

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**EFFECTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES SOBRE LA
CONSERVACIÓN DEL CONTENIDO DE INULINA Y
FRUCTOOLIGOSACARIDOS DEL YACON FRESCO (*Smallanthus sonchifolius*
[Poepp. y Endl.] H. Robinson) EN LOS ANDES**

PRESENTADA POR:

DAVID JUAN RAMOS HUALLPARTUPA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

EFFECTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES SOBRE LA
CONSERVACIÓN DEL CONTENIDO DE INULINA Y
FRUCTOOLIGOSACARIDOS DEL YACON FRESCO (*Smallanthus
sonchifolius* [Poepp. y Endl.] H. Robinson) EN LOS ANDES

PRESENTADA POR:

DAVID JUAN RAMOS HUALLPARTUPA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

Dr. JOSÉ DANTE GUTIÉRREZ ALBERONI

PRIMER MIEMBRO

Dr. ANGEL CANALES GUTIÉRREZ

SEGUNDO MIEMBRO

Dr. FRANZ ZIRENA VILCA

ASESOR DE TESIS

Ph.D. BERNARDO ROQUE HUANCA

Puno, 27 de setiembre de 2019

ÁREA : Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
TEMA : Conservación de inulina y fructooligosacaridos del yacon fresco en los andes.
LÍNEA : La Tecnología moderna y la tradicional en el mundo andino.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Gregorio y Lucila; mi esposa Cándida; mis hijos Ricardo y Sulenka Araceli; mis hermanos: Blanca y Raúl, Teresa, Leónidas y Beatriz; que siempre me dan estructura y seguridad en todos los momentos soñados y concretizados de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de ejecución de la tesis.
- A la Universidad Nacional del Altiplano por haberme albergado entre sus aulas y laboratorios.
- A la escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas – Andahuaylas, por haberme facilitado los ambientes, laboratorios y ser partícipe de esta investigación.
- Al Ph.D. Bernardo Roque Huanca, por su apoyo incondicional, con sus consejos y conocimientos en el área.
- A los Señores miembros del jurado: Dr. José Dante Gutiérrez Alberoni, Dr. Ángel Canales Gutiérrez y Dr. Franz Zirena Vilca; por su aporte académico con apreciadas observaciones y sugerencias a la presente tesis de investigación.
- A mi Familia: Cándida mi esposa y mis hijos Ricardo y Sulenka, por ser tolerantes, en todo el proceso que llevé en la investigación y culminación de la tesis.
- A mis Padres: Gregorio y Lucila, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.
- A mis hermanos: Blanca, Teresa, Leónidas y Beatriz, por su apoyo moral en especial a Blanca y su esposo Raúl de quienes aprendí aciertos en momentos difíciles.
- A todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son...

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I**REVISIÓN DE LITERATURA**

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Generalidades del yacon	3
1.1.1.1 Clasificación Taxonómica, variedades de yacon	6
1.1.2 Cosecha postcosecha del yacon	8
1.1.3 Carbohidratos presentes en el yacon	9
1.1.3.1 Fructanos	10
1.1.3.2 Inulina	13
1.1.3.3 Fructooligosacaridos (FOS)	16
1.1.4 Deterioro y Almacenamiento	17
1.2 Antecedentes	22

CAPÍTULO II**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1 Identificación del problema	30
2.2 Enunciados del problema objeto de investigación	31
2.3 Justificación	31
2.4 Objetivos	32
2.4.1 Objetivo General	32
2.4.2 Objetivos Específicos	32
2.5 Hipótesis	33
2.5.1 Hipótesis General	33
2.5.2 Hipótesis Específicas	33

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Lugar de ejecución	34
3.2	Población y tamaño de muestra	34
3.2.1	Población de estudio	34
3.2.2	Muestra	34
3.3	Metodología para el trabajo experimental	35
3.3.1	Variables Independientes	35
3.3.2	Variables dependientes	36
3.4	Descripción de métodos por objetivos	37
3.4.1	Análisis desarrollados para obtener los resultados y cumplir con Determinar las condiciones de almacenamiento que requiere el yacon fresco a fin de que conserve los oligosacáridos e inulina en cantidades similares al cosechado.	37
3.4.2	Para seleccionar la temperatura, humedad relativa e intensidad de luz del almacenamiento que manifiesta un alto contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada.	38
3.4.3	Para determinar la interacción de los factores que permitan minimizar la variación del contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada.	39
3.5	Equipos e instrumentos	39
3.5.1	Equipos	39
3.5.2	Materiales e Instrumentos	39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Variación de los parámetros físicos, químicos y sensoriales del yacon fresco (variedad <i>Ch'ecche llajum</i>), almacenado en los 60 días.	41
4.1.1	Variación de las características físicas de las raíces de yacon fresco almacenados	41
4.1.1.1	Peso	41
4.1.1.2	Contenido de sólidos solubles	44
4.1.2	Variación de las características químicas de las raíces de yacon fresco almacenados	48
4.1.2.1	Fructooligosacaridos	48

