its high inulin content, which has been claimed to have functional properties. Several studies have revealed that inulin possesses bifidogenic, immunological and other biochemical properties that promote health. However, little is known about fructan stability in the raw tuberous root and mainly in processed yacon.

The aim of this work was to study the nutritional and fructan composition of the yacon, its characteristics as juice source and its behaviour in a mixed nectar (yacon-passion fruit)

The nutritional and oligofructose compositions of two yacon varieties, yellow and purple, were determined; these being grown in two different ecosystems, in Bolivian Andean highlands and in the tropics of Brazil. The results indicated that cultural and agroecological conditions and clone type did not determine significant differences in the nutrient concentrations. Moreover, polymerization degrees from 3 -10 were determined in the samples, but fructans with DP as high as 18 also existed.

The carotenoid profile composition of the yacon was studied for the first time, finding a dozen different carotenoids, β -carotene being the most important, in quantitative terms.

With regard to the enzymatic production of yacon juice, a study of the enzymatic browning and its inhibition in the tuberous root and juice, was necessary. The best treatment for the control this phenomenon, consisted of the synergistic application of heat (water blanching) and an antioxidant (ascorbic acid). The enzymatic extraction of yacon juice was successfully performed by the use of pectinase and in a lesser degree, cellulase.

The use of yacon juice in the preparation of a functional beverage together with passion fruit juice, resulted in a sensorially acceptable product with good chemical, physicochemical and microbiological stability for six months. During this period, the observed changes were an extensive hydrolytic degradation of the fructans and a certain degree of browning of the nectar when stored at room temperature in contrast to the refrigerated nectar.

Keywords: inulin, fructans, yacon, passion fruit juice, yacon juice, carotenoids.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a qualidade de vida é um reflexo da nutrição; em decorrência disso, os consumidores estão interessados nos alimentos e refeições saudáveis.

Segundo um levantamento feito pelo Institute of European Food Studies entre 14.331 consumidores, existe a percepção geral de que a dieta deve ser pouco gordurosa, balanceada, variada e com expressiva quantia de frutas e vegetais (HEASMAN & MELLENTIN, 1998).

A ingestão excessiva de gorduras e açúcar induz a obesidade, aos infartos cardíacos e cerebrais, e pode ainda, constituir-se em um fator de risco para o desenvolvimento de câncer e diabetes. Segundo HEASMAN & MELLENTIN (1998), a mortalidade devida às doenças cardiovasculares é próxima a 40% na Europa, mas também, o câncer e o diabetes revelam uma elevada incidência. Supõe-se que em geral, nos países ocidentais, esse conjunto de doenças são problemas importantes de saúde pública.

Uma forma de contornar o problema acima descrito é incluir na dieta os alimentos funcionais, ricos em compostos naturais como vitaminas, minerais, fenóis, aminoácidos, fibras, carboidratos e outros. Os alimentos funcionais possuem um ou mais componentes em concentrações adequadas e ajudam à prevenção de doenças, à promoção da saúde e à restauração das funções fisiológicas (ICHIKAWA, 1994; ROBERFROID, 1998b).

O yacon, uma matéria-prima originária da América do Sul, pouco conhecida e quase esquecida, pode tornar-se uma alternativa para enriquecer a dieta da população, e da maneira particular das pessoas que sofrem de diabetes e obesidade. Trata-se de uma raiz tuberosa, com aparência de batata doce e gosto de pêra.

O yacon *in natura* pode ser considerado um alimento funcional pelo seu elevado teor de frutanos; oligo- e polifrutossacarídeos. Estes compostos, solúveis

final de cada molécula, existe um resíduo de glicose unido por uma ligação $\alpha(1\rightarrow2)$ à cadeia em água, são quimicamente moléculas lineares de frutose unidas por ligações $\beta(2\rightarrow1)$. Noia (WANG, 1999; NINESS, 1999).

O grau de polimerização (DP) destes carboidratos geralmente vai de 2 a 60 e recebe o nome de inulina. Enquanto isso o grupo que abrange os frutanos lineares cujos DP estão na faixa 2-10 chama-se oligofrutose ou frutooligossacarídeos (FOS).

As propriedades funcionais da inulina e dos FOS são decorrentes das suas ligações $\beta(2\rightarrow1)$. Devido a esse fato, não são digeridas pelas enzimas do aparelho digestivo, possuindo efeitos de fibra dietética e um valor calórico reduzido.

As principais alegações realizadas sobre as vantagens da inulina e dos FOS, com base em estudos *in vivo* e *in vitro* foram detalhadas por OKU (1994), CRITTENDEN & PLAYNE (1996), YUN (1996), ROBERFROID (1997), GOLDIN (1998), GIBSON (1998), VAN LOO *et al.* (1998), COUSSEMENTE (1999) e outros. Os benefícios para a saúde humana seriam:

- não cariogenicidade
- valor energético reduzido
- eliminação de bactérias patogênicas e putrefativas por efeito da multiplicação das bifidobactérias
- redução dos lipídios no sangue
- aumento da absorção de minerais como cálcio, magnésio e ferro
- inibição dos estágios iniciais do câncer de cólon
- diminuição da velocidade de absorção de açúcares.

Várias outras alegações, de diversa natureza, têm sido publicadas, mencionando efeitos favoráveis na diarreia, constipação, hipertensão, na função hepática, etc; contudo, são precisos mais estudos, visando obter resultados conclusivos.

Em virtude destas propriedades, a procura de FOS e inulina cresce a cada ano. Segundo CRITTENDEN & PLAYNE (1996), a produção estimada destes frutanos ultrapassou as 12.000 toneladas no mundo inteiro, e a tendência é crescente.

O yacon é fonte importante não apenas de inulina, mas também de frutose, adoçante dietético, muito adequado para diabéticos e obesos.

Nesse contexto, o yacon é um alimento com propriedades funcionais bastante promissoras e deveria ser incorporado à dieta da população em geral,

considerando que seu plantio não apresenta dificuldades técnicas nem econômicas.

O yacon *in natura* apresenta características sensoriais muito aceitáveis (ZARDINI, 1991; ROBINSON, 1997), porém, por se tratar de uma raiz tuberosa, por seu tamanho e peso, resulta pouco prático para seu consumo, ao contrário das frutas tradicionais, fáceis de consumir. Além disto, as novas exigências do consumidor moderno, com relação aos alimentos, são a leveza, o gosto, o prazer, a facilidade e praticidade de consumo (ANÔNIMO, 1998). praticidade de consumo (ANÔNIMO, 1998).

Entre as numerosas opções que oferece o yacon, a produção de bebidas aparece como uma das mais interessantes. No Japão, 70% dos alimentos funcionais são apresentados como bebidas (gasosas, sucos, néctares, lácteos, etc). A industrialização do yacon, no caso sob forma de sucos mistos e néctares, teria um impacto importante na saúde pública e obviamente na economia dos agricultores.

Sendo assim, torna-se importante estudar os processos para a produção de suco de yacon. As poucas referências disponíveis são patentes japonesas. Além disso, não existem publicações sobre o processamento e características de bebidas formuladas com yacon.

O trabalho executado teve como objetivo geral o estudo das características nutricionais do yacon e do processamento do suco do yacon.

Desta forma, os objetivos específicos foram:

1. A determinação da composição centesimal da raiz tuberosa.
2. Determinação de micronutrientes na raiz tuberosa: vitamina C, carotenóides, cálcio e fósforo.
3. Análises dos frutanos.
4. Desenvolvimento de um processo em escala semi-piloto para obter o suco de yacon.
5. Estudo e escolha das melhores condições das operações críticas do processo: branqueamento, extração enzimática e clarificação.
6. Caracterização química e físico-química do suco de yacon.
7. Formulação e estudo da estabilidade de um néctar de maracujá e yacon.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Yacon

O yacon é uma espécie originária da região andina da América do Sul (ASAMI et al., 1991), encontrando-se espalhada desde a Venezuela até o norte argentino (ZARDINI, 1991; ROBINSON, 1997). Embora seja pouco conhecido no Brasil, já está sendo produzido e comercializado no estado de São Paulo (KAKIHARA et al., 1996; RODRÍGUEZ, 1999), após ser introduzido do Japão em 1989. A distribuição geográfica das culturas do yacon na maior região produtora do mundo, a América do Sul, foi apresentada por Robinson (1997) e aparece na Figura 2-1.

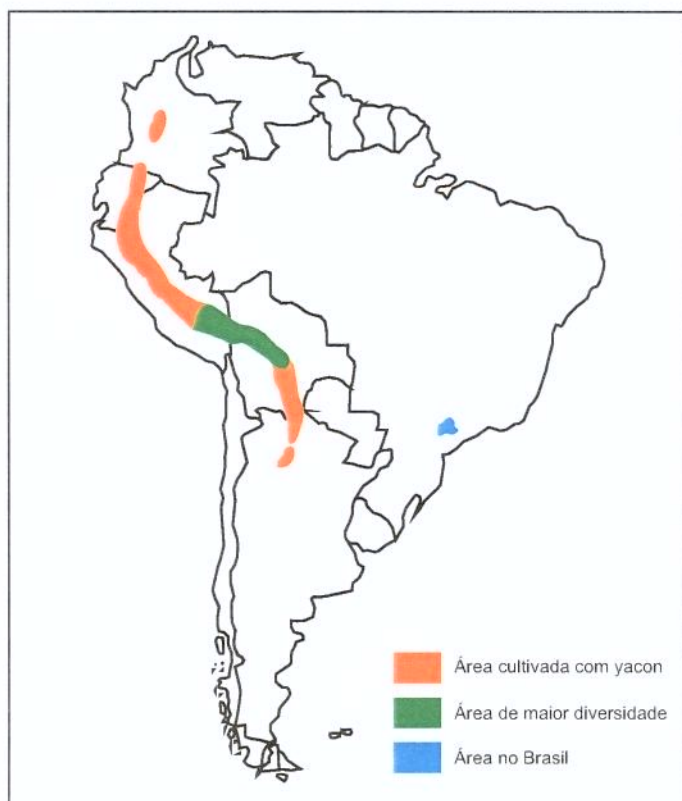


Figura 2-1: Distribuição do yacon na região andina (ROBINSON, 1997) e no Brasil.

Segundo ASAMI *et al.* (1991) o yacon foi introduzido no Japão via Nova Zelândia por volta de 1985, sendo intensamente pesquisado por suas propriedades bioquímicas e nutricionais, chegando-se a ter cerca de 100 hectares em Hokkaido (CIP, 1998). Na Itália já foi cultivado para a produção de álcool, inulina e outros produtos, porém, sua cultura não teve sucesso na Alemanha nem na República Tcheca, pelo longo período invernal. Há pouco tempo, o yacon foi introduzido experimentalmente na Rússia com fins alimentares (KONONKOV *et al.*, 1997; KONONKOV *et al.*, 1998).

Segundo ZARDINI (1991) o nome yacon deriva da palavra quíchua "yaku" que significa água, porém, esta espécie é conhecida também por outros nomes regionais como:

- Arboloco
- Aricoma
- Jícama / Chícama
- Yíquima
- Jiquimilla
- Llacon, Ilagon, Ilag'on
- Yacón

O nome em inglês é "yacon strawberry" e o nome em francês é "poire de terre".

2.1.1. Descrição da planta

O yacon tem sido classificado com vários nomes científicos; *Polymnia sonchifolia* Poepping & Endlicher (1845); *Polymnia edulis* Weddell (1857) e *Smallantus sonchifolius* Poepping & Endlicher (1978), sendo citado comumente na literatura com o primeiro.

O gênero *Polymnia* da família *Asteraceae* abrange 19 espécies americanas, sendo o yacon o mais importante sob o ponto de vista econômico (ZARDINI, 1991).

O yacon é uma planta perene, de propagação vegetativa, dotado de um sistema radicular que origina caules aéreos pilosos esverdeados. Geralmente os caules atingem uma altura de 2 a 2,5m.

O sistema subterrâneo apresenta três partes (Figura 2-2): os rizomas ou

rizóforos, as raízes tuberosas e as raízes delgadas.

Os rizóforos ou rizomas, ricos em fibras duras e não-digeríveis, contém gemas que dão origem a novas plantas. As raízes tuberosas são comestíveis e contém mais fibras solúveis. Finalmente, as raízes delgadas desempenham funções de absorção e fixação.

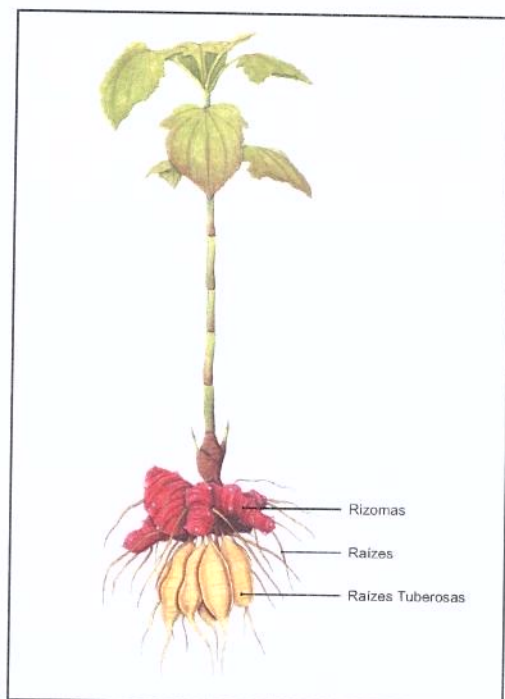


Figura 2-2: Sistema subterrâneo do yacon (PARAJARA, 1999)

2.1.2. Descrição da raiz do yacon

As raízes tuberosas do yacon são fusiformes e podem variar consideravelmente de tamanho, cor e sabor, sendo contudo, de aparência similar à batata doce (FUKAI *et al.*, 1993). Na Figura 2-3 são mostradas algumas características físicas das raízes tuberosas.

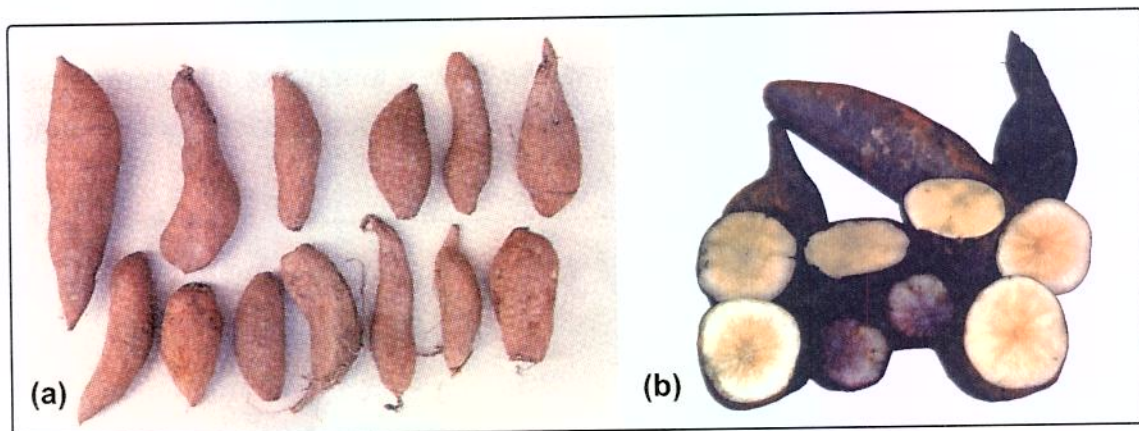


Figura 2-3: Características físicas das raízes tuberosas do yacon.

(a) Tamanho e forma. (b) Cor.

A casca varia desde uma cor marrom até uma tonalidade arroxeada, enquanto a porção comestível pode ser branca, amarela, laranja ou roxa, dependendo da variedade.

As raízes tuberosas têm pesos de 200-500 g cada, porém, não é raro que atinjam os 2000 g. Cada planta produz cachos de 5 a 20 unidades, o que dá uma média de 5 kg/planta (GOTO et al., 1995). As raízes tuberosas recém colhidas são insípidas, mas, após uns 3-5 dias de exposição ao sol, tornam-se suculentas e doces. Nesse processo as cascas ficam pregueadas pela desidratação. O sabor do yacon adocicado tem sido descrito pelo National Research Council como semelhante à de uma maçã fresca e picada e um gosto que lembra à melancia (CNR, 1989; citado por ESTRELLA & LAZARTE, 1994). Outros autores (OHYAMA et al., 1990; PARAJARA, 1999) descreveram o gosto do yacon como parecido ao da pêra.

O yacon contém inulina tanto nas raízes tuberosas quanto nos rizomas, embora atualmente somente se consomem as raízes tuberosas (ZARDINI, 1991; CIP, 1998). Outras espécies do gênero *Asteraceae* como *Dahlia spp* e *Helianthus tuberosus* L. também contém inulina, no entanto, são menos promissoras. Na *Dahlia spp* somente as raízes são tuberosas e no *H. tuberosus*, somente os rizomas, perdendo para o yacon que acumula inulina em ambas as partes. Esta característica seria importante no caso do processamento visando produzir inulina e/ou derivados.

Nos mercados e feiras da região andina o yacon é classificado como fruta e é comercializado junto com chirimoyas, maçãs, abacates ou abacaxis e não com outras raízes e tubérculos, como seria esperado (ROBINSON, 1997). No Peru, Argentina, Bolívia ou Equador, costuma ser consumido nas festas religiosas como

Corpus Christi, Dia dos Finados, etc. Já no Brasil esta raiz é consumida por razões de saúde, principalmente por diabéticos (RODRÍGUES, 1999)

Costuma-se consumir o yacon descascado *in natura* como se fosse uma fruta ou como parte de saladas de frutas junto a bananas, laranjas e mamões. Pode também ser cozido no forno e ainda pode ser preparado sob forma de bebida refrescante (ROBINSON, 1997).

2.1.3. A cultura do yacon

O yacon é cultivado em regiões próximas às florestas úmidas, em microambientes temperados e chuvosos, como acontece na área oriental dos Andes. Dependendo dos termoperíodos e das precipitações, se desenvolve com rapidez; a maioria dos cultivares completa seu ciclo produtivo em 7 meses (REA, 1995). A maiores altitudes, o ciclo é mais longo. A floração assinala a maturidade e após, começa a senescência da parte aérea e a dormência das gemas subterrâneas.

Poucas espécies se adaptam a diferentes ecossistemas como o yacon. Segundo ROBINSON (1997), esta planta cresce entre 900-3500 m sobre o nível do mar, como ocorre na Bolívia, Equador e Peru; entre 600-2500 m na Argentina; 600-800 m no Brasil ou, ao nível do mar no Japão e Nova Zelândia.

Segundo NIETO (1991) o yacon pode reproduzir-se pelas sementes ou rizomas, embora GRAU & SLANIS (1996) duvidem da possibilidade da produção de sementes viáveis. NIETO (1991) conduziu um estudo usando caules rizomatosos de ao redor de 60 g de peso, com uma ou duas gemas, atingindo rendimentos entre 29-73 ton/hectare em um período de 12 meses. O espaçamento das plantas, no caso, foi de 1 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. VILHENA (1997) descreveu a técnica usada no Brasil, na região de Capão Bonito-SP, onde se usam tubérculos de 60-80 g, plantados em canteiros de 1,0 m de largura por 0,4 m de altura, com espaçamento de 1,4 m entre linhas e 0,9 m entre plantas.

Em Capão Bonito os produtores corrigem o pH do solo a um valor próximo a 6,0 usando calcário dolomítico. É feita também uma adubação com NPK e Zn no plantio e duas adubações nitrogenadas em cobertura.

No hemisfério sul a cultura pode abranger o período de julho a janeiro, e por isso, as colheitas podem-se realizar pouco a pouco, ao longo de vários meses. No Brasil, a safra vai de março a setembro (PARAJARA, 1999), mas, é possível

encontrar uma pequena oferta em outros meses.

A irrigação regular é necessária devido a sua elevada capacidade de transpiração, porém, uma sobre-irrigação pode ser crítica na qualidade das raízes pelas quebras que se produzem durante a estocagem (ROBINSON, 1997).

Embora o yacon se adapte a uma diversidade de solos, desde ácidos até ligeiramente alcalinos, recomendam-se solos ricos em minerais, leves, bem estruturados e drenados (ROBINSON, 1997).

Os rendimentos da raiz variam de 15 a 100 ton/hectare (REA, 1995).

Na Tabela 2-1, observam-se os rendimentos em diversas regiões do mundo.

Tabela 2-1: Rendimentos de yacon em diferentes locais

Local	Rendimento máximo (ton/hectare)
Ahuabamba, Peru	28
Santa Catalina, Equador	74
Cajamarca, Peru	95
Capão Bonito, Brasil	100

ROBINSON (1997)

Os rendimentos dependem de vários fatores, no entanto, é possível fazer estimativas. GRAU & HACKETT (1996) desenvolveram o programa computacional Plantagro para prever os rendimentos e o crescimento do yacon sob diferentes condições ambientais.

A colheita feita depois de 7 meses ou mais nos locais altos é realizada manualmente para se obter tubérculos inteiros, os quais são separados do tronco que, por sua vez, pode ser usado como ração para gado. No Brasil, usa-se a colheita mecânica, com pequenas perdas.

Se destinado ao consumo *in natura*, o yacon deve ficar ao sol uns dias para acrescentar a doçura, pela hidrólise dos frutanos. Já a produção de inulina ou frutooligosacarídeos exige um rápido processamento para evitar a degradação dos mesmos.

2.1.4. Aspectos fitopatológicos

Os agentes patogênicos no yacon tem sido pouco estudados, contudo, foram identificados *Fusarium spp*, *Erwinia chrysantemi*, *Sclerotinia* e *Alternaria spp* como microorganismos causadores de doenças. Em se tratando de doenças virais, o yacon é mais resistente em relação a outras raízes e tubérculos.

NAKANISHI & SATO (1997) trabalhando com clones de yacon peruano e boliviano determinaram diferenças de sensibilidade às doenças e fizeram melhoramento genético para obter clones com uma maior resistência às bactérias.

Sabe-se que os nemátodos provocam danos na raiz e que as folhas são atacadas por lepidópteras. Seu controle é eficaz em ambos os casos através do uso de agroquímicos. No entanto, as partes aéreas da planta poderiam conter agentes contra fungos e outras pragas; em decorrência disso, não seria necessário usar pesticidas nas culturas do yacon (INOUE *et al.*, 1991).

2.1.5. Aspectos fitoquímicos do yacon

O yacon pertence à família *Compositae* rica em compostos bioativos, e sobretudo, compostos fenólicos e seus derivados ésteres, metilésteres, glicósidos, etc. Estes compostos ocorrem naturalmente tanto nas raízes como nas folhas.

A presença de polifenóis no yacon pode causar o sabor acre ou adstringente e inclusive afetaria na percepção de um odor típico. Além disso, os polifenóis são sustratos no escurecimento (browning) enzimático, transformando-se em substâncias verdes ou pretas.

Por outro lado, os compostos fenólicos, e principalmente os flavonóides, podem modular a peroxidação lipídica envolvida na aterogênese, trombose e carcinogênese, pela atividade antioxidante sobre o íon superóxido, O_2^- (ZHISHEN *et al.*, 1999).

Dos extratos de folhas do yacon, KAKUTA *et al.* (1992) isolaram o ácido ent-kaurénico que poderia ter um papel no mecanismo de defesa da planta e talvez, ação antibiótica.

As folhas de yacon contêm vários compostos fenólicos solúveis em água (HASHIDOKO *et al.*, 1994) e em decorrência disto, podem viabilizar uma flora bacteriana epifítica com propriedades metabólicas muito particulares, inibindo por exemplo, o ataque de microorganismos.

INOUE *et al.* (1995) isolaram quatro melampolidas das folhas, três das quais; polimatina B, uvedalina e enhidrina, ocorrem em outras espécies, sendo que, a "sonchifolina" (batizada assim pelos descobridores) não tinha sido detectada em outras plantas. Os autores constataram ainda uma alta atividade antifúngica da sonchifolina, bem maior que das demais.

TAGASUGI & MASUDA (1996) constataram que, além das folhas, as raízes tuberosas do yacon também possuem mecanismos de defesa contra os ataques de microorganismos, através da formação das fitoalexinas. No estudo, fatias de yacon foram inoculadas com *Pseudomonas cichorii*, e após um curto tempo produziram-se três fitoalexinas maioritárias.

Um estudo inédito realizado por pesquisadores brasileiros (UNESP - Botucatu) comparou os efeitos do chá das folhas de yacon em dois grupos de ratinhos, diabéticos e sadios. Depois de duas semanas os roedores doentes já tinham taxas normais de glicose no sangue. O efeito hipoglicemiante só ocorreu nos ratos diabéticos, e não nos sadios. Este efeito pode ser um recurso interessante para o controle do diabetes, sendo preciso determinar quais são os compostos responsáveis deste fenômeno.

2.1.6. Composição química e nutricional

Na Tabela 2-2 observa-se a composição química da porção comestível do yacon. Pode constatar-se que o yacon apresenta um alto teor de carboidratos, um elevado conteúdo de cálcio e potássio e relativamente baixos níveis de outros minerais e de vitaminas. Além disto, o suco de yacon é rico em aminoácidos essenciais livres (KAPULER & GURUSIDIAH, 1994). De 21 compostos nitrogenados livres identificados no yacon, os aminoácidos representam 65% do nitrogênio total, sendo a asparagina, glutamina, prolina e arginina os de maior concentração (ASAMI *et al.*, 1989).

ASAMI *et al.* (1989) fizeram os estudos pioneiros na análise dos açúcares no yacon, encontrando que a frutose, glicose e sacarose respondiam por 29% da matéria seca. OHYAMA *et al.* (1990) verificaram que o yacon possui uma grande quantidade de inulina, mais do que o amido e que, além disso contêm o trissacarídeo 1-kestose e outros oligossacarídeos do tipo dos frutanos, com ligações glicosídicas $\beta(2\rightarrow1)$.

A existência de 1-kestose, composto chave na biossíntese dos frutanos do tipo da inulina foi confirmada por GOTO *et al.* (1995) mediante métodos enzimáticos, ^{13}C -RMN e reações de metilação. Os autores evidenciaram assim que os frutanos do yacon são da mesma natureza e características que os encontrados nos tubérculos de *Helianthus tuberosus* (Alcachofra de Jerusalém).

Vários trabalhos sobre a presença de carboidratos, notadamente, frutooligossacarídeos, têm sido feitos por diversos autores. A Tabela 2-3 apresenta alguns valores obtidos em diferentes condições.

O exame dos dados da Tabela 2-3 revela, em termos gerais, um elevado teor de frutooligossacarídeos nas amostras recém colhidas que logo diminui com o decorrer do período de armazenamento. Os mono e dissacarídeos experimentam um processo contrário.

ASAMI *et al.* (1989) relataram que os frutooligossacarídeos (FOS) do yacon foram de baixo grau de polimerização (DP em torno de 3-10), enquanto frutanos com DP maiores que 10 correspondiam a traços; fato constatado também por OHYAMA *et al.* (1990).

ASAMI *et al.* (1991) determinaram que na hora da colheita o total de FOS representou 67% da matéria seca, sendo o grau de polimerização médio 4,3. Constataram ainda que os FOS compreendidos entre GF_2 e GF_5 responderam por 70% dos açúcares totais. A fração de inulina com $\text{DP} > 10$ atingiu 0,23%, enquanto o amido, situou-se no valor de 0,04% em base seca.

Enquanto ASAMI *et al.* (1991) relataram 67% de FOS (base seca) em yacon recém colhido, OHYAMA *et al.* (1990) em amostras mantidas sob refrigeração por três meses, verificaram só 26% de FOS (vide Tabela 2-3). Isto, na realidade, demonstra o fenômeno da degradação enzimática do que ocorre ao longo do armazenamento, mesmo a baixas temperaturas.

Tabela 2-2: Composição química do yacon (Por 100 g de porção comestível)

Componentes	(COLLAZOS, 1973) ⁽¹⁾	(LIZÁRRAGA <i>et al.</i> , 1997) ⁽¹⁾	(NIETO, 1991) ⁽²⁾
Água (g)	86,6	70 - 93	84,8 ³
Proteínas (g)	0,3	0,4 - 2,0	3,7
Lipídios (g)	0,3	0,1 - 0,3	1,5
Carboidratos (g)	12,5	s.d.	s.d.
Fibra (g)	0,5	0,3 - 1,7	3,4
Cinzas (g)	0,3	0,3 - 2,0	3,5
Cálcio (mg)	23,0	23	80
Cobre (mg)	s.d.	s.d.	0,009
Ferro (mg)	0,3	0,3	0,096
Zinco (mg)	s.d.	s.d.	0,390
Fósforo (mg)	s.d.	21	120
Potássio (mg)	s.d.	s.d.	2.200
Sódio (mg)	s.d.	s.d.	10
Carotenos (mg)	s.d.	0,08	s.d.
Retinol (mg)	0,08	10	s.d.
Tiamina (mg)	0,02	0,01	s.d.
Riboflavina (mg)	0,11	0,10	s.d.
Niacina (mg)	0,34	0,33	s.d.
Ácido ascórbico (mg)	13,10	13	s.d.
Energia (Cal)	54,0	s.d.	s.d.

⁽¹⁾Base úmida

⁽²⁾Base seca

⁽³⁾Na raiz tuberosa fresca *in natura*

s.d.= sem dados

(COLLAZOS, 1973 citado por PAPN, 1996)

(LIZÁRRAGA *et al.*, 1997 citado por ROBINSON, 1997)

Tabela 2-3: Conteúdo de carboidratos na raiz tuberosa do yacon

Componente	Base seca (mg/g)	Base úmida (mg/g)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Frutose	305,1	6	24,7	215,3		
Glicose	158,3	31	37,5	133,8		
Sacarose	74,5	51	25,1	39,1		
GF ₂	60,1	110	—	—		
GF ₃	47,7	80	—	—		
GF ₄	33,6	40	—	—		
GF ₅	20,6	—	—	—		
GF ₆	15,8	—	—	—		
GF ₇	12,7	—	—	—		
GF ₈	9,6	—	—	—		
GF ₉	6,6	—	—	—		
Total GF ₂ - GF ₉	206,4	—	—	—	101,3	76,1

(1) Análise após 96 dias de colheita das raízes, mantidas sob refrigeração(OHYAMA *et al.*, 1990)

(2) Análise de amostras frescas (FUKAI *et al.*, 1993)

(3) Análise de amostras recém colhidas (NIETO, 1991)

(4) Análise de amostras expostas ao sol por 15 dias (NIETO, 1995)

(5) Análise de amostras recém colhidas (VILHENA, 1997)

(6) Análise de amostras expostas ao sol por 8 dias (VILHENA, 1997)

FUKAI *et al.* (1993) constataram que pela ação da frutano-hidrolase a concentração dos frutanos do yacon sofre uma queda durante o armazenamento, enquanto a concentração de frutose sobe. Observando os dados de NIETO (1991) na Tabela 2-3 pode ser verificado um expressivo acréscimo da frutose nas amostras expostas ao sol, com relação às das amostras recém colhidas (mais de 800%), acompanhados por aumentos menores em glicose e sacarose.

ASAMI *et al.* (1991) estudaram as mudanças dos FOS do yacon em duas temperaturas de armazenamento. Após 2 semanas a 5°C e 25°C, houve quedas nos graus de polimerização de 33% e 41%, respectivamente.

VILHENA (1997) estudou a influência da cura ao sol no conteúdo de frutanos encontrando que no primeiro dia há um significativo aumento; mas logo no segundo dia ocorre uma redução acelerada, e finalmente, entre o terceiro e oitavo

dia, acontecem ligeiras diminuições. Por outro lado, a autora observou que a redução dos frutanos no yacon estocado em câmara fria (4°C), foi significativa depois de 10 dias.

WEI *et al.* (1991) constataram que durante o armazenamento das raízes tuberosas de yacon os conteúdos de frutose e glicose aumentaram e os dos FOS decresceram. No caso da alcachofra de Jerusalém, estes autores observaram um aumento dos FOS de baixo DP acompanhados de uma diminuição dos frutanos de alto DP.

A degradação da inulina acarreta obviamente, um acréscimo da doçura, pois os produtos da hidrólise são bem mais doces. ZARDINI (1991) ressaltou que o típico sabor do yacon só aparece depois de uma exposição ao sol por 3-5 dias. Fica claro que existe uma atividade hidrolítica na estocagem do yacon, que aumenta com a temperatura.

Quando comparado com outras fontes tradicionais de frutanos como a chicória, alcachofra de Jerusalém ou dália, o yacon pode ser considerado como uma importante fonte de frutanos. A Tabela 2-4 demonstra isso.

Tabela 2-4: Fontes vegetais importantes de frutanos

Espécie	Teor	
	Base fresca (%)	Base seca (%)
Chicória	24	73,6
Alcachofra de Jerusalém	22	74
Dália	13	72
Yacon	> 20 ⁽¹⁾	67 ⁽²⁾

MODLER (1994)⁽¹⁾, VORAGEN (1998) e ⁽²⁾ASAMI *et al.* (1991)

De acordo a VAN LOO *et al.* (1995) o grau de polimerização varia segundo a fonte vegetal; por exemplo, na chicória 60% dos FOS têm DP < 20, enquanto o restante, tem DP entre 20-60. Já no caso do yacon, ASAMI *et al.* (1991) relataram um DP médio de 4,3 e GOTO *et al.* (1995) constataram a existência de FOS com DP < 10.

2.2. Aspectos nutricionais e bioquímicos dos frutanos

2.2.1. Considerações gerais

Os frutanos são carboidratos de reserva largamente difundidos no reino vegetal e constituem uma alternativa ao papel que desempenha o amido como material de reserva. Muitas algas, hepáticas, musgos, fungos, bactérias e plantas superiores sintetizam oligômeros e polímeros de frutose (HENDRY & WALLACE, 1993). No caso das plantas superiores, cerca de 10-12% delas possuem frutanos como carboidratos de reserva.

Segundo HENDRY (1993), a ocorrência de frutanos ao nível das angiospermas tem sido confiavelmente relatada em 5 das 75 ordens, representando aproximadamente 45.000 espécies, ou 15% da flora pertencente às angiospermas, como ilustra a Tabela 2-5.

Tabela 2-5: Ocorrência de frutanos nas angiospermas.

Classe	Ordem	Principais Famílias	Nº de espécies
Monocotiledôneas	Poales	1 de 5 famílias	8.000
	Liliares	6 das 9 maiores famílias	7.200
Dicotiledôneas	Asterales	Todas as famílias	25.000
	Campanulales	Todas as famílias	2.250
	Dipsacales	1 de 5 famílias	60
	Polemoniales	3 de 7 famílias	2.300
	Ericales	2 famílias menores	150
Total			~ 45.000

HENDRY (1993)

Desde o ponto de vista econômico, as espécies das famílias *Polemoniaceae* e sobretudo *Asteraceae*, da qual faz parte o yacon; são mais importantes (ZARDINI, 1991).

O acúmulo de frutanos pode ocorrer em órgãos especializados das plantas como raízes e talhos, mas, também nas folhas (PREISS & LEVI, 1980). Na Tabela 2-6 são mostrados os dados referentes ao conteúdo de frutanos e outros carboidratos em diferentes partes do yacon.

Tabela 2-6: Conteúdo de frutanos e outros carboidratos solúveis em água, em diferentes partes da planta do yacon.

Partes	Peso da amostra fresca (g/planta)	Peso da amostra seca (g/planta)	Teor (mg/g matéria seca)					
			G	F	GF	GF ₂	GF ₃	GF ₄
Folhas	229	38	9	4	19	2	1	1
Talho superior	33	3	24	9	22	9	3	3
Talho inferior	40	4	54	32	39	45	29	17
Rizomas	63	10	32	29	33	74	65	47
Raiz tuberosa	186	26	31	6	51	110	80	40
Raiz	91	10	27	4	36	74	49	28

FUKAI et al. (1993)

G: glicose

GF₂: 1-kestose

F: frutose

GF₃: nistose

GF: sacarose

Gf₄: frutofuranosilnistose

A comparação dos dados da Tabela 2-6 permite estabelecer que os rizomas e as raízes tuberosas contêm mais frutanos que as demais partes da planta. EDELMAN & JEFFORD (1968) já tinham verificado que os frutanos são os carboidratos de reserva em órgãos de armazenamento especializados como bulbos, raízes tuberosas e rizomas.

Além de serem carboidratos de reserva de longo prazo, os frutanos poderiam ter outras funções como a de atuar como compostos de reserva de curto

prazo, como osmoreguladores dentro das células e como crioprotetores (POLLOCK, 1986). SUGIURA & NAKANISHI (1999) verificaram a função osmoreguladora através do estudo do efeito do estresse hídrico no conteúdo do FOS nas raízes tuberosas do yacon. A percentagem de frutanos decresceu de 74% a 55% durante o período de estresse, o fato permite deduzir que houve uma despolimerização que alterou o balanço osmótico das células para que possam adaptar-se ao período de seca.

Embora existam poucos estudos sobre a relação entre o acúmulo de frutanos e o clima, LEVITT (1980) tem sugerido que haveria uma tolerância ao congelamento nas plantas portadoras de frutanos. Os agricultores de yacon na região andina têm obtido melhores rendimentos em locais onde há geadas.

Alguns frutooligossacarídeos, tais como 1-kestose, nistose e frutofuranosilnistose podem ser produzidos a partir da sacarose, pela ação das enzimas microbianas β -frutofuranosidase (E.C. 3.2.1.26) e β -frutosiltransferase (E.C. 2.4.1.9). Um número significativo de bactérias e fungos produzem estas enzimas, porém, os mais utilizados têm sido de *Aureobasidium spp.* (YUN *et al.*, 1990; YUN *et al.*, 1992; OLIVEIRA, 1997) e de *Aspergillus niger* (HIDAKA *et al.*, 1988).

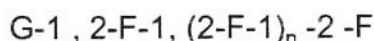
2.2.2. Estrutura química e nomenclatura

Os frutanos são oligo- e polissacarídeos, constituídos por uma molécula de sacarose, à que se unem resíduos de frutose por ligações glicosídicas $\beta(2\rightarrow1)$ e $\beta(2\rightarrow6)$, podendo ser lineares ou ramificados. De acordo a SMITH (1993) os frutanos podem dividir-se, por suas estruturas, em três grupos: inulinas, levanos e graminanos.

2.2.2.1. Inulinas

IZZO & FRANCK (1998) têm descrito a inulina como uma mistura de polímeros lineares de frutose, nos quais o grau de polimerização está na faixa de 2-60. De acordo à IUPAC e AOAC, os frutooligossacarídeos (FOS) são uma parte da inulina, nos quais o grau de polimerização é 10 ou menos.

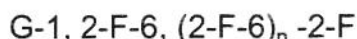
A estrutura da inulina está baseada no composto chave 1-kestose (GF_2) (Figura 2-4). A fórmula geral destes compostos é, segundo POLLOCK (1986):



Este tipo de frutanos é característico da alcachofra de Jerusalém (SMITH, 1993) e do yacon (GOTO *et al.*, 1995).

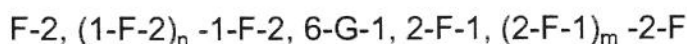
2.2.2.2. Levanos

São frutanos presentes em bactérias e espécies da ordem *Poales* (FIGUEIREDO RIBEIRO, 1993), e as vezes, são chamados de phleins, quando se encontram nas plantas. Suas estruturas tem como base a 6-kestose. Os resíduos de frutose se unem à sacarose através de ligações $\beta(2 \rightarrow 6)$, formando polímeros que, de acordo a POLLOCK (1986), apresentam a seguinte fórmula geral:



2.2.2.3. Graminanos

São homólogos baseados na neokestose. O resíduo glicose se une diretamente a ambos resíduos de frutose, nas posições 1 e 6. A elongação da cadeia pode ocorrer em ambos os resíduos de frutose, gerando-se uma molécula linear não-redutora, com a glicose dentro da cadeia. No caso, a fórmula geral é (POLLOCK, 1986):



Portanto, os "graminanos" são moléculas portadoras de ligações glicosídicas $\beta(2 \rightarrow 1)$ e $\beta(2 \rightarrow 6)$ (MARX *et al.*, 1997; DE ROOVER *et al.*, 1999).

Na Figura 2-4 são mostradas as fórmulas estruturais dos três tipos de frutanos.

Tipo	Substância base da elongação	Estrutura
Inulina		
Levano		
Graminano		

Figura 2-4: Fórmulas estruturais dos frutanos (MITSUKA *et al.*, 1987; SMITH, 1993)

No que diz respeito à nomenclatura dos FOS e da inulina, existem várias formas, como foi descrito por LEWIS (1993). Na maior parte dos casos, usa-se a palavra kest-n-ose, pois foi na cidade de Keston (Grã Bretanha) onde isolou-se pela primeira vez a 1-kestose (LEWIS, 1993).

Na Tabela 2-7 são apresentados alguns exemplos dos diferentes tipos de frutanos.

Tabela 2-7: Ocorrência de frutanos naturais.

Tipo	Ocorrência	Referência
Inulina	<i>H. tuberosus</i> <i>P. sonchifolia</i> <i>Compositae spp</i> <i>Boreginaceae</i> <i>Iridiaceae</i>	ELDEMAN & JEFFORD (1968) GOTO <i>et al.</i> (1985) KANDLER & HOPF (1980) KANDLER & HOPF (1980) KANDLER & HOPF (1980)
Levano	<i>Graminaceous spp</i> <i>Lolium italicum</i> <i>Gomphrena macrocephala st.hil</i>	POLLOCK <i>et al.</i> (1979) ROCHER (1967) VIEIRA & FIGUEIREDO-RIBEIRO (1993)
Graminano	<i>Asparagus officinalis</i> <i>Leucojum spp</i>	SHIOMI <i>et al.</i> (1976) HAMMER (1970)

Muitas espécies das famílias *Liliaceae* e *Gramineae* contêm misturas de diferentes tipos de frutanos (DARBYSHIRE & HENRY, 1978; SHIOMI *et al.*, 1976) a diferença da alcachofra de Jerusalém e do yacon, onde apenas frutanos lineares do tipo inulina tem sido identificados.

A distribuição do tamanho das moléculas de frutanos nas diferentes espécies é variável. Segundo NELSON & SPOLLEN (1987) as inulinas podem atingir graus de polimerização (DP) maiores a 100. HENDRY (1993) relatou DP>300, enquanto DEONDER (1972) relatou DP de várias centenas (PM ~ 30.000) em frutanos bacterianos.

EDELMAN & JEFFORD (1968), com base em dados de diferentes autores, estabeleceram um DP médio da inulina do *H. tuberosus* de 35 (PM ~ 5.500). No caso de aveia, POLLOCK (1986) observou DP entre 5-10 (PM ~1.000 - 2.000) e, ISEJIMA *et al.* (1991) determinaram frutanos com pesos moleculares entre 16.000-18.600 nas raízes tuberosas de *Viguiera discolor* Baker.

No caso do yacon, tem sido observado que o frutano maior teve um DP de 10 (GOTO *et al.*, 1995) com um DP médio de 2,6 (FUKAI *et al.*, 1993), ou entre 4,34 - 4,78 (ASAMI *et al.*, 1992), segundo o tipo de amostra.

SPRENGER *et al.* (1997) trabalhando com tabaco transgênico têm produzido frutanos, que em condições normais não são sintetizados pela planta. Sempre em tabaco transgênico, SCHELLEMBBAUM *et al.* (1999) detectaram frutanos com DP 2-3, e anteriormente, EBSKAMP *et al.* (1994) relataram a formação de frutanos com DP>25.000.

A chicória sintetiza normalmente inulina linear, mas, por meio de técnicas de engenharia genética, SPRENGER *et al.* (1997) induziram a biossíntese de inulina ramificada.

2.2.3. Propriedades químicas e físico-químicas

Os frutanos são carboidratos não redutores e por isso não participam nas reações de Maillard (DREVON & BORNET, 1992). De acordo com ARCHBOLD (citado por POLLOCK, 1986) são ligeiramente hidrolizados pela invertase microbiana.

A hidrólise ácida da inulina, conduzida a temperatura e pressão elevadas, produz principalmente frutose (ENCYCLOPEDIA ULLMAN'S, 1989).

Algumas enzimas hidrolíticas, produzidas por micróbios e plantas, conhecidas como inulinases, E.C. 3.2.1.7 (IUPAC - IUB, 1972) são capazes de clivar as ligações $\beta(2\rightarrow1)$ dos frutanos, gerando frutose e glicose. De acordo com seu modo de ação, as inulinases se classificam em endo- e exo- inulinases. Estas últimas separam os resíduos de frutose a partir da frutose terminal, em um mecanismo em cadeia, sob condições adequadas de pH e temperatura. Já as endo- inulinases agem nas ligações $\beta(2-1)$ não terminais e podem produzir compostos do tipo GF_n e F_n (inulo - n - oses) além de frutose e glicose (VAN DEN ENDE *et al.*, 1996)

NAKAMURA & OHTA (1999) obtiveram uma mistura de 97% de frutose e 3% de glicose, a partir de uma solução de inulina de dália, utilizando uma endo-inulinase parcialmente modificada de *A. niger*, imobilizada e empacotada em uma coluna a 40°C, com regime contínuo. KOCHAR *et al.* (1997) purificaram uma inulinase a partir de *Aspergillus candidus*, com atividade exo-inulinase, que degradou totalmente a inulina e tendo um pH ótimo de 5,5 e temperatura ótima de 45°C.

A solubilidade dos frutanos em água é grande. Também são solúveis, da mesma forma que todos os oligossacarídeos não digestíveis, em etanol a 80%, a pH 2 e 0°C, a diferença de outros polissacarídeos (VAN LOO *et al.*, 1998). Esta propriedade se aplica na análise de polissacarídeos não-amídicos (ENGLYST *et al.*, 1994).

Os frutooligossacarídeos são bastante estáveis a pH maiores a 3 e temperaturas inclusive superiores a 140°C, da mesma maneira que a sacarose (BORNET, 1994). Mantidas sob refrigeração, as soluções aquosas de FOS são estáveis por vários meses ou mais de um ano (YUN, 1996).

A maior mudança que poderiam sofrer os FOS em soluções aquosas é a hidrólise. A pH 3,5 uma solução a 10% tratado a 145°C por 10 segundos hidrolizou-se menos de 10%, o mesmo que ocorreu a 95°C por 5 minutos ou 70°C por 60 minutos. Depois de 2 dias a 30°C, menos de 5% se hidrolisa (VORAGEN, 1998).

A estabilidade térmica dos FOS foi relatado como sendo superior à da sacarose, na faixa de pH da maior parte dos alimentos (pH 4-7) (MEIJI SEIKA CO., 1982).

A capacidade de retenção de água dos FOS é superior à da sacarose e similar à do sorbitol (DREVON & BORNET, 1994) isso porque são bastante higroscópicos. Da mesma maneira, a viscosidade destas em relação às soluções de sacarose é superior, à mesma concentração (MEIJI SEIKA CO., 1982).

Tabela 2-8: Propriedades físicas de alguns carboidratos presentes no yacon

Descrição	Glicose (G)	Frutose (F)	Sacarose (GF)	1-Kestose (GF ₂)	Inulina (GF _n) ⁽¹⁾
Fórmula	C ₆ H ₁₂ O ₆	C ₆ H ₁₂ O ₆	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	C ₁₈ H ₃₂ O ₁₆	—
Peso molecular (g/mol)	180,2	180,2	342,3	504,4	~ 5000
Solubilidade a 20°C em água (g/l)	30	376	66,7	—	—
Rotação óptica [α] _D ²⁰	112,2° → 92°	-133,5° → 92	66,5°	28,5°	- 40°
Ponto de fusão (°C)	—	105	185-187	200-205	—

Elaborado com dados de MERCK INDEX (1996) e DICTIONARY OF NATURAL PRODUCTS (1994)

⁽¹⁾Corresponde a um frutano com DP ~ 35, similar ao extraído de *H. Tuberosus*

Tabela 2-9: Composição de frutooligosacarídeos e inulina de origem comercial

Produto	Origem	Concentração (%)								Referências
		G+F	GF	GF ₂	GF ₃	GF ₄	GF ₅ -GF ₈	GF ₉ -GF ₆₀	F ₂ -F ₉	
Actilight	Sintético			44	46	10				MOLIS <i>et al.</i> (1996)
Neosugar "G"	Microbiana	35	10	25	25	5				HIDAKA & HIRAYAMA (1991)
Neosugar "P"	Microbiana			45	45	5				HIDAKA & HIRAYAMA (1991)
Raftilose	Vegetal	8,0	6,3	6,2	12,9	13,6	10,4		42,5	VAN LOO <i>et al.</i> (1991)
Raftiline	Vegetal	1,2	5,4	3,1	3,7	4,0	26,8	54,3	1,5	VAN LOO <i>et al.</i> (1991)

G: glicose

F: frutose

GF: sacarose

GF₂: 1-kestose

GF₃: nistose

F₂: inulobiose

F_n: inulo-n-ose

De maneira geral, os FOS e os polifrutanos são apresentados comercialmente, como finos pós brancos, e de acordo com alguns autores, existem fortes evidências de que algumas das suas propriedades físicas são similares às da sacarose, especificamente nos casos da solubilidade, ponto de fusão, ponto de ebulição e características cristalográficas.

A Tabela 2-8 mostra algumas propriedades físicas dos frutanos e outros carboidratos expressivos do yacon.

2.2.4. Poder adoçante

Os produtos comerciais Neosugar® (Meiji Seika, Co, Japão), Actilight® (EBS, França) e Raftilose® (Orafti, Bélgica) são misturas de FOS, de sabor global menos doce que a sacarose. Suas composições vêm detalhadas na Tabela 2-9.

Os frutanos com DP elevado, $DP > 10$, não são doces tal como acontece com os produtos comerciais Raftiline® (Orafti, Bélgica), Frutafit® e Fibruline® (COSUCRA, Bélgica). No caso, estes produtos não são usados como adoçantes, mas como substitutos de gordura (GORDON, 1996), como fibra alimentar ou como agentes que dão volume e corpo aos alimentos manufaturados.

A frutose, carboidrato sempre presente no yacon, possui um poder adoçante de 30% a 70% maior do que da sacarose, segundo a composição do meio. Além disso, tem a vantagem de ser um adoçante não calórico (ENCYCLOPEDIA ULLMAN'S, 1989). O metabolismo da frutose é diferente ao da glicose e independente da insulina, sendo assim, bem tolerada pelos diabéticos (TAYLOR, 1998), embora grandes quantidades possam induzir uma hipertrigliceridemia, em sujeitos suscetíveis (UUSITUPA, 1994).

A Tabela 2-10 resume o poder adoçante dos carboidratos majoritários do yacon, tomando-se como padrão de comparação uma solução de sacarose a 10%

Tabela 2-10: Poder adoçante dos açúcares do yacon

Açúcar	Valor (%)
Sacarose	100
Glicose	70
Frutose	170
1-Kestose	31
Nistose	22
Frutofuranosilnistose	16

YUN (1996)

2.2.5. Valor calórico

Os frutanos do tipo inulina são carboidratos resistentes às enzimas hidrolíticas da saliva e do aparelho digestivo do homem (ROBERFROID, 1997).

Quando ingeridos pelo homem, os frutanos atingem o cólon onde são fermentados pela flora colônica, composta principalmente de bifidobactérias. Pela ação destas bactérias, são liberados ácidos graxos de cadeia curta (short chain fatty acids, SCFA) como ácido acético, propiônico e butírico; além de CO_2 , CH_4 e H_2 (WANG & GIBSON, 1993).

O organismo humano absorve os SCFA, os degrada e aproveita a energia produzida. Este processo bioquímico foi esquematizado por OKU (1994), tal como aparece na Figura 2-5.

ROBERFROID *et al.* (1993) avaliaram o valor calórico dos frutooligosacarídeos usando equações bioquímicas para o carbono, rotas metabólicas nas bifidobactérias (fermentação e oxidação anaeróbica das hexoses) encontrando que o rendimento de energia para o hospedeiro, estaria na faixa de 1,1 - 1,7 Cal/g. Usando outra metodologia baseada no balanço da lipogênese, ROBERFROID *et al.* (1993) concluíram que o valor calórico dos FOS está em torno de 1 a 1,5 Cal/g.

MOLIS *et al.* (1996) fizeram uma estimativa do valor energético dos FOS utilizando a equação:

$$\text{Valor energético} = [(1 - A - B) \times 16,7 \text{ kJ/g} + (A - C) \times 8,4 \text{ kJ/g}]$$

onde:

A: fração não absorvida no intestino delgado.

B: fração excretada na urina.

C: fração excretada pelos intestinos.

16,7 = conteúdo de energia dos FOS absorvidos no intestino delgado.

8,4 = energia disponível devido à digestão dos FOS no intestino grosso.

O valor energético obtido desta maneira foi 2 - 2,2 Cal/g.

ROBERFROID (1999) determinou o valor calórico dos FOS pelo método fatorial da FASEB/LSRO através da expressão:

$$\text{Calorias} = (A - B) \times (1 - C) \times (1 - D) \times E$$

onde:

A: energia que entra ao cólon como substrato fermentável (3,9 Cal/g).

B: energia excretada nas fezes.

C: proporção de átomos de C do substrato fermentável que vai para a massa bacteriana (0,15 - 0,21).

D: perda de C e energia devida à fermentação (0,25 - 0,30).

E: eficiência da utilização dos ácidos graxos de cadeia curta pelo hospedeiro comparado com a glicose (0,70).

O valor encontrado por ROBERFROID (1999) foi de 1,5-1,7 Cal/g, similar às outras estimativas do autor (ROBERFROID *et al.*, 1993).

Resumindo, a energia que fornecem os FOS se situa em torno de 25% - 50% do respectivo valor que fornece a glicose (3,9 Cal/g).

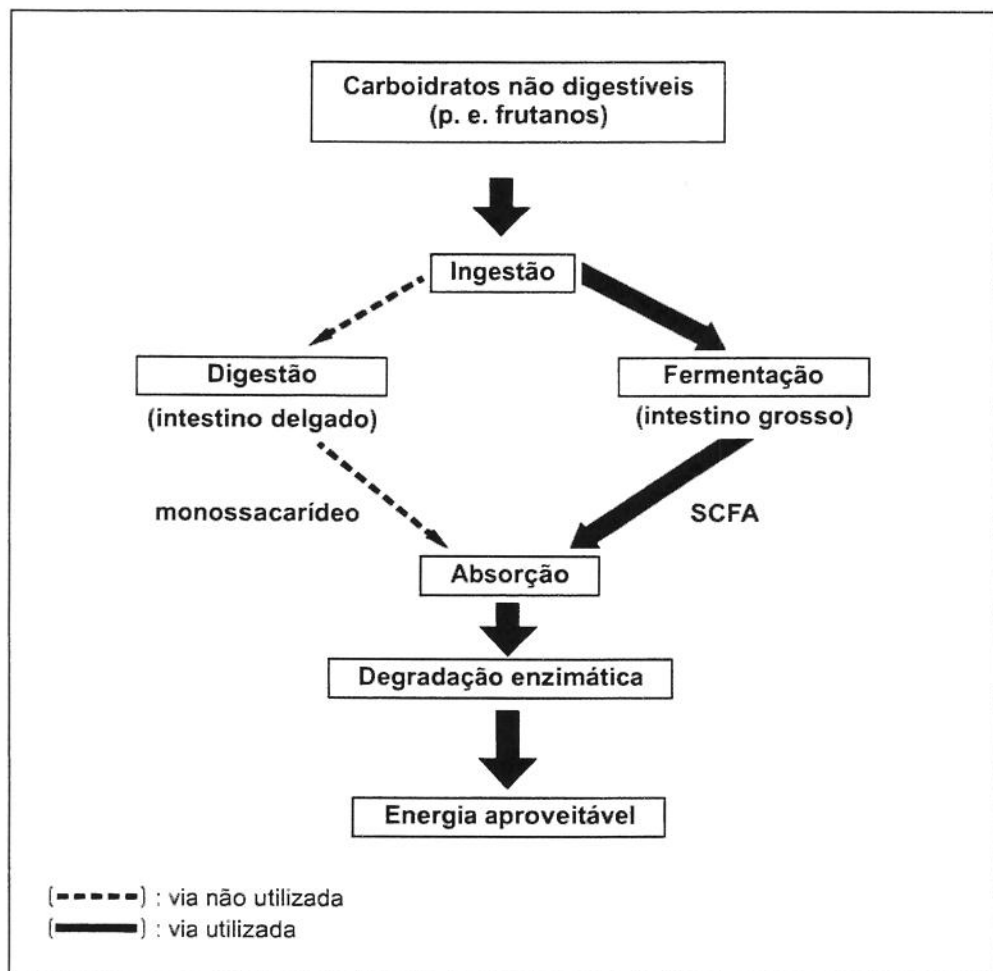


Figura 2-5: Via degradativa dos carboidratos não digestíveis (OKU, 1994). SCFA (ácidos graxos de cadeia curta).

2.2.6. Toxicidade

Numerosos estudos têm sido conduzidos para avaliar a toxicidade dos frutooligosacarídeos; *in vitro* e, *in vivo*, tanto em animais quanto em humanos.

Os estudos *in vitro* para determinar o potencial tóxico em animais incluíram o teste de mutação microbiana reversa, o teste de mutação de genes e o teste de síntese não programada de DNA. Os testes não evidenciaram qualquer potencial genotóxico, carcinogenético nem toxicidade subcrônica (CLEVINGER *et al.*, 1988; TOKUNAGA *et al.*, 1986). Porém, ALLES *et al.* (1997) e DAVIDSON *et al.* (1998), observaram a aparição de flatulência em sujeitos que consumiram dietas contendo 15 g/dia e 18 g/dia, respectivamente.

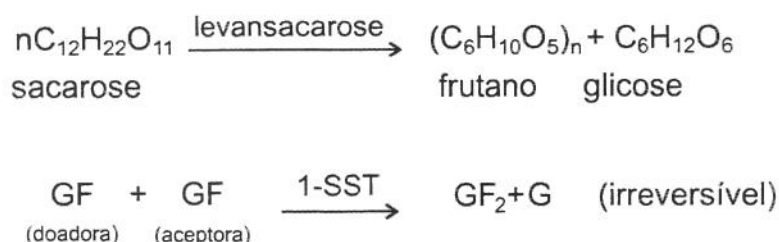
Somente pessoas muito sensíveis (1 a 2% da população) sofrem diarreia ou intolerância gastrointestinal com doses de 10 g/dia (COUSSEMENT, 1999).

Como a inulina e os FOS têm sido consumidos durante séculos (por exemplo pelos aborígenes da Austrália, os antigos europeus, os incas, etc.) não há motivos para pensar que sejam compostos que ameacem a saúde pública. Por isso, tem sido reconhecidos como seguros (GRAS, generally recognized as safe) nos Estados Unidos. Segundo PROSKY & HOEBREGS (1999) a inulina e a oligofrutose foram reconhecidas como fibras alimentares por 12 países da União Européia

2.2.7. Biossíntese e degradação dos frutanos tipo inulina

2.2.7.1. Modelos de síntese e degradação

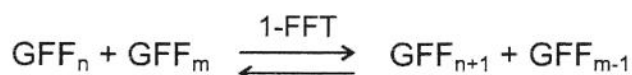
HESTRIN & AVINARI - SHAPIRO (citados por DEBY, 1965) estabeleceram a formação dos frutanos a partir da sacarose segundo a equação global:



Essa hipótese pioneira foi a base para a determinação das vias anabólicas nas plantas. Posteriormente, EDELMAN & JEFFORD (1968) conduziram estudos sobre a biossíntese da inulina em tubérculos de *Helianthus tuberosos* L., propondo um modelo que envolve a participação concertada de duas enzimas. Em uma primeira etapa, a sacarose: sacarose frutossiltransferase (1-SST, E.C.2.4.1.99) catalisa a formação de 1-kestose, a partir de duas moléculas de sacarose:

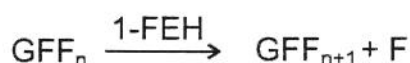


Na segunda etapa, o frutano: frutanofrutossiltransferase (1-FFT, E.C. 2.4.1.100) catalisa a transferência de frutose de uma molécula de inulina a outra:



onde "n" e "m" são iguais ou maiores a 1.

A degradação dos frutanos do tipo inulina nas plantas ocorre pela ação de uma enzima hidrolítica, a frutano-exohidrolase ou β -frutofuranosidase (1-FEH, E.C. 3.2.1.80) que age removendo as moléculas de frutose terminais (despolimerização):



As enzimas 1-SST e 1-FFT estariam localizadas nos vacúolos (DARWEN & JOHN, 1989; FREHNER *et al.*, 1984) da mesma forma que a 1-FEH (FREHNER *et al.*, 1984; SMITH, 1993).

FUKAI *et al.* (1993) evidenciaram a atividade da 1-SST e da 1-FEH em diferentes partes da planta do yacon. No caso das raízes tuberosas e dos rizomas constataram que quando houve uma elevada atividade da 1-SST, paralelamente foi observada uma baixa atividade do 1-FEH. Enquanto isso, nas folhas e talho superior apresentou-se a situação contrária.

A atividade concertada das enzimas 1-SST e 1-FFT embora seja detectada nas etapas iniciais do crescimento, só é expressiva durante a etapa de acúmulo neto de inulina, que ocorre após 5 a 6 meses da implantação do yacon, para logo cair (FUKAI *et al.*, 1993). A mesma tendência foi observada por VAN DEN ENDE *et al.* (1996c) nas raízes da chicória.

As relações metabólicas dos diferentes compostos envolvidos na síntese e degradação da inulina têm sido explicadas por modelos propostos por diferentes autores. A Figura 2-6 mostra esquematicamente essas relações em dois casos; nas folhas da cevada e nos tubérculos da alcachofra de Jerusalém.

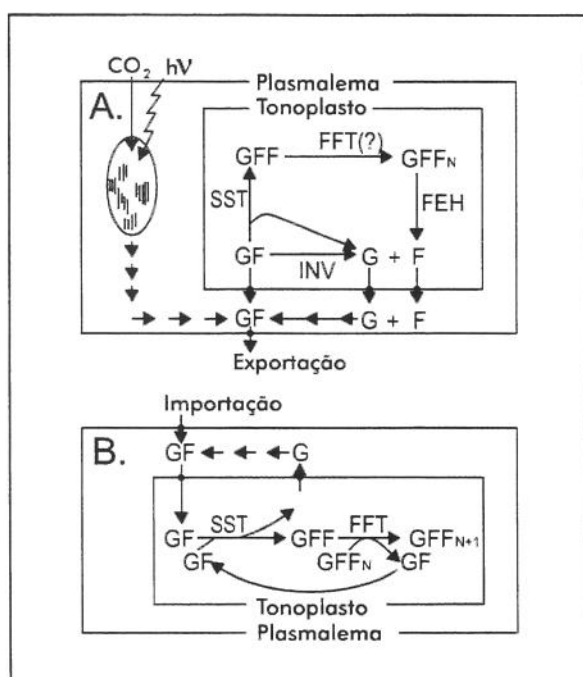


Figura 2-6: Modelos de síntese de frutanos do tipo inulina no citoplasma de uma célula fotossintética de cevada (A) e em uma célula de tubérculo de alcachofra de Jerusalém a partir de sacarose importada (B).

Modelos de WAGNER e de FREHNER *et al.* (Fonte: NELSON & SPOLLEN, 1987).

Existem fortes evidências de que a sacarose é o substrato para a síntese de frutanos. Nas folhas especificamente, o ^{14}C acumulado na sacarose a partir de $^{14}CO_2$ é progressivamente perdido, aparecendo nos frutanos, sem ser detectado em nenhum outro intermediário (SMITH, 1993) (Vide Figura 2-6 (A)). Um outro elemento que

reforça esta hipótese de que o nucleósido UDP-frutose, encontrado na alcachofra de Jerusalém, não participa da síntese dos frutanos (CANDY, 1980).

O mecanismo esquematizado na Figura 2-6 (B) indica que a enzima 1-SST inicia a síntese do trissacarídeo GFF que, por sua vez, reage com um frutano de DP maior ou outra GFF, na presença de 1-FFT, aumentando seu DP. Quando as plantas necessitam os frutanos armazenados em uma situação de baixa concentração de sacarose, ocorre a inativação de 1-SST e a remoção simultânea de resíduos de frutose terminais pela ação da 1-FEH formando-se frutose que é transportado fora da célula e usada no metabolismo celular ou respiração (NELSON & SPOLLEN, 1987)

A sacarose (GF) tem um papel chave na síntese de frutanos. Em decorrência disso, a síntese de GF₂ pela 1-SST está limitada pela disponibilidade de GF, pelo menos na faixa de 0-100 mol/m³ (VAN DEN ENDE & VAN LAERE, 1993; CAIRNS & ASHTON, 1991); isto implica que uma elevada concentração de GF favorece indiretamente a primeira polimerização, sugerindo uma relação diretamente proporcional.

Segundo EDELMAN & JEFFORD (1998), a sacarose inibe a 1-FEH nos tubérculos de alcachofra de Jerusalém, constituindo este fato, uma forma de regulação do metabolismo dos frutanos. Porém, isto não ocorre com a 1-FEH das folhas da cevada (WAGNER & WIEMKEN, 1986).

Resumindo, embora o modelo proposto por EDELMAN & JEFFORD (1968) tenha sido criticado pela ausência de dados consistentes de dados na síntese "de novo" in vitro (CAIRNS, 1993), ainda é um modelo válido como hipótese de trabalho nos estudos de metabolismo de frutanos (KOOPS & JONKER, 1996).

2.2.7.2. Características das enzimas 1-SST, 1-FFT e 1-FEH

Utilizando técnicas de cromatografia de troca iônica (AEC), formação de gel (GPC), eletroforese e outras técnicas de separação, têm sido caracterizadas as enzimas envolvidas na síntese e na degradação dos frutanos, 1-SST, 1-FFT e 1-FEH. A Tabela 2-11 ilustra algumas características físico-químicas relevantes de ditas enzimas.

A origem e as características das enzimas 1-SST e 1-FFT influem na quantidade e nas particularidades dos frutanos sintetizados. O grau de polimerização por exemplo pode estar determinado por essas características. HELLWEGE *et al.* (1998) sugeriram que a inulina da alcachofra de Jerusalém (DP= 8-10) é menor que a inulina da alcachofra comum (DP = 65) pelas características da enzima 1-FFT e talvez da 1-SST e 1-FEH.

2.2.8. Propriedades funcionais da inulina e dos FOS

Por volta dos anos 80 surgiu no Japão o conceito de alimento funcional, através de um projeto de pesquisa em nutrição. Concluiu-se na época, que os alimentos funcionais desempenham três funções no corpo (ICHIKAWA, 1994):

- a) a primeira função é nutricional
- b) a segunda função é organoléptica
- c) a terceira função está relacionada à prevenção de doenças, à promoção da saúde e a restauração das funções orgânicas.

ROBERFROID (1998) definiu como alimento funcional aquele que contém, em concentração adequada, um ou mais componentes que afetam as funções no corpo e produzem efeitos celulares e fisiológicos positivos. Atualmente o Japão possui oficialmente os chamados "alimentos funcionais para usos específicos na saúde", sob licença do Ministério da Saúde. Muitos países da Europa têm seguido esse mesmo rumo, porém o governo dos Estados Unidos ainda não reconhece os alimentos funcionais apesar de serem largamente comercializados.

Dentro da variada gama de alimentos funcionais, são de particular destaque os probióticos, os prebióticos e simbióticos. Os alimentos probióticos contêm suplementos microbianos vivos e que promovem a saúde, melhorando o balanço microbiano do hospedeiro. A grande maioria dos probióticos são bactérias dos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* (GOLDIN, 1998).

Já os prebióticos são definidos como ingredientes alimentares não digestíveis e que afetam favoravelmente o crescimento e a atividade de um número limitado de bactérias no cólon, beneficiando o hospedeiro (GIBSON & ROBERFROID, 1995).

Quando os probióticos e prebióticos são usados em combinação em um produto, fala-se de um simbiótico.

Tabela 2-11: Características das enzimas envolvidas no metabolismo de frutanos

Enzima	Fonte	Peso molecular (daltons)	pH ótimo	Temperatura ótima (°C)	K _M (mM)	Referências
1-SST	<i>H. tuberosus</i>	67.000	2,7 - 6,5	20 - 25	—	KOOPS & JONKER (1996)
1-SST	<i>H. tuberosus</i>	—	5,5	—	—	FREHNER <i>et al.</i> (1984)
1-SST	<i>P. sonchifolia</i>	—	5,0 - 5,5	—	—	FUKAI <i>et al.</i> (1993)
1-FFT	<i>H. tuberosus</i>	70.000	5,5 - 7,0	25 - 30	—	KOOPS & JONKER (1994)
1-FFT	<i>H. tuberosus</i>	—	6,0	—	—	FREHNER <i>et al.</i> (1984)
1-FFT ⁽¹⁾	<i>C. intybus</i>	69.000	5,5 - 6,5	0	0,68 / 5	VAN DEN ENDE <i>et al.</i> (1996b)
1-FFT	<i>P. sonchifolia</i>	—	5,5 - 6,0	—	—	FUKAI <i>et al.</i> (1993)
1-FEH ⁽²⁾	<i>H. tuberosus</i>	75.000 / 79.000	5,2	>40	8,3	MARX <i>et al.</i> (1997)
1-FEH ^(1,2)	<i>C. intybus</i>	60.000 / 64.000	5,0 - 5,5	35	58 / 66	DE ROOVER <i>et al.</i> (1999)

⁽¹⁾Os valores da constante de Michaelis - Menten (K_M) são referidos a mais de um substrato, de diferente DP.

⁽²⁾Os valores dos pesos moleculares diferentes, para uma mesma enzima, são devidos à utilização de técnicas diferentes

A Tabela 2-12 traz uma lista parcial de alguns alimentos funcionais; probióticos, prebióticos e simbióticos, vigentes nos mercados da Europa e do Japão. Em muitos dos produtos citados são usados FOS ou inulina. As principais razões que motivam seu emprego são:

- fatores bifidogênicos.
- os FOS são adoçantes de baixa cariogenicidade. Segundo YUN (1996) os FOS não são utilizados pelo *Streptococcus mutans* na formação de ácidos e glucanos insolúveis, causadores das cáries. Já a glicose, frutose ou sacarose que acompanham aos FOS em pequenas proporções responderiam pela baixa cariogenicidade.
- são compostos de baixas calorias.
- ajudam a prevenir doenças.

Pelo fato de serem compostos hipocalóricos e não terem relação com a insulina como ocorre com carboidratos como a glicose e sacarose, a inulina bem como os oligofrutos são inócuos para os diabéticos.

Por outro lado, a inulina tem sido introduzida na indústria alimentar como substituto de gordura, de uma maneira vantajosa, pois além de não influir na textura nem nas propriedades organolépticas, permite reduzir consideravelmente a ingestão de calorias. Isto é um meio de combater a obesidade e as doenças coronárias (GORDON *et al.*, 1995).

A inulina é comercializada também sob a forma de comprimidos, como no caso do Inubio® forte (1000 mg de inulina/comprimido), fabricado a partir da chicória. Segundo os fabricantes, o produto aumenta o crescimento das bifidobactérias, permitindo a limpeza dos intestinos de bactérias patogênicas. Estas alegações, no entanto, precisam de mais estudos clínicos, visando confirmar estas propriedades funcionais, como exigem os padrões da indústria farmacêutica (YOUNG, 1996).

Nos últimos anos, o emprego de inulina e FOS tem crescido, pelas características de fibra que possuem, sendo "invisíveis" no gosto e propriedades organolépticas (NINESS, 1999). Alimentos tão diversos como refrigerantes, bebidas lácteas, doces, balas, chocolates, sobremesas, pães, conservas de frutas, cremes, geleias, etc. contêm FOS ou inulina.

Tabela 2-12: Exemplos de alimentos funcionais baseados na inulina ou FOS, presentes no mercado internacional.

Produto / Tipo	Componentes ativos	Empresa fabricante	Referências
Symbalance / iogurte	<i>Lactobacillus reuteri</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> (probióticos) Rafiline (inulina, prebiótico)	Tonilait, Suíça	YOUNG (1998)
Probiotic / iogurte	<i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Lactobacillus bifidus</i> (probióticos) Rafilose (oligofrutose, prebiótico)	Bauer, Alemanha	YOUNG (1998)
Actiline spread / margarina	Inulina	Vandermoortele, Bélgica	YOUNG (1998)
Linha dietética / biscoitos, alimentos prontos, etc.	Frutooligossacarídeos	Vivis, França	YOUNG (1998)
Sorvetes	Frutooligossacarídeos	Thiriet, França	YOUNG (1998)
Fibe Mini / Refrigerantes	Fibra dietética Sais Vitaminas	Otsuka, Japão	ICHIKAWA (1994)
Fibi / refrigerante	Frutose Fibra	Coca-cola, Japão	ICHIKAWA (1994)
Bifiel / iogurte	Bactérias Láticas Oligossacarídeos	Yakult, Japão	ICHIKAWA (1994)
Cereais	Fibra Frutooligossacarídeos	Meiji Seika, Co. Japão	ICHIKAWA (1994)

Uma equipe de especialistas europeus trabalhou durante um período de mais de três anos no projeto denominado ENDO (European project on non-digestible oligosaccharides), alcançando um consenso sobre as prováveis propriedades funcionais dos FOS e outros carboidratos não digestíveis. O consenso inclui:

- a) Efeitos bifidogênicos na microflora colônica.
- b) Efeitos na absorção de minerais.
- c) Efeitos no metabolismo dos lipídios.
- d) Efeitos na carcinogênese e na resposta imune.

Neste trabalho se faz uma discussão sobre esses tópicos de interesse, identificados como relevantes pelo projeto ENDO e ainda acrescenta-se, um item de outros efeitos, não abordados pelo projeto.

2.2.8.1. Efeitos bifidogênicos e na microflora colônica

Os FOS, a inulina e muitos oligossacarídeos não digeríveis, depois de serem ingeridos, escapam à digestão no intestino delgado, porém são quantitativamente fermentados logo, no cólon, pela flora colônica, produzindo-se gases, ácidos graxos de cadeia curta e lactato (ROLAND *et al.*, 1995; CAMPBELL *et al.*, 1997).

A Figura 2-7 permite observar a divisão das bactérias colônicas em benéficas ou perigosas; e que são afetados pelos frutanos de maneira diferente.