4.1.2.2	Inulina	51
4.1.2.3	Glucosa	55
4.1.3	Análisis Sensorial del yacon fresco almacenado	59
4.2	Selección de la temperatura, humedad relativa, e intensidad de luz de almacenamiento que manifiesta un alto contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada	61
4.2.1	Para el contenido de fructooligosacaridos:	61
4.2.2	Para el contenido de Inulina:	66
4.3	Resultado de la determinación de la interacción de los factores que permiten maximizar el contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada	71
4.3.1	Fructooligosacaridos	71
4.3.2	Inulina	73
CONCLUSIONES		76
RECOMENDACIONES		77
BIBLIOGRAFÍA		78
ANEXOS		90

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Composición media de la raíz de yacon por 100 g. de porción comestible; Latinoamérica, Brasil, Perú, 1991 – 2001.	7
2. Variedades de yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i> [Poepp. y Endl.] H. Robinson), Cusco, Perú, 1995	8
3. Contenido medio de carbohidratos de la raíz tuberosa de yacon; Latinoamérica, Brasil, Perú, 1997 – 2001.	12
4. Contenido promedio de inulina en diferentes especies vegetales; Bélgica, 1995	15
5. Estructura para el diseño experimental, elaborado en Andahuaylas, 2017.	35
6. Resultados de la variación del peso de la raíz yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenada en las 08 cámaras, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.	42
7. Resultados de la variación del contenido de sólidos solubles de la raíz yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenada en las 08 cámaras, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.	45
8. Resultados de la variación del contenido de los fructooligosacaridos de la raíz yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenada en las 08 cámaras, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.	49
9. Resultados de la variación del contenido de inulina de la raíz yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenada en las 08 cámaras, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.	52
10. Resultados de la variación del contenido de glucosa de la raíz yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenada en las 08 cámaras, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.	56
11. Resultados del análisis sensorial de la raíz yacon (ch'ecche llajum) almacenada, realizado en Andahuaylas, junio del 2018.	60
12. Análisis de varianza y los efectos más influyentes en la variación del contenido de fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	62
13. Optimización de la respuesta para la menor variación de los fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	65

14. Análisis de varianza y los efectos más influyentes en la variación del contenido de inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	66
15. Optimización de la respuesta para la menor variación de inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	69
16. Resultados por triplicado del peso de las muestras de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018	99
17. Resultados por triplicado de los sólidos solubles de las muestras de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018	100
18. Resultados por triplicado del contenido de fructooligosacaridos de las muestras de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018	101
19. Resultados por triplicado del contenido de inulina de las muestras de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018	102
20. Resultados por triplicado del contenido de glucosa de las muestras de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018	103

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Estructura química del fructano del tipo inulina (ITF), London, New York, 2006.	13
2. Estructura química de la inulina: con una molécula terminal de glucosa (β -D-glucopiranosil)	15
3. Diagrama de flujo para determinar las condiciones de almacenamiento que requiere el yacon fresco a fin de que conserve los oligosacáridos e inulina en cantidades similares al cosechado; elaborado en Andahuaylas, 2017.	36
4. Variación del peso (g) del yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.	44
5. Variación de los sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.	47
6. Variación del contenido de Fructooligosacaridos del yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.	51
7. Variación del contenido de Inulina del yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.	53
8. Variación del contenido de glucosa de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.	58
9. Aceptación de las muestras de yacon (ch'ecche llajum) en su análisis sensorial; realizadas en Andahuaylas, junio del 2018	61
10. Diagrama de Pareto y los factores que influyen en la variación de los Fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, obtenida en Andahuaylas, julio del 2018.	62
11. Superficie de respuesta para la variación de los Fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	63
12. Superficie de contornos para la variación de los Fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	65
13. Diagrama de Pareto y los factores que influyen en la variación de Inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	67

14. Superficie de respuesta para la variación de Inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	68
15. Superficie de contornos para la variación de Inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	69
16. Gráfico de interacciones de los factores que influyen en la variación de los Frucooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado. realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	71
17. Gráfico de interacciones de los factores que influyen en la variación de inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.	74
18. Selección de raíces de yacon	104
19. Lavado de yacon	104
20. Muestras de yacon (externo)	105
21. Muestras de yacon (Interno)	105
22. Muestras de yacon para evaluación	106
23. Cámaras para almacenamiento programables para yacon	106
24. Cámara (interior) para almacenamiento de yacon	107
25. Raíces de yacon en cámaras de almacenamiento	107
26. Control de peso de yacon en almacenamiento	108
27. Control de solidos solubles de yacon almacenados,	108
28. Preparación de muestras para determinación de FOS e inulina,	109
29. Filtrado de muestras para análisis de FOS e inulina,	110
30. Muestras diluidas para determinación del FOS e inulina en HPLC	111
31. Determinación de FOS e inulina en HPLC	111

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Ficha para realizar la evaluación sensorial del yacon fresco almacenado	91
2. Métodos de Análisis para FOS, inulina y Glucosa	92
3. Agilent ZORBAX, análisis de Carbohidratos	93
4. Análisis de fructooligosacaridos (Wako, 2006)	95
5. Cámara de Almacenamiento diseñadas Andahuaylas enero 2019	97
6. Panel fotográfico	104