GIBSON *et al.* (1995), trabalhando com dois grupos de pessoas, constataram que tanto os FOS quanto a inulina possuem significativas características bifidogênicas. Diariamente cada pessoa ingeriu 15 g de FOS ou de inulina; as contagens médias de bifidobactérias incrementaram-se desde $10^{8,8}$ até $10^{9,5}$ e desde $10^{9,2}$ a 10^{10} , respectivamente. Simultaneamente houve uma redução significativa de bacteroides, fusobactérias e *Clostridium* sp.; espécies causadoras de diarreias, dano hepático, carcinogênese e putrefação intestinal.

O caráter bifidogênico dos FOS foi verificado também em ratos e gatos por HOWARD *et al.* (1995). Na explicação dos autores, haveria um aproveitamento maior desses compostos pelas bifidobactérias e portanto, ocorreriam mudanças do ecossistema colônico, desfavoráveis para outras bactérias anaeróbicas.

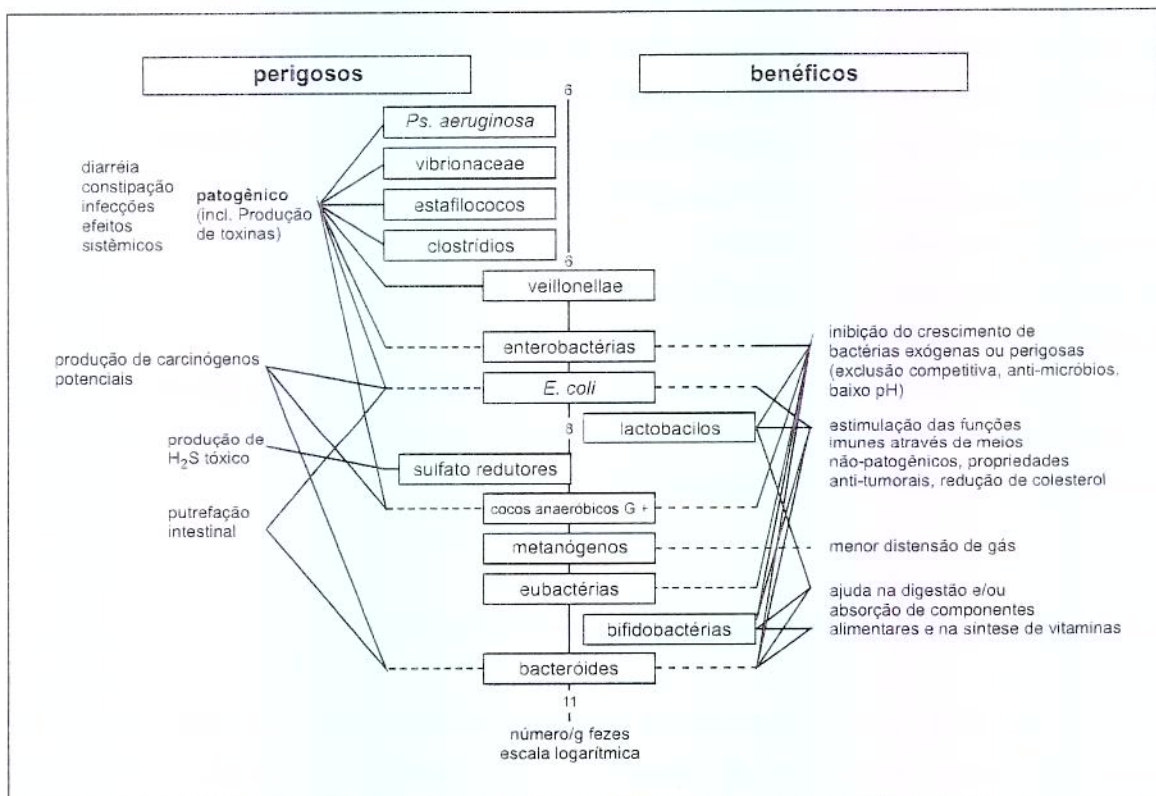


Figura 2-7: Microorganismos colônicos predominantes categorizados em perigosos e benéficos (GIBSON, 1998).

A Figura 2-8 reproduz as mudanças de composição da flora colônica, promovidas pela ingestão de FOS e inulina, em comparação ao padrão (sacarose).

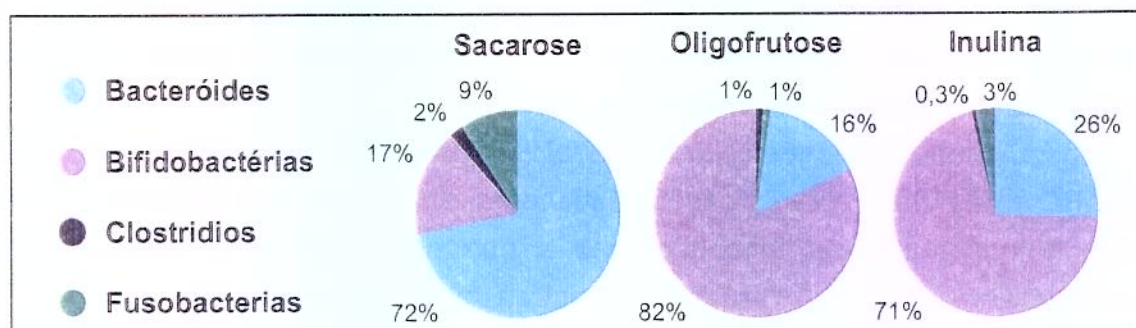


Figura 2-8: Composição majoritária da flora colônica após consumo de sacarose, FOS e inulina (GIBSON et al., 1995).

Experimentos *in vitro* realizados por WANG & GIBSON (1993) revelaram que o crescimento de bifidobactérias é viável em ambientes com pH tão baixos como 4,5, enquanto a *E. coli* e *C. perfringens* não toleram valores de pH como esses. Devido a esse fato, os FOS promovem a eliminação de microorganismos indesejáveis por serem patogênicos.

Uma série de aspectos benéficos tem sido atribuídos às bifidobactérias, por diversos autores e ressaltados por WANG & GIBSON (1993):

- são imunomoduladores contra células malignas.
- produzem vitaminas como B₁, B₆, B₁₂ e ácido fólico.
- produzem enzimas digestivas e lisosima.
- restauram a flora intestinal normal durante a terapia com antibióticos.
- com o decréscimo do pH gastrointestinal, transformam o NH₃, potencialmente tóxico, a NH₄⁺.
- a diminuição do pH, via formação de acetato e lactato, pelas bifidobactérias suprime os patógenos como *E. coli*, *C. perfringens*, *Salmonellas*, etc.

Além dos benefícios acima citados, existe uma forte evidência de que os frutanos e outros oligossacarídeos não digeríveis, normalizam os estados de constipação (VAN LOO *et al.*, 1998).

Muitas das propriedades funcionais dos FOS, notadamente, a indigestibilidade no intestino delgado e a produção de ácidos graxos de cadeia curta, são comuns às das fibras dietéticas (ROLAND *et al.*, 1995; LUO *et al.*, 1996). Similaridades nos efeitos gastrointestinais dos FOS e das fibras solúveis e fermentáveis tais como tempo de trânsito intestinal, desprezível aumento do volume dos detritos, proliferação microbiana no cólon e decréscimo do pH, foram verificados por TASHIRO *et al.* (1997) em um estudo conduzido com ratos.

Segundo ROBERFROID *et al.* (1998) os frutanos são substratos adequados para a maior parte das bifidobactérias, o que pode ser atribuído à presença de atividade frutano: frutanolidolase (E.C. 3.2.1.7) intracelular.

No que diz respeito às doses bifidogênicas de frutanos, pode-se afirmar que cerca de 4 g/dia seriam suficientes, para um adulto (ROBERFROID *et al.*, 1998; GIBSON, 1998). Contudo, fazendo parte de um produto simbiótico (junto com microorganismos), os frutanos já são bifidogênicos a doses de 2,75 g/dia e este efeito dura até sete semanas (ROBERFROID, 1998).

2.2.8.2. Efeitos na absorção de minerais

A literatura sobre a biodisponibilidade de alguns minerais como cálcio e magnésio em pessoas e animais alimentados com dietas contendo FOS é contraditória (IZZO & FRANCK, 1998) porém, o consenso dos especialistas europeus do projeto ENDO concluiu que as evidências apontam a uma maior absorção de cálcio no homem acompanhado de um acréscimo da densidade da massa óssea. Isto poderia indicar que o consumo da inulina reduz o risco da osteoporose (VAN LOO *et al.*, 1998).

OHTA *et al.* (1995, 1998a, 1998b) relataram o aumento da absorção de cálcio e magnésio em ratos no intestino grosso. Como o grau de polimerização não influi na absorção, OHTA *et al.* (1998b) concluíram que o efeito osmótico dos FOS não é a principal razão da absorção.

Patologias decorrentes das cirurgias, como a anemia e osteopenia, podem ser amenizadas pela ingestão de FOS que melhora a absorção de ferro, provavelmente porque forma-se um complexo solúvel entre lactato (metabólito das bifidobactérias) e o ferro (OHTA *et al.*, 1998b; OHTA *et al.*, 1998c).

VAN DEN HEUVEL *et al.* (1998, 1999) conduziram estudos *in vivo* com jovens que receberam 15 g/dia de inulina, observando que houve um aumento na absorção de cálcio.

Sintetizando, a maior parte dos estudos indicam que o consumo dos frutanos do tipo inulina aumenta a absorção de cálcio, e possivelmente de Mg^{+2} e Fe^{+2} (VAN LOO *et al.*, 1998).

2.2.8.3. Efeito no metabolismo dos lipídios

Vários estudos têm sugerido que a administração de inulina pode diminuir alguns lipídios séricos e que também inibiria a atividade lipogenética dos hepatócitos. DELZENNE *et al.* (1993) relataram o decréscimo dos triacilgliceróis no sangue de ratos alimentados com dietas contendo 10% de FOS, enquanto isso, o colesterol foi reduzido ligeiramente em alguns casos após longos períodos (>12 semanas). No caso, foi constatada uma expressiva redução da enzima FAS (fatty acid synthase), reguladora da síntese de ácidos graxos. Já VAN HOOF & DE SCHRIJVER (1995) não encontraram esse efeito em ratos.

DAVIDSON *et al.* (1998) conduziram um experimento com sujeitos saudáveis, mas ligeiramente hiperlipidêmicos, que consumiram 18 g/dia de inulina. Os resultados indicaram um efeito modulador no colesterol de baixa densidade (LDL), contudo, os autores sugeriram estudos adicionais.

KOK *et al.* (1996) trabalhando com ratos que acumularam triacilgliceróis induzidos pela frutose, encontraram um efeito protetor dos FOS, sob administração crônica, através de uma atividade anti-hiperlipidêmica. Ao mesmo tempo, houve uma inibição de cerca de 50% das enzimas envolvidas na síntese de lipídios por uma provável modificação da expressão genética no fígado. Consequentemente, a atividade lipogênica da frutose pode ser amenizada pela modulação da síntese *de novo* exercida pelos FOS (KOK *et al.*, 1996).

De acordo com FIORDALISO *et al.* (1995), o metabolismo dos lipídios em geral é modificado pelas fibras, e sobretudo pelo FOS, resultando na redução dos triglicerídeos plasmáticos, fosfolipídios e colesterol. Estas conclusões derivam de um estudo feito com ratos que, após um período de ingestão de dietas contendo 10% de FOS, demonstraram uma diminuição das lipoproteínas de muito baixa densidade (VLDL, em inglês), causadora dos outros decréscimos observados. A redução, na hipótese dos autores, dar-se-ia pela absorção dos ácidos graxos de cadeia curta pelas membranas intestinais e posterior migração até o fígado, onde atuariam como reguladores das vias metabólicas chaves. DELZENNE & KOK (1999) sugeriram que no fígado poderia dar-se uma redução da atividade e expressão das enzimas lipogênicas

TAYLOR & WILLIAMS (1998) sugeriram avaliar os possíveis mecanismos da modulação lipídica, não apenas do ponto de vista dos produtos da fermentação colônica, mas também levando-se em conta as hormônios intestinais e os subprodutos de fermentação colônica. VAN LOO *et al.* (1998) ressaltaram a existência de suficientes evidências sobre a modulação em animais, porém destacaram a necessidade de estudos em humanos utilizando arranjos experimentais adequados. Sob estas óticas, há atualmente várias pesquisas em andamento.

2.2.8.4. Efeitos na carcinogênese e na resposta imune

Modelos *in vivo* envolvendo ratos têm demonstrado uma significativa influência favorável da inulina e dos FOS na inibição da carcinogênese do cólon. Estes resultados são promissores, considerando que o carcinoma do cólon é o terceiro tipo de câncer mais comum nos EUA e nos países do ocidente (BORING, citado por VELAZQUEZ & ROMBEAU, 1997).

REDDY *et al.* (1997) induziram lesões pré-cancerosas em ratos usando azoximetano, e a seguir, os alimentaram com dietas contendo 10% de FOS ou inulina, observando após um período, uma redução significativa das lesões. ROWLAND *et al.* (1998) verificaram que o efeito favorável nas lesões pré-cancerosas pode ser também obtido pela administração de bifidobactérias. Já GALLAGER & KHIL (1999) concluíram que apenas a administração de um simbiótico (oligofrutose + bifidobactérias) é efetiva na redução do câncer do cólon.

TAPER *et al.* (1997) implantaram células tumorais de dois tipos, hepáticas e mamárias em ratos, e na sequência, os trataram com 150 g/kg de FOS ou inulina. Houve uma redução no crescimento dos tumores com relação ao placebo. Segundo TAPER & ROBERFROID (1999) os frutanos agem pela sua ação redutora da glicose e da insulina; sendo assim, as células tumorais aproveitam pouco a glicose e não se desenvolvem. Simultaneamente, haveria uma mudança na sensibilidade à insulina, o que seria parte do mecanismo da inibição do crescimento tumoral.

Por outra parte, especula-se que o mecanismo de ação dos frutanos na inibição dos estágios iniciais do câncer de cólon ocorreria via formação dos ácidos de cadeia curta, e mais especificamente, do ácido butírico que promove um acréscimo da apoptose no cólon (morte das células malignas). Além disso, o microambiente modificado pelas bifidobactérias no cólon pelo decréscimo do pH, seria um fator modulador da β -glucuronidase que transforma procarcinógenos em carcinógenos (KULKARNI & REDDY, 1994; citado por REDDY, 1998).

REDDY (1999) sugeriu que o efeito inibidor dos FOS no câncer de cólon seria devida à remoção física dos carcinógenos pelas bifidobactérias via fezes.

Com base nos diversos estudos, o projeto ENDO concluiu que os dados obtidos são consistentes e permitem dizer que existe uma redução evidente dos riscos de câncer de cólon em animais, sendo preciso estender as pesquisas a humanos (VAN LOO *et al.*, 1998).

2.2.8.5. Outros efeitos

TAPER *et al.* (1995) verificaram que os FOS possuem um efeito protetor contra a atrofia induzida por deficiência de cobre ou excesso de frutose. YOUNES *et al.* (1996), em estudos com ratos, determinaram que uma mistura de fibras, incluindo FOS, reduzem o nível de uréia no soro sangüíneo. Os efeitos seriam devidos à conversão do NH_3 a NH_4^+ , menos tóxico (JENKINS *et al.*, 1999).

Um aumento da excreção de nitrogênio foi também constatado por OHTA *et al.* (1998a). Desta forma, o metabolismo do nitrogênio, das proteínas principalmente, parece ser afetado pelos frutanos.

2.3. Processamento do yacon

O yacon tem sido cultivado pelos indígenas da América do Sul, porém, foi pouco valorizado nos séculos posteriores à descoberta da América. Suas interessantes possibilidades somente foram vislumbradas nos últimos anos ao conhecer-se que contem frutanos como outras espécies, principalmente a chicória, alcachofra de Jerusalém e dália. O National Reserch Council, por exemplo, o classificou como matéria-prima promissora baseado no seu alto teor de frutanos (ZARDINI, 1991).

Pelo fato de ter sido uma matéria prima pouco valorizada, existe uma limitada quantidade de estudos que abordam o aproveitamento do yacon. A seguir, são apresentados alguns trabalhos e referências sobre seu processamento.

2.3.1. Produção de yacon desidratado e farinha de yacon

Um projeto em andamento nos países andinos (Peru, Bolívia e Equador) tem trabalhado em um estudo abrangente, visando valorizar raízes e tubérculos andinos (PAPN, 1996). No caso do yacon, obtiveram-se doces desidratados, fatias e farinhas. Durante a estocagem, as farinhas formaram massas emboladas duras, mesmo dentro das embalagens de polietileno, devido à higroscopicidade dos carboidratos.

KAKIHARA *et al.* (1996) relataram a produção artesanal de desidratados tanto das raízes tuberosas como das folhas do yacon, no Brasil. No processo de secagem utilizou-se uma estufa plástica e logo uma estufa elétrica. Os produtos são fatias da raízes, semelhantes à batata "chips", e folhas secas destinadas ao preparo de chá (como auxiliar do tratamento contra o diabete e hipertensão).

2.3.2. Produção de bebidas e purê

No início da década de 90 foram desenvolvidas no Japão bebidas a partir de yacon branqueado, moído e submetidos à ação de celulase a 45°C por 2 horas. No caso, o suco de yacon foi usado principalmente como adoçante, em formulações prontas para beber (KANEKAFUCHI KAGAKU KOGIO, 1992).

A polpa de yacon pode ser preservada após um aquecimento a 89°C por 10 minutos, lavagem com solução de bisulfito de sódio a 0,5%, adição de 0,1% de sorbato de potássio, 0,3% de ácido ascórbico e acidificação até pH de 4,5 (ISHIKI, 1997; citado por ROBINSON, 1997).

HISAE *et al.* (1996) patentearam uma metodologia para preparar bebidas nutritivas a partir de leite desnatado e suco de yacon fermentado pela ação de bactérias lácticas (*Lactobacillus plantarum*). Segundo os autores, o método contribui para neutralizar a característica adstringente do yacon, além de evitar a degradação dos FOS.

HELSHER & FIEDLER (1996) desenvolveram um processo para a preparação de sucos que contenham inulina, frutose e glicose a partir de alcachofra de Jerusalém. No caso, os tubérculos são moídos, tratados como inulinase e invertase, a pH 4,5 - 5,5 a temperatura de 45 - 55°C por 2 horas. Após uma pasteurização, o suco pode ser formulado com sucos de frutas e/ou vegetais.

A utilização de suco de alcachofra de Jerusalém simples e suco concentrado de alcachofra de Jerusalém como base para sucos mistos, néctares e outros tipos de bebidas, permite obter produtos ricos em fibras, sem adição de água. O processo foi patenteado pela empresa ALPHA-ENG. GmbH (1997).

A tendência de produzir alimentos funcionais, sob a forma de bebidas não é nova, pois no início dos anos '90, no Japão 70% destes produtos eram apresentados como formulações líquidas (ICHIKAWA, 1994).

2.3.3. Produção de adoçantes e inulina

Os indígenas dos Andes costumavam preparar a "chancaca" a partir do suco obtido por pressão do yacon, posterior concentração por ebulição e cristalização, obtendo-se blocos sólidos de cor marrom escura. Este foi um processo tradicional para a obtenção de adoçante (NATIONAL RESERCH COUNCIL, citado por ROBINSON, 1997). As empresas japonesas HOKUREN (1993) e MITSUI NORIN (1991) patentearam processos de obtenção de frutooligossacarídeos através de extrações aquosas e não-aquosas e também por prensagem. Os produtos eram destinados à indústria alimentar e farmacêutica. CHIRINOS (1998) atingiu um rendimento de 94% de FOS usando extração com água a 100°C, por 10 minutos e pH 7, enquanto que com o emprego de enzimas a recuperação chegou a 73%.

Várias referências relatam a produção de frutose a partir de alcachofra de Jerusalém (FLEMING & GROOT WASSINK, 1979; MANZONI & CAVAZZONI, 1992; VISWANATHAN & KULKARNI, 1995; BARTHA *et al.*, 1999) e de FOS a partir da chicória (ORAFI, 1998) o que permite afirmar que o yacon seria uma matéria-prima alternativa para a obtenção dos ditos adoçantes.

Outras possibilidades para o yacon, da mesma maneira que para a alcachofra de Jerusalém, são a produção de etanol e seus derivados, proteína de leveduras, lisina, etc. (PARAMESWARAN, 1992).

2.4. Referências bibliográficas

ALLES, M.S.; KATAN, M.B.; SALEMANS, J.M.J.; VAN LAERE, K.M.J.; GERICH HAUSEN, M.J.W.; ROSENDAAL, M.J.; NAGENGAST, F.M. Bacterial fermentation of fructooligosaccharides and resistant starch in patients with an ileal pouch - anal anastomosis. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.66, p.1286-1292, 1997.

ALPHA - ENGINEERING GmbH ENTWICKLUNG, PROJEKTIERUNG, REALISIERUNG AGRAR UND LEBENSMITTELINDUSTRIE. **Process for manufacture of Jerusalem artichoke juice concentrate as components for dietary rich mixed juices, nectars and beverages without addition of water.** (Cl. A23L 20/2). DE 195 46 150 A1, 29 nov. 1995, 05 jun. 1997. 4p.

- ANÔNIMO. Formulazioni di nuove bevande salutari. **Industrie della Bevande**, v.27, p. 292 - 293, 1998
- ASAMI, T.; KUBOTA, M. ; MINAMISAWA, K.; TSUKIHASHI, T. Chemical composition of yacon, a new root crop from the Andean highlands. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.66, n.2, p.122 -126, 1989.
- ASAMI, T.; MINAMISAWA, K.; TSUKIHASHI, T.; KANO, K.; HORI, I.; OHYAMA, T.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T. Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.62, n.6, p.621 - 627, 1991.
- ASAMI, T.; MINAMISAWA, K.; TSUKIHASHI, T.; KANO, K.; HORI, I.; OHYAMA, T.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T. Oligofructans in the shoot, seed yacon, and tuber of yacon. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.63, n.1, p.72 - 74, 1992.
- BARTHA, J.; PATKAI, G.; MONSPART, S.; KÖRMENDY, D.; GION, B.; ERDELVI, M. Natural concentrate production from Jerusalem artichoke with high fructose and mineral content. University of Horticulture and Food Industry, Dept. of Canning Technology, P.O. Box H-1502, Budapest, Hungary (Yahoo on line, 1999)
- BORNET, F.R.J. Undigestible sugars in food products. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.59, p. 7635-7695, 1994.
- CAIRNS, A.J.; ASHTON, J.E. The interpretation of in vitro measurements of fructosyltransferase activity: an analysis of patterns of fructosyl transfer by fungal invertase. **New Phytologist**, v.138, p. 204-210, 1991.
- CAIRNS, A.J. Evidence for the *de novo* synthesis fructans by enzymes from higher plants: a reappraisal of the SST/FFT model. **New Phytologist**, v.123, p. 15-24, 1993.

- CAMPBELL, J.M.; FAHEY, G.C.; WOLF, B.W. Selected indigestible oligosaccharides affect large bowel mass, cecal and fecal short-chain fatty acids, pH and microflora in rats. **Journal of Nutrition**, v. 127, p. 130-136, 1997.
- CANDY, D.J. **Biological functions of carbohydrates**. Glasgow: Blackie & Son Ltd., 1980. 197p.
- CHIRINOS, R.S. **Obtención y caracterización de los oligofructanos a partir de la raíz del yacón** (*Smallantus sonchifolia* Poepp. & Endl.). Lima, 1998. Tesis (Magister Scientiae en Tecnología de Alimentos) - Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). Raíces y tubérculos andinos. Lima (Yahoo on line, 1999).
- CLEVENGER, M.A.; TURNBULL, D.; INOUE, H.; ENOMOTO, M.; ALLEN, J.A.; HENDERSON, L.M.; JONES, E. Toxicological evaluation of Neosugar: genotoxicity, carcinogenicity and chronic toxicity. **Journal of American College of Toxicology**, v.7, p. 643-662, 1988.
- COUSSEMENT, P.A.A. Inulin and oligofructose: safe intakes and legal status. **Journal of Nutrition**, v.129, p. 14125-14175, 1999.
- CRITTENDEN, R.G.; PLAYNE, M.J. Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. **Trends in Food Science & Technology**, v.7, p. 353-361, 1996.
- DARBYSHIRE, B.; HENRY, R.J. The distribution of fructans in onions. **New Phytologist**, v.81, p. 29-34, 1978.
- DARWEN, C.W.E.; JOHN, P. Localization of enzymes of fructan metabolism in vacuoles isolated by a mechanical method from tubers of Jerusalém artichoke (*Helianthus tuberosus*, L.) **Plant Physiology**, v.89, p.658-663, 1989.

- DAVIDSON, M.H.; MAKI, K.C.; SYNECKI, C.; TORRI, S.A.; DRENNAN, K.B. Effects of dietary inulin in serum lipids in men and women with hypercholesterolemia. **Nutrition Research**, v.18, n.3, p.503-517, 1998.
- DEBY, G. **Plant Biochemistry**. London: Interscience Publishers, 1965. p.768.
- DELZENNE, N.M.; KOK, N.; FIORDALISO, M.F.; DEBOYSER, D.M.; GOETHALS, F.M.; ROBERFROID, M.B. Dietary fructooligosaccharides modify lipid metabolism. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.57, n.5, p.820, 1993.
- DELZENNE, N.M.; KOK, N.N. Biochemical basis of oligofructose hypolipidemia in animal models. **Journal of Nutrition**, v.129, p.14675-14705, 1999.
- DEONDER, R. Role and mechanisms of transglycosilation reactions. In: PIRAS, R.; PONTIS, H.G. **Biochemistry of the glicosidic linkage**, 1972. New York: Academic Press, p.21-78.
- DE ROOVER, J.; VAN LAERE, A.; DE WINTER, M.; TIMMERMANS, J.W.; VAN DEN ENDE, W. Purification and properties of second fructan exohydrolase from the roots of *Cichorium intybus*. **Physiologia Plantarum**, v.106, p.28-34, 1999.
- DREVON, T.; BORNET, F. Les FOS: ACTILIGHT. In: MULTON, J.L. (Ed.) **Le sucre, les sucres, les edulcorants et les glucides de charges dans les IAA**. Paris: Tec & DOC, Lavoisier, 1992, p.313-338.
- EBSKAMP, M.J.M.; VAN DER MEER, I.M.; SPRONK, B.A.; WEISBEEK, P.J.; SMEEKENKS, S.C.M. Accumulation of fructose polymers in transgenic tobacco. **Biotechnology**, v.12, p.272-275, 1994.
- EDELMAN, J.; JEFFORD, T.G. The mechanism of fructosan metabolism in higher plants as exemplified in *Helianthus tuberosus* L. **New Phytologist**, v.67, p.517-531, 1968.
- ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY ULLMAN'S - Weinheim: VCH-Germany, 1989. 12v.

- ENGLYST, H.N.; QUIGLEY, M.E.; HUDSON, G.J. Determination of dietary fibre as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. **Analyst**, v.119, p.1497-1509, 1994.
- ESTRELLA, J.E.; LAZARTE, J.E. In vitro propagation of Jícama (*Polymnia sonchifolia* Poepping and Endlicher): a neglected andean crop. **Hortscience**, v.29, n.4, p.331, 1994.
- FIGUEIREDO-RIBEIRO, R.C.L. Distribuição, aspectos estruturais e funcionais dos frutanos, com ênfase em plantas herbáceas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.5, n.2, p.203-208, 1993.
- FIORDALISO, M.; KOK, N.; DESAGER, J.P.; GOETHALS, F.; DEBOYSER, D.; ROBERFROID, M.; DELZENNE, N. Dietary oligofructose lower triglycerides, phospholipids and cholesterol in serum and very low density lipoproteins of rats. **Lipids**, v.30, n.2, p.163-167, 1995.
- FLEMING, S.E.; GROOT WASSINK, J.W.D. Preparation of high-fructose syrup from the tubers of the Jerusalém artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.12, p.1-28, 1979.
- FREHNER, M.; KELLER, F.; WIEMKEM, A. Localization of fructan metabolism in the vacuoles isolated from protoplasts of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) **Journal of Plant Physiology**, v.116, p.197-208, 1984.
- FUKAI, K.; OHNO, S.; GOTO, K.; NANJO, F. Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activities in yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Soil Science and Plant Nutrition**, v.43, n.1, p.171-177, 1997.
- GALLAHER, D.D.; KHIL, J. The effect of synbyotics on colon carcinogenesis in rats. **Journal of Nutrition**, v.129, p.1438s-1487s, 1999.

- GOTO, K.; FUKAI, K.; HIKIDA, J.; NANJO, F.; HARA, Y. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v.59, n.12, p.2346-2347, 1995.
- GRAU, A.; HACKETT, C. Prediction of yacon (*Polymnia sonchifolia* Poepp e Endl.): performance in different environments using the Plantgro software. In: I CONGRESSO LATINOAMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, Resumo 128, 1996, São Pedro, SP.
- HAMMER, H. Oligo- and polyfructosides from the bulbs of two *Leucosium* species. **Acta Chemica Scandinavica**, v.24, p.1294-1300, 1970.
- HASHIDOKO, Y.; URASHIMA, M.; YOSHIDA, T. Predominant epiphytic bacteria on damaged *Polymnia sonchifolia* leaves and their metabolic properties on phenolics of plant origin. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v.58, n.10, p.1894-1898, 1994.
- HEASMAN, M.; MELLENTIN, J. Addressing the health issue. **International Food Ingredients**, v.3, p.22-24, 1998.
- HELLWEGE, E.M.; RAAP, M.; GRITSCHER, D.; WILLMITZER, L.; HEYER, A.G. Differences in chain length distribution of inulin from *Cynara scolymus* and *Helianthus tuberosus* are reflected in a transient plant expression system using the respective 1-FFT cDNAs. **FEBS Letters**, v.427, p.25-28, 1998.
- HELSCHER, K.; FIEDLER, B. **Process for preparation of an inulin, fructose and glucose containing juice, specially from Jerusalém artichoke tubers, for fruit and vegetable juice-containing products.** (cl. A23L 1/09) DE 442666 2 A1, 15 jul. 1994, 18 jan. 1996, 4p.
- HENDRY, G.A.F. Evolutionary origins and natural functions of fructans a climatological, biogeographic and mechanistic appraisal. **New Phytologist**, v.123, p.3-14, 1993.

- GIBSON, G.R.; WANG, X. Enrichment of bifidobacteria from human gut contents by oligofructose using continuous culture. **FEMS Microbiology Letters**, v.118, p.121-128, 1994.
- GIBSON, G.R.; BAETTY, E.R.; WANGY, X.; CUMMINGS, J.H. Selective stimulation of bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin. **Gastroenterology**, v.108, p.975-982, 1995.
- GIBSON, G.R.; ROBERFROID, M.B. Dietary modulation of the colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, v.125, p.1401-1412, 1995.
- GIBSON, G.R. Dietary modulation of the human gut microflora using prebiotics. **British Journal of Nutrition**, v.80, sup.2, p.5029-5212, 1998.
- GOLDIN, B.R. Health benefits of probiotics. **British Journal of Nutrition**, v.80, sup.2, p.5203-5207, 1998.
- GORDON, D.T.; BOCALETTI, W.; ORELLANA, R. Fat substitutes, fat mimetics and bulking agents. The rest of the story. **Tecnología de Alimentos (México)**, v.30, n.5, p.22-29, 1995.
- HENDRY, G.A.F.; WALLACE, R.K. The origin, distribution and evolutionary significance of fructans. In: SUZUKI, M.; CHATTERTON, J.N. (Eds). **Science and technology of fructans**. Boca Raton: CRC Press, 1993. p.119-136.
- HERMANN, B.; GUIRAUD, J.P. Production de sirops enrichis en fructose par fermentation d'extraits de topinambour. **Belgian Journal of Food Chemistry and Biotechnology**, v.45, n.3, p.92-97, 1990.
- HIDAKA, H.; HIRAYAMA, M.; SUMI, N. A fructooligosaccharide producing enzyme from *Aspergillus niger* ATCC 206111. **Agricultural and Biological Chemistry**, v.52, p.1181-1187, 1988.

- HIDAKA, H.; HIRAYAMA, M. Useful characteristics and commercial applications of fructooligosaccharides. **Biochemical Society Transactions**, v.19, p.561-565, 1991.
- HISAE, T.; IKUKO, A.; HISAHARU, S.; HIROSHI, K. **Preparation of fermented yacon drink**. (Cl. A23L 2/52). JP 08294379 A. 27 apr. 1995, 12 nov. 1996, 1p.
- HOKUREN FEDERATION OF AGRICULTURAL COOPERATIVE. Masayuki, T.; Hiroyuki, T.; Yutaka, K. **Extraction of fructooligosaccharide from *Polymnia sonchifolia***. (Cl. C13K 13/00). JP 05207900 A. 30 jan. 1992, 20 aug. 1993.
- HOWARD, M.D.; GORDON, D.T.; GARLEB, K.A.; KERLEY, M.S. Dietary fructooligosaccharide, xylooligosaccharide and gum arabic have variable effects on cecal and colonic microbiota and epithelial cell proliferation in mice and rats. **Journal of Nutrition**, v.125, p.2604-2609, 1995.
- ICHIKAWA, T. Functional foods in Japan. In: GOLDBERG, I.(Ed.) **Functional foods**. New York: Chapman & Hall, 1994, p.453-467.
- INOUE, A.; TAMOGAMI, S.; KATO, H.; NAKASATO, Y.; AKIYAMA, M.; KODAMA, O.; AKATSUKA, T.; HASHIDOKO, Y. Antifungal melampolides from leaf extracts of *Smallantus sonchifolius*. **Phytochemistry**, v.39, n.4, p.845-849, 1995.
- INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC) - INTERNATIONAL UNION OF BIOCHEMISTRY (IUB). **Enzyme Nomenclature Recommendation (1972)**. Amsterdam: Elsevier, 1973, 443p.
- ISEJIMA, E.M.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R.C.L.; ZAIDAN, L.P.B. Fructan composition in adventitious tuberous roots of *Viguiera discolor* Backer (Asteraceae) as influenced by day lenght. **New Phytologist**, v.119, p.149-154, 1991.
- IZZO, M.; FRANCK, A. Nutritional and health benefits of inulin and oligofructose. Conference Report. **Trends in Food Science and Technology**, v.9, p.255-257, 1998.

- JENKINS, J.A.; KENDALL, C.W.C.; VUKSAN, V. Inulin, oligofructose and intestinal function. **Journal of Nutrition**, v.129, p.1431s-1433s.
- KAKIHARA, T.S.; CÂMARA, F.L.A.; VILHENA, S.M.C.; RIERA, L. Cultivo e industrialização de yacon. In: I CONGRESSO LATINOAMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, Resumo 148, 1996, São Paulo, SP.
- KAKUTA, H.; SEKI, T.; HASHIDOKO, Y.; MIZUTANI, J. Ent-kaurenic acid and its related compounds from glandular trichome exudate and leaf extracts of *Polymnia sonchifolia*. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v.56, n.10, p.1562-1564, 1992.
- KANEGAFUCHI KAGAKU KOGYO K.K. Hisada, Y.; Nawata, N. **Beverages containig enzyme treated ground yacon**. (Cl. A23L 1/30). JP 04, 104, 1772. 24 aug. 1990, 07 apr. 1992.
- KANDLER, O.; HOPE, H. Occurrence, metabolism and function of oligosaccharides. In: PREISS, J. (Ed.) **The biochemistry of plants. Vol 3: Cabohydrates, structure and function**. New York: Academic Press, 1980, p.221-270.
- KAPULER, A.M.; GURUSIDDIAH, S. The twenty protein aminoacids free in the juices of our common vegetables and herbs. **Journal of Home & Consumer Horticulture**, v.1, n.1, p.3-18, 1994. Apud: **Food Science and Technology Abstracts**, HU105, 1994.
- KOCHHAR, A.; GUPTA, A.K.; KAUR, N. Purification and immobilisation of inulinase from *Aspergillus candidus* for producing fructose. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, p.549-554, 1999.
- KOK, N.; ROBERFROID, M.; DELZENNE, N. Dietary oligofructose modifies the impact of fructose on hepatic triacylglycerol metabolism. **Metabolism**, v.45, n.12, p.1547-1550, 1996.

- KONONKOV, P.F.; GINS, V.K.; SMIRNOVA, N.I.; SCHCHERBUKHIN, V.D. Carbohydrate composition of introduced yacon tubers. **Sel'skokhozya ist vennaya Biologiya**, v.o, n.5, p.12-14, 1997. (Chemical Abstracts).
- KONONKOV, P.F.; GINS, V.K.; SMIRNOVA, M.I.; SHCHERBUKHIN, V.D. Extractive carbohydrates of yacon tubers in the Moscow region. **Dokl. Ross. Akad. S-Kh.**, v.2, p.9-10, 1998. (Chemical Abstracts).
- KOOPS, A.J.; JONKER, H. Purification and characterization of the enzymes of fructan biosynthesis in tubers of *Helianthus tuberosus* "Colombia". I. Fructan fructosyltransferase. **Journal of Experimental Botany**, v.45, n.280, p.1623-1631, 1994.
- KOOPS, A.J.; JONKER, H. Purification and characterization of the enzymes of fructan biosynthesis in tubers of *Helianthus tuberosus* Colombia. II. Purification of sucrose: sucrose 1-fructosyltransferase and reconstitution of fructan synthesis in vitro with purified sucrose: sucrose 1- fructosyltransferase and fructan: fructan fructosyltransferase. **Plant Physiology**, v.110, p.1167-1175, 1996.
- LEVITT, J. **Responses of plants to enviromental stress**. New York: Academic Press, 1980. V.1.
- LEWIS, D.H. Nomenclature and diagrammatic representation for oligomeric fructans - a paper for discussion. **New Phytologist**, v.124, p.583-594, 1993.
- LUO, J.; RIZKALLA, S.W.; ALAMOWITCH, C.; BOUSSAIRI, A.; BLAYO, A.; BARRY, J.L.; LAFFITTE, A.; GUYON, F.; BORNET, F.R.J.; SLAMA, G. Chronic consumption of short-chain fructooligosaccharide by healthy subjects decreased basal hepatic glucose production but had no effect on insulin-stimulated glucose metabolism. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.63, p.939-945, 1996.
- MANZONI, M.; CAVAZZONI, V. Hydrolysis of topinambur (*J. artichoke*) fructans by extracelular inulinase of *Kluyveromyces cerevisiae* var. bulgaricus. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.54, p.311-315, 1992.