RESUMEN

La presente investigación, fue realizado en los Laboratorios de Química y Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional José María Arguedas de la Ciudad de Andahuaylas – Apurímac; tuvo como objetivo Determinar las condiciones de almacenamiento que requiere el yacon fresco a fin de que se conserve el contenido de fructooligosacaridos e inulina en cantidades similares al cosechado. La variedad en estudio fue “Ch’ecche Llajum” procedente de los productores del fundo Poso Cuy- Santa Rosa, Talavera -Andahuaylas, recolectadas entre los 07 y 08 meses de madurez fisiológica. El almacenamiento del yacon fresco, se realizó durante 60 días, en cámaras acondicionadas de: Temperatura (15°C y 25°C), Humedad Relativa (50% y 70%) e intensidad de Luz (200 lm y 300lm). Para obtener respuestas de la conservación del contenido de fructooligosacaridos e inulina del yacon, se realizaron análisis de peso, solidos solubles, contenido de inulina y fructooligosacaridos al inicio y final de almacenamiento, Los resultados fueron analizados mediante un arreglo factorial 2^3 , que permitió obtener una superficie de respuesta que nos indicó que el yacon fresco se debe almacenar a una temperatura de 15°C con humedad relativa de 70% e intensidad de luz de 200 lm. para obtener una variación del contenido de Fructooligosacaridos de 25,47 % en 60 días, y de 15.82% en el contenido de inulina, con la variación en la intensidad de luz que debe ser de 300 lm. Así mismo las interacciones de los factores, permiten variaciones de 27% a 31% en el contenido de Fructooligosacaridos y de 17% a 17.2% en inulina. Concluyendo que el manejo de los factores temperatura, humedad relativa e intensidad de luz, en condiciones bajas, en forma controlada y combinada permiten variaciones del contenido de FOS e inulina de hasta 31% en 60 días de almacenamiento.

Palabras Clave: almacenamiento, conservación, Inulina, fructooligosacaridos y yacon.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Laboratories of Chemistry and Agroindustrial Processes of the National University José María Arguedas of the City of Andahuaylas - Apurímac; The objective was to determine the storage conditions required for fresh yacon in order to preserve the content of fructooligosaccharides and inulin in quantities similar to those harvested. The variety under study was "Ch'ecche Llajum" from the producers of the farm Poso Cuy- Santa Rosa, Talavera -Andahuaylas, collected between 07 and 08 months of physiological maturity. Storage of the fresh yacon was carried out for 60 days, in chambers equipped with: Temperature (15°C and 25°C), Relative Humidity (50% and 70%) and Light intensity (200 lm and 300lm). To obtain answers to the conservation of the content of fructooligosaccharides and inulin of yacon, weight analysis, soluble solids, inulin and fructooligosaccharide content were carried out at the beginning and end of storage. The results were analyzed by means of a factorial arrangement 2³, which allowed to obtain a response surface that indicated that the fresh yacon should be stored at a temperature of 15°C with a relative humidity of 70% and a light intensity of 200 lm. to obtain a variation of the content of Fructooligosaccharides of 25.47% in 60 days, and 15.82% in the content of inulin, with the variation in light intensity that should be 300 lm. Likewise, the interactions of the factors allow variations of 27% to 31% in the content of Fructooligosaccharides and from 17% to 17.2% in inulin. Concluding that the management of the factors temperature, relative humidity and intensity of light, in low conditions, in a controlled and combined way allow variations of the content of FOS and inulin of up to 31% in 60 days of storage.

Keywords: Conservation, fructooligosaccharidos, Inulin, storage and yacon.

INTRODUCCIÓN

Los productos agrícolas, después de cosechados, siguen vivos y están sujetos a cambios y deterioro.

La raíz de yacon tiene un alto contenido de Fructooligosacaridos (FOS) e Inulina (polímero de fructosa) los cuales no pueden ser hidrolizados por el organismo humano, estos atraviesan el tracto digestivo sin ser metabolizados, proporcionando calorías inferiores al de la sacarosa, excelentes para las dietas hipocalóricas y dietas para diabéticos. La inulina y los FOS, están considerados por la FDA (Food and Drugs Administration) como ingredientes alimenticios GRAS (Generally Recognized As Safe) o seguros para el consumo (Fernández, 2003). Por otra parte, los FOS del Yacon tienen especiales propiedades físico-químicas, como su elevada capacidad de retención de agua, estabilidad a temperaturas altas y de refrigeración, así como en rangos de pH de 4 a 7; además de poseer cerca de un tercio del poder edulcorante de la sucrosa y de ser bajo en calorías, así como ser una alternativa al uso del azúcar comercial (sacarosa) y de productos similares, que hacen de los FOS unos compuestos de gran aplicabilidad tecnológica y nutricional (Asami *et al.*, 1989, Cisneros & Zevallos, 2002 y Roberfroid, 1993).

Hoy en día, la inulina y los FOS, están siendo incluidos en numerosos productos alimentarios humanos y animales, por su efecto positivo como prebiótico y estimulante del crecimiento de la flora intestinal no patógena. El efecto prebiótico, es tanto mayor cuanto menor sea el grado de polimerización. En concentraciones bajas las soluciones de inulina son viscosas, mientras que en concentraciones de 30%, pueden formar un gel consistente similar a los observados en alginatos, carragenatos, etc. Las características del gel son dependientes de la temperatura, agitación, longitud de la cadena y concentración de inulina (Roberfroid, 1993).

Los usos industriales, en alimentación humana y nutrición de los fructooligosacaridos del yacon, abarcan la sustitución de grasas (mayonesas y quesos bajos en calorías), reducen el contenido calórico (sucedáneos de chocolate) y aumentan la retención del agua (pastelería, panificación y embutidos), así como evitan la formación de cristales (heladería) y en general, son útiles para modificar la textura o cremosidad de algunos alimentos. El yacon puede ser una excelente materia prima para la exportación de FOS e inulina, así como sus derivados (Fernández, 2003).