- MARX, S.P.; NÖSBERGER, J.; FREHNER, M. Seasonal variation of fructan- β -fructosidase (FEH) activity and characterization of a $\beta(2 \rightarrow 1)$ - Linkage specific FEH from tubers of Jerusalém artichoke (*Helianthus tuberosus*). **New Phytologist**, v.135, p.267-277, 1997.
- MEIJI SEIKAKAISHA, Co. Neosugar user's guide, 1982.
- MERCK COMPANY, INC. The Merck Index, 10^a ed. New Jersey: Merck, Paginação irregular.
- MITSUO NORIN CO., LTD. Asami, T.; Ohyama, T.; Minamisawa, K.; Tsukihashi, T. **Manufacture of fructooligosaccharides from yacon root tuber**. (Cl. C07H 3/06) JP 03, 227, 995. 30 jan.1990, 08 oct. 1991. 1p.
- MODLER, H.W. Bifidogenic factors - Sources, metabolism and applications. **International Dairy Journal**, v.4, p.383-407, 1994.
- MOLIS, C.; FLOURIÉ, B.; OUARNE, F.; GAILING, M.F.; LARTIGUE, S.; GUIBERT, A.; BORNET, F.; GALMICHE, J.P. Digestion excretion, and energy value of fructooligosaccharides in healthy humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.64, p.324-328, 1996.
- NAKAMURA, T.; OHTA, K. Properties and applications of *A. niger* endoinulinase. Departament of Biological Resources Sciences. Miyazaki University. Miyazaki 889-U, Japan (Yahoo on line, 1999).
- NAKANISHI, T.; SATO, T. Differences in resistance to bacterial wilt caused by *Erwinia chrysantemum* among yacon clones (P.s Poepp., and Endl.) **Bulletin of Shikoku National Agricultural Experimental Station**, v.61, p.149-157, 1997.
- NELSON, C.J.; SPOLLEN, W.G. Fructans. **Physiologia Plantarum**, v.71, p.512-516, 1987.

- NIETO, C. Estudios agronómicos y bromatológicos en jícama (*Polymnia sonchifolia* Poep. et Endl.) **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.41, p.213-221, 1994.
- NINESS, K.R. Inulin and oligofructose. What are they?. **Journal of Nutrition**, v.129, p.1402s-1406s, 1999.
- OHTA, A.; OHTSUKI, M.; BABA, S.; TAKISAWA, T.; ADACHI, T.; KIMURA, S. Effects of fructooligosaccharides on the absorption of iron, calcium and magnesium in iron-deficient anemic rats. **Journal of Nutrition Science and Vitaminology**, v.41, p.281-291, 1995.
- OHTA, A.; OHTSUKI, M.; BABA, S.; HIRAYAMA, M.; ADACHI, T. Comparison of the nutritional effects of fructo-oligosaccharides of different chain length in rats. **Nutrition Research**, v.18, n.1, p.109-120, 1998a.
- OHTA, A.; OHTSUKI, M.; HOSONO, A.; ADACHI, T.; HARA, H.; SAKATA, T. Dietary fructooligosaccharides prevent osteopenia after gastrectomy in rats. **Journal of Nutrition**, v.128, p.106-110, 1998b.
- OHTA, A.; OHTSUKI, M.; UEHARA, M.; HOSONO, A.; HIRAYAMA, M.; ADACHI, T.; HARA, H. Dietary fructooligosaccharides prevent post-gastrectomy anemia and osteopenia in rats. **Journal of Nutrition**, v.128, p.485-490, 1998c.
- OHYAMA, T.; ITO, O.; YASUYOSHI, S.; IKARASHI, T.; MINAMISAWA, K.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T.; ASAMI, T. Composition of storage carbohydrate in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Soil Science and Plant Nutrition**, v.36, n.1, p.167-171, 1990.
- OKU, T. Special physiological functions of newly developed mono and oligosaccharides. In: GOLDBERG, I (Ed.) **Functional foods**. New York: Chapman & Hall, 1994, p.202-208.

POLIVEIRA, I.M.A. **Produção e caracterização da β -frutofuranosidase de *Aureobasidium* sp.** Campinas, 1997. 124p. Tese (Doutor em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

ORAFI - RAFFINERIE TIRLEMONTTOISE. De Leenheer, L.; Booten, K. **Method for preparing polydispersed FOS low in free sugars by partial hydrolysis of fructans as a stiffening agent for foods.** (Cl. C12P19/14). PCT Int. Appl. WO 98 05, 793, 12 feb. 1998.

MITSUOKA, T.; HIDAKA, H.; EIDA, T. Effect of fructo-oligosaccharides on intestinal microflora. **Die Nahrung**, v.31, n.5-6, p.427-436, 1987.

ARAJARA, F. Yacon, o primo da batata que ajuda a controlar o diabetes. **Saúde**, São Paulo, n.194, novembro 1999, p.38-42.

POLLOCK, C.J.; HALL, M.A.; ROBERTS, D.P. Structural analysis of fructose polymers by gas-liquid chromatography and gel filtration. **Journal of Chromatography**, v.171, p.411-414, 1979.

POLLOCK, C.J.; Fructans and the metabolism of sucrose in vascular plants. **New Phytologist**, v.104, p.1-24, 1986.

PREISS, J.; LEVI, C. Starch biosynthesis and degradation. In: PREISS, J. **The biochemistry of plants. Vol. 3 Carbohydrates, structure and function.** New York: Academic Press, 1980, p.371-423.

REDDY, B.S. Prevention of colon cancer by pre- and probiotics: evidence from laboratory studies. **British Journal of Nutrition**, v.80, supl.2, p. s219-s223, 1998.

REDDY, B.S. Possible mechanisms by which pro- and prebiotics influence colon carcinogenesis and tumor growth. **Journal of Nutrition**, v.129, p.1478s-1482s, 1999.

- ROBERFROID, M.; GIBSON, G.R.; DELZENNE, N. The biochemistry of oligofructose, a nondigestible fiber: an approach to calculate caloric value. **Nutrition Reviews**, v.51, p.137-146, 1993.
- ROBERFROID, M. Dietary fiber, inulin and oligofructose: a review comparing their physiological effects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.33, p.103-148, 1993.
- ROBERFROID, M.B. Healthy benefits of non-digestible oligosaccharides. In: KRITCHEVSKY, D.; BONFIELD, C. (Eds.) **Dietary fiber in health and disease**, 1997, cap.22, p.211-219.
- ROBERFROID, M.B. VAN LOO, J.A.E.; GIBSON, G.R. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. **Journal of Nutrition**, v.128, p.11-19, 1998.
- ROBERFROID, M.B. Prebiotics and synbiotics: concepts and nutritional properties. **British Journal of Nutrition**, v.80, supl.2, p.5197-5202, 1998.
- ROBERFROID, M.B. Caloric value of inulin and oligofructose. **Journal of Nutrition**, v.129, p.14365-14375, 1999.
- ROBINSON, H. Yacon, *Samallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endt.). In: HERMAN, M.; HELLER, J. **Andean roots and tubers: ahipa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben / International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 1997, p.202-242.
- ROCHER, J.P. Les levanes de *Lolium italiicum* synthèse dans les organes végétatifs. **Physiologie Végétale**, v.5, p.71-80, 1967.
- RODRIGUES, G. Uma batata poderosa!. **Isto é**, São Paulo, n.1560, 25 ago. 1999, p.52.

- ROLAND, N.; NUGON-BAUDON, L.; ANDRIEUX, C.; SZYLIT, O. Comparative study of the fermentative characteristics of inulin and different types of fibre in rats inoculated with a human whole faecal flora. **British Journal of Nutrition**, v. 74, p.239-249, 1995.
- ROWLAND, I.R.; RUMNEY, C.J.; COUTTS, J.T.; LIEVENSE, L.C. Effect of *Bifidobacterium longum* and inulin on gut bacterial metabolism and carcinogen-induced aberrant crypt foci in rats. **Carcinogenesis**, v.19, n.2, p.281-285, 1998.
- SCHELLENBAUM, L.; SPRENGER, N.; SHÜEP, H.; WIEMKEM, A.; BOLLER, T. Effects of drought, transgenic expression of a fructan synthesizing enzyme and of mycorrhizal symbiosis on growth and soluble carbohydrate pools in tobacco plants. **New Phytologist**, v.142, p.67-77, 1999.
- SHIOMI, N.; YAMADA, J.; IZAMA, M. Isolation and indentification of fructo-oligosaccharides in root of asparagus (*Asparagus officinalis* L.). **Agricultural and Biological Chemistry**, v.40,p.567-575, 1976.
- SMITH, C.J. Carbohydrate chemistry. In: LEA, P.J.; LEE GOOD, R.C. (Eds.) **Plant biochemistry and molecular biology**. Chichester: J. Wiley & Sons, 1993. Cap. 4, p.74-111.
- SPRENGER, N.; SCHELLENBAUM, L.; VAN DUN, K.; BOLLER, T.; WIENKEM, A. Fructan synthesis in transgenic tobacco and chicory plants expressing barley sucrose: fructan 6-fructosyltransferase. **FEBS Letters**, v.400, p.355-358, 1997.
- SUGIURA, M.; NAKANISHI, T. The effect of water stress on the carbohydrate contents of tuberous root of yacon. Shikoku National Agricultural Station, Japan (Yahoo on line, 1999).
- TAKASUGI, M.; MASUDA, T. Three 4'-hydroxyacetophenone - related phytoalexins from *Polymnia sonchifolia*. **Phytochemistry**, v.43, n.5, p.1019-1021, 1996.

- TASHIRO, Y.; SATCHITHANADAM, S.; CALVERT, R.J. Gastrointestinal effects of fructooligosaccharides. In: KRITCHEVSKY, D.; BONFIELD, C. (Eds.) **Dietary fiber in health and disease**. New York: Plenum Press, 1997, cap.23, p.221-234.
- TAPER, H.S.; DELZENNE, N.; TSHILOMBO, A.; ROBERFROID, M. Protective effect of fructo-oligosaccharide in young rats against exocrine pancreas atrophy induced by high fructose and partial copper deficiency. **Food Chemical Toxicology**, v.33, n.8, p.631-639, 1995.
- TAPER, H.S.; DELZENNE, N.M.; ROBERFROID, M.B. Growth inhibition of transplantable mouse tumors by non-digestible carbohydrates. **International Journal of Cancer**, v.71, p.1109-1112, 1997.
- TAPER, H.S.; ROBERFROID, M.B. Influence of inulin and oligofructose on breast cancer and tumor growth. **Journal of Nutrition**, v.129, p.1488s, 1489s, 1999.
- TAYLOR, R.B. Ingredients. In: ASHURST, P.R. (Ed.) **Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices**. Sheffield: Academic Press, 1998, cap.3, p.55-84.
- TAYLOR, G.R.J. Williams, C.mM. Effects of probiotics and prebiotics on blood lipids. **British Journal of Nutrition**, v.80, suppl.2, p.s225-s230, 1998.
- TOKUNAGA, T.; OKU, T.; HOSOYA, N. influence of chronic intake of new sweetener fructooligosaccharide (neosugar) on growth and gastrointestinal function of rat. **Journal of Nutrition Science and Vitaminology**, v.32, p.111-121, 1986.
- TOMOMATSU, H. Health effects of oligosaccharides. **Food Technology**, v.48, p.61-65, 1994.
- UUSITUPA, M.I.J. Fructose in the diabetic diet. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.59, p.753-757, 1994.

- VAN DEN ENDE, W.; DE ROOVER, J.; VAN LAERE, A. In vitro synthesis of fructofuranosyl only oligosaccharides from inulin and fructose by purified chicory root fructan fructosyltransferase. **Physiologia Plantarum**, v.97, p.346-352, 1996a.
- VAN DEN ENDE, W.; VAN WONTERGHEM, D.; VERHAERT, P.; DEWIL, E.; VAN LAERE, A. Purification and characterization of fructan: fructan fructosyltransferase from chicory (*Cichorium intybus* L.) roots. **Planta**, v.199, p.493-502, 1996b.
- VAN DEN ENDE, W.; MINTIENS, A.; SPELLEERS, H.; ONUOHA, A.A.; VAN LAERE, A. The metabolism of fructans in roots of *Cichorium intybus* during growth, storage and forcing. **New Phytologist**, v.132, p.555-563, 1996c.
- VAN DEN ENDE, W.; VAN LAERE, A. Purification and properties of an invertase with sucrose fructosyltransferase (SST) activity from the roots of *Cichorium intybus* L. **New Phytologist**, v.123, p.31-37, 1993.
- VAN DEN HEUVEL, E.G.H.M.; SCHAAFSMA, G.; MUYS, T.; VAN DOKKUM, W. Nondigestible oligosaccharides do not interfere with calcium and nonheme-iron absorption in young, health men. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.67, p.445-451, 1998.
- VAN DEN HEUVEL, E.G.H.M.; MUYS, T.; VAN DOKKUM, W.; SCHAAFSMA, G. Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.69, p.544-548, 1999.
- VAN HOOFF, K.; DE SCHRIJVER, R. Effect of unprocessed and baked inulin on lipid metabolism in normo- and hypercholesterolemic rats. **Nutrition Research**, v.15, n.11, p.1637-1646, 1995.
- VAN LOO, J.; COUSSEMENT, P.; LEENHEER, L.D.; 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, n.6, p.525-552, 1995.

- VAN LOO, J.; CUMMINGS, J.; DELZENNE, N.; ENGLYST, H.; FRANCK, A.; HOPKINS, M.; KOK, N.; Mc FARLANE, G.'NEWTON, D.; QUIGLEY, M.; ROBERFROID, M.; VAN VLIET, T.; VAN DEN HEUVEL, E. Functional food properties of non-digestible oligosaccharides: a consensus report from the ENDO project (DGXII AIRII - CT94-1094). **British Journal of Nutrition**, v.81, p.121-132, 1998.
- VELAZQUEZ, O.C.; ROMBEAU, J.L. Butyrate. Potential role in colon cancer prevention and treatment. In: KRITCHEVSKY, D.; BONFIELD, C. (Eds.) **Dietary fiber in health and disease**. New York: Plenum Press, 1997, cap.18, p.169-181.
- VILHENA, S.M.C. Efeitos da exposição ao sol e do armazenamento sobre a composição dos carboidratos de reserva em raízes tuberosas de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl.) Botucatu, 1997. 63p. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- VIEIRA, C.C.J.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R.C.L. Fructose containing carbohydrates in the tuberous root of *Gomphrena macrocephala* St.-Hil (Amaranthaceae) at different phenological phases. **Plant, Cell and Environment**, v.16, p.919-923, 1993.
- VISWANATHAM, P.; KULKARNI, P.R. Properties and application of inulinase obtained by fermentation of costus (*Suassurea lappa*) root powder with *Aspergillus niger*. **Die Nahrung**, v.39, n.4, p.288-294, 1995.
- VORAGEN, A.G.J. Technological aspects of functional food-related carbohydrates. **Trends in Food Science and Technology**, v.9, p.328-335, 1998.
- WANG, X.; GIBSON, G.R. Effects of the in vitro fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine. **Journal of Applied Bacteriology**, v.75, p.373-380, 1993.

- WANG, J.; SPORNS, P.; LOW, N.H. Analysis of food oligosaccharides using MALDI-MS: quantification of fructooligosaccharides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, p.1549-1557, 1999.
- WAGNER, W.; WIEMKEM, A. Properties and subcellular localization of fructan hydrolase in the leaves of barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Gerbel). **Journal of Plant Physiology**, v.123, p.429-439, 1986.
- WEI, B.; HARA, M.; YAMAUCHI, R.; UENO, Y.; KATO, K. Fructooligosaccharides in the tubers of Jerusalem artichoke and yacon. **Research Bulletin of the Faculty of Agriculture, Gifu University**, v.56, p.133-138, 1991. Apud: **Food Science and Technology Abstracts J0088, 1992.**
- YOUNES H.; DEMIGNÉ, C.; BEHR, S.R.; GARLEB, K.A.; RÉMÉSY, C. A blend of dietary fibers increases urea disposal in the large intestine and lowers urinary nitrogen excretion in rats fed a low protein diet. **Nutritional Biochemistry**, v.7, p.474-480, 1996.
- YOUNG, J. The future of functional foods. **International Food Manufacture**, v.4, p.20-22, 1996.
- YOUNG, J. European market developments in prebiotic - and probiotic - containing foodstuffs. **British Journal of Nutrition**, v.80, suppl.2, p.s231-s233, 1998.
- YUN, J.W.; JUNG, K.H.; OH, J.W.; LEE, J.H. Semibatch production of fructooligosaccharides from sucrose by immobilized cells of *Aureobasidium pullulans*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.24/25, p.299-308, 1990.
- YUN, J.W.; JUNG, K.H.; JEON, Y.J.; LEE, J.H. Continuous production of fructooligosaccharides from sucrose by immobilized cells of *Aureobasidium pullulans*. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.2, p.98-101, 1992.
- YUN, J.W. Fructooligosaccharides - occurrence, preparation and application. **Enzyme and Microbial Technology**, v.19, p.107-117, 1996.

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

ZHISHEN, J.; MENG-CHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, v.64, p.555-559, 1999.

3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E CONTEÚDO DE FRUTANOS EM YACON

3.1. Introdução

O yacon é uma raiz tuberosa de origem andina (ASAMI *et al.*,1991; ZARDINI,1991) introduzido em diversas partes do mundo e também no Brasil (KAKIHARA *et al.*,1996; ROBINSON, 1997). Como alimento portador de inulina, tem sido estudado principalmente no Japão a partir dos anos'80 por ASAMI *et al.* (1989), ASAMI *et al.* (1991), ASAMI *et al.*(1992), OHYAMA *et al.* (1990), GOTO *et al.* (1995) e FUKAI *et al.* (1997); porém poucos estudos têm sido conduzidos com yacon produzido na região andina; (NIETO 1991; CHIRINOS 1998). Já no Brasil, VILHENA (1997) fez o único estudo conhecido até o momento. Em decorrência disso, existem dados divergentes sobre o teor de inulina; enquanto alguns autores relatam conteúdos superiores a 20% (VORAGEN,1998), outros trabalhos apresentam valores de cerca de 10% (VILHENA,1997).

As diferenças nos teores de inulina podem ser uma consequência de variados fatores como a época da colheita, o tempo de armazenamento (horas até meses), o tipo do clone, o ecossistema, clima de plantio e solo, etc. Esses inúmeros fatores podem influir também na composição centesimal.

Neste sentido, no presente trabalho foram determinadas e comparadas as composições nutricionais e os conteúdos de frutanos do yacon brasileiro e do yacon amarelo e roxo bolivianos, para estabelecer possíveis diferenças decorrentes das diferenças ecológicas e geográficas existentes entre as duas regiões produtoras.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Materiais

Foram utilizadas raízes tuberosas de yacon dos cultivares (clones) amarelo e roxo produzidos na província Chapare (Cochabamba, Bolívia) e do cultivar amarelo produzido na região de Capão Bonito (São Paulo, Brasil).

Deve-se ressaltar que no Brasil, o yacon roxo ainda não é cultivado. As altitudes das zonas produtoras são ~2200 m e ~800 m sobre o nível do mar, no caso boliviano e brasileiro, respectivamente.

Os lotes de aproximadamente 5 kg foram os seguintes:

- 1- Yacon boliviano adquirido no lugar de produção e mantido a temperatura ambiente por 20 dias e logo analisado.
- 2- Yacon brasileiro, adquirido em um supermercado, em bom estado, armazenado a temperatura ambiente e submetido a análise após 20 dias da colheita.

3.2.2. Métodos

3.2.2.1. Características físicas

Foram determinados o peso total, da parte comestível e das cascas.

3.2.2.2. Análises químicas e fisicoquímicas

A maioria das análises foram conduzidas no mínimo em duplicata, usando os métodos indicados a seguir, com ligeiras modificações.

pH

Método potenciométrico (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

Umidade

Método gravimétrico, secagem a 70°C por 6 horas, sob vácuo de 50mm de Hg, até peso constante (Método 934.01 da AOAC, 1997).

Proteínas

Método Kjeldahl (Método 984.13 da AOAC, 1997).

Extrato etéreo (lipídios)

Método gravimétrico após hidrólise das amostras e extração com solvente (Método 930.05 da AOAC, 1997).

Cinzas

Método gravimétrico, prévio tratamento a 550°C das amostras (Met. 930.05, AOAC, 1997).

Fibra

Método 930.09 (AOAC, 1997) realizando um tratamento ácido e básico das amostras. Este método permite determinar fibras dietéticas em geral, exceto a inulina, cuja concentração deve ser integrada à fração da fibra solúvel (QUEMENER *et al.*, 1997).

Cálcio

Foi determinado por fotometria de chama (Perkin Elmer), usando o respectivo filtro após mineralização e tratamento ácido (VOGEL, 1978).

Fósforo

Método espectrofotométrico, usando fosfomolibdato de amônio, avaliação da absorbância a 700 nm em um espectrofotômetro Beckman DU 70, prévia mineralização em MgO, tratamento ácido e separação dos interferentes (CHARLOT & BEZNER, 1966).

Vitamina C

Método volumétrico de Tilman (BOYER, 1993).

Glicose, frutose, sacarose e inulina por CLAE

As amostras foram lavadas com água, evitando danificá-las, e a seguir secas com papel. Logo depois, foram cortadas longitudinalmente com uma faca e trituradas com um medidor de alimentos.

As determinações foram conduzidas segundo VAN LOO *et al.* (1995) e os cálculos de acordo com ORAFTI (1996). A figura 3-1 apresenta o procedimento utilizado.

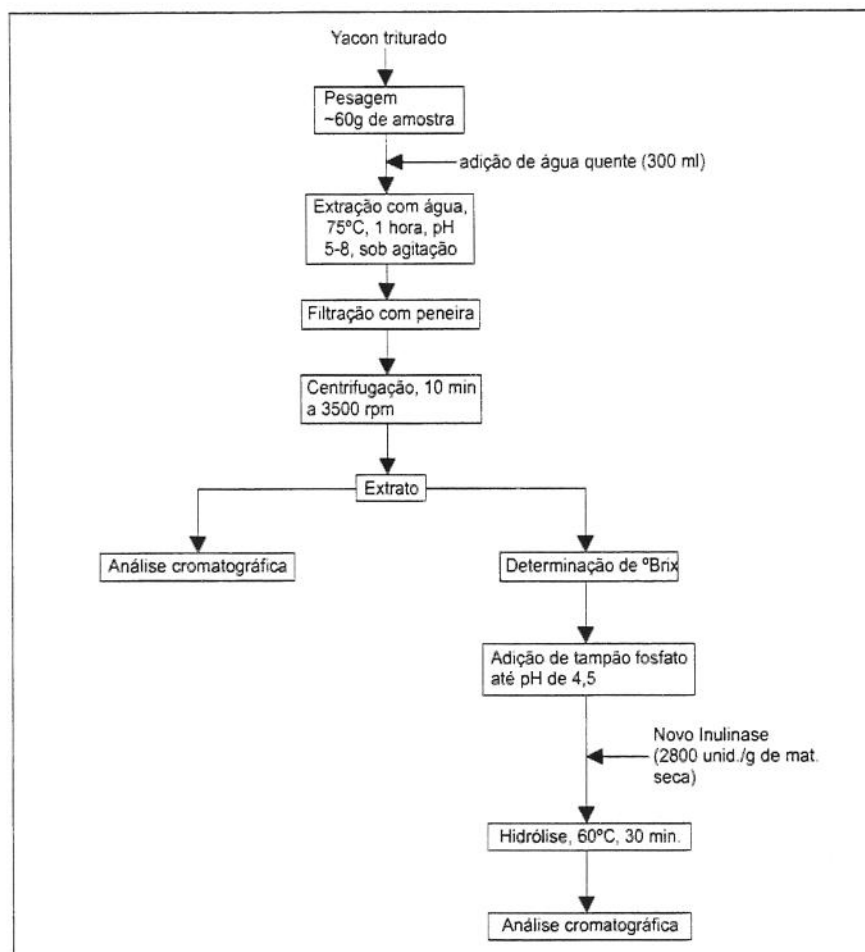


Figura 3-1: Fluxograma para a determinação de glicose, frutose, sacarose e inulina (VAN LOO *et al.*, 1995; ORAFTI, 1996).

A extração foi feita a pH>5 para prevenir a hidrólise dos frutanos e as diferentes operações foram realizadas a temperatura 60°C para evitar riscos de infecções. A hidrólise enzimática dos frutanos foi executada com uso da enzima Novo Inulinase (Novo Nordisk, Dinamarca) para clivar as ligações $\beta(2 \rightarrow 1)$ dos frutanos produzindo frutose e glicose.

Usou-se um cromatógrafo líquida de alta eficiência Perkin-Elmer, Liquid Chromatograph Series (Norwalk Co.) dotado de bomba e sistema de injeção Rheodyne, de índice de refração (Spectra Physics) e o integrador foi um Spectra Physics SP-4290. A separação foi conduzida em coluna Aminex HPX87K (forma K⁺), com um tamanho de partícula 9 μ m, eluindo a 0,55 ml/min com solução aquosa de KOH (pH 9,5). Como padrão interno usou-se rafinose hidratada, 450 ppm.

O método permitiu a separação da frutose, glicose e sacarose, porém, os frutanos não foram separados eficientemente. Contudo, foi possível avaliar o conteúdo de inulina analisando os carboidratos simples antes e depois da hidrólise. Para tanto, usou-se a equação.

$$\text{Inulina (mg/100 g)} = \frac{1}{1,1} [\text{fator de diluição 1}(v+w) - \text{fator de diluição 2} (x+y+1,05z)]$$

onde,

x : mg de glicose no extrato, antes de hidrólise.

y : mg de frutose no extrato, antes da hidrólise.

z : mg de sacarose no extrato, antes da hidrólise.

v : mg de glicose, após a hidrólise.

w : mg de frutose, após a hidrólise.

Determinação do grau de polimerização médio ($\overline{DP}$)

O grau de polimerização médio da inulina foi estimado pela relação F/G nos hidrolisados (VAN WAES *et al.*, 1998).

Análise qualitativa de frutanos por CLAE

O perfil da composição dos frutanos do yacon foi caracterizado pela distribuição do grau de polimerização. Utilizou-se para este propósito um cromatógrafo DIONEX 4500, equipado com um módulo de degaseificação, um detector amperométrico (PAD), um sistema de auto-amostragem e um integrador Shimadzu C-R4AX. A coluna foi Carbopac PA1(4x 250 mm, P/N 35391, S/N 3963) precedida por uma coluna protetora ion pac (HPIC AGGA P/N 037141 S/N 2106). O volume de injeção foi 50 µl de uma solução de cerca de 1% de carboidratos, e a separação operou-se através de um gradiente de três eluentes; NaOH 100 mM (A), NaOH 100 mM + Na Ac 400 mM (B), NaOH 1M (C). Iniciou-se o gradiente com 96 % de (A), 4% de (B) e 0% de C, para logo ir diminuindo (A) e aumentando (B) e (C). Finalmente, voltou-se para o mesmo gradiente inicial, após 96 minutos.

Análise quantitativa de frutanos por cromatografia gasosa

Os frutanos com DP de 2 a 10 foram quantificados por cromatografia gasosa, segundo a técnica descrita por VAN LOO *et al.* (1995). A preparação das amostras foi feita de acordo com o fluxograma da Figura 3-1, obtendo-se o extrato aquoso. Alíquotas, contendo aproximadamente 500 mg de carboidratos, foram pesadas e acrescentadas com 20 mg de fenil - β -D - glucopiranosídeo como padrão Interno. A seguir, se fez a secagem a vácuo, oximação e sililação. A oximação, no caso, evita a formação de mais de um pico para os açúcares não - redutores. Os carboidratos sililados foram extraídos com iso-octano e após centrifugação, 1 μ l do sobrenadante de cada amostra foi injetado em um cromatógrafo gasoso Carlo Erba HRGC 5300 HT, equipado com um injetor, uma coluna capilar (Altech, 6 m x 0,53 mm, com espessura da camada de 0,1 μ m) e um detector de ionização de chama. O gás transportador foi hélio e o detector foi alimentado com hidrogênio a 60 kPa e ar a 110 kPa. A temperatura do detector foi 460°C. A temperatura inicial da coluna foi de 105°C com aumento de 10°C/min até atingir 440°C. Os resultados foram processados por um integrador HP 3396.

3.2.2.3. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram processados pela análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, empregando o nível de probabilidade de 5%.

3.3. Resultados e discussão

3.3.1. Características físicas da raiz tuberosa

Três lotes de yacon de aproximadamente 20 Kg cada um, foram avaliados quanto ao peso da parte comestível, das cascas e peso total. A Tabela 3-1 demonstra os resultados obtidos.

Tabela 3-1: Peso total, das cascas e da parte comestível da raiz tuberosa de yacon

Lote	Peso médio das raízes tuberosas (g)	Porcentagem das cascas (%)	Porcentagem da porção comestível (%)
1	364,3 ± 214 a	8,2	91,8
2	363,4 ± 186 a	8,7	91,3
3	328,8 ± 204 a	9,1	90,9

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Tem sido observada uma diversidade de tamanhos, formas e pesos, confirmando-se as descrições dadas na literatura. Já as cores da polpa e das cascas foram relativamente homogêneas.

3.3.2. Composição química das raízes tuberosas do yacon

Composição química do yacon

Na Tabela 3-2 podem ser observados os resultados das análises das três amostras de yacon avaliados.

Tabela 3-2: Composição química de yacon dos cultivares amarelo e roxo (por 100 g de porção comestível)

Componente	Cv. amarelo (brasileiro)	Cv. amarelo (boliviano)	Cv. amarelo (boliviano)
Umidade (g)	86,16 ± 0,65 b	88,68 ± 0,50 a	88,48 ± 0,27 a
pH	6,35 ± 0,02 a	6,37 ± 0,01 a	6,45 ± 0,02 a
Cinzas (g)	0,42 ± 0,02 a	0,45 ± 0,03 a	0,41 ± 0,02 a
Proteínas (g)	0,71 ± 0,04 a	0,54 ± 0,05 a	0,62 ± 0,04 a
Lípidios (g)	0,03 ± 0,00 a	0,03 ± 0,01 a	0,03 ± 0,00 a
Fibra dietética (g)	0,48 ± 0,04 a	0,44 ± 0,03 a	0,37 ± 0,04 a
Vitamina C (g)	8,26 ± 0,23 a	4,40 ± 0,14 b	4,60 ± 0,01 b
Cálcio (mg)	9,92 ± 0,88 a	10,44 ± 0,65 a	7,74 ± 0,30 a
Fósforo (mg)	12,28 ± 1,05 b	21,55 ± 0,62 a	22,54 ± 0,55 a
Inulina (g)	3,21 ± 0,16 a	3,92 ± 0,29 a	2,50 ± 0,06 a
Glicose (g)	1,70 ± 0,12 a	1,90 ± 0,26 a	3,09 ± 0,02 a
Frutose (g)	4,33 ± 0,14 a	3,41 ± 0,58 a	5,90 ± 0,28 a
Sacarose (g)	0,98 ± 0,10 a	1,32 ± 0,09 a	1,54 ± 0,06 a
Fibra total (dietética + inulina)	3,59 ± 0,10 a	4,96 ± 0,17 a	2,87 ± 0,06 a

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferenças significativas ($p \leq 0,05$)

A comparação das médias das concentrações dos componentes analisados permite afirmar que, em geral, não existiram diferenças significativas ($p > 0,05$). Consequentemente, as condições agroecológicas não influenciaram na composição química dos lotes estudados. Também pode ser constatado que o tipo de clone (cv. amarelo vs. roxo) não determinou diferenças significativas.

Ao observar os resultados da Tabela 3-2, verifica-se que a água é o componente majoritário, justificando-se a origem da palavra yacon (yaku= água, em idioma quéchua). Entre os macronutrientes, os lipídios e proteínas atingiram níveis baixos, independentemente da amostra. Os micronutrientes quantificados; cálcio, fósforo e vitamina C estiveram presentes também em baixas concentrações.

Expressivas quantidades de carboidratos foram encontradas nos diferentes amostras, já que o total dos mesmos esteve na faixa de 10,5 a 13%, em base úmida (ou seja até 76% em base seca). A frutose ocupou um lugar de destaque e é responsável pelo gosto adocicado do yacon em uma proporção maior das que detem a sacarose e glicose. A Figura 3-2 apresentam picos dos carboidratos nos cromatogramas obtidos por CLAE, antes e depois da hidrólise com inulinase. Nas três amostras foram obtidos resultados semelhantes.

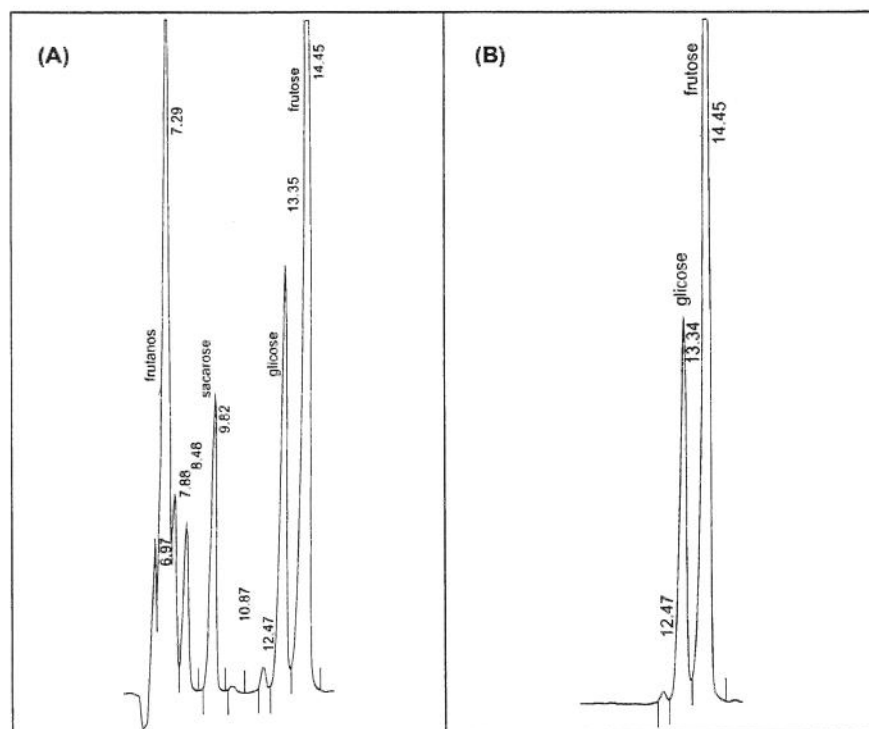


Figura 3-2: Cromatogramas obtidos, por CLAE, dos carboidratos do yacon. (A) antes e (B) após a hidrólise com inulinase.

As amostras analisadas demonstraram, em geral, um baixo conteúdo de inulina, na faixa de 2,5 a 4%. VILHENA relatou 10,1% de inulina em yacon brasileiro recém-colhido e 7,6% após 8 dias sob luz solar. Considerando que as nossas amostras tinham ao redor de 20 dias de estocagem, a uma temperatura de 20 - 25°C, pode-se afirmar que houve uma importante degradação, com um aumento do sabor doce.

Uma forma de avaliar a degradação dos frutanos é determinar o grau de polimerização médio através da relação das concentrações de frutose e glicose após a hidrólise (VAN WAES *et al.*, 1998). No nosso caso encontrou-se DP de 2,7. ASAMI *et al.* (1991) encontraram que o grau de polimerização médio na hora da colheita foi 4,3 e após duas semanas de estocagem a 25°C o DP caiu a 2,5.

As amostras analisadas tiveram em conjunto, um conteúdo médio de 3,5 % de inulina. GIBSON (1998) relatou que doses de 4 g/dia de inulina têm efeitos prebióticos, enquanto ROBERFROID (1998) sugeriu que 2,75 g/dia de FOS, em combinação com um probiótico (ex. *Lactobacillus* de iogurte), apresentam propriedades funcionais, principalmente, bifidogênicas. Deve-se ressaltar ainda que no mercado americano são comercializados comprimidos de inulina de 1 g. Portanto, as amostras de yacon estudados, podem ser considerados como alimentos funcionais. No caso, 120-150 g de yacon teriam que ser consumidos por dia.