En base a lo expuesto, se realizó un estudio para determinar el efecto de las condiciones ambientales sobre la conservación del contenido de fructooligosacaridos del yacon fresco (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. y Endl.] H. Robinson) en los andes.

Los resultados de la presente investigación nos permiten demostrar el comportamiento y la variación que sufre el contenido de fructooligosacaridos e inulina del yacon fresco durante el almacenamiento, tomando énfasis en los parámetros o condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa e intensidad de luz). Datos que serán de mucha utilidad para los productores, comercializadores (exportación) diseñadores de almacenes y procesadores de la micro y pequeña agroindustria de la región y el país.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Generalidades del yacon

El Yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp y Endl.), H Robinson) es una planta perenne que se origina en la región andina de América del Sur (Valentová *et al.*, 2006 y Zardini, 1991). Según informes, su cultivo se viene propagando en otros países, incluidos EUA, Europa, Nueva Zelanda y Brasil (Valentová *et al.*, 2006); es una planta que almacena en sus raíces y hojas propiedades especiales que son favorables para la salud. Los antioxidantes que genera la hacen muy importante para el tratamiento de los problemas de diabetes y obesidad (Polanco, 2011). En la medicina popular, las personas que padecen diabetes o diversos trastornos digestivos o renales, consumen raíces tuberosas de yacon e infusiones de hojas secas. Sus raíces tuberosas se consumen frescas o cocidas y se ha considerado un alimento funcional debido a las grandes cantidades de fructanos (fructooligosacáridos e inulina) que posee (Valentová *et al.*, 2006);

Cajas, Oviedo y Paredes (2012) dicen que “la jícama es una planta herbácea cuyo tallo puede llegar a medir 6 metros de largo, con ramificaciones en toda su longitud. Sus hojas presentan folíolos enteros, presenta vainas de 8 a 12 cm, con semillas de color negro”. El crecimiento de la jícama tiene un lapso de 9 meses, según, Nieto (1991), “pueden alcanzar rendimientos de raíces de hasta 38 t/ha, aunque, el potencial productivo de esta especie es muy específico, ya que se pueden alcanzar rendimientos de raíces superiores a las 70 t/ha”. El diámetro del tubérculo alcanza hasta treinta centímetros, el tubérculo contiene de 86 a 90% de

agua. Las partes utilizables de la jícama son sus raíces tuberosas que se pueden consumir crudas o cocinadas, sus hojas se pueden utilizar en infusiones (Barrera, 2003).

Los tubérculos de yacon son fusiformes y pueden variar considerablemente en tamaño, forma y sabor, el color de su cáscara varía desde marrón oscuro al purpúreo opaco, incluso al naranja. Internamente el tubérculo se presenta como un cuerpo carnoso transparente. Los tubérculos generalmente pesan de 200 a 500 gramos, pero pueden llegar a pesar 2 kilogramos. Además, en el mercado no existen un estándar oficial para clasificar las raíces de acuerdo a un calibre o tamaño (Council, 1989). Con fines de estimar el tipo de raíces producidos y la proporción relativa en la cosecha, en Cajamarca se han clasificado las raíces en 3 categorías: Raíces de primera.- Son las más grandes, superan los 20 cm de largo, tiene entre 7 y 10 cm de diámetro mayor y un peso no menor de 300 g. Raíces de segunda.- Son las que tienen entre 12 a 20 cm de largo y 5 a 6 cm de diámetro con un peso que varía de 120 a 300 g. Raíces de tercera.- son no comerciales, su longitud es menor a los 12 cm, su diámetro mayor es menor a 5 cm y su peso es menor a 120 g. (Seminario & Valderrama, 2003).

La raíz tuberosa producida por la planta tiene sabor similar a la de las frutas como el melón, con pulpa ligeramente amarillo, crujiente y acuosa (Manrique *et al.*, 2005 y Valentová *et al.*, 2006), si son expuestas al sol durante varios días después de la cosecha, aumenta el sabor dulce, técnica conocida como soleado (Graefe *et al.*, 2004). Las raíces por lo general se consumen crudas y peladas, la cáscara tiene sabor resinoso (Grau y Rea, 1997). Otras formas de consumo incluyen la cocción al vapor en agua. En los mercados, sitios andinos; el yacon se clasifica como fruta y es expuesta junto con manzanas, aguacates y piñas, en lugar de ser colocado con las patatas, tubérculos y raíces (Valentová *et al.*, 2006).

Las propiedades del yacon han sido atribuidas a su contenido de fructooligosacaridos por lo que es importante conocer de qué manera la composición química de las raíces cambia en sus principales estados de desarrollo cambiando sus características (Seminario & Valderrama, 2003). Después de la cosecha ocurrirá una disminución progresiva de los fructooligosacaridos mientras que la de los azúcares simples (glucosa, fructuosa y sacarosa) se incrementará.

Estos dos procesos la síntesis y la degradación de los fructooligosacaridos, están bajo control enzimático, cambios bioquímicos y condiciones de almacenamiento. Durante el almacenamiento las raíces de yacon son bastante susceptibles a la deshidratación cuando son expuestos directamente al sol. Como consecuencia de la deshidratación, las raíces pierden peso y adquieren una apariencia rugosa que las hace menos atractivas para el consumidor (Fukai *et al.*, 1997).

Las características nutricionales y composición química del yacon ha sido objeto de atención en décadas desde que se descubrió que proporciona compuestos bioactivos de importancia para la salud humana (Rivera y Manrique, 2005). La composición del yacon está integrada por sustancias principales de agua e hidratos de carbono, lo que se almacenan principalmente en la forma de fructooligosacáridos (FOS) y otros azúcares libres. El porcentaje de agua de las raíces se encuentra alrededor de 83 a 90% del peso fresco. Debido al alto contenido de agua, el valor de energía de la raíz es baja (Lachman, 2004). Este factor también reduce su vida útil en condiciones ambientales -sobre 7 días- ya que los tejidos internos de raíces son muy delicados, característica que predisponen a sufrir grietas o estar roto fácilmente durante la cosecha, embalaje y transporte (Manrique & Párraga, 2005).

El contenido de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales de las raíces es bastante bajo (Seminario & Valderrama, 2003) . El mineral más abundante es el potasio, que existe en cantidades significativas, y es en promedio 230 mg por 100 g en peso fresco comestible o de 1 a 2% en peso seco. En menor cantidad se encuentran el calcio, fósforo, magnesio, sodio, hierro, zinc, manganeso y cobre (Manrique *et al.*, 2005). Las vitaminas encontradas son generalmente trazas, excepto el ácido ascórbico, entre ellos se encuentran: el retinol, caroteno, tiamina, riboflavina y niacina. Otro compuesto que existe en cantidades medias de $14,6 \pm 7,1 \mu\text{g g}^{-1}$ es el triptófano (Takenaka, 2003 y Valentová & Ulrichová, 2003).

El yacon ha sido reportado como buena Fuente de fenol oxidasa, enzima que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas, después de la polimerización, tienen los pigmentos típicos, conocido oxidación enzimática de color marrón o negro en frutas y hortalizas (Valentová & Ulrichová, 2003). Del mismo modo, es importante tener en cuenta la sub-capa de la cáscara cuando se

estudia el proceso de extracción yacon porque es esta parte de la raíz se centran taninos y polifenoles. (Butler & Rivera, 2004). Durante el pelado se rompen células y en ellas los polifenoles y los taninos son disponibles para mezclar con otros componentes, enzimas especialmente citoplasmáticos, que causan un proceso conocido como oxidación enzimática, y la piel se vuelve rápidamente oscuro cuando se expone al aire (Valentová & Ulrichová, 2003) . Esta oxidación se lleva a cabo en presencia de oxígeno libre, oscureciendo rápidamente la superficie de las raíces tuberosas de yacon, dañando su apariencia y sus productos; desde el punto de vista práctico, el control del pardeamiento enzimático es generalmente limitada a la inhibición de la enzima porque la polifenol oxidasa y enzimas peroxidasas son responsables de la reacción de pardeamiento (Cabello, 2005). Entre los métodos propuestos para prevenir la oxidación incluyen: deshidratación, el almacenamiento y tratamiento a baja temperatura, utilizando antioxidantes, la eliminación de oxígeno desde el medio, entre otros (Lupetti, 2005).

1.1.1.1 Clasificación Taxonómica, variedades de yacon

Según Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos citado por (Ramos, 2007), la ubicación taxonómica del yacon es:

REINO	: Vegetal
DIVISION	: Magnoliophyta
CLASE	: Magnoliopsida
ORDEN	: Asterales
FAMILIA	: Asteraceae
GENERO	: <i>Smallanthus</i>
ESPECIE	: <i>Sonchifolius</i>
Nombre científico	: <i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp y Endl.) H. Robinson

Así mismo las variedades en lengua nativa son: Qello llajum (crema amarillento) Yurac Che'cche (Crema grisáceo) Yurac llajum (crema blanquecino) (Ramos, 2007). En el Perú se conocen 05 variedades de yacon (Meza, 1995), las que se describen en la Tabla 2.

Tabla 1

Composición media de la raíz de yacon por 100 g. de porción comestible; Latinoamérica, Brasil, Perú, 1991 – 2001.

Variable	Capito (2001)	Quinteros (2000a)	Nieto (1991)	Hermann <i>et al.</i> (1998)
Materia seca (g)	9,20	13,84	15,20	11,50
Proteína (g)	0,32	0,71	0,56	0,37
Lípidos (g)	0,08	0,03	0,02	0,02
Carbohidratos totales (g)	s.d	s.d	s.d	1,06
Fructanos (g)	s.d	s.d	s.d	6,2
Glucosa libre (g)	s.d	s.d	s.d	0,34
Fructosa libre (g)	s.d	s.d	s.d	0,85
Sacarosa libre (g)	s.d	s.d	s.d	1,40
Fibra (g)	0,84	3,59	3,40	0,36
Cenizas (g)	0,41	s.d	0,53	0,50
Calcio (mg)	s.d	9,92	12,16	8,70
Cobre (mg)	s.d	s.d	0,001	s.d.
Fierro (mg)	s.d	s.d	0,015	s.d
Zinc (mg)	s.d	s.d	0,059	s.d
Fósforo (mg)	s.d	12,28	20,00	24,00
Potasio (mg)	s.d	s.d	3,00	0,23
Sodio (mg)	s.d	s.d	1,50	s.d
Ac. Ascórbico (mg)	s.d	8,26	s.d	s.d
Energía (Kcal)	s.d	s.d	s.d	17,40

s.d. = sin determinar

Fuente: (Capito, 2001, Hermann *et al.*, 1998, Nieto, 1991 y Quinteros, 2000a).