Segundo QUEMENER *et al.* (1997) e PROSKY & HOEBREGS (1999) a inulina é um tipo de fibra solúvel, cuja concentração deveria adicionar-se ao valor da fibra dietética (material que precipita em álcool a 78% no método para fibra dietética da AOAC). Na Tabela 3-2 aparecem os valores de fibra total nas diferentes amostras analisadas, que não demonstraram diferenças significativas ao nível de 5%. Em todo caso, as concentrações na faixa 2,87 a 4,96% permitem julgar o yacon como alimento de destaque.

Análise qualitativa e distribuição de frutanos no yacon.

A Figura 3-3 mostra o perfil da composição dos diferentes frutanos do yacon, onde verificou-se a presença de 1-kestose, nistose, frutofuranosilnistose e outros frutooligossacarídeos com DP até 10. Frutanos com DP>10 estão presentes em quantidades pequenas; contudo, é possível detectar traços de frutanos com DP=18. Na literatura se relata a presença de frutanos com DP>10 em baixas concentrações (ASAMI *et al.*, 1989; OHYAMA *et al.*, 1990), porém, não foram

relatados seus graus de polimerização. Quando comparado com a inulina comercial Raftiline, constata-se que o yacon possui um perfil de frutanos diferente, pois no Raftiline aparecem componentes com DP de até 60.

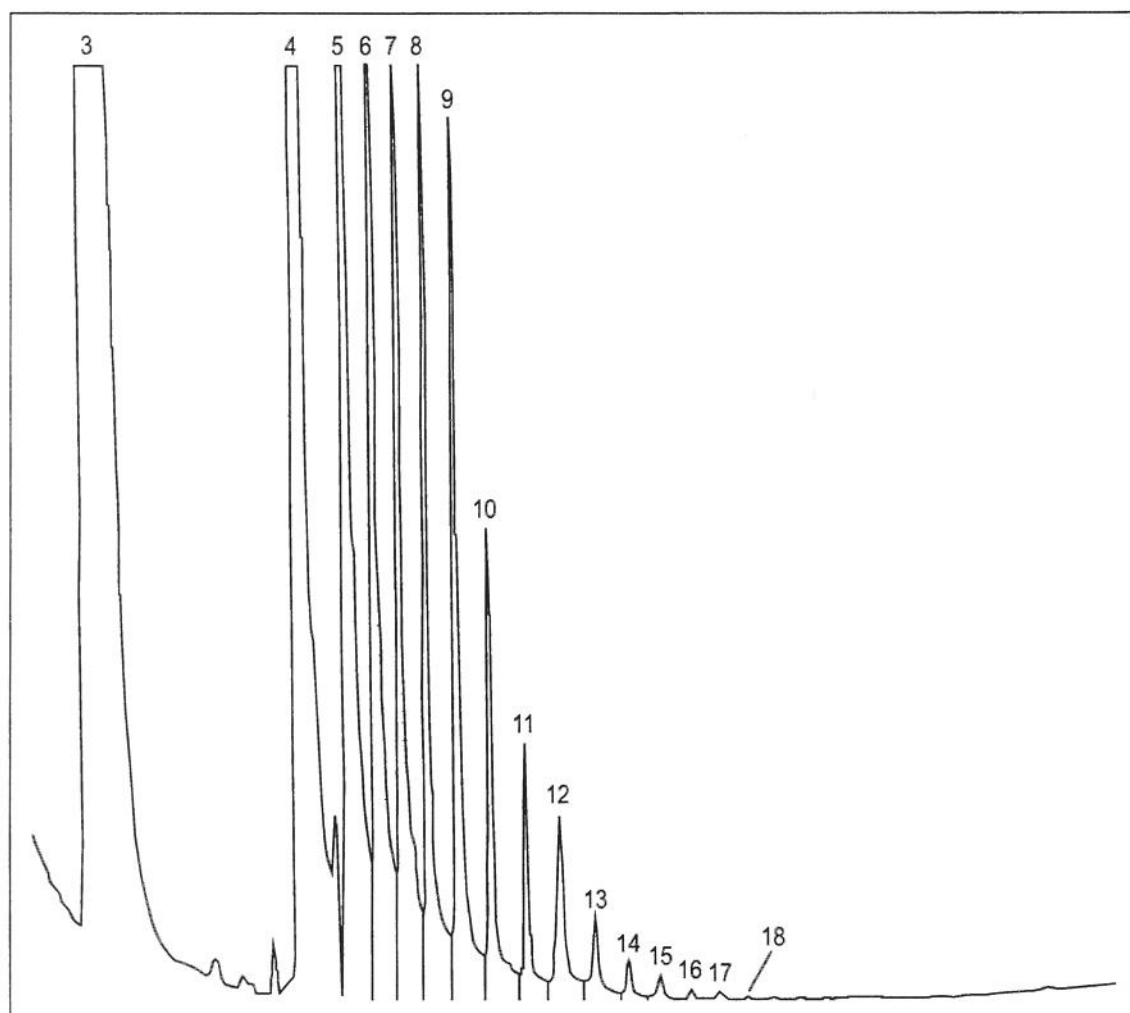


Figura 3-3: Perfil de composição e distribuição de frutanos do yacon
Os números indicam o grau de polimerização

VAN LOO *et al.* (1995) encontraram compostos do tipo F_m (inulobiose) na chicória, notadamente, inulotriose (F_3), inulotetraose (F_4), inulopentaose (F_5) e inulohexaose (F_6). No yacon não foi detectado nenhum desses compostos.

Análise quantitativa de frutanos do yacon.

Segundo VAN LOO *et al.* (1995), a cromatografia gasosa a alta temperatura é a técnica mais eficiente para a separação e quantificação de mono- e frutooligossacarídeos com DP de até 10.

A aplicação desta técnica na análise das amostras de yacon permitiu uma excelente separação, como ilustra um cromatograma típico (Figura 3-4).

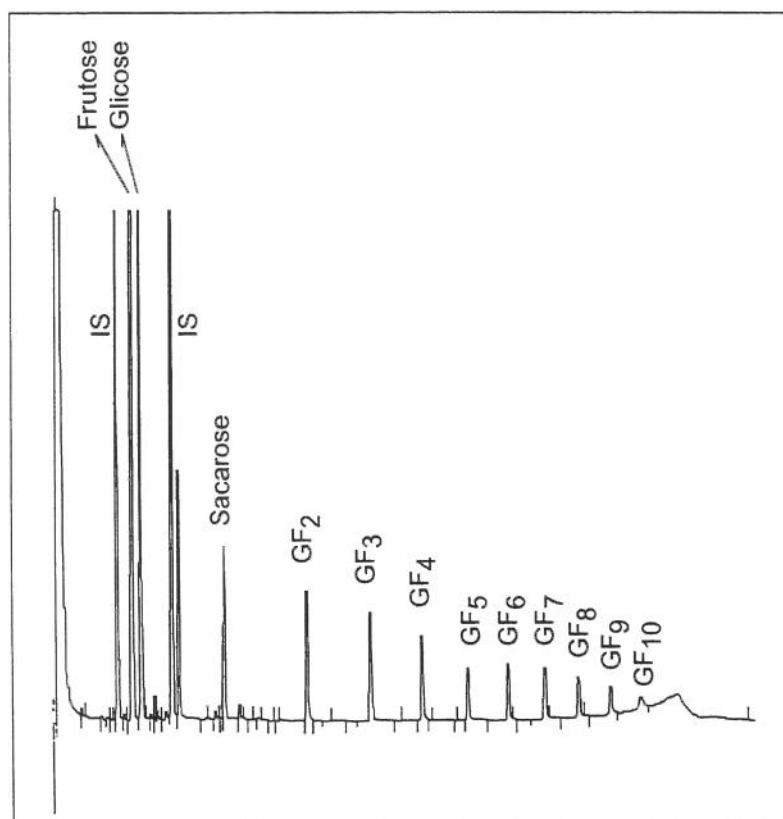


Figura 3-4: Cromatograma obtido por cromatografia gasosa a alta temperatura de yacon amarelo

A Tabela 3-3 mostra os teores de carboidratos presentes nos cultivares amarelo brasileiro e boliviano. Baseado nestes valores, construiu-se a Figura 3-5, visando obter uma informação rápida sobre o total de carboidratos solúveis e também dos mono e dissacarídeos e frutanos.

Tabela 3-3: Concentração dos carboidratos solúveis de yacon amarelo

Carboidrato	Yacon amarelo brasileiro	Yacon amarelo boliviano
Frutose	4,99 ± 0,19a	4,37 ± 0,13a
Glicose	2,96 ± 0,08a	1,97 ± 0,06b
Sacarose	1,52 ± 0,02a	1,47 ± 0,05a
GF ₂	1,90 ± 0,04a	1,08 ± 0,00b
GF ₃	2,07 ± 0,03a	1,56 ± 0,01b
GF ₄	1,24 ± 0,04a	1,30 ± 0,05a
GF ₅	0,67 ± 0,01b	0,91 ± 0,01a
GF ₆	0,37 ± 0,02b	0,67 ± 0,01a
GF ₇	0,24 ± 0,00b	0,49 ± 0,01a
GF ₈	0,19 ± 0,01b	0,37 ± 0,01a
GF ₉	0,07 ± 0,01b	0,24 ± 0,01a
>DP 10	0,07 ± 0,01b	0,13 ± 0,01a

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferenças significativas ao nível de 5%.

Observando os resultados da Tabela 3-3 encontra-se que o yacon brasileiro teve teores significativamente maiores em carboidratos simples (frutose + glicose + sacarose) e significativamente menores em oligofrutos com DP>5. Contudo, as médias de carboidratos solúveis totais que foram de 16,20% e 14,57% para o yacon brasileiro e boliviano respectivamente, não diferiram significativamente ao nível de 5%. O mesmo comportamento foi observado com relação à oligofrutose. Mais uma vez, pode ser constatado que as condições agroecológicas sob as quais foram produzidos as duas amostras, não influenciaram no conteúdo de carboidratos totais em geral e de frutanos em particular.

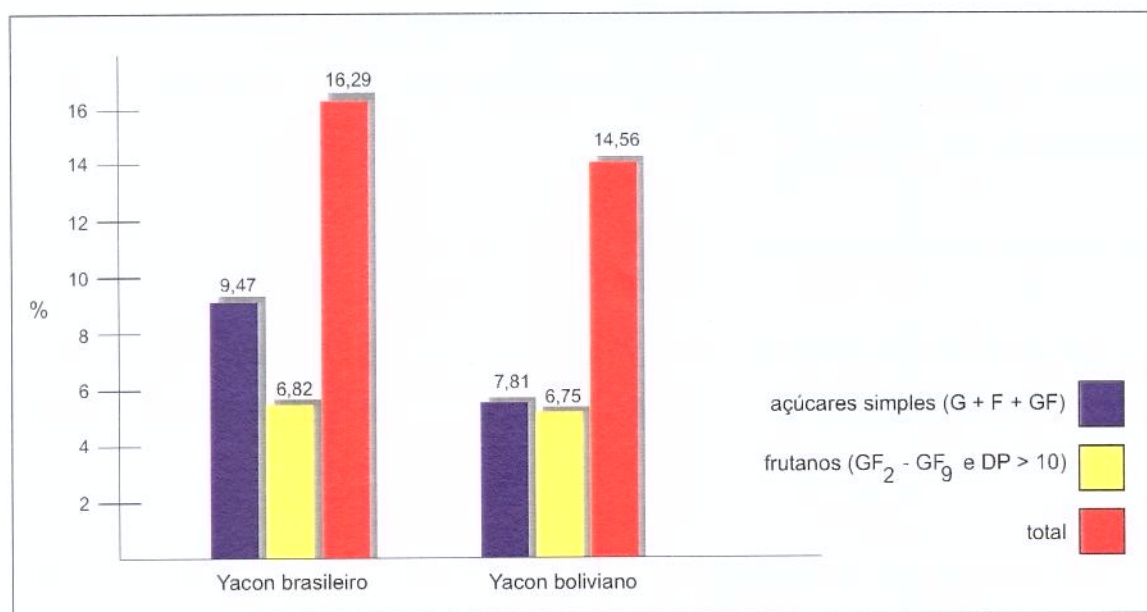


Figura 3-5: Concentrações de carboidratos solúveis totais e de frutanos em yacon amarelo brasileiro e boliviano

No que diz respeito aos graus de polimerização neste estudo, tem sido encontrado que os frutanos do yacon brasileiro tiveram um DP= 4,5 e os frutanos do yacon boliviano exibiram um DP= 5,4. Consequentemente houve um grau de despolimerização diferente em ambas amostras.

3.4. Conclusões

Este trabalho tem demonstrado que a composição química bem como o conteúdo de frutanos dos cultivares amarelo e roxo não diferiram significativamente em função das características agroecológicas dos locais de plantio nem em função do tipo de clone.

Por outro lado, em um estudo de três amostras por CLAE, foram determinadas concentrações de frutanos na faixa de 2,5 - 4,5%. Porém, as análises por cromatografia gasosa, a técnica mais precisa para este propósito, permitiram obter resultados mais altos, na faixa de 6,82 - 7,81%. Contudo, as diferenças foram certamente devidas às amostras e não às técnicas.

Com base nos dados obtidos pode-se afirmar que o yacon "in natura" é um alimento prebiótico ou funcional pois contém teores de frutanos e de outras fibras em quantidades elevadas.

3.5. Referências bibliográficas

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). In: CUNNIFF, P. (Ed.) **Official Methods of AOAC International**, 16th ed., Arlington, VA, 1997, 2v.

ASAMI, T.; KUBOTA, M.; MINAMISAWA, K.; TSUKIHASHI, T. Chemical Composition of yacon, a new root crop from the Andean highlands. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.66, n.2, p.122-126, 1989.

ASAMI, T.; MINAMISAWA, K.; TSUCHIYA, T.; KANO, K.; HORI, I.; OHYAMA, T.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T. Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.62, n.6, p.621-627, 1991.

ASAMI, T.; MINAMISAWA, K.; TSUCHIYA, T.; KANO, K.; HORI, I.; OHYAMA, T.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T. Oligofructans in the shoot, seed yacon, and tuber of yacon. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.63, n.1, p. 72-74, 1992.

BOYER, R.F. **Modern experimental biochemistry**. 2a. ed. Redwood City, CA: The Benjamin / Cummings Publishing Company, Inc., 1993. 555p.

CHARLOT, G.; BEZNER, D. **Methodes modernes d'analyse quantitative minerale**. Ed. Methuen, 1966. 691p.

- CHIRINOS, R.S. **Obtención y caracterización de los oligofructanos a partir de la raíz del yacon** (*Smallantus sonchifolia* Poepp. & Endl.). Lima, 1998. Tesis (Magister Scientiae en Tecnología de Alimentos) - Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- FUKAI, K.; OHNO, S.; GOTO, K.; NANJO, F.; HARA, Y. Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activities in yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Soil Science and Plant Nutrition**, v.43, n.1, p.171-177, 1997.
- GIBSON, G.R. Dietary modulation of the human gut microflora using prebiotics. **British Journal of Nutrition**, v.80, supl.2, p.S209-S212, 1998.
- GOTO, K.; FUKAI, K.; HIKIDA, J.; NANJO, F.; HARA, Y. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v.59, n.12, p.2346-2347, 1995.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2ª ed., 1985, v.1, 533 p.
- NIETO, C. Estudios agronómicos y bromatológicos en jícama (*Polymnia sonchifolia* Poep. et Endl.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.41, p.213-221, 1991.
- OHYAMA, T.; ITO, O.; YASUYOSHI, S.; IKARASHI, T.; MINAMISAWA, K.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T.; ASAMI, T. Composition of storage carbohydrate in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Soil Science and Plant Nutrition**, v.36, n.1, p.167-171, 1990.
- ORAFITI (Suikerjraffinerie Tirlemontoise). Inuline dans la rapure de chicorée. SP 15, français. Tienen, Bélgica, 1996.

- PROSKY, L.; HOEBREGS, H. Methods to determine food inulin and oligofructose. **Journal of Nutrition**, v.129, p.14185-14235, 1999.
- QUEMENER, B.; THIBAUT, J.F.; COUSSEMENT, P. Integration of inulin determination in the AOAC method for determination of total dietary fibre. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.21, p. 175-178, 1997.
- ROBERFROID, M.B. Prebiotics and synbiotics: concepts and nutritional properties. **British Journal of Nutritional**, v.80, supl.2, p.S197-S202, 1998.
- ROBINSON, H. Yacon, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.). In: HERMAN, M.; HELLER, J. **Andean roots and tubers: ahupa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops** Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben / International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 1997, p.202-242.
- VAN LOO, J.; COUSSEMENT, P.; LEENHEER, L.D.; 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, n.6, p. 525-552, 1995.
- VAN WAES, C.; BAERT, J.; CARLIER, L.; VAN BOCKSTAELE, E. A rapid determination of the total sugar content and the average inulin chain length in roots of chicory (*Cichorium intybus* L.) **Journal of Science of Food and Agriculture**, v.76, p.107-110, 1998.
- VILHENA, S.M.C. **Efeitos da exposição ao sol e do armazenamento sobre o conteúdo e a composição dos carboidratos de reserva em raízes tuberosas de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl.)**. Botucatu, 1997. 63p. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

VOGEL, A. **Química analítica cuantitativa**. Buenos Aires: Ed. Kapeluzs, 1978. 2v.

VORAGEN, A.G.J. Technological aspects of functional food - related carbohydrates.
Trends in Food Science and Technology, v.9, p.328-335, 1998.

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

4. OCORRÊNCIA DE CAROTENÓIDES NO YACON

4.1. Introdução

Os carotenóides são pigmentos responsáveis pelas cores amarela, laranja e vermelha dos vegetais e/ou frutas. Além disso, alguns carotenóides possuem propriedades funcionais e outros são precursores da vitamina A.

A porção comestível das raízes tuberosas do yacon pode ser branca, amarela ou arroxeada, sendo que, no Brasil é geralmente amarela fraca ou amarela intensa. A natureza desses pigmentos não tem sido estudada e a literatura registra uma referência de LIZÁRRAGA *et al.*, citados por ROBINSON (1997), relatando uma concentração de carotenos de 0,08 mg/100g, sem especificar a identidade. No que diz respeito aos equivalentes de retinol, têm sido relatados valores baixos e muito diferentes por COLLAZOS (1975) citado por PAPN (1996) e LIZÁRRAGA *et al.*, citado por ROBINSON (1997).

Em decorrência da escassa informação existente em torno dos carotenóides do yacon, o presente trabalho teve como objetivo estudar o perfil de carotenóides do yacon e determinar suas concentrações, por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

4.2. Material e métodos

4.2.1. Material

Foram estudados três lotes de yacon, cv. amarelo, adquiridos em períodos diferentes em um supermercado de Campinas, SP. As análises foram executadas em duplicata ou triplicata.

4.2.2. Métodos

4.2.2.1. Extração

A extração dos pigmentos foi realizada de acordo com RODRIGUEZ *et al.* (1976), agitando-se cada uma das amostras (30-50g) em liquidificador, utilizando como solvente, acetona resfriada e um pouco de celite. A seguir, foi feita a filtração a vácuo. As etapas de extração e filtração foram repetidas até que o residuo se tornasse incolor. Os pigmentos dissolvidos na acetona foram transferidos para éter de petróleo em funil de separação pela adição cuidadosa de pequenas porções de água até completa remoção da acetona. A fração etérea foi recolhida em erlenmeyer e saponificada durante uma noite com KOH a 10% em metanol. Logo depois, a solução alcalina foi lavada com água destilada. A água residual foi removida com sulfato de sódio anidro. Em seguida, a solução dos pigmentos foi concentrada em um evaporador rotatório a vácuo a temperatura $\leq 35^{\circ}\text{C}$ até secá-la quase completamente. A secagem foi completada sob fluxo de nitrogênio e o extrato foi mantido no congelador sob N_2 até análise.

4.2.2.2. Análise por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

Foi utilizado um cromatógrafo líquido de alta eficiência Waters, equipado com detector de conjunto de fotodiodos Waters 996, forno para coluna, bomba quaternária Waters 600, com sistema de degaseificação injetor Rheodyne com loop de 20 μl e sistema de aquisição de dados Millenium. Os carotenóides foram separados em coluna Nova Pack C_{18} (4 μm de tamanho de partícula, 4,6 x 300 mm)

com metanol: acetato de etila: acetonitrila (15:10:75) como fase móvel, operando isocraticamente com um fluxo de 1 ml/min e temperatura de coluna de 29°C. Os dados foram adquiridos entre 250 e 600 nm e os cromatogramas foram processados nos λ_{max} dos carotenóides.

A identificação dos carotenóides foi realizada através de informações obtidas dos espectros de absorção no UV-visível, co-cromatografia com padrões e comportamento cromatográfico. Os comprimentos de onda máximo de absorção dos espectros foram comparados com valores tabelados por DAVIES (1976) e BRITTON (1995).

Foram construídas curvas de calibração para cada carotenóide, para comprovar a faixa de linearidade de cada padrão. Pontos de concentração conhecida, dentro desta faixa, foram utilizados diariamente para quantificação das amostras. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey para determinar diferenças significativas.

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Perfil de carotenóides

A Figura 4-1 ilustra o cromatograma dos carotenóides encontrados no lote 1, e a tabela 4- 1 mostra a identidade e principais características dos picos separados.

Os outros lotes foram ligeiramente diferentes, este fato pode ser atribuído às transformações biossintéticas dos carotenóides. Por exemplo, o fitoeno que esteve presente nos três lotes é precursor do fitoflueno e este do ζ -caroteno. Os carotenóides precursores da vitamina A são produtos posteriores da via metabólica descrita.

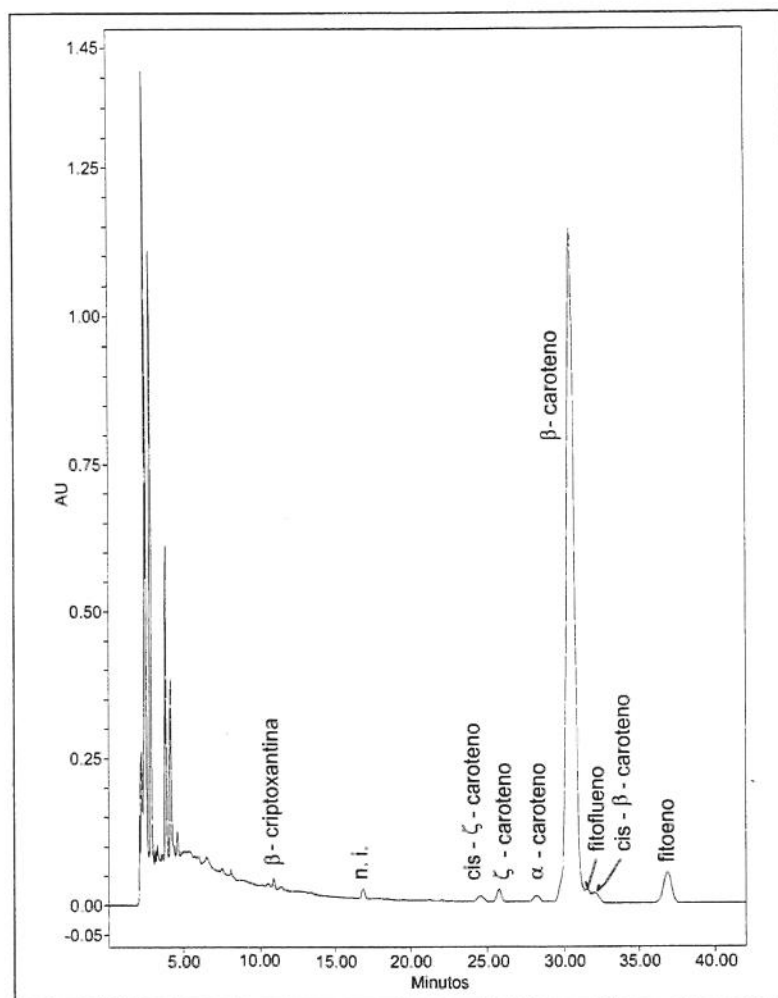


Figura 4-1: Perfil cromatográfico dos carotenóides do yacon amarelo

4.3.2. Conteúdo de carotenóides e valor de vitamina A nas raízes tuberosas

Na Tabela 4-2 podem observar-se as concentrações dos carotenóides majoritários do yacon. Surpreendentemente, as concentrações dos carotenóides quantificados nos três lotes foram significativamente diferentes ao nível de 5%. Os teores de carotenóides dos lotes 2 e 3 são compatíveis com o relatado por LIZÁRRAGA *et al.* (citado por ROBINSON, 1997) que foi de 80 µg/100g. Já a concentração do lote 1 foi quase 6 vezes maior.

Tabela 4-1: Carotenóides detectados no yacon amarelo

Nº do pico	Carotenóide identificado	Tempo de retenção (min.)	$\lambda_{\max}^{(1)}$	$\lambda_{\max}^{(2)}$
1	n.i.*	3,11 - 3,50	417 441 471	418 442 467
2	β -criptoxantina	11,17	428 454 482	425 449 476
3	n.i.	16,82 - 16,90	(427) 448 476	-
4	γ -caroteno	22,04 - 22,12	(430) 463 496	437 462 494
5	neurosporeno	21,35 - 22,86	413 437 466	414 439 467
6	<i>cis</i> - ζ -caroteno	24,57 - 25,10	378 400 425	378 400 425
7	ζ -caroteno	25,77 - 26,17	381 401 426	378 400 425
8	α -caroteno	28,19 - 29,47	423 448 475	422 444 473
9	β -caroteno	30,49 - 30,61	427 454 480	(425) 448 475
10	fitoflueno	31,68	331 349 366	331 347 367
11	<i>cis</i> - β -caroteno	32,12 - 32,25	426 447 470	-
12	fitoeno	36,87 - 37,20	(275) 285 (293)	(276) 286 297

⁽¹⁾ Obtido pelo detector de conjunto de fotodiodos Waters 996, com a fase móvel metanol: acetato de etila: acetonitrila (15:10:75)

⁽²⁾ Dados publicados por DAVIES (1976)

* Provavelmente neoxantina ou violaxantina

n.i.: não identificado.

O valor de vitamina A em cada caso foi calculado de acordo com a NAS-NRC (1989):

$$RE = \frac{\mu\text{g } \beta\text{-caroteno}}{6} + \frac{\mu\text{g de outros precursores pró-vitamina A}}{12}$$

Segundo a Tabela 4-2, o β -caroteno foi de longe, o principal carotenóide do yacon, pois atingiu 94% a 99% do total. Isto significa que o valor de vitamina A deriva quase exclusivamente de β -caroteno, enquanto os outros precursores da vitamina A (β -criptoxantina, γ -caroteno, α -caroteno e *cis*- β -caroteno) contribuem com menos de 5 $\mu\text{g}/100\text{g}$.

Tabela 4-2: Conteúdo de carotenóides e valor de vitamina A no yacon

Carotenóides	Concentração ($\mu\text{g} / 100\text{g}$)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
n.i*	tr.	tr.	tr.
β -criptoxantina	n.d.	tr.	n.d.
n.i.	tr.	tr.	n.d.
γ -caroteno	tr.	n.d.	n.d.
neurosporeno	n.d.	$3,34 \pm 0,1$	n.d.
<i>cis</i> - ζ -caroteno	$6,35 \pm 0,3a$	$1,05 \pm 0,0b$	tr.
ζ -caroteno	$6,15 \pm 0,2a$	$1,14 \pm 0,0b$	tr.
α -caroteno**	$4,35 \pm 0,3$	tr.	n.d.
β -caroteno**	$454,13 \pm 5,5a$	$92,60 \pm 2,4b$	$67,52 \pm 3,9c$
fitoflueno	tr.	tr.	n.d.
<i>cis</i> - β -caroteno**	tr.	tr.	tr.
fitoeno	tr.	tr.	tr.
Total	$470,97 \pm 5,9a$	$98,13 \pm 2,5b$	$67,52 \pm 3,9c$
Valor de vitamina A (RE/100g)	$75,69 \pm 0,9a$	$15,43 \pm 0,4b$	$11,25 \pm 0,7c$

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferenças significativas ($P \leq 0,05$)

n.i.: não identificado

n.d.: não detectado

tr.: traços

* Provavelmente neoxantina ou violaxantina

** Carotenóides precursores de vitamina A

4.4. Conclusões

Foram detectados doze carotenóides, dez dos quais foram identificados e apenas cinco puderam ser quantitativamente avaliados; neurosporeno, *cis*- ζ -caroteno, ζ -caroteno, α -caroteno e β -caroteno. Os demais ocorreram em traços.

Os precursores de vitamina A detectados foram β -criptoxantina, γ -caroteno, α -caroteno, β -caroteno e *cis*- β -caroteno. O carotenóide principal foi β -caroteno e consequentemente o valor da vitamina A do yacon derivou quase que exclusivamente deste carotenóide.

A pesar da homogeneidade dos lotes analisados no que diz respeito à origem e época de colheita verificaram-se diferenças significativas no conteúdo dos carotenóides.

4.5. Referências bibliográficas

BRITTON, G. UV/visible spectroscopy. In: BRITTON, G.; PFANDER, H.; LIAAEN-JENSEN, S. (Eds.) **Carotenoids**. Basel: Birkhäuser, 1995, p.13-62.

DAVIES, B.H. Carotenoids. In: GOODWIN, T.W. (Ed.) **Chemistry and biochemistry of plant pigments**. London: Academic Press, 1976, vol.2, p.38-165.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE / NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NAS-NRC). Recommended dietary allowances, 10th ed., Washington, 1989.

PROGRAMA DE ALIMENTOS Y PRODUCTOS NATURALES (PAPN). Programa colaborativo de biodiversidad - Informe Técnico. Cochabamba (mimeo), 1996.

- ROBINSON, H. Yacon, *Smallanthus sonchifolius* (poepp. & Endl.). In: HERMAN, M.; HELLER, J. **Andean roots and tubers: ahipa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.** Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben / International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 1997, p. 202-242.
- RODRIGUEZ, D.B.; RAYMUNDO, L.C.; LEE, T.C.; SIMPSON, K.L.; CHICHESTER, C.O. Carotenoid pigment changes in ripening *Momordica charantia* fruits. **Annals of Botany**, n.40, p.615, 1976.

5. INIBIÇÃO DO ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO DO YACON

5.1. Introdução

O escurecimento enzimático dos vegetais é devido à oxidação reversível dos compostos fenólicos a o-quinonas, que por sua vez, em um processo não-enzimático, transformam-se em polímeros pardos, vermelhos ou pretos (JANOWITZ, 1989). A enzima envolvida neste fenômeno é a polifenoloxidase, PPO, que apresenta, na realidade, dois tipos de atividades catalíticas, uma de o-hidroxilação (atividade de cresolase, E.C. 1.14.18.1) e outra de oxidação aeróbica (atividade de catecolase, E.C. 1.10.3.2).

O escurecimento enzimático é, via de regra, um processo indesejável e por isso, têm sido desenvolvidos métodos químicos e tratamentos físico-químicos para inativar ou inibir a polifenoloxidase ou então, transformar os substratos. VÁMOS-VIGYAZÓ (1995) e JIAN & FU (1998) relataram o uso de bissulfitos, ácido ascórbico, ácido cítrico, glutathione, cisteína e outros agentes para o controle do escurecimento. A maioria desses compostos podem ser empregados com bons resultados; no entanto, os bissulfitos podem desencadear reações adversas em pacientes asmáticos (TAYLOR & BUSCH, 1986).

A utilização de compostos químicos na prevenção do escurecimento enzimático é especialmente útil nas frutas, contudo produtos com elevada carga microbiana como o yacon e outras raízes e tubérculos podem precisar de tratamentos térmicos visando a população microbiana, abrandar e remover os gases dos tecidos além de inativar as enzimas (LIN, 1997).

O branqueamento com água fervente por 10-20 minutos tem sido usado com sucesso por ACHI (1991) em tubérculos de *Discorea rotundata*. TRUONG et al. (1998) obtiveram batatas doces com elevada aceitabilidade, usando tratamentos com água a 62°C por 30 ou 45 minutos. Temperaturas mais altas e tempos mais curtos, por exemplo 100°C por 3 minutos e 94°C por 5 minutos, foram adequadas para prevenir o escurecimento enzimático em fatias de batata doce congelada (MA et al., 1992).

No caso particular do yacon, tem sido observado que o branqueamento em água a 92°C por 5 minutos, evita o escurecimento enzimático, no processo de obtenção de fatias desidratadas (PAPN, 1996). Já no caso da produção de suco de yacon, foi relatado o branqueamento de yacon com casca, com vapor a 100°C por 30 minutos e posterior resfriamento com água por 60 minutos (KANEGAFUCHI, 1992). Pode-se notar, no caso do yacon, uma diferença considerável nos tempos dos tratamentos térmicos aplicados pelo PAPN (1996) e KANEGAFUCHI (1992), embora os produtos finais sejam diferentes. Existe, portanto, a necessidade de avaliar o branqueamento do yacon, principalmente no que diz respeito da variável tempo, e além disto, é preciso determinar algumas características da PPO do yacon.

Por outro lado, em se tratando do branqueamento térmico do yacon, é importante avaliar o uso sinérgico do ácido ascórbico como antioxidante, as perdas dos sólidos hidrossolúveis como os frutanos e outros carboidratos, componentes importantes desta matéria-prima.

No presente trabalho, foram investigados os efeitos dos branqueamentos com água fervente e vapor de água, na cor do suco de yacon e na concentração de sólidos solúveis e de fenóis,, bem como algumas características da PPO do yacon.

5.2. Material e métodos

5.2.1. Material

Utilizou-se yacon (peso médio ~150 g), cv. amarelo, produzido na região de Capão Bonito, SP. As amostras foram adquiridas em um supermercado de Campinas, SP, levadas ao laboratório e armazenadas sob refrigeração até a realização dos estudos.

5.2.2. Métodos

5.2.2.1. Análise de fenóis totais

Usou-se o método de Singleton e Rossi baseado no reagente Folin-Ciocalteu (OUGH & AMERINE, 1988). Os resultados foram expressos como mg/kg de equivalentes de catecol.

5.2.2.2. Preparação do extrato enzimático de PPO

O extrato enzimático de PPO foi preparado tomando 20 g de yacon. Cada amostra foi moída com 100 ml de tampão fosfato de potássio 0,025 M (pH=6,5) em almofariz sobre gelo (MA *et al.*,1992), e prévia adição de 0,5 % de polivinilpirrolidona. O homogenizado foi centrifugado a 11.000 g durante 15 minutos a 0°C. O sobrenadante foi mantido a 4°C até sua utilização.

5.2.2.3. Determinação da atividade de PPO no extrato enzimático

A atividade da PPO no extrato foi medida a 420 nm em espectrofotômetro (Beckman DU 70) a 20°C. A mistura da reação foi: 0,5 ml de extrato, 1,2 ml de catecol a 0,4 % em tampão fosfato de potássio 0,025 M 1,3 ml de tampão fosfato de potássio 0,025 M. Para o branco usou-se 1,8 ml do tampão acrescentado de 1,2 ml da solução de catecol. Após a adição de catecol à mistura da reação foram registradas as mudanças da absorbância por 5 minutos, a cada minuto.

Outros substratos utilizados foram ácido clorogênico, guaiacol, pirogalol e pirocatequina. A atividade da enzima foi calculada sobre a base da pendente da porção linear inicial da gráfica ΔA_{420} - tempo, seguindo os critérios de BOYER (1993). A atividade enzimática (k) foi expressa, de acordo com MANZOCCO *et al.* (1998) e ANESE *et al.* (1995), como a mudança na densidade ótica por minuto. Os resultados foram as médias de três repetições, obtendo-se coeficientes de variação menores que 10 %.

5.2.2.4. Determinação dos parâmetros cinéticos K_M e V_{max}

Os valores da constante de Michaelis - Menten (K_M) e da velocidade máxima (V_{max}) foram determinados usando o método de Lineweaver-Burk. Para tanto, o substrato usado foi o catecol em concentrações de 4, 8, 12, 16 e 20 mM. As mudanças das absorbâncias foram acompanhadas conforme o item 5.2.2.3.

5.2.2.5. Branqueamento

Trabalhou-se com yacon descascado e cortado em pedaços, já que nos testes preliminares, observou-se que o branqueamento do yacon com casca apesar de haver reduzido as perdas de sólidos solúveis (Brix), demandou longos tempos de tratamento pelo grande tamanho das raízes tuberosas e, além disso, promoveu a geração de odores indesejáveis.

Antes de cada tratamento, o yacon foi cuidadosamente lavado, descascado e cortado em pedaços cúbicos de ~20 g. A seguir foi branqueado por 1, 5, 10, 15 ou 20 minutos através de:

- a) água a 100°C
- b) vapor de água
- c) vapor de água em amostras previamente mergulhadas em solução de 0,2 % de ácido ascórbico por 10 minutos

Nos casos a) e b) as amostras foram colocadas em água para evitar o escurecimento prematuro até o momento da aplicação do teste. Logo depois do tratamento, as amostras foram imersas em água resfriada até atingir uma temperatura final de 10°C.

5.2.2.6. Determinação da intensidade do escurecimento

Pedaços de 20 g de yacon branqueado foram moídos em almofariz, homogenizados em 40 ml de água e centrifugados a 1000 g por 10 minutos. Alíquotas de 10 ml do sobrenadante foram então acrescentados com 15 ml de etanol a 95%, agitados e centrifugados de novo a 1000 g por 15 minutos. A intensidade da cor foi determinada no sobrenadante através da absorbância a 420 nm (EBBESSEN, 1999).