Existen tres variedades principales de jícama: La blanca, la anaranjada y la morada, las cuales pueden tener una mayor variabilidad dependiendo de las condiciones ambientales del cultivo, Suquilanda (2007) nos menciona que. En otros idiomas se la conoce como: inglés: Yacon strawberry;

francés: Poir de terre cochet; alemán: Erdbirne; italiano: Polimnia.
(Rossignoli, 2014).

Tabla 2
Variedades de yacon (Smallanthus sonchifolius [Poepp. y Endl.] H. Robinson), Cusco, Perú, 1995

Variedades	Color de piel	Color de pulpa
Qéllo Llajum	Crema	Amarillo
Ch'ecche Llajum	Crema	Amarillo
Yurac ch'ecche	Crema Oscuro	Blanco
Yurac llajum	Rosado	Blanco
Culli Llajum	Púrpura	Blanco

Fuente: Meza (1995)

1.1.2 Cosecha postcosecha del yacon

Durante la cosecha, la planta de yacon debe ser cavada cuidadosamente para prevenir la rotura de los tubérculos. Estos son separados del tallo central, una vez que el suelo ha sido removido se extraen las raíces para ser almacenadas. Esta debe ponerse en la sombra y preferentemente en lugar seco para su conservación. Con la cosecha de las raíces empieza un rápido proceso de conversión de los Oligofruktanos en azúcares simples. Después de una semana en almacenamiento a temperatura ambiente, el contenido de Oligofruktanos puede disminuir en un 30 a 40%. Así, con el fin de obtener productos con el mayor contenido posible de Oligofruktanos es necesario procesar las raíces inmediatamente después de la cosecha o refrigerarlas para disminuir la tasa de degradación. Por otro lado, la costumbre tradicional de solear (exponer al sol) las raíces por unos días para que se vuelvan más dulces, acelera el proceso de conversión de los Oligofruktanos en azúcares simples. Para evitar la degradación de los Oligofruktanos en el procesamiento, es preferible no exceder temperaturas superiores a 120°C (Manrique *et al.*, 2004).

Las raíces alcanzan la madurez entre los 6 a 7 meses en sitios con altitudes medias y de aproximadamente un año en sitios de gran altitud. Los indicadores para saber bien que ha llegado la época de la cosecha es el amarillamiento de las hojas y el cese de la floración (Seminario & Valderrama, 2003). Las raíces deben desenterrarse cuidadosamente porque son muy quebradizas. Esta labor se hace manualmente, por lo que es recomendable utilizar la herramienta adecuada y tener

los cuidados necesarios para evitar una contaminación microbiológica (Maldonado et al., 2008), se remueve la mayor cantidad de tierra posible alrededor de la planta, para que, al momento de remover la corona con las raíces, se haga el menor esfuerzo posible, las raíces se retiran de la corona, evitando producir el mínimo de heridas sobre toda en la zona de unión (Polanco, 2011).

Si se planifica la utilización de las hojas para infusiones, se ensayan otras alternativas de cosecha. En este caso se extraen las hojas una vez que han madurado, lo cual se identifica con el cambio de coloración de verde a un marrón claro, y posteriormente se extrae la raíz (Manrique *et al.*, 2004).

Para el aprovechamiento de los (FOS fructooligosacáridos), se debe reducir la tasa de deterioro y la pérdida de humedad y evitar la pudrición de la raíz, el almacenamiento postcosecha de la jícama se debe realizar a temperaturas de refrigeración y una humedad relativa entre el 60 y 70 % (Recalde, 2010).

Para el manejo postcosecha de jícamas se toma en cuenta los siguientes parámetros:
La selección y clasificación: Los tubérculos de jícama de buena calidad deben ser lisos y firmes, con una forma y tamaño, la cáscara o epidermis debe estar libre de daño mecánico y la pulpa debe ser quebradiza, succulenta con un sabor dulce. Para la distribución a los mercados se ha establecido categorías diferenciadas por tamaño y calidad, sin embargo, es importante señalar que debe evitarse la presentación de un producto sucio, mala coloración, trisados y sin daños mecánicos. El Almacenamiento: Las condiciones recomendadas para almacenamiento comercial de jícama se basan en el mantenimiento de los tubérculos a bajas temperaturas y secas. Los tubérculos de jícama son altamente susceptibles a daño por frío y deben ser almacenadas entre 12,5°C a 15°C, y a moderada humedad relativa (70-80 %). Bajo estas condiciones, los tubérculos pueden resistir de 2 a 4 meses (Álvarez *et al.*, 2012).

1.1.3 Carbohidratos presentes en el yacon

Con respecto a los hidratos de carbono, entre los azúcares que se encuentran son: monosacáridos (fructosa y glucosa), sacarosa y oligosacáridos (fructooligosacáridos), trazas de almidón y la inulina (Grau y Rea, 1997). Las raíces contienen entre 10 y 14% de materia seca, que se compone de aproximadamente el

90% de carbohidratos (Manrique y Párraga, 2005; Manrique *et al.*, 2005). La composición de azúcares varía significativamente debido a factores tales como la agricultura, la temporada, la cosecha, el tiempo y la temperatura en postcosecha (Seminario y Valderrama, 2003). A diferencia de la mayoría de los tubérculos y raíces que almacenan los hidratos de carbono en forma de almidón, las raíces de yacon contienen esencialmente fructooligosacáridos (FOS), azúcares que no puede ser digeridos directamente por el cuerpo humano debido a la falta de enzimas necesarias para el metabolismo de estos elementos y se consideran compuestos bioactivos en los alimentos (Castillo y Vidal, 2005). Existe confusión de términos cuando se refiere al tipo predominante de hidratos de carbono en las raíces de yacon. En varios estudios en la literatura, se afirma que las raíces de yacon contienen inulina componente principal. Aunque muchas referencias científicas citando esta información, esto no es exacto, ya que, estrictamente hablando, el yacon contiene sólo fructooligosacáridos. La diferencia entre FOS y La inulina es el número de moléculas de fructosa. En la inulina, este número varía entre 2 y 60, mientras que en los FOS el número oscila entre 2 y 10. Esto significa que FOS puede considerarse como un subgrupo inulina, por lo que algunos autores prefieren emplear el término fructooligosacáridos de tipo inulina al referirse con más exactitud a la naturaleza de estos azúcares (Seminario y Valderrama, 2003). Aunque la proporción de cada uno puede variar, el azúcar puede ser considerado sobre la base de la siguiente composición en seco de 40 a 70% de FOS, de 5 a 15% de sacarosa, 5 a 15% de fructosa y menos de 5% de glucosa (Manrique *et al.*, 2005).

1.1.3.1 Fructanos

Los fructanos son carbohidratos naturales de reservas que se encuentran en numerosas plantas, particularmente en la familia de las Compositae. Los fructanos están formados por polímeros de fructosa derivados de la molécula de sacarosa. Los fructanos poseen diferentes estructuras y longitudes de cadena y una gran variedad de enlaces glucosídicos y de residuos fructosil; son solubles en agua y no son azúcares reductores. No existe una forma única de clasificar a los fructanos, lo que ha creado cierta confusión. (Book, 2014). Los fructanos son reservas de carbohidratos que contienen hasta 70 unidades de fructosa unidas o no a una molécula de

sacarosa terminal, pueden tener una estructura lineal o ramificada unida por enlaces de fructil fructosa (Pedreschi *et al.*, 2003; Roberfroid, 1999).

Los fructanos son polímeros de fructosa relacionados, estructural y metabólicamente con la sacarosa. Consisten de series homólogas de oligo y polisacáridos no reductores, cada uno conteniendo un residuo a más de fructosa que el miembro anterior de la serie, de forma que el fructano más simples es un trisacárido (Ribeiro, 1993). Los fructanos son oligo o polisacáridos, constituidos por una molécula de sacarosa, a los cuales se unen residuos de fructosa por enlaces glucosídicos beta(2-1) y beta(2-6), pudiendo ser lineales o ramificados (Capito, 2001), los oligosacáridos presentes en el yacon presentan residuos de fructosa unidos por enlaces glucosídicos beta(2-1) con una unidad de sacarosa terminal y portando uno de tipo inulina (Goto *et al.*, 1995). La fluctuación del contenido de fructanos en las raíces tuberosas de yacon durante su desarrollo y almacenamiento. El grado medio de polimerización de estos fructanos aumento linealmente durante el desarrollo, después de la cosecha disminuyo, en tanto los contenidos de fructosa, sacarosa y glucosa libres aumentaron (Asami *et al.*, 1991).

En estudios de comportamiento de los carbohidratos de reserva en las raíces tuberosas de yacon, Vilhena (1997) observo una disminución expresiva en el contenido de fructanos de 101,3 mg/g en la raíz recién expuesta, a 84,31 mg/g al segundo día de exposición al sol, estabilizándose por este período. Esto se debe a degradación enzimática de estos compuestos lo que ocurre lo mismo cuando la raíz es almacenada a bajas temperaturas.

El grado de polimerización de los valores de fructosa, glucosa, sacarosa y fructanos en las raíces de yacon in natura, obtenidos por diferentes autores presentan gran variación (Tabla 3), esta variación puede ser explicada por los diferentes tiempos de madurez fisiológica de la raíz y tiempo recorrido después de la cosecha, la acumulación de fructanos puede ocurrir en órganos especializados de las plantas como raíces y tallos, mas no en las hojas (Roberfroid, 1993); aproximadamente el 15% de las plantas que

florece y almacenan fructanos como carbohidrato de reserva. Pero el más estudiado y vendido a nivel mundial es el fructano del tipo inulina (ITF) (Quinteros, 2000b).

La estructura general de los fructanos consiste en una molécula de glucosa unida a múltiples unidades de fructosa, que en las plantas pueden alcanzar hasta 200 unidades de fructosa unidas en una molécula de fructano (Figura 1).

Tabla 3

Contenido medio de carbohidratos de la raíz tuberosa de yacon; Latinoamérica, Brasil, Perú, 1997 – 2001.

Componente	Capito (2001)	Quinteros (2000)	Vilhena (1997)	Hermann et al., (1998)
Fructosa (mg/g)	8,60	17,00	-	3,40
Glucosa (mg/g)	21,50	43,30	-	8,50
Sacarosa (mg/g)	7,22	9,80	-	14,00
Fructanos (mg/g)	24,40	32,10	101,30	62,00
Grado de Polimerización (GP)	4,59	2,70	-	3,90

Nota: valores para raíz in natura en base húmeda (Hermann *et al.*, 1998)

Después del almidón, los fructanos son los polisacáridos no estructurales más abundantes en la naturaleza, presentes en muchas especies de plantas, en hongos del tipo *Aspergillus* sp. y en bacterias, en las cuales prevalece el fructano del tipo levano (enlace β -(6 \rightarrow 2) fructosil-fructosa) (Stephen y Phillips, 2016). Entre las especies de plantas que producen fructanos se identifican las del grupo *Liliaceae* (ajo, cebolla espárrago, ajoporro) y *Compositae* (achicoria, patata o tupinambo y yacon).

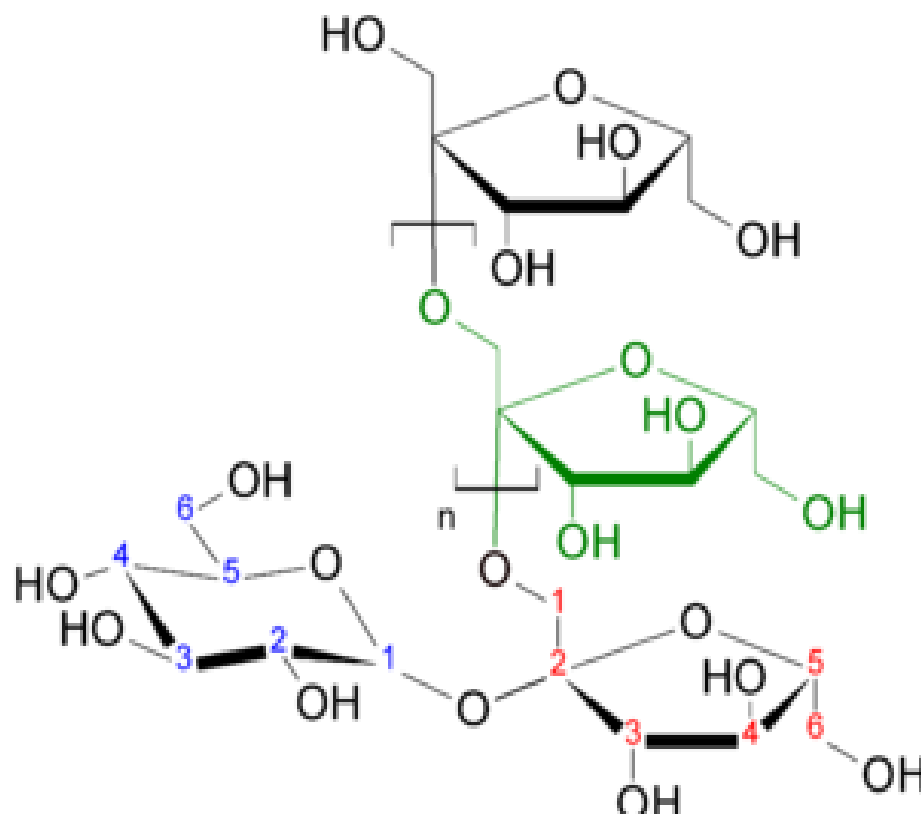


Figura 1. Estructura química del fructano del tipo inulina (ITF), London, New York, 2006.

Fuente: (Álvarez *et al.*, 2019)

1.1.3.2 Inulina

La inulina es un carbohidrato de reserva energética presente en más de 36.000 especies de plantas (Flickinger *et al.*, 2003), aislada por primera vez en 1804, a partir de la especie *Inula helenium*, por un científico alemán de apellido Rose. En 1818, Thomson, un científico británico, le dio el nombre actual (Stephen y Phillips, 2016). La inulina está constituida por moléculas de fructosa unidas por enlaces β -(2 \rightarrow 1) fructosil-fructosa, siendo el término “fructanos” usado para denominar este tipo de compuestos (Waterhouse y Chatterton, 1993). Las cadenas de fructosa tienen la particularidad de terminar en una unidad de glucosa unida por un enlace α -(1,2) (residuo -Dglucopiranosil), como en la sacarosa (Flamm *et al.*, 2001) (Figura 2.A), pero también el monómero terminal de la cadena puede corresponder a un residuo de β -D-fructopiranosil (Figura 2.B). En la Tabla 3 se presenta el contenido aproximado de inulina en algunas plantas comestibles (VanLoo *et al.*, 1995). Las especies con mayor

contenido de inulina la almacenan en la parte subterránea de la planta. Otras especies (por ejemplo, en la familia *Gramineae*) presentan altos contenidos de fructanos en sus partes aéreas, pero con bajo rendimiento de extracción a nivel industrial. Son pocas las especies apropiadas para obtener fructanos a nivel industrial, a comienzos de la presente década, la inulina se obtenía a partir de dos especies: la pataca (*Helianthus tuberosus*) y la achicoria (*Cichorium intybus*), siendo ésta última la fuente industrial más común (Flamm *et al.*, 2001).

La inulina es un carbohidrato no digerible que está presente