5.2.2.7. Determinação da atividade residual da PPO após branqueamento

O yacon branqueado por tempos de 1, 5, 10, 15 e 20 minutos foi submetido a um estudo para verificar a influência do branqueamento na atividade residual de sua PPO. A extração da enzima se fez de acordo com o item 5.2.2.2 e a atividade residual foi estabelecida segundo o item 5.2.2.3.

5.2.2.8. Determinação da cor

Foram determinados os valores L^* (luminosidade), a^* (componente vermelho) e b^* (componente amarelo) nos sucos obtidos por prensagem a partir de yacon submetido a branqueamento com vapor por 10 minutos, com e sem adição de ácido ascórbico. Escolheu-se estes sucos porque corresponderam à melhor combinação de tempo de branqueamento e intensidade de escurecimento da matéria-prima.

As medições foram conduzidas em triplicata em um colorímetro Universal Color Quest, no sistema CIELAB, RESIN/D65/10°. Os coeficientes de variação foram menores a 5 %.

5.3. Resultados e discussão

5.3.1. Concentração de fenóis totais

A Tabela 5-1 apresenta as concentrações de fenóis de três lotes de yacon. Os resultados se situaram na faixa de 410 - 472 mg/kg, semelhante aos valores de 339 - 518 mg/kg relatados por MA *et al.* (1992) em batatas doces, porém menores que 508 - 768 mg/kg determinados por TALCOTT & HOWARD (1999) em cenouras.

Tabela 5-1: Concentração de fenóis totais em yacon

Número de lote	Concentração (mg/kg)
Lote 1	428,8 ± 10,1 a
Lote 2	431,8 ± 2,0 a
Lote 3	456,0 ± 13,3 a

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferenças significativas ($p \leq 0,05$)

A elevada suscetibilidade ao escurecimento pode se atribuída ao nível de fenóis. MA *et al.* (1992) constataram esse fato em batata doce; e no caso do yacon, pode-se afirmar que é um fator chave.

Após, descascado, o yacon formou pigmentos verdes, em alta velocidade. Porém, as mudanças de cor são dramaticamente evidentes durante a trituração e esmagamento pela rápida transformação das cores verdes em pretas. Por tanto, o suco do yacon não branqueado apresentou uma cor negra.

5.3.2. Atividade da PPO do yacon

A Figura 5-1 ilustra a cinética da reação entre a PPO do yacon e os diferentes substratos. Pode-se notar que a especificidade diferiu com cada um deles, sendo o catecol o substrato mais oxidado e o guaicol o menos oxidado.

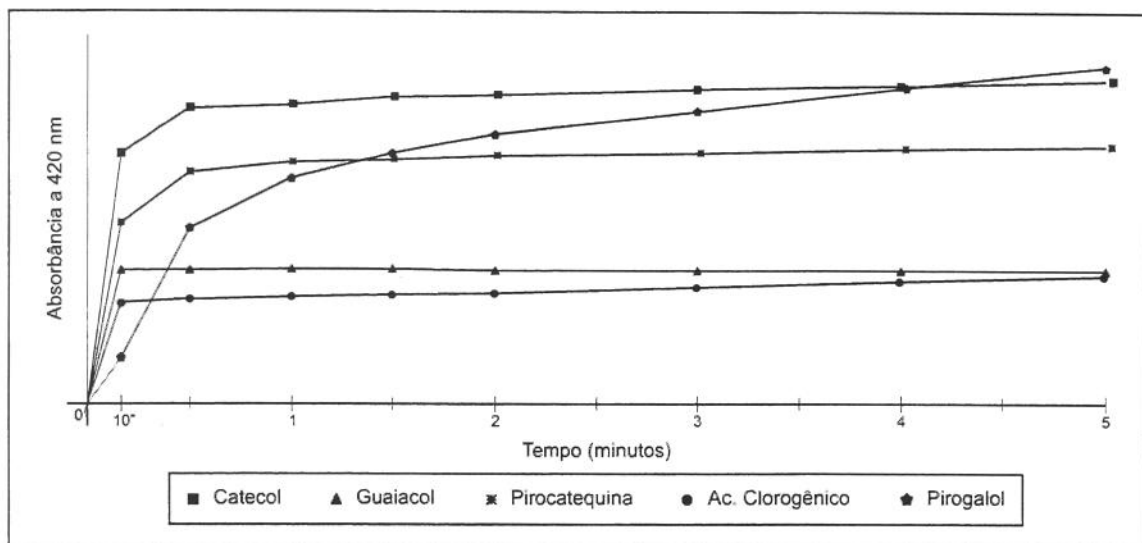


Figura 5-1: Cinética da reação da PPO do yacon e diferentes substratos

Com base nas curvas apresentados na Figura 5-1, calcularam-se as atividades da PPO do yacon frente aos diferentes substratos. Na Tabela 5-2 são expostos os valores de atividade enzimática (k) nos diferentes casos. pode-se notar também que as atividades relativas no minuto 1 diferiram substancialmente. Tomando como padrão o catecol (atividade 100%) as atividades relativas foram de 67%, 67%, 37% e 30% para a pirocatequina, pirogalol, guaiacol e ácido clorogênico respectivamente.

Tabela 5-2: Atividade da polifenoloxidase do yacon frente a diferentes substratos

Substrato	Atividade (k) (Unidades de densidade ótica / minuto)	Atividade relativa Minuto 1 (%)
Catecol	1,42	100
Pirogalol	0,38	67
Pirocatequina	1,02	67
Guaiacol	0,76	37
Ácido clorogênico	0,58	30

5.3.3. Determinação dos parâmetros cinéticos K_M e V_{max}

Na Figura 5-2 está mostrada a representação de Lineweaver-Burk para o sistema PPO-catecol, de acordo com HERNANDEZ et al. (1997). Observa-se que a cinética se ajusta ao modelo proposto por Michaelis-Menten e também apresenta uma boa correlação ($R^2 = 0,998$).

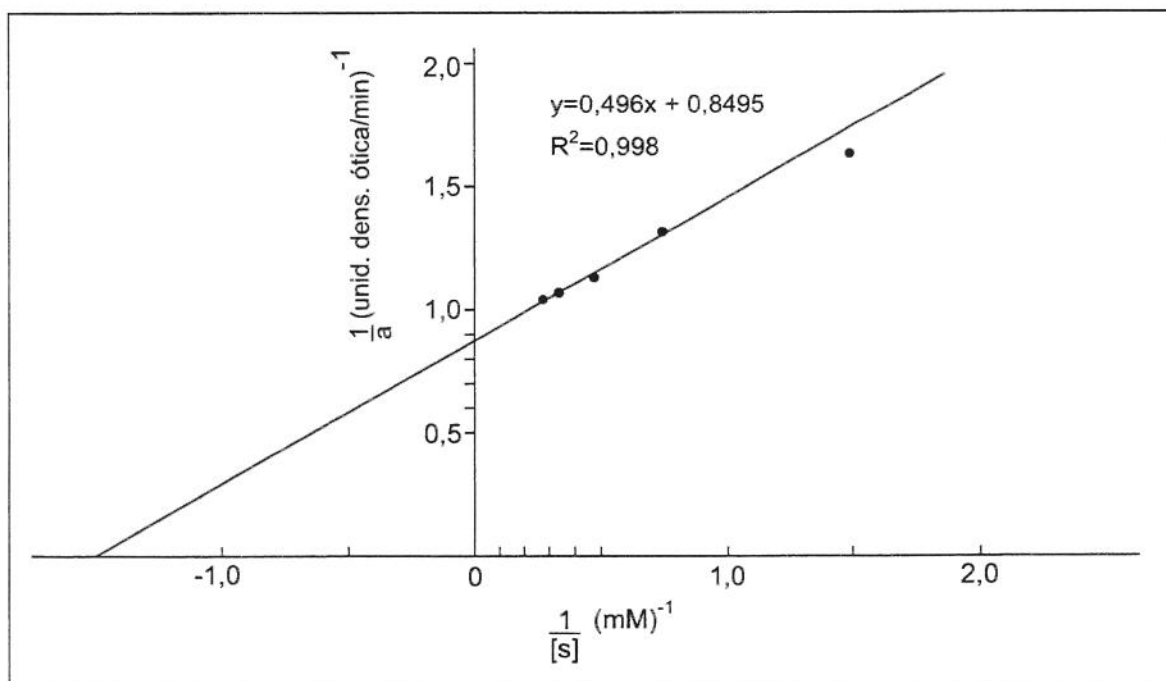


Figura 5-2: Representação de Lineweaver-Burk para a enzima PPO do yacon e o substrato catecol

Por regressão linear, calculou-se um valor de K_M de 0,5838 mM e V_{max} de 1,17 unid. densidade ótica / min. Usando o mesmo substrato, SIDDIQ *et al.* (1996) determinaram um K_M de 19,7 mM e uma V_{max} de 6,6 (unid. dens. ótica a 420 nm/min $\times 10^{-1}$) para a ameixa.

A literatura relata valores muito diferentes de ambos parâmetros com PPO de diversas fontes e catecol, sugerindo afinidades variáveis. Em geral, quanto menor K_M , existe uma afinidade maior entre a enzima e o substrato.

5.3.4. Efeito do branqueamento na intensidade do escurecimento

O branqueamento da raiz tuberosa de yacon é uma operação essencial para obter sucos isentos de cores indesejáveis. Por isso foi estudado o efeito do branqueamento térmico com água a 100°C e vapor de água por diferentes tempos, na intensidade do escurecimento. A Figura 5-3 ilustra a eficiência dos diferentes tratamentos.

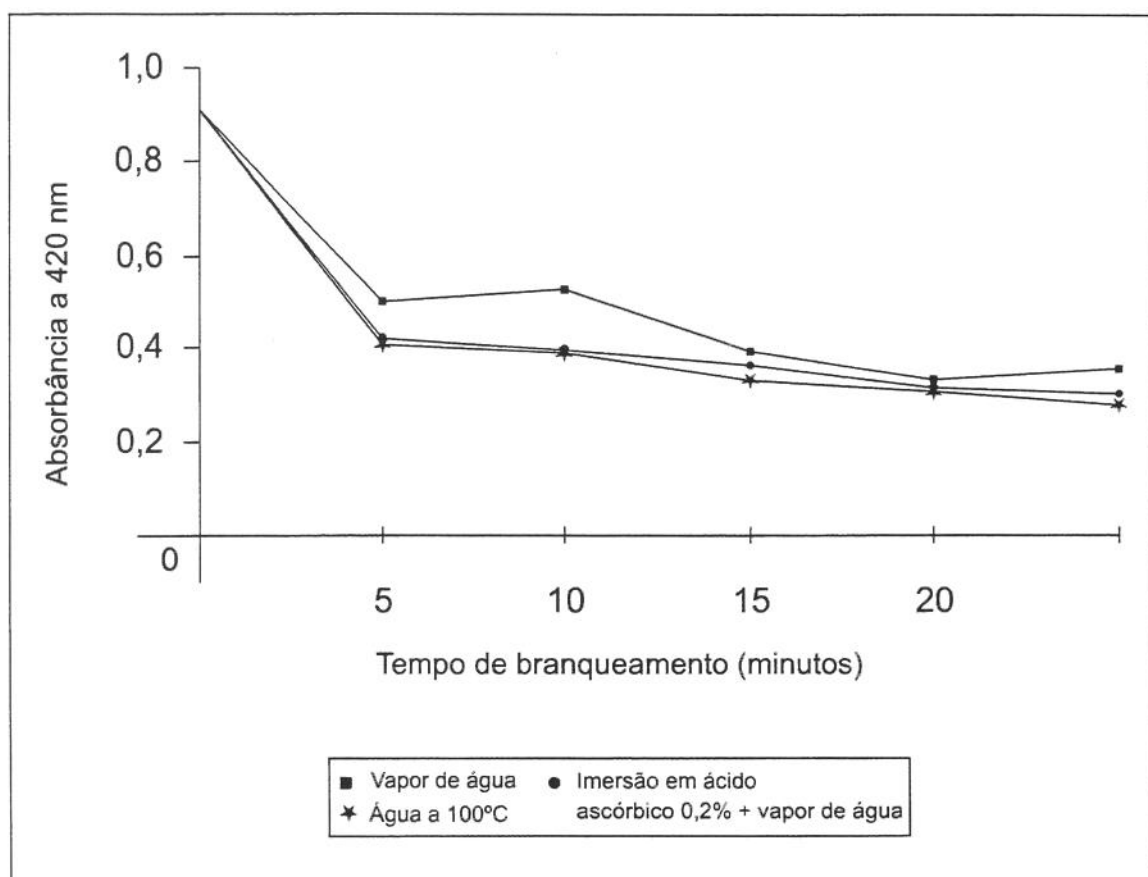


Figura 5-3: Efeito do branqueamento com água a 100°C e vapor de água na intensidade do escurecimento

Observando a Figura 5-3 pode-se estabelecer que o tempo adequado de branqueamento foi de 10 minutos, período que permite preservar a cor original, com uma mínima quantidade de pigmentos verdes ou pretos.

A intensidade do escurecimento foi menor nas amostras branqueadas com água fervente e nas tratadas com a solução de ácido ascórbico seguidas de aplicação de vapor. Já o branqueamento com vapor permitiu a geração de pequenas quantidades de pigmentos escuros logo no início do processo pela ativação da PPO e devido à existência de oxigênio disponível.

O resfriamento do yacon branqueado, em ausência de oxigênio até uma temperatura inferior a 20°C, imediatamente depois de finalizar o branqueamento mostrou-se essencial. A essa temperatura começa a atividade catalítica da PPO, segundo MA *et al.* (1992).

Um fator que deve ser levado em consideração no branqueamento térmico é a perda de sólidos solúveis. No caso do branqueamento com água fervente por 10 minutos houve uma redução média de 35% no valor dos °Brix. Já nos casos dos tratamentos com vapor, a redução foi menor que 10%. ABDEL-KADER (1992) trabalhando com batatas, determinou reduções de glicose de 40% e 53% em períodos de branqueamento com água a 90°C por 10 e 20 minutos, respectivamente.

Conseqüentemente, o melhor tipo de tratamento foi a imersão em ácido ascórbico a 0,2% e na seqüência o branqueamento com vapor por 10'.

5.3.5. Efeito do branqueamento na atividade da PPO do yacon

O efeito do branqueamento com vapor de água na cinética de oxidação do catecol pela PPO do yacon manifestou-se como ilustra a Figura 5-4. Nas amostras branqueadas por 1 minuto, a atividade residual foi maior que no controle, observando-se também um aumento da atividade que pode ser explicada pela ativação térmica, como foi também previamente constatado por MA *et al.* (1992) em batatas doces.

Tempos de 10 minutos ou mais foram suficientes para reduzir a atividade da PPO a níveis baixos, como reflete a Tabela 5-3. Porém, não foi anulada completamente a atividade da PPO, nem sequer com 20 minutos de tratamento.

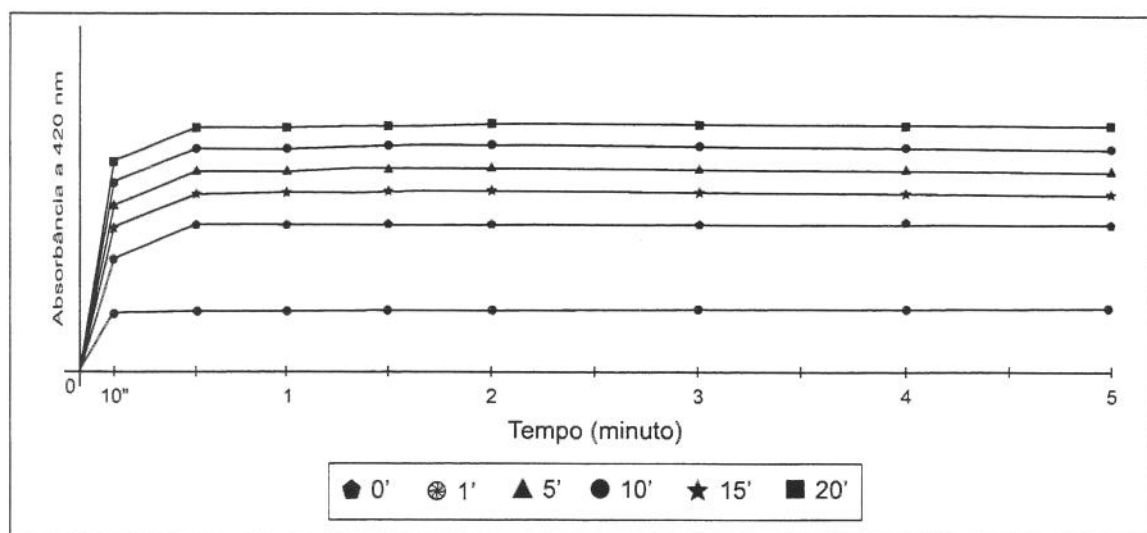


Figura 5-4: Cinética da PPO do yacon branqueado com vapor de água frente ao substrato catecol

Tabela 5-3: Atividade residual da PPO do yacon após branqueamento com vapor

Tempo de tratamento (minutos)	Atividade (k) (unidades de densidade ótica) (min)	Atividade relativa Minuto 1 (%)
0	1,42	100
1	1,61	120
5	0,43	26
10	0,29	18
15	0,31	19
20	0,31	19

5.3.6. Determinação da cor do suco de yacon

Como tem sido observado, mesmo tempos de branqueamento longos, como 20 minutos, não eliminam totalmente a atividade da PPO do yacon. Isto

assinala uma termoresistência da enzima, o que pode provocar mudanças na cor produção do suco a partir do yacon branqueado. A solução pode ser a adição rápida de ácido ascórbico (0,2% p/v) para evitar a ação oxidativa de PPO.

A Figura 5-5 demonstra as mudanças dos valores de L^* (luminosidade) e do ângulo hue ($\tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$) dos sucos obtidos a partir de yacon branqueado com vapor por 10 min' acrescentado de ácido ascórbico 0,2%. Observou-se que a adição de ácido ascórbico evita o escurecimento o que se reflete em um maior valor de L^* ao longo do tempo e na constância do valor $\tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$. Já nos sucos isentos de ácido ascórbico houve grandes alterações principalmente de b^* .

O uso combinado de calor e antioxidante foi testado com sucesso por BEVERIDGE & HARRISON (1985) com suco de peras. No processo, os autores moeram a fruta, acrescentaram ácido ascórbico e submeteram o purê acerca de 90°C por 30 segundos ou mais e resfriaram-o até 35°C rapidamente.

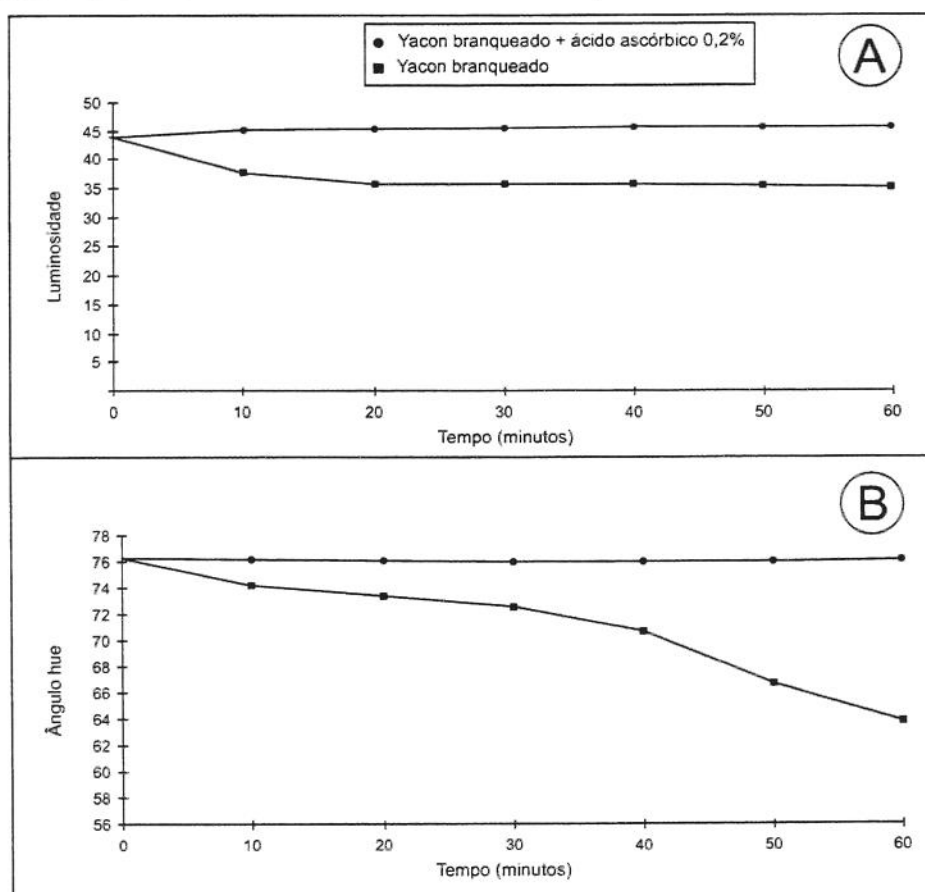


Figura 5-5: Mudanças na cor do suco de yacon obtido a partir de raiz tuberosa branqueada com vapor por 10'. (A) Luminosidade e (B) Ângulo hue

5.4. Conclusões

O yacon é uma matéria-prima altamente suscetível ao escurecimento pela grande concentração de fenóis (410-470 mg/kg) e uma grande afinidade à PPO. O controle do escurecimento enzimático pode ser efetivamente realizado com o uso sinérgico de ácido ascórbico e tratamento térmico.

5.5. Referências bibliográficas

- ABDEL-KADER, Z.M. Effect of blanching on the diffusion of glucose from potatoes. **Die Nahrung**, v.36, n.1, p.15-23, 1992.
- ACHI, O.K. Effect of natural fermentation of yams (*Discorea rotundata*) on characteristics of processed flour. **Journal of Food Science**, v.56, n.1, p.272-275, 1991.
- ANESE, M.; NICOLI, M.C.; DALL'AGLIO, G.; LERICI, C.R. Effect of high pressure treatments on peroxidase and polyphenoloxidase activities. **Journal of Food Biochemistry**, v.18, p.285-293, 1995.
- BEVERIDGE, T.H.J.; HARRISON, J.E. **Process for the production of clear, light coloured fruit juice**. (Cl.A23L1/212). CA 1243898, 12 apr. 1985, 01 nov. 1985, 7p.
- BOYER, R.F. **Modern experimental biochemistry**. 2ª ed. Redwood City: The Benjamin / Cummings Publishing Company, Inc., 1993. 555 p.
- EBBESEN, A. Effect of temperature, oxygen and packaging material on orange juice quality during storage. **Fruit Processing**, n.11, p. 446-455, 1999.

- HERNANDEZ, T.; BERNALTE, M.J.; SABIO, E.; VIDAL-ARAGON, M.C. Actividad peroxidasa y polifenoloxidasa de dos variedades de cereza durante la maduración. **Alimentaria**, v.6, p.45-48, 1997.
- JANOWITZ, A.; RICHARD, F.; NICOLAS, J. Polyphenol oxidase from apple. Partial purification and some properties. **Phytochemistry**, v.28, p.2903-2907, 1989.
- JIAN, Y.; FU, J. Inhibition of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid. **Food Chemistry**, v.62, n.1, p.49-52, 1998.
- KANEGAFUCHI KAGAKU KOGYO K.K. Hisada, Y.; Nawata, N. **Beverages containing enzyme-treated ground yacon**. (Cl. A23L1/30). JP 04, 104, 772. 24 aug. 1990, 07 apr. 1992.
- LIN, S.B. Drying and freeze-drying of vegetables. In: SMITH, D.S.; CASH, J.N.; NIP, W.K.; HUI, Y.H. **Processing vegetables: science and technology**. Lancaster: Technomic Publishing Co., Inc., 1997, cap. 3, p. 65-83.
- MA, S.; SILVA, J.L.; HEARNSBERGER, J.O.; GARNER, J.O. Prevention of enzymatic darkening in frozen sweet potatoes [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] by water blanching: relationship among darkening, phenols, and polyphenol oxidase activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, p. 864-867, 1992.
- MANZOCCO, L.; MASTROCOLA, D.; POIANA, M. Control of browning in frozen puree of cherimoya (*Annona cherimola*, mill.) fruit. **Sciences des Aliments**, v. 18, p. 101-107, 1998.
- OUGH, C.S.; AMERINE, M.A. **Methods for analysis of musts and wines**. 2^a ed. New York: J. Wiley & Sons, Inc., 1988, 377p.

PROGRAMA DE ALIMENTOS Y PRODUCTOS NATURALES (PAPN). Programa Colaborativo de Biodiversidad - Informe Técnico. Cochabamba (mimeo), 1996.

SIDDIQ, M.; SINHA, N.K.; CASH, J.N.; HANUM, T. Partial purification of polyphenol oxidase from plums (*Prunus domestica* L., cv. STANLEY) **Journal of Food Biochemistry**, v.20, p. 111-123, 1996.

TALCOTT, S.T.; HOWARD, L.R. Chemical and sensory quality of processed carrot puree as influenced by stress-induced phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, p. 1362-1366, 1999.

TAYLOR, S.L.; BUSCH, R.K. Sulfites as food ingredients. **Food Technology**, v.40, p.47-52, 1986.

TRUONG, V.D.; WALTER, W.M.; BETT, K.L. Textural properties and sensory quality of processed sweet potatoes as affected by low temperature blanching. **Journal of Food Science**, v.63, n.4, p. 739-743, 1998.

VÁMOS-VIGYÁZÓ, L. Prevention of enzymatic browning in fruits and vegetables. In: LEE, C.Y.; WHITAKER, J.R. (Eds.) **Enzymatic browning and its prevention**. Washington D.C.: ACS Series, 1995. Cap.4, p. 49-63.

6. PRODUÇÃO DE SUCO DE YACON UTILIZANDO ENZIMAS

6.1. Introdução

A extração de sucos de frutas e de outros vegetais é um processo alternativo à extração mecânica aplicado a matérias-primas como maçã, pêra, cenoura e outras. A utilização de enzimas permite obter maiores rendimentos e melhorar a qualidade dos sucos através da recuperação de pigmentos coloridos e dos nutrientes em geral, além de influir positivamente na textura.

Três processos diferentes podem ser conduzidos com o emprego de enzimas nas frutas e vegetais: a maceração, que transforma os tecidos organizados em uma suspensão de células intactas; o tratamento enzimático da polpa (pulp-enzyming) que produz a destruição parcial das paredes celulares e uma degradação da pectina dissolvida e ; finalmente, a liquefação que visa a completa dissolução da parede celular, mediante a adição de enzimas pectolíticas e celulolíticas (SILHA *et al.*, 1995).

As paredes celulares dos vegetais possuem três camadas, a lamela intermédia, a parede primária e a parede secundária. A parede primária é composta principalmente de protopectina, enquanto a lamela intermédia age como uma substância intercelular que junta as células entre si, sendo composta de pectina solúvel.

A parede celular primária é uma matriz amorfa de partículas de celulose cristalina e lignina, que bóia em um gel aquoso composto de diferentes frações de hemiceluloses e pectinas. As pectinas são unidas por proteínas à matriz de xiloglucano e celulose, através de ligações covalentes ou pontes de hidrogênio. Nas paredes celulares primárias também se encontram vários polissacarídeos como arabinanos, galactanos, arabinogalactanos, etc.

As enzimas que podem degradar as paredes celulares são encontradas na mesma fruta ou vegetal, porém, enzimas exocelulares microbianas são usadas atualmente para obter maiores rendimentos e melhor qualidade. As preparações comerciais contêm enzimas com atividades diferentes, sendo as pectinases as mais importantes (GRASSIN & FAUQUEMBERGUE, 1996). São usadas também celulases e hemicelulases e ainda misturas de várias outras enzimas (ZULIANI, 1994).

O modo de ação e a classificação das pectinases tem sido relatado por WHITAKER (1991), GRASSIN & FAUQUEMBERGUE (1996) e ALKORTA et al. (1998). Já no caso das celulases, e hemicelulases GRASSIN & FAUQUEMBERGUE (1996) apresentaram as contribuições de numerosos autores.

PAGÁN et al. (1997) usaram a mistura enzimática Novo AFTLS em maçã, obtendo rendimentos 80% maiores com relação à extração mecânica. MUNSCH et al. (1986) obtiveram um acréscimo do rendimento de 88-92%, trabalhando com cenouras submetidas a maceração enzimática com pectinase (2 h, 45°C, sem ajuste do pH) e além disso, verificaram um aumento dos sólidos totais, cinzas, viscosidade e cor.

NANI & PENCI (1996) produziram sucos opalescentes estáveis de pêra usando as pectinases Rohapect MA (Röhm Gmb H) e Cytolase M 219 (Gist-Brocades), com características intermédias entre o suco límpido e o suco polposo. Os autores ressaltaram que as enzimas usadas atacaram basicamente à estrutura celulósica e hemicelulósica e muito pouco às cadeias pécticas com a decorrente estabilidade dos produtos. BEVERIDGE & HARRISON (1985) obtiveram um suco de pêra, claro e brilhante usando pectinase (1% de Irgazyme na proporção de 10 ml/kg) e celobiase (1 ml/l de Novozyme) que quando concentrado a 72° Brix não apresentou nenhuma deposição de sedimentos.

As referências sobre a extração enzimática do suco de yacon são escassas e pouco detalhadas. A empresa japonesa KANEGAFUCHI patenteou, em 1990, um procedimento para obter o suco de yacon usando celulase,

a 45°C por 2 horas, porém a qualidade e o rendimento do o suco obtido não foi relatado. Por outro lado, CHIRINOS (1998) produziu suco de yacon utilizando pectinase e celulase na tentativa de extrair os frutanos; como era previsível, seus rendimentos foram menores dos obtidos por extração aquosa.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os rendimentos e algumas características dos sucos de yacon obtidos enzimaticamente.

6.2. Material e métodos

6.2.1. Material

Foi utilizado um lote de 10 kg de yacon amarelo, proveniente da região de Capão Bonito, São Paulo. Foram selecionadas raízes tuberosas em bom estado, de pesos de 200 - 250 g, objetivando um lote homogêneo.

6.2.2. Enzimas

Foram empregadas as seguintes enzimas:

- a) Celulase (E.C. 3.2.1.4) de 25.000 unidades, de *Aspergillus niger*, qualidade Sigma (Saint Louis, MO). Uma unidade desta enzima libera 1,0 μmol de glicose da celulose em uma hora a pH 5 e 37°C. A enzima possui 0,57 unidades/mg.
- b) Pectinase (E.C. 3.2.1.15) produzido por *A. niger*, de 25.000 unidades, qualidade Sigma (Saint Louis, MO). Uma unidade desta enzima produz 1,0 μmol de ácido galacturônico a partir de ácido poligalacturônico por minuto a pH 4 e 25°C. O produto tem 25 unidades/mg.
- c) Rohapect MA plus, gentilmente cedido pela Röhm GmbH (Darmstadt). O Rohapect MA plus é uma pectinase de *A. niger*, geneticamente modificado, com atividade poligalacturonásica não-macerante e pectinasterásica.

As concentrações das enzimas foram fixadas em função de recomendações de autores e do fabricante do Rohapect MA plus. O pH das pastas não foi abaixado visando evitar a hidrólise dos frutanos e a temperatura 45°C é largamente indicada como ótima para a celulase (ENZYME TECHNOLOGY citado por BRASIL *et al.*, 1995).

6.2.3. Métodos

6.2.3.1. Processamento

Na Figura 6-1 observa-se o fluxograma das operações realizadas, visando obter o suco de yacon em escala laboratorial. O lote foi lavado, clorado por 20' (200 ppm), descascado, cortado em pedaços, branqueado com vapor a 100°C por 10 minutos. Após um período de resfriamento de 1 hora, até ~ 15°C, por imersão em água resfriada, o yacon foi moído em um moinho coloidal, obtendo-se assim, um purê homogêneo que foi conservado a -20°C em câmara fria até o momento do uso, prévia adição de 0,2% de ácido ascórbico para inibir a atividade residual da PPO.

O purê descongelado foi colocado em porções de 200 g em frascos Duran de 500 ml, dotados de tampa. Em seguida adicionou-se 50 e 100 ppm de pectinase Sigma, 50 e 100 ppm de Rohapect MA plus, 100 e 200 mg/l. de celulase Sigma, totalizando 6 frascos.

O processo de hidrólise enzimática foi conduzido sob agitação em Shaker a 30°C, exceto no caso da celulase que foi a 45°C, sendo em ambos os casos o tempo de 2 horas. Depois, procedeu-se à inativação enzimática, aquecendo as polpas a 100°C por 2 minutos e logo resfriaram-se em 5 minutos com água. A seguir, os purês foram submetidos a pressões de 6 kPa por 5 minutos, em uma prensa hidráulica de 60 toneladas de capacidade. Os sucos assim obtidos foram analisados.

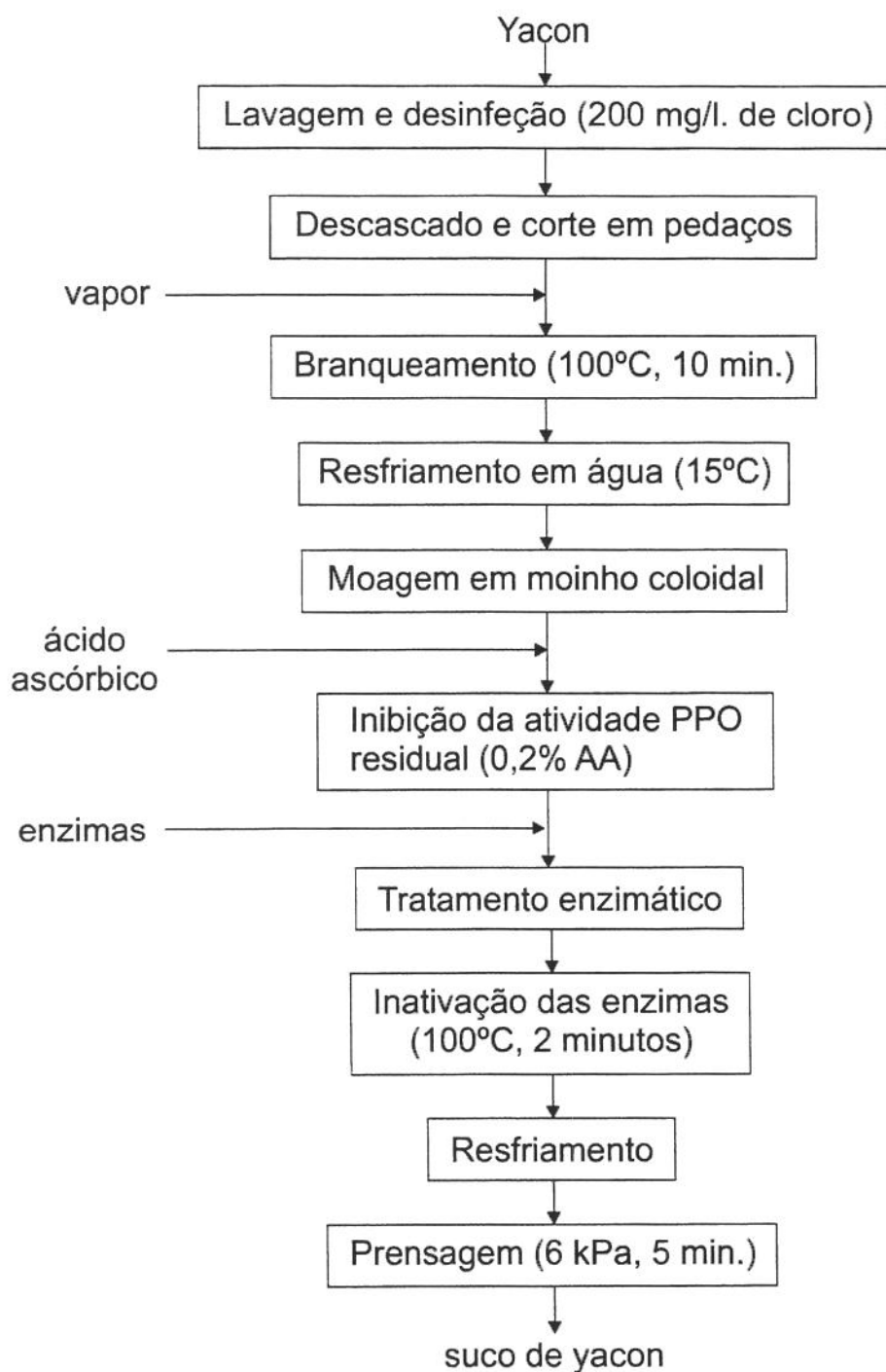


Figura 6-1: Produção enzimática de suco de yacon em escala de laboratório

6.2.3.2. Análises químicas e físico-químicas

As análises indicadas a seguir foram feitas em triplicata.

pH

Foi determinado em um pH-metro Micronal B374 usando o método do INSTITUTO A. LUTZ (1985).

°Brix

Foi determinado em um refratômetro Abbé da Carl Zeiss - Jena, de acordo com o método 932.12 da AOAC (1997).

Acidez total

Segundo o método volumétrico 942.15 da AOAC (1997).

Viscosidade

Foi medida a temperatura ambiente (26-29°C) usando um reômetro programável Brookfield DV-III, usando rotações de 100 a 200 rpm e o spindle 5C4-18.

Cor

Foram avaliados os valores L* (luminosidade), a* (componente vermelho) e b* (componente amarelo) através de um colorímetro Universal Color Quest no sistema CIELAB, RSIN/D65/10°.

6.2.3.3. Análise Estatística

O planejamento experimental usado foi o aleatório como descrito por STEEL & TORRIE (1980, citado por LAM QUOC *et al.*, 1998). Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% ($p \leq 0,05$).

6.3. Resultados e discussão

6.3.1. Características do purê de yacon

Na Tabela 6-1 estão apresentadas as características físico-químicas mais relevantes do purê de yacon.

Tabela 6-1: Características físico-químicas do purê de yacon

Parâmetro	Valor
pH	6,2 ± 0,0
°Brix	13,0 ± 0,1
Acidez (expresso em % ácido cítrico)	0,29 ± 0,00
Viscosidade a 100 rpm (cp)	952,6 ± 0,0
L* (luminosidade)	46,26 ± 0,01
a* (componente vermelho)	-1,80 ± 0,00
b* (componente amarelo)	14,37 ± 0,01

Quanto às características reológicas, o purê apresentou uma elevada viscosidade, que foi reduzida até a faixa de 128-135 cp pela ação das enzimas utilizadas neste estudo.

Nas Figuras 6-2 e 6-3 são reproduzidas as curvas de tensão de cisalhamento - taxa de deformação e da viscosidade aparente em função da taxa de deformação. O purê de yacon demonstrou um comportamento de fluido pseudoplástico verificado através da diminuição da viscosidade aparente acompanhado do aumento da taxa de deformação (HOLLAND & BRAGH, 1995).

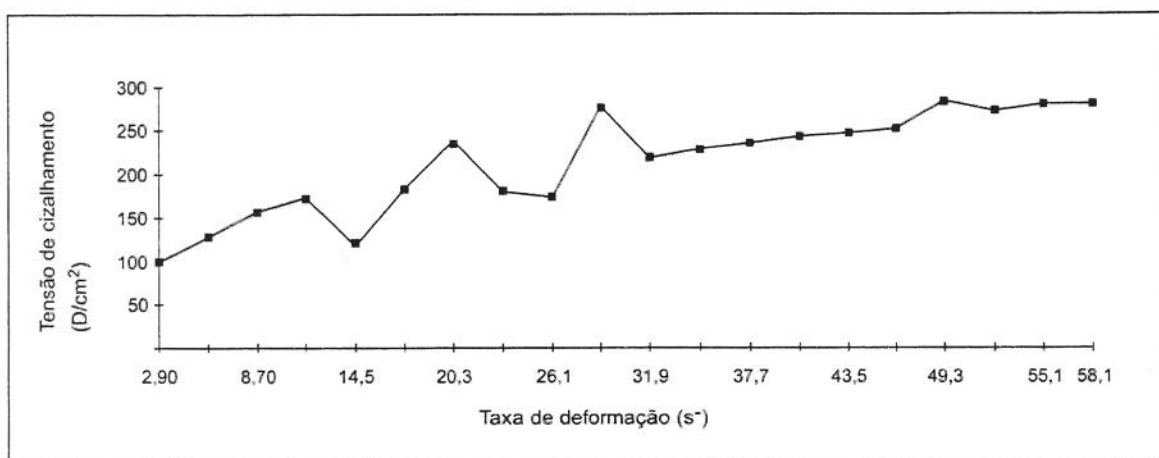


Figura 6-2: Reologia do purê de yacon (a 30°C)

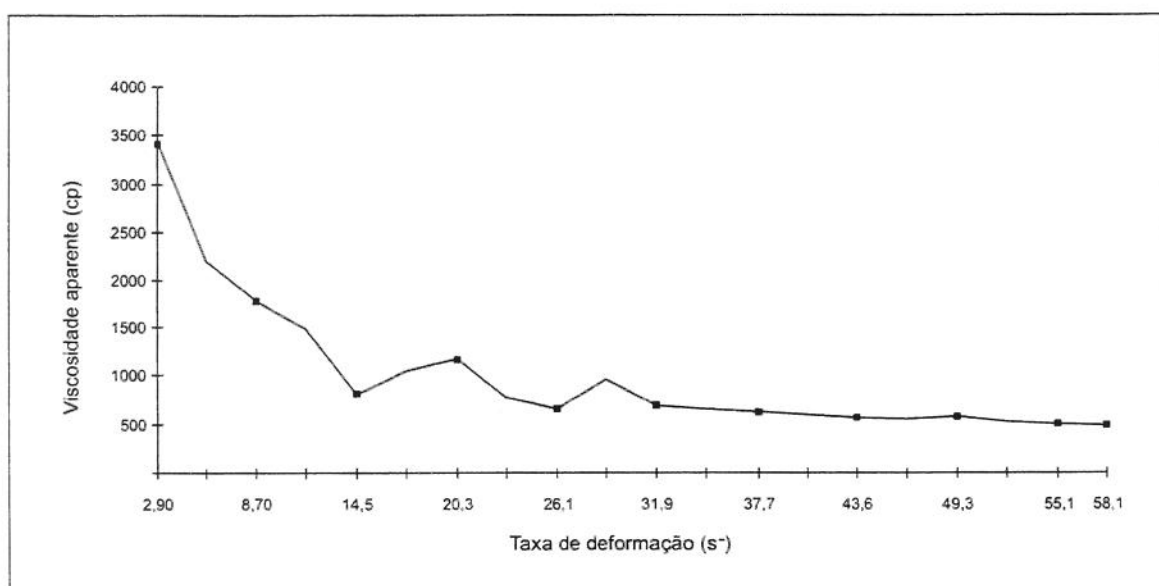


Figura 6-3: Viscosidade aparente do purê de yacon (a 30°C)

6.3.2. Características do suco de yacon

A Tabela 6-2 mostra os valores analíticos físico-químicos dos sucos de yacon obtidos pela ação de diversas enzimas e do controle, isto é, o suco obtido por prensagem.

Tabela 6-2: Características físico-químicas dos sucos de yacon

Parâmetro	Controle	Celulase		Pectinase		Rohapect MA plus	
		100 mg/l.	200 mg/l.	50 mg/l.	100 mg/l.	50 mg/l.	100 mg/l.
Rendimento (%)	76,0 ± 0,8 c	83,4 ± 0,5 b	84,2 ± 0,6 b	86,0 ± 0,6 ab	88,2 ± 0,7 a	87,5 ± 0,4 ab	88,1 ± 0,4 a
°Brix	12,8 ± 0,01 c	12,8 ± 0,02 c	13,1 ± 0,01 b	12,8 ± 0,02 c	13,4 ± 0,02 a	13,1 ± 0,00 b	13,1 ± 0,01 b
pH	6,1 ± 0,0 a	6,0 ± 0,0 b	6,0 ± 0,0 b	5,9 ± 0,05 c	6,0 ± 0,0 b	6,0 ± 0,0 b	6,1 ± 0,0 a
Acidez (% ác cítrico)	0,292 ± 0,00 a	0,270 ± 0,00 c	0,290 ± 0,00 a	0,284 ± 0,00 b	0,266 ± 0,00 b	0,283 ± 0,00 b	0,279 ± 0,00 b
Viscosidade a 100 rpm (cp)	1,38 ± 0,02 ab	1,38 ± 0,01 ab	1,44 ± 0,00 a	1,26 ± 0,01 c	1,38 ± 0,01 ab	1,38 ± 0,02 ab	1,35 ± 0,01 b
L* (luminosidade)	37,70 ± 0,01 d	38,22 ± 0,03 c	38,40 ± 0,02 b	37,71 ± 0,03 d	38,64 ± 0,04 a	38,65 ± 0,04 a	38,64 ± 0,04 a
a* (componente vermelho)	-1,85 ± 0,01 bc	-1,95 ± 0,00 a	-1,95 ± 0,01 a	-1,79 ± 0,01 c	-1,82 ± 0,01 c	-1,89 ± 0,01 b	-1,94 ± 0,01 a
b* (componente amarelo)	2,27 ± 0,01 c	2,61 ± 0,02 a	2,62 ± 0,02 a	2,29 ± 0,01 c	2,29 ± 0,01 c	2,50 ± 0,02 b	2,60 ± 0,02 a

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferenças significativas ($p \leq 0,05$)

O rendimento de suco foi elevado em todos os casos, devido ao tratamento térmico e a moagem. Mesmo sem o emprego de enzimas, atingiu-se 76% de rendimento. Já com o uso de enzimas, obtiveram-se rendimentos significativamente maiores; na faixa de 86-88% com pectinases (Sigma e Rohapect MA plus), e de 83,4% - 84,2% com a celulase.

Foi evidenciado que as pectinases possibilitaram rendimentos mais elevados que as celulases. Segundo GRASSIN & FAUQUEMBERGUE (1996) as estruturas de celulose encontram-se em uma matriz composta de hemiceluloses, proteínas e sobretudo de substâncias pécticas; por tanto, a hidrólise das pectinas exerce uma influência maior, que a hidrólise da celulose, no rendimento.

Os valores de sólidos solúveis (°Brix) foram maiores nos sucos obtidos por tratamento enzimático, e além disso, maiores concentrações de enzimas resultaram em valores de °Brix mais altos.

Quanto à acidez e pH, observam-se pequenas variações nos diferentes sucos, o que sugere uma baixa atividade de pectinase sobre os grupos metoxilo das cadeias pécticas e uma elevada ação hidrolítica nas ligações glicosídicas.

A viscosidade final foi significativamente menor nos sucos obtidos por tratamento com pectinase Sigma ou Rohapect MA plus, o que concorda com o relatado por SILIHA *et al.* (1995) e HASSANIEN *et al.* (1990).

As Figuras 6-4 a 6-9 ilustram as propriedades reológicas dos sucos de yacon obtidos com o uso de enzimas e do controle. Em todos os casos constatou-se um comportamento de fluido pseudoplástico. Esta característica se manifesta através do decréscimo das viscosidades aparentes com o aumento das taxas de deformação (HOLLAND & BRAGH, 1995).

Os parâmetros da cor, L*, a* e b* variaram segundo as enzimas usadas. Em geral, a luminosidade foi maior nos sucos obtidos com enzimas que no controle, enquanto a* foi maior nos sucos obtidos com celulase. Já o valor do componente b* foi menor nos sucos obtidos com celulase e um pouco menor nos sucos obtidos com Roahapect MA plus.

LABIB (1991) sugeriu a existência de uma pequena atividade PPO (polifenoloxidase) em alguns preparados enzimáticos, o que poderia acarretar um escurecimento nos sucos, porém, no nosso caso, foi acrescentado ácido ascórbico, o qual evita essa atividade catalítica. Então, a diferença de cor, talvez seja devido à formação de hidroximetilfurfural a partir de frutose. É pouco provável que o tratamento térmico de 100°C por 2 minutos, produza transformações nos carotenóides do yacon.

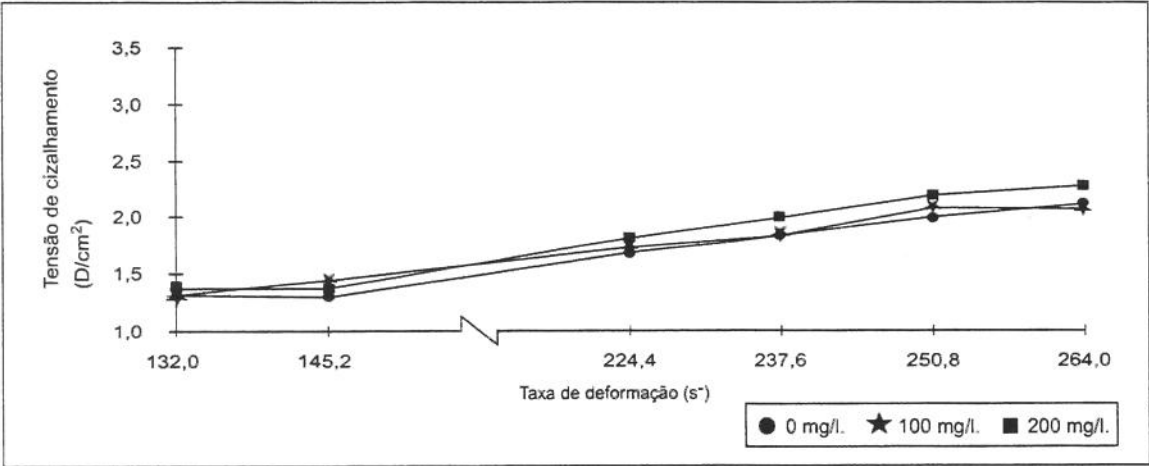


Figura 6-4: Reologia do suco de yacon obtido por tratamento com celulase Sigma

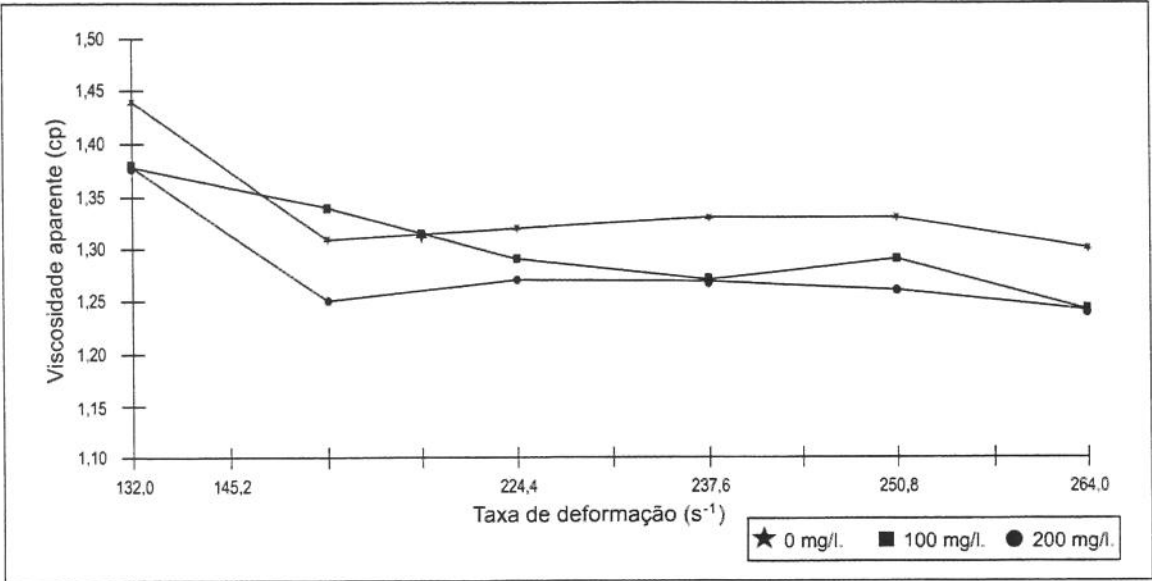


Figura 6-5: Viscosidade aparente do suco de yacon (a 30°C) obtido por tratamento com celulase Sigma

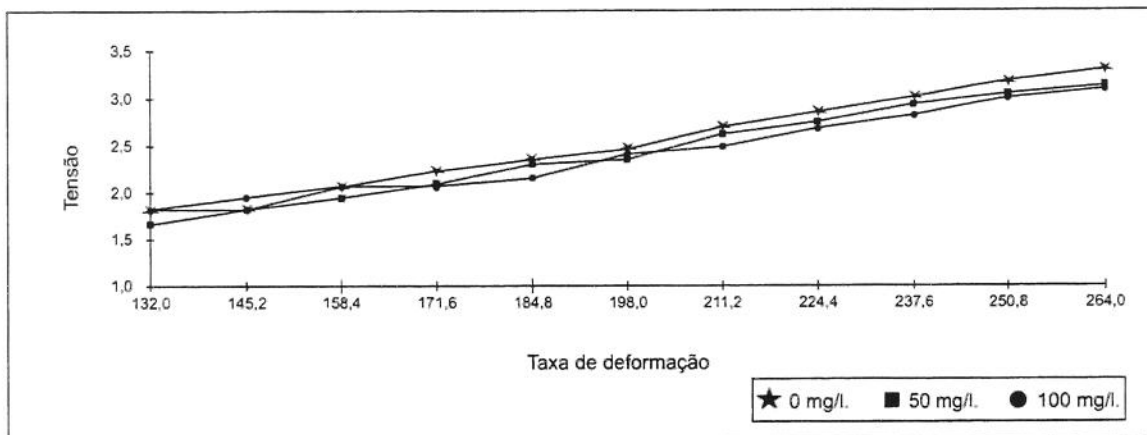


Figura 6-6: Reologia do suco de yacon obtido por tratamento com pectinase Sigma

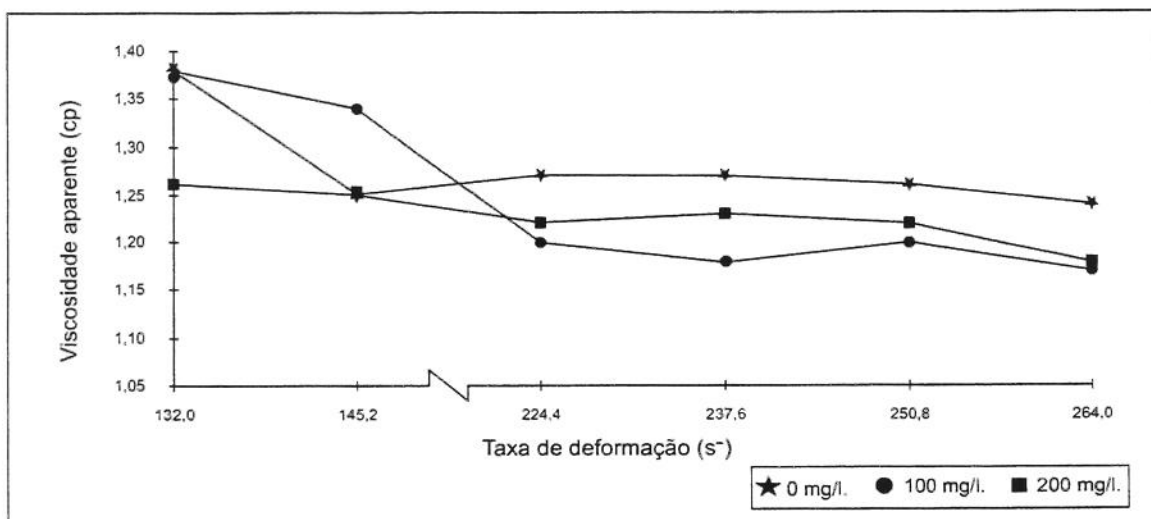


Figura 6-7: Viscosidade aparente do suco de yacon (a 30°C) obtido por tratamento com pectinase Sigma

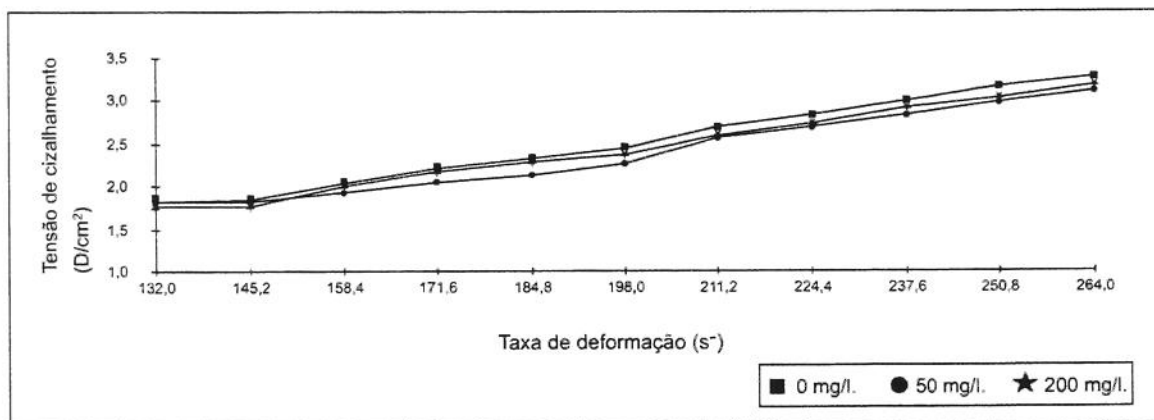


Figura 6-8: Reologia do suco de yacon obtido por tratamento com Rohapect MA plus

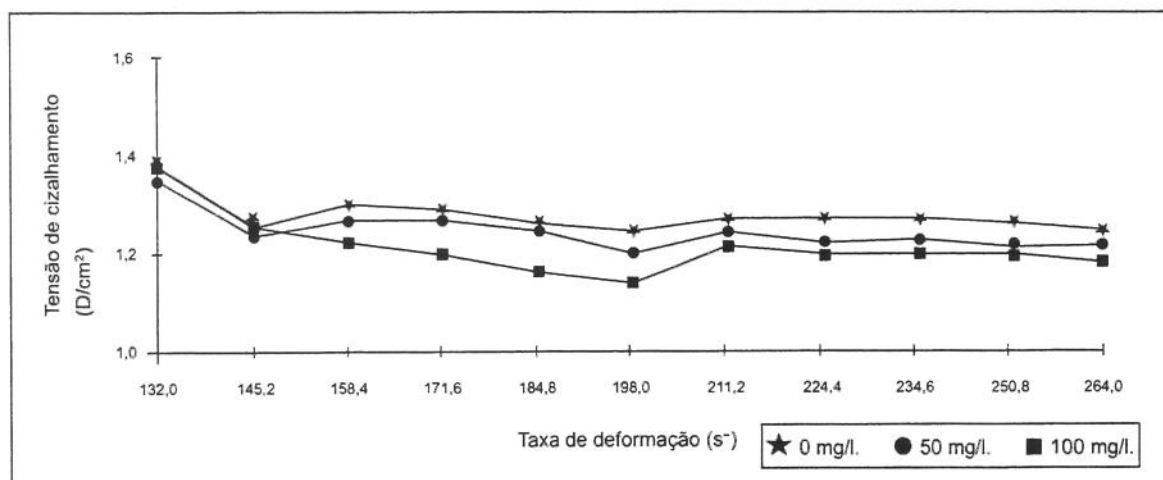


Figura 6-9: Viscosidade aparente do suco de yacon (a 30°C) obtido por tratamento com Rohapect MA plus

6.4. Conclusões

A utilização de enzimas para a obtenção do suco de yacon foi favorável em termos de rendimento, permitindo atingir até 88,1% com pectinases a 84,2% com celulose, frente a 76% alcançado na extração mecânica.

As pectinases Sigma e Rohapect MA plus demonstraram um desempenho e eficiência superiores que as da celulase Sigma no que diz respeito ao rendimento.

As características de qualidade, avaliadas pelos valores de pH, acidez, viscosidade e cor, foram ligeiramente diferentes nos sucos obtidos enzimaticamente e no controle.

6.5. Referências bibliográficas

ALKORTA, I; GARBISU, C.; LLAMA, M.J.; SERRA, J.L. Industrial applications of pectic enzymes: a review. **Process Biochemistry**, v.33, n.1, p. 21-28, 1998.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). In: CUNNIFF, P. (Ed.) **Official Methods of AOAC International**, 16th ed., Arlington, VA, 1997, 2v.

- BEVERIDGE, T.H.J.; HARRISON, J.E. **Process for the production of clear, light coloured fruit juice.** (Cl. A23L1/212). CA 1,234,898, 12 apr. 1985, 01 nov. 1985, 7 p.
- BRASIL, I.M.; MAIA, G.A.; FIGUEIREDO, R.W. Mudanças físico-químicas durante a extração e clarificação de suco de goiaba (*Pisidium guajaba* var. *pomifera*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.8, p. 1097-1106, 1995.
- CHIRINOS, R.S. **Obtención y caracterización de los oligofructanos a partir de la raíz del yacon** (*Smallantus sonchifolia* Poepp & Endl.). Lima, 1998. Tesis (Magister Scientiae en Tecnologia de Alimentos) - Escuela de Postgrado, Universidade Nacional Agraria La Molina.
- GRASSIN, C.; FAUQUEMBERGUE, P. Fruit juices. In: WEST, G. (Ed.) **Industrial Enzimology**: McMillan Press, 1996, eap 2.13, p. 227-262.
- HASSANIEN, F.; EL-MAKHZANGY, A.; AYYAD, K. Application of polysaccharide enzymes in beet-pulp. **Die Nahrung**, v. 34, n. 5, p. 469-473, 1995.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos.** São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2a. ed., 1985. v.1, 533 p.
- KANEGAFUCHI KAGAKU KOGYO K.K. HISADA, Y.; NAWATA, N. **Beverages containing enzyme-treated ground yacon.** (Cl. A23L1/30). JP 04, 104, 772. 24 aug. 1990, 07 apr. 1992. (Japanese Patent Abstract).
- LABIB, A.S. Enzymes in guava fruit processing. **Fruit Processing**, v. 9, n. 1, p. 13-18, 1995

LAM QUOC, A.; FUSTIER, P.; COUTURE, R.; CASTAIGNE, F.; MAKHLOUF, J. Effet de différent agents de clarification sur l'élimination des tannins, sur la composition chimique et la stabilité du jus de cajou. **Sciences des Aliments**, v. 18, p. 375-391, 1998.

MUNSCH, M.H.; SIMARD, R.E.; GIRARD, J.M. Blanchiment, broyage et macération enzymatique dans la fabrication du jus de carottes. 1. Effets sur le rendement et quelques caractéristiques physico-chimiques. **Lebensmittel Wiss und Technology**, v. 19, p. 229-239, 1986.

NANI, R.; PENCI, M. Produzioni di succhi opalescenti stabili di pera mediante l'impiego di complessi enzimatici. **Industria delle Bevande**, v. 25, p. 602-605, 1996.

PAGÁN, J.; CASAÑÉ, R.; PIQUÉ, M.T.; IBARZ, A. Extracción de zumo de manzana mediante liquefacción enzimática. **Alimentaria**, v.5, p. 137-140, 1993.

SILIHA, H.; EL-ZOGHBI, M.; LABIB, A.; ASKAR, A. Effect of enzymatic treatment of carrot puree. **Fruit Processing**, v. 5, n.10, p. 318-322, 1995.

WHITAKER, J.R. **Principles of enzymology for the food science**. 2a. ed. New York: Marcel Dekker, 1991. 625 p.

ZULIANI, A. Enzimas intervinientes en el procesamiento de frutas: interacciones funcionales y su consideración en el diseño de formulaciones específicas. Artículo técnico de Solvay Enzimas (Argentina), 1994. 7p.

7. PROCESSAMENTO E ESTABILIDADE DO NÉCTAR YACON-MARACUJÁ

7.1. Introdução

As bebidas são produtos que estão em permanente crescimento e inovação, sendo as áreas de maior interesse, o do desenvolvimento de bebidas com sabores alternativos com adição de extratos de plantas e novos adoçantes (ASHURST, 1998). Nesse contexto, o yacon apresenta um potencial ainda pouco explorado.

A idéia de utilizar tubérculos em formulações de bebidas é relativamente nova. A alcachofra de Jerusalém é um tubérculo produzido na Europa e nos Estados Unidos pelo seu alto teor de frutanos e tem sido alvo de pesquisas direcionadas ao seu aproveitamento. HELSCHER & FIEDLER (1996) propuseram um processo enzimático para produzir suco de alcachofra de Jerusalém rico em frutose, como ingrediente de bebidas para diabéticos. Por outro lado, foi patenteado um processo para produzir sucos mistos e néctares ricos em fibras (inulina), sem adição de água, a partir do suco da alcachofra de Jerusalém (ALPHA, 1997).

O processo de produção do suco de yacon foi desenvolvido pela empresa japonesa KANEGAFUCHI (1992) porém, seu uso não foi estudado. Já HISAE et al. (1996) formularam uma bebida láctea utilizando leite desnatado e suco de yacon previamente submetido a uma fermentação láctea, anulando assim a adstringência do yacon. Em ambos os casos, os detalhes técnicos são escassos e além disto, não existem estudos de estabilidade.

Em se tratando do aproveitamento do suco de yacon, devem ser consideradas suas características mais relevantes como:

- seu pH próximo a 6,0,
- seu aroma com um ligeiro odor de capim,
- e sua adstringência.

Para tanto, as bebidas a base de yacon devem ser acidificadas até um pH < 4,5 com ácido cítrico ou com outros ingredientes. Por outro lado, pode ser conveniente uma desodorização e redução da adstringência mediante carvão ativo (STOCKÉ, 1999), bentonita (SAMMARTINO *et al.*, 1998), gelatina, polivinilpirrolidona (LAM QUOC *et al.*, 1998), quitosana, sílica, terra de infósórios, etc (RAYNER, 2000).

O processo de acabamento dos sucos através do uso de um ou mais desses agentes, sob condições de temperatura e concentração adequados, pode ser considerado como clarificação (fining) de acordo aos conceitos de (LAM QUOC *et al.* 1998) e RAYNER (2000).

Neste trabalho escolheu-se a gelatina como agente clarificante, pelo baixo custo, facilidade e praticidade de aplicação. Além disso, a gelatina absorve parcialmente polifenóis sem afetar significativamente o conteúdo de nutrientes (LAM QUOC *et al.*, 1998).

Por outro lado, entre as numerosas alternativas para formular néctares e sucos mistos, o suco de maracujá aparece como uma opção interessante. Sua elevada acidez permite atingir pH's microbiologicamente seguros (4,5 ou menos); seu intenso e agradável aroma e sua cor são também muito atrativos.

O maracujá é portador de mais de uma dúzia de carotenóides~, sendo os majoritários o ζ -caroteno, cis- ζ -caroteno, β -caroteno, criptoxantina e prolicopeno (MERCADANTE *et al.*, 1998).

Portanto, o néctar yacon-maracujá poderiam reunir fibras (inulina) e carotenóides, constituindo-se em bebida funcional. Porém, é preciso estudar as mudanças desses compostos no decorrer de uma estocagem prolongada, já que; por um lado, os frutanos são suscetíveis à hidrólise ácida (VORAGEN, 1998) e por outro lado, os carotenóides são instáveis na presença de oxigênio, luz e altas temperaturas. Além disso, a frutose, presente no yacon, é um composto que se transforma em 5-hidroxi metilfurfural em meio ácido (CRONEWITZ *et al.*, 1989).

Sendo assim, os objetivos deste trabalho foram: (1) desenvolver uma bebida que possua um elevado teor em fibra solúvel e carotenóides; (2) processar a bebida em escala piloto e, (3) comparar a qualidade e estabilidade nutricional, físico-química, microbiológica e sensorial das formulações armazenadas a temperatura ambiente e sob refrigeração durante seis meses.

7.2. Materiais e métodos

7.2.1. Materiais

Foi utilizado um lote de 60 kg de yacon amarelo proveniente de um cultivar de Capão Bonito, SP. Este lote foi transformado em suco de acordo ao fluxograma descrito no item 6.2.2.1, utilizando a enzima Rohapect MA plus em uma concentração de 100 ppm.

No caso do maracujá, usou-se um suco integral pasteurizado, isento de aditivos e produzido por uma empresa brasileira.

7.2.2. Processamento

A seqüência das operações realizadas em escala piloto, aparece na Figura 7-1. A seguir, os detalhes de cada uma das operações foram descritos.

Extração do suco de yacon

O suco foi obtido após tratamento enzimático e prensagem do purê de yacon, segundo o esquema da Figura 6-1, utilizando Rohapect MA plus, 100 g/ton, durante 1 hora a temperatura de ~30°C, usando um tanque aberto de 50 litros dotado de camisa de vapor.

Usou-se equipamento de aço inoxidável em todas as operações deste processo.

Clarificação e acabamento

O suco obtido foi submetido a ação de gelatina de 200° Bloom (Leiner Davis) de acordo a LAM QUOC *et al.* (1998). Para tanto, foram dissolvidos 50 g de gelatina em 1 litro de água e deixadas a ~60°C por uma hora para permitir uma boa hidratação. A seguir, foi acrescentada esta solução ao suco (0,5 g/l) seguido de agitação, por 5 minutos. Após uma hora, o sobrenadante foi filtrado através de uma camada de 3 feltros superpostos (BRASIL *et al.*, 1995).

Formulação

A formulação foi baseada no fato de que o suco de maracujá é usualmente consumido na proporção de 1/6 a 1/10 com água. Considerou-se também o gosto do suco clarificado de yacon e a necessidade de acrescentar açúcar.. Desta forma, a composição do néctar foi de 15% de suco de maracujá, 50% de suco de yacon e 35% de água. A esta mistura foi adicionado açúcar (6%) para atingir o gosto doce próprio dos néctares.

Pré-aquecimento

Devido à dificuldade de pasteurizar uma quantidade relativamente pequena de produto (cerca de 40 litros) em um trocador de placas, o néctar foi pré-aquecido em um tanque de aço aberto, mediante vapor, até atingir 60°C, em um tempo de uns 5 minutos.

Pasteurização

O néctar pré-aquecido foi pasteurizado em um trocador de calor de placas Alfa-Laval, a 90°C por 45 segundos.

Enchimento a quente

O néctar quente, à saída do trocador foi transferido a garrafas de vidro transparente de 220 ml.

Fechamento

As garrafas enchidas, contendo 190 ml de líquido, foram fechadas com tampas metálicas, usando-se para este fim, um aparelho manual. Após o fechamento, as garrafas foram invertidas para inibir os microorganismos, presentes nas tampas.

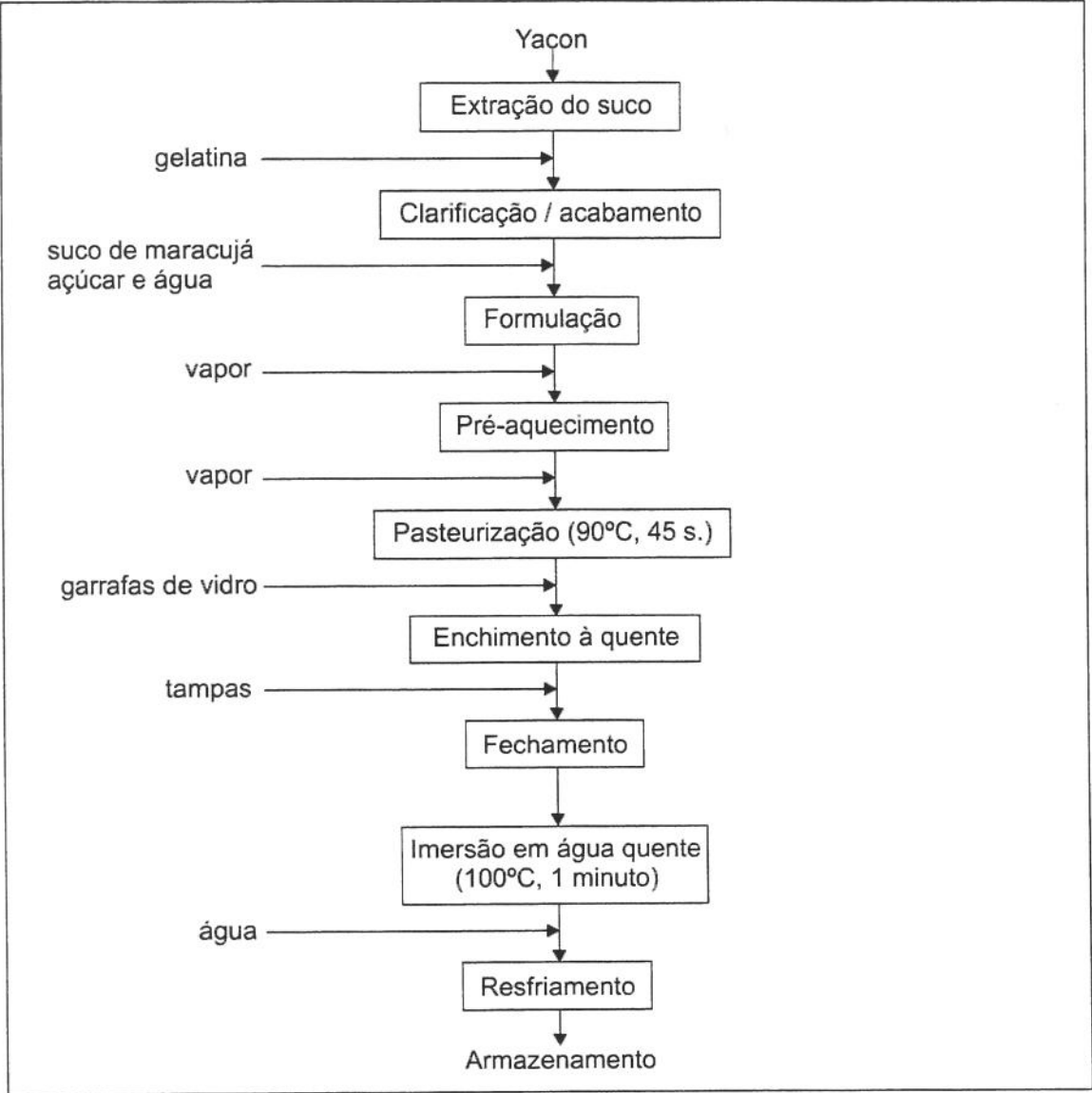


Figura 7-1: Fluxograma do processamento do néctar yacon-maracujá

Imersão em água quente

As garrafas já fechadas foram colocadas em um tanque contendo água fervente (100°C) durante 1 minuto. A finalidade desta operação foi a de assegurar a esterilidade microbiológica ao néctar, evitando ao mesmo tempo um tratamento térmico prolongado que afetasse a qualidade sensorial.

Resfriamento

O resfriamento foi realizado em duas etapas, com o objetivo de evitar choques térmicos bruscos que poderiam ter quebrado as garrafas. Na primeira etapa, as garrafas recém retiradas do tanque de água fervente, foram colocadas em um tanque contendo água morna (50°C) e deixadas por 2 minutos. Em seguida, foram transferidas a outro tanque de água corrente (20°C) e resfriadas agitando-as e trocando continuamente a água. O resfriamento final demandou menos de 3 minutos.

Armazenamento

O lote de produto terminado foi dividido em duas partes; uma foi armazenada sob condições ambientais, de maneira semelhante ao praticado nas prateleiras dos supermercados. A outra parte, foi armazenada sob refrigeração a 6°C. Em ambos os casos, o período de estocagem foi de 6 meses.

7.2.2.2. Análises químicas e físicoquímicas

pH

Método potenciométrico (INSTITUTO A. LUTZ, 1985) utilizando um pHmetro Micronal B374.

°Brix

Método 932.12 (AOAC, 1997) usando um refratômetro Abbé, marca Carl Zeiss Jena.

Acidez total

Método volumétrico 942.15 (AOAC, 1997).

Viscosidade

Foi determinada a temperatura ambiente usando um reômetro Brookfield programável DV-III, usando rotações de 100 a 200 rpm.

Ácido ascórbico

Método de Tilmans (BOYER, 1993).

Carboidratos

Cromatografia gasosa, conforme o item 3.2.2 (VAN LOO *et al.*, 1995).

Carotenóides

Analysaram-se os carotenóides mais abundantes: ζ -caroteno, cis- ζ -caroteno, β -criptoxantina, β -caroteno e prolicopeno. Utilizou-se para esta finalidade o procedimento e equipamento detalhados no item 4.2.2. A extração foi conduzida de acordo com RODRIGUEZ *et al.* (1976) e a quantificação e preparo do padrão de prolicopeno de acordo com MERCADANTE *et al.* (1997). Já os padrões de β -caroteno, β -criptoxantina e ζ -caroteno foram fornecidos pela Hoffmann - La Roche (Suíça).

7.2.2.2. Análise da cor

Determinaram-se a luminosidade (L^*), o componente vermelho (a^*) e o componente amarelo (b^*), usando um colorímetro Universal Color Quest, no sistema CIELAB RSIN/65/10°.

7.2.2.3. Análises microbiológicas

Contagem total de bactérias aeróbicas mesófilas

Segundo o método descrito pela APHA (1992), usando o meio PCA e incubação a 35°C por 48 h.

Contagem total de bolores e leveduras

Segundo o método descrito pela APHA (1992), usando agar batata dextrose com antibiótico (PDA - cloram fenicol) e incubação a 25°C por 5 dias.

Contagem de bactérias lácticas

Usou-se o meio de enriquecimento Orange Serum Agar, incubando a 30°C por 48 h (APHA, 1992).

7.2.2.4. Avaliação sensorial

O sabor e a cor dos dois néctares (armazenados a temperatura diferentes) foram avaliados nos meses 0, 1, 3 e 6 por uma equipe de 30 provadores não treinados, selecionados com base na sua preferência pelos sucos e seu interesse.

Foi aplicado o teste da escala hedônica de 9 pontos, na qual 1 correspondente a "desgostei muitíssimo"; 5, "nem gostei nem desgostei" ou "indiferente"; e 9, "gostei muitíssimo" (BEAL, 1998).

Antes de serem servidos, os néctares foram colocados em refrigerador até atingir 6-8°C de temperatura. Cada julgador recebeu as amostras em copos descartáveis, codificados com números de três dígitos escolhidos ao acaso, além da ficha e um copo de água corrente.

As avaliações foram conduzidas em cabines individuais, sob luz branca entre 10-12 h e 14-17 h.

7.2.2.5. Análises estatísticas

O experimento foi monitorado e acompanhado de determinações e controles em triplicata. Os dados obtidos foram processados através da análise de variância (ANOVA) e as diferenças significativas foram determinadas pelo teste de Tukey, usando o programa SAS.

7.3. Resultados e discussão

O néctar yacon-maracujá foi produto de cor amarela intensa, de sabor e aroma bastante similares ao do néctar de maracujá, isto quer dizer que houve um predomínio claro das características organolépticas do maracujá sobre as do yacon.

7.3.1. Características físico-químicas e físicas do néctar yacon-maracujá

Como parte do estudo da vida-de-prateleira, foram realizadas análises físico-químicas (pH, Brix, viscosidade, acidez, concentração de ácido ascórbico) e físicas (parâmetros da cor) em cinco estágios do período de armazenamento. As Tabelas 7-1 e 7-2 ilustram os resultados obtidos.

Os valores de pH, Brix, acidez total e viscosidade permaneceram quase constantes tanto no néctar armazenado a temperatura ambiente quanto no armazenado sob refrigeração. Este fato demonstra de alguma forma uma certa estabilidade físico-química e além disto, é uma evidência da esterilidade microbiológica comercial atingida no processamento. Estudos anteriores sobre estabilidade de sucos e néctares relataram similar comportamento (SALOMON *et al.*, 1977; BRASIL *et al.*, 1995; DA SILVA *et al.*, 1997). Já GHORAI & KHURDIYA (1998) determinaram uma queda da acidez total e dos graus Brix do suco de tangerina armazenada a três temperaturas; baixa (3-4°C), média (14°C) e ambiente (22-31°C).

Declínios de 6,4% e 17,0% foram registrados no conteúdo de ácido ascórbico nos néctares refrigerado e não refrigerado, respectivamente, durante os seis meses de estocagem. Em ambos os casos, a perda foi gradual. EWALDAH (1992) constatou uma perda de vitamina C de 20,7% em doze meses de estocagem a 5°C em suco de abacaxi, enquanto que a 42°C, a perda subiu a 80,6%. O processo aeróbico de degradação predomina no início, e quando o patamar de oxigênio dissolvido alcança o equilíbrio, começa o processo anaeróbico (KENNEDY *et al.*, 1992).

Tabela 7-1: Características físico-químicas e físicas do néctar yacon-maracujá armazenado sob refrigeração

Parâmetro	Meses				
	0	1	2	3	6
pH	3,7 ± 0,0 a	3,6 ± 0,0 a	3,7 ± 0,1 a	3,6 ± 0,0 a	3,6 ± 0,0 a
°Brix	16,2 ± 0,0 a	16,3 ± 0,0 a	16,3 ± 0,1 a	16,3 ± 0,1 a	16,3 ± 0,1 a
Acidez total (g. ác. cítrico / 100 ml)	0,59 ± 0,00 a	0,60 ± 0,01 a	0,59 ± 0,01 a	0,60 ± 0,00 a	0,58 ± 0,01 a
Ácido ascórbico (mg/100 g)	93,4 ± 0,6 a	93,6 ± 1,2 a	92,5 ± 0,7 a	92,0 ± 1,1 a	87,2 ± 1,6 b
Viscosidade a 100 rpm (cp)	3,27 ± 0,08 a	n.d.	n.d.	n.d.	3,26 ± 0,05 a
L* (luminosidade)	44,25 ± 0,01 a	44,20 ± 0,00 ab	44,14 ± 0,04 b	44,01 ± 0,04 c	42,84 ± 0,0 d
a* (componente vermelho)	0,74 ± 0,01 e	0,82 ± 0,01 d	0,92 ± 0,03 c	1,02 ± 0,01 b	1,85 ± 0,04 a
b* (componente amarelo)	20,29 ± 0,01 e	20,78 ± 0,01 d	20,85 ± 0,02 c	21,40 ± 0,23 b	21,69 ± 0,01 a

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferenças significativas (p ≤ 0,05)

n.d.: não determinado

Tabela 7-2: Características físico-químicas e físicas do néctar yacon-maracujá armazenado a temperatura ambiente

Parâmetro	Meses				
	0	1	2	3	6
pH	3,7 ± 0,0 a	3,7 ± 0,1 a	3,8 ± 0,1 a	3,6 ± 0,1 a	3,6 ± 0,0 a
°Brix	16,2 ± 0,0 a	16,3 ± 0,1 a	16,4 ± 0,0 a	16,3 ± 0,1 a	16,5 ± 0,2 a
Acidez total (g. ác. cítrico / 100 ml)	0,59 ± 0,00 a	0,60 ± 0,00 a	0,59 ± 0,00 a	0,60 ± 0,00 a	0,60 ± 0,01 a
Ácido ascórbico (mg/100 g)	93,4 ± 0,6 a	90,6 ± 1,3 a	91,1 ± 2,1 a	88,6 ± 0,9 a	77,5 ± 2,7 b
Viscosidade a 100 rpm (cp)	3,27 ± 0,08 a	n.d.	n.d.	n.d.	3,22 ± 0,06 a
L* (luminosidade)	44,25 ± 0,01 a	44,00 ± 0,01 b	43,65 ± 0,01 c	43,27 ± 0,01 d	41,55 ± 0,01 e
a* (componente vermelho)	0,74 ± 0,01 d	0,87 ± 0,01 c	1,05 ± 0,01 b	1,11 ± 0,01 b	2,61 ± 0,02 a
b* (componente amarelo)	20,29 ± 0,01 a	20,07 ± 0,01 b	20,1 ± 0,00 b	19,07 ± 0,01 c	19,73 ± 0,01 d

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferenças significativas ($p \leq 0,05$)
n.d.: não determinado

Na Figura 7-2 estão ilustradas as mudanças dos parâmetros da cor, L^* e ângulo hue ($\tan^{-1} b^*/a^*$) em função do tempo, notando-se que houve um escurecimento bem maior no néctar não-refrigerado, o que foi evidente também na avaliação subjetiva. Este fato esperado foi também, verificado por GHORAI & KHURDIYA (1998). Os principais fatores do escurecimento seriam no caso; o escurecimento não enzimático pela reação de açúcares com aminoácidos e proteínas; a degradação do ácido ascórbico e as mudanças dos carotenóides

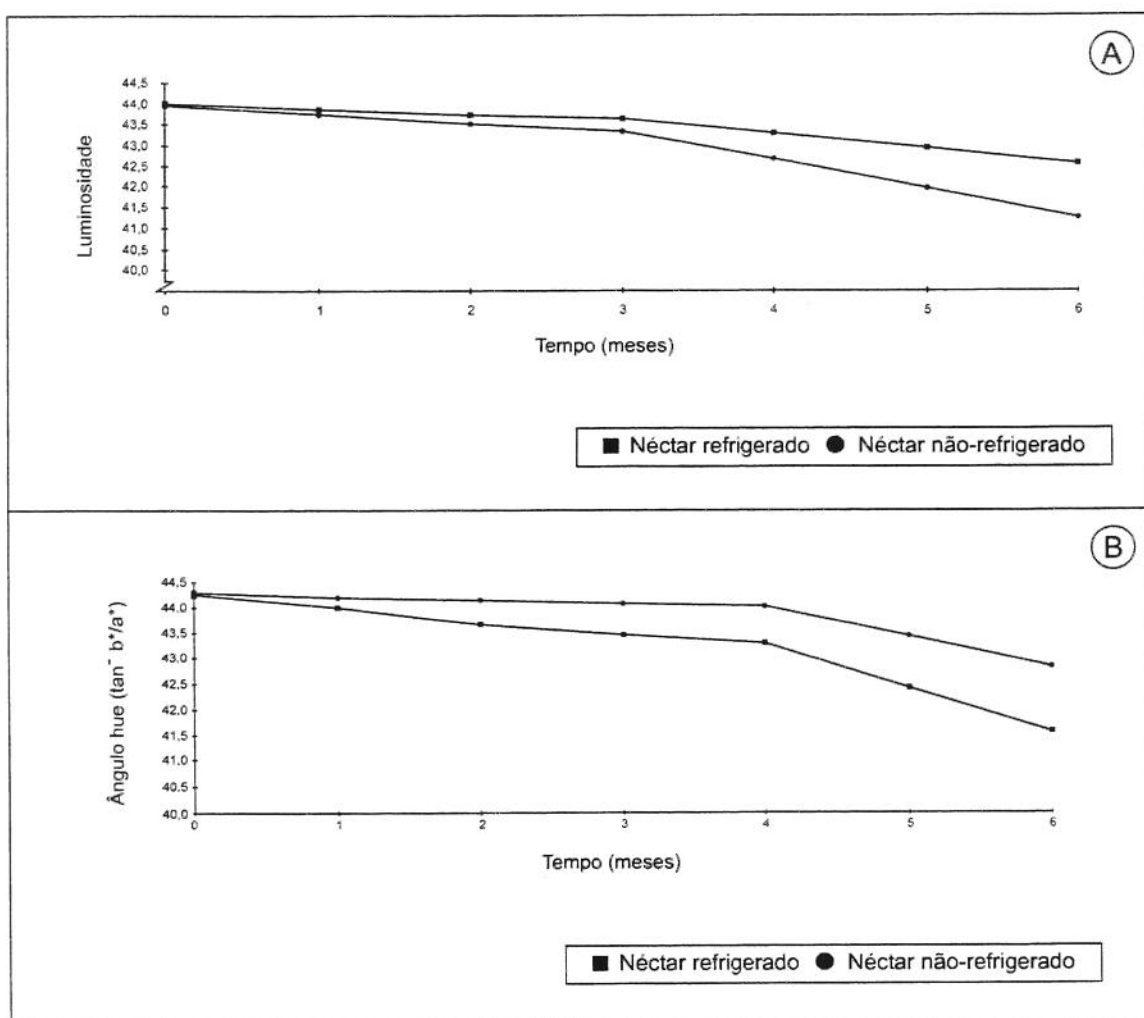


Figura 7-2: Mudanças da luminosidade (A) e do ângulo hue (B) do néctar yacon-maracujá durante o armazenamento

7.3.2. Mudanças nas concentrações dos carotenóides durante o armazenamento do néctar yacon-maracujá

Os principais carotenóides são: β -caroteno, ζ -caroteno, cis- ζ -caroteno, prolicopeno e β -criptoxantina. Na Figura 7-3 aparece o perfil cromatográfico dos carotenóides do produto após o processamento. Na Figura 7-4 estão ilustrados os espectros de absorção no UV-visível, nas condições experimentais do trabalho.

As Tabelas 7-3 e 7-4 demonstraram as mudanças das concentrações dos carotenóides individuais e totais, bem como do valor de vitamina A durante o armazenamento, para o néctar refrigerado e não refrigerado, respectivamente.

As mudanças nos dois casos apresentaram algumas diferenças, embora as tendências tenham sido as mesmas. Como esperado, a principal diferença é que as perdas ou mudanças dos carotenóides foram mais acentuadas no néctar armazenado a temperatura ambiente. Assim por exemplo, o β -caroteno retido foi de 98,6% no néctar refrigerado, frente a 88,8% no néctar não-refrigerado. Contudo, essas reduções não foram estatisticamente significativas ao nível de 5%.

Por outro lado, o valor de vitamina A expresso em RE/100 g se manteve quase constante no néctar refrigerado. Já no néctar não-refrigerado houve uma queda de ao redor de 15%, significativa ($p < 0,05$) com relação ao conteúdo inicial. Os principais fatores envolvidos na degradação dos carotenóides são o calor, luz, oxigênio, metais, ácidos, etc.

Segundo RODRIGUEZ-AMAYA (1999) as maiores perdas de carotenóides são causadas pela oxidação, que é intensificada de acordo às condições. No nosso trabalho, a temperatura de estocagem afetou de maneira mais intensa ao néctar não- refrigerado, o que foi consistente com o escurecimento observado no final do período de armazenamento. Esse fato foi também verificado pelas mudanças nos picos dos cromatogramas.

Outras tendências observadas em ambas condições de armazenamento foram a redução da β -criptoxantina e do prolicopeno, enquanto isso, o ζ -caroteno e cis- ζ -caroteno flutuaram ao longo do período de armazenamento. Nas condições de armazenamento praticadas, é provável que as principais mudanças tenham sido

isomerizações trans-cis. Segundo CHEN *et al.* (1996) isômero 9-cis se formam sob luz e isômero 13-cis na escuridão.

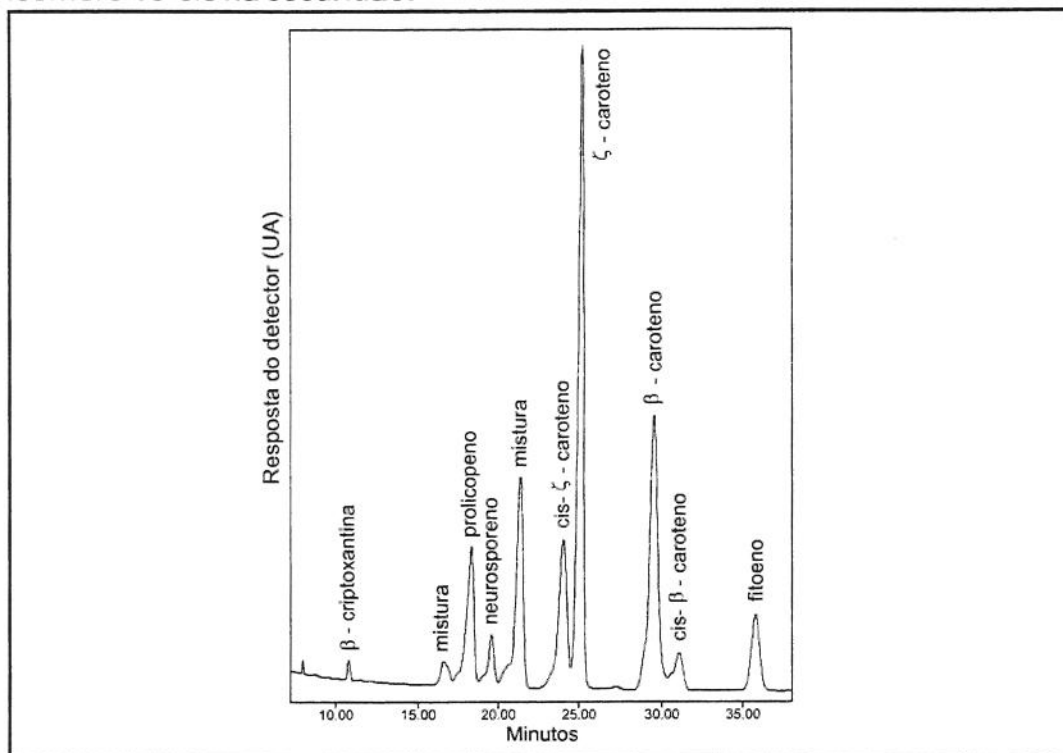


Figura 7-3: Perfil cromatográfico dos carotenóides do néctar yacon-

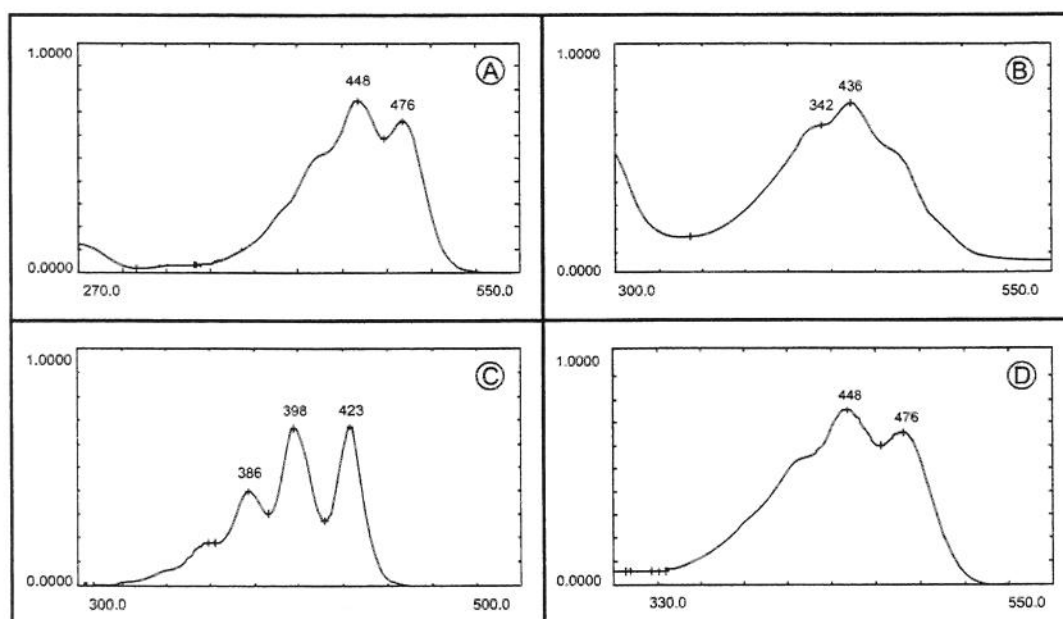


Figura 7-4: Espectros de absorção, obtidos através de detector de arranjo de diodos em CLAE. (A) β-criptoxantina; (B)

Tabela 7-3 : Concentrações dos carotenóides do néctar yacon-maracujá armazenado sob refrigeração.

Carotenóide (µg/g)	Meses				
	0	1	2	3	6
β-criptoxantina	0,11 ± 0,01 b	0,16 ± 0,01 a	0,06 ± 0,00 c	0,14 ± 0,01 c	0,07 ± 0,00 d
Prolicopeno	0,27 ± 0,01 a	0,27 ± 0,01 a	0,18 ± 0,01 b	0,24 ± 0,01 b	0,13 ± 0,00 c
cis-ζ-caroteno	0,57 ± 0,03 d	0,74 ± 0,01 c	0,66 ± 0,02 c	0,84 ± 0,02 b	0,45 ± 0,01 a
ζ-caroteno	0,90 ± 0,03 c	1,02 ± 0,04 b	1,06 ± 0,05 a	1,08 ± 0,02 a	1,02 ± 0,02 b
β-caroteno	1,43 ± 0,03 a	1,44 ± 0,03 a	1,38 ± 0,07 a	1,39 ± 0,04 a	1,41 ± 0,01 a
Carotenóides totais	3,28 ± 0,11 b	3,63 ± 0,06 a	3,34 ± 0,09 b	3,68 ± 0,05 a	2,97 ± 0,05 c
Vitamina A (RE/100 g)*	24,67 ± 0,71 a	25,32 ± 0,46 a	23,47 ± 1,14 a	24,40 ± 0,58 a	24,12 ± 1,09 a

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferenças significativas ($p \leq 0,05$)

*RE.: retinol equivalentes calculados segundo NAS-NRC (1988)

Tabela 7-4 : Concentrações dos carotenóides do néctar yacon-maracujá armazenado a temperatura ambiente.

Carotenóide (µg/g)	Meses				
	0	1	2	3	6
β-criptoxantina	0,11 ± 0,01 a	0,09 ± 0,01 b	0,06 ± 0,01 c	0,05 ± 0,00 c	0,06 ± 0,01 c
Prolicopeno	0,27 ± 0,01 b	0,32 ± 0,01 a	0,34 ± 0,02 a	0,18 ± 0,01 c	0,12 ± 0,00 d
cis-ζ-caroteno	0,57 ± 0,03 c	0,66 ± 0,02 b	0,52 ± 0,01 c	0,70 ± 0,02 b	0,88 ± 0,01 a
ζ-caroteno	0,90 ± 0,03 ab	0,96 ± 0,03 a	0,83 ± 0,02 ab	0,91 ± 0,01 ab	0,80 ± 0,01 b
β-caroteno	1,43 ± 0,03 a	1,15 ± 0,04 ab	0,87 ± 0,00 b	1,07 ± 0,02 ab	1,27 ± 0,05 ab
Carotenóides totais	3,28 ± 0,11 a	3,18 ± 0,09 ab	2,62 ± 0,04 c	2,92 ± 0,01 b	3,13 ± 0,05 ab
Vitamina A (RE/100 g)*	24,67 ± 0,71 a	19,93 ± 0,65 b	15,00 ± 0,02 d	18,23 ± 0,28 c	20,94 ± 0,20 b

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferenças significativas ($p \leq 0,05$)

*RE.: retinol equivalentes calculados segundo NAS-NRC (1988)

7.3.3. Mudanças nas concentrações dos frutanos durante o armazenamento do néctar yacon-maracujá

A Tabela 7-5 ilustra as mudanças das concentrações dos frutanos com DP 3-10 durante o armazenamento tanto a temperatura ambiente como sob refrigeração.

Tabela 7-5: Concentração dos frutanos no néctar yacon-maracujá armazenado a temperatura ambiente e sob refrigeração (em g/100g de matéria seca).

Meses	Temperatura ambiente	Sob refrigeração
0	$9,3 \pm 0,2$ a	$9,3 \pm 0,2$ a
1	$7,5 \pm 0,2$ b	n.d.
2	$6,5 \pm 0,0$ c	n.d.
6	$3,1 \pm 0,0$ d	$8,0 \pm 0,6$ b

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferenças significativas ($p \leq 0,05$)

É evidente que a temperatura de armazenamento desempenha um papel chave na estabilidade dos frutanos. Esse fator junto aos valores ácidos do pH do néctar determinam a hidrólise dos frutanos. Nos seis meses de estocagem a temperatura ambiente, 67% dos frutanos hidrolisaram-se. Já no caso do néctar armazenado sob refrigeração, as perdas de frutanos por degradação hidrolítica foram ligeiramente superiores a 10% no mesmo período.

SPIEGEL *et al.* (1994) verificaram que os frutanos não se degradaram fazendo parte de iogurte armazenado sob refrigeração durante 42 dias. Isso demonstra que o pH do meio não é um fator de instabilidade se a temperatura for relativamente baixa. Por tanto, deve ser levado em conta a temperatura de armazenamento quando se tenta preservar os frutanos nas bebidas.

7.3.4. Controles microbiológicos

Não foi evidenciado crescimento microbiano nas análises microbiológicas conduzidas nos meses 0, 1 e 6 (contagem de bactérias aeróbicas mesofílicas, bolores e leveduras e bactérias lácticas). Desta forma, verificou-se que o tratamento térmico aplicado durante o processamento foi suficiente para atingir a esterilidade comercial. Outros fatores como a pré-esterilização das garrafas e o manuseio higiênico contribuíram, sem dúvida, a este fato.

7.3.5. Avaliação sensorial

A Tabela 7-6 permite observar os resultados conseguidos nas avaliações sensoriais. Tanto o néctar refrigerado quanto o não-refrigerado foram julgados pelos provadores como aceitáveis nas diferentes degustações. De modo geral, as qualificações foram "gostei ligeiramente" e "gostei moderadamente" para o sabor e "gostei muito" para a cor. No entanto, no terceiro e sexto mês, a cor do néctar refrigerado recebeu uma qualificação mais alta. Já o néctar não-refrigerado foi tornando-se mais escura.

A adstringência foi reduzida no sexto mês no néctar não-refrigerado ou talvez foi mascarada pela intensificação do sabor doce decorrente da formação de frutose.

Em geral, a temperatura de refrigeração (~ 6°C) permitiu preservar a cor, o sabor e o aroma durante o armazenamento. GHORAI & KHURDIYA (1998) verificaram que o suco de tangerina estocado a 3-4°C teve as qualificações mais elevadas, e além disso, constataram que o fator tempo, não teve influência significativa nos quatro meses do estudo.

Tabela 7-6: Avaliação sensorial do néctar yacon-maracujá

Néctar	Meses			
	0	1	3	6
Refrigerado				
Sabor	6,4 ± 1,4 a	6,1 ± 1,8 a	6,3 ± 1,8 a	6,1 ± 1,4 a
Cor	8,1 ± 0,6 a	8,2 ± 0,8 a	7,9 ± 0,8 a	8,0 ± 1,2 a
Não-refrigerado				
Sabor	6,4 ± 1,4 a	6,0 ± 1,7 a	6,1 ± 1,4 a	6,2 ± 1,6 a
Cor	8,1 ± 0,6 a	7,8 ± 1,2 a	7,6 ± 1,4 b	7,2 ± 0,8 b

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$)

7.4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos conclui-se o seguinte:

1. A vida-de-prateleira do néctar yacon-maracujá refrigerado é de pelo menos seis meses, já que nesse período, as características sensoriais, físico-químicas, microbiológicas e nutricionais demonstraram uma boa estabilidade. O néctar não-refrigerado apresentou nesse período algumas mudanças que reduziram sua qualidade.

2. As perdas de carotenóides e de valor de vitamina A foram insignificantes no período de seis meses no néctar refrigerado, porém significativas no néctar não refrigerado. A velocidade de degradação foi aproximadamente a mesma nos seis meses.

Em geral, pode-se dizer que o comportamento dos carotenóides foi mais ou menos semelhante nas duas situações de armazenamento.

3. A temperatura de armazenamento desempenhou um papel decisivo na estabilidade dos frutanos, observando-se que a temperatura ambiente a hidrólise se verifica com grande velocidade. O armazenamento a temperaturas baixas ($\sim 6^{\circ}\text{C}$) reduziu consideravelmente a degradação dos frutanos.

4. O sabor dos néctares não apresentou diferenças significativas quanto à aceitabilidade, ao nível de 5%, sendo que as qualificações médias foram ligeiramente superiores a 6,0, em cada uma das avaliações.

5. A temperatura de armazenamento foi um fator chave na qualidade dos produtos estudados. Temperaturas mais baixas permitem preservar as características do néctar com mínimas alterações.

6. O processo de preparo do néctar foi adequado para produzir uma bebida de qualidade razoável. As garrafas de vidro, por sua parte, foram embalagens apropriadas.

7.5. Referências bibliográficas

ALPHA-ENGINEERING GmbH ENTWICKLUNG, PROJEKTIERUNG, REALISIERUNG AGRAR UND LEBENSMITTELINDUSTRIE. **Process for manufacture of Jerusalem artichoke juice and Jerusalem artichoke juice concentrate as components for dietary fibre rich mixed juices, nectars and beverages without addition of water.** (Cl. A23I 2/02). DE 195 46 150 A1, 29 nov. 1995, 05 jun. 1997. 4 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). In: CUNNIFF, P. (Ed.) **Official Methods of AOAC International**, 16th ed., Arlington, VA, 1997, 2 v.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). In: VANDERZANT, C., SPLITTOESSER, D. F. (Eds.) **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**, 3th ed, Washington, D.C. 1992, 1219 p.

ASHURST, P. R. Introduction. In: ASHURST, P. R. (Ed.) **Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices**. Sheffield: Academic Press, 1998, cap. 1, p. 1-15.

- BEAL, C. Shelf-life and sensory evaluation of non-alcoholic beverages. In: ASHURST, P. R. (Ed.) **Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices**. Sheffield: Academic Press, 1998, cap. 6, p. 137-165.
- BOYER, R. F. **Modern experimental biochemistry**. 2a. ed. Redwood City, CA: The Benjamin / Cummings Publishing Company, Inc., 1993. 555 p.
- BRASIL, I. M.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W. Produção de suco clarificado de goiaba com uso de enzima pectinolítica e agentes "fining". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 6, p. 855-866, 1995.
- CHEN, H.E.; PENG, H.Y.; CHEN, B. H. Stability of carotenoids and vitamin A during storage of carrot juice. **Food Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 497-503, 1996.
- CRONEWITZ, G. Fructose. In: Vários (Eds.) **Encyclopedia of industrial chemistry Ullman's**. Weinheim: VCH-Germany, 1989. 12 v.
- DA SILVA, A. P. V.; MAIA, G. A.; OLIVEIRA, G. S. F. ; FIGUEIREDO, R. W. ; BRASIL, I. M. Características de qualidade do suco polposo de cajá (*Spondias lutea*, L.) obtido por extração mecânico-enzimática. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 3, p. 233-236, 1997.
- EWAIDAH, E. H. Studies on commercially canned juices produced locally in Saudi Arabia: Part 3 - Physicochemical, organoleptic and microbiological assesment. **Food Chemistry**, v. 44, p. 103-111, 1992.
- GHORAI, K.; KHURDIYA, D. S. Storage of heat processed kinnow mandarin juice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 35, n. 5, p. 422-424, 1998.

- HELSCHER, K.; FIEDLER, B. **Process for preparation of an inulin, fructose and glucose containing juice, specially from Jerusalem artichoke tubers, for fruit and vegetable juice - containing products.** (Cl. A23L1/09) DE 442666 2A1, 15 jul. 1994, 18 jan. 1996. 4 p.
- HISAE, T.; IKUKO, A.; ISAHARU, S.; HIROSHI, K. **Preparation of fermented yacon drink.** (Cl. A23L 2/52). JP 08294379A. 27 apr. 1995, 12 nov. 1996. 1 p.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos.** São Paulo: Instituto A. Lutz, 2ª ed., 1985. v. 1, 533 p.
- KANEGAFUCHI KAGAKU KOGYO K. K. HISADA, Y.; NAWATA, N. **Beverages containing enzyme treated ground yacon.** (Cl. A23L1/30) JP. 04, 104, 772. 24 aug. 1990, 07 apr. 1992.
- KENNEDY, J. F.; RIVERA, Z. S.; LLOYD, L. L.; WARNER, F. P.; JUMEL, K. L-ascorbic acid stability on aseptically processed orange juice in Tetra-brik cartons and the effect of the oxygen. **Food Chemistry**, v. 45, p. 327-333, 1992.
- LAM QUOC, A.; FUSTIER, P.; COUTURE, R.; CASTAIGNE, F.; MAKHLOUF, J. Effet de différents agents de clarification sur l'élimination des tannins, sur la composition chimique et la stabilité du jus de cajou. **Sciences des Aliments**, v. 18, p. 375-391, 1998.
- MERCADANTE, A. Z.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; BRITTON, G. HPLC and mass spectrometric analysis of carotenoids from mango. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 120-123, 1997.
- MERCADANTE, A. Z.; BRITTON, G.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; Carotenoids from yellow passion fruit (*Passiflora edulis*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 4102-4106, 1998.

RAYNER, T. Fining and clarifying agents
(www.makewine.com/makewine/fining.html). 2000. 10 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; RAYMUNDO, L. C.; LEE, T. C. Carotenoid pigment changes in ripening *Momordica charantia* fruits. **Annals of Botany**, v. 40, p. 615-624, 1976.

SALOMON, E. A. G.; DE MARTIN, Z. J.; KATO, K.; DA SILVA, S. D.; MORI, E. M.; BLEINROTH, E. W. Formulações de néctares de frutas tropicais. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, n. 50, p. 103-122, 1977.

SAMMARTINO, M.; PIACQUADIO, P.; DE STEFANO, G.; SCIANCALEPORE, V. Stabilizzazione dell succo di mela mediante metodi convenzionali ed innovativi. **Industrie delle Bevande**, v. 23, p. 367-369, 1998.

SPIEGEL, J. E.; ROSE, R.; KARABELL, P.; FRANKOS, V. H.; SCHMITT, D. F. Safety and benefits of fructooligosaccharides as food ingredients. **Food Technology**, v. 48, p. 85-89, 1994.

STOCKÉ, R. Active carcon for fruit juice treatment. **Fruit Processing**, v. 9, n. 4, p. 131-134, 1999.

VAN LOO, J.; COUSSEMENT, P.; LEENHEER, L.D.; 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, n. 6, p. 525-552, 1995.

VORAGEN, A. G. J. Technological aspects of functional food-related carbohydrates. **Trends in Food Science and Technology**, v. 9, p. 328-335, 1998.

8. CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos resultados obtidos neste trabalho podem ser ressaltadas as seguintes conclusões gerais:

1. O yacon *in natura* é um alimento funcional pelo seu elevado teor de frutanos, notadamente, nos primeiros dias da colheita. O armazenamento e/ou a exposição ao sol, reduzem consideravelmente as concentrações de frutanos embora melhorem a doçura.
2. Além dos frutanos, outros compostos que possuem atividades biológicas favoráveis no homem, como carotenóides e fenóis, fazem parte da raiz tuberosa do yacon.
3. As possibilidades de utilização do yacon na produção de bebidas funcionais (sucos e néctares) dependem do controle do escurecimento enzimático, das características sensoriais (sabor e odor) do yacon e da preservação dos frutanos. Cada um destes fatores pode ser manejado adequadamente pela aplicação de tecnologias químicas e/ou de separação.
4. O suco de yacon constitui um insumo de grande potencialidade para a produção de sucos mistos, desde que no seu processamento sejam usadas condições apropriadas de processamento, como temperaturas relativamente baixas pelo menor tempo possível. O contrário favorece a aparição de cores, odores e sabores indesejáveis.
5. O armazenamento realizado a baixa temperatura (~6°C) permitiu manter a estabilidade química, psicoquímica, microbiológica e sensorial do néctar yacon-maracujá formulado, diferentemente ao registrado no armazenamento a temperatura ambiente.

Como sugestões de trabalhos futuros se recomenda estudar outras aplicações do suco de yacon, por exemplo em misturas de 3 ou mais sucos. Acredita-se que novos sabores podem estimular o consumo desta valiosa matéria-prima. Junto a esta, deve ser estudada a aplicação de novas tecnologias de preservação diferentes da pasteurização ou tratamentos térmicos, visando a eliminação de compostos indesejáveis decorrentes da degradação dos frutanos e da frutose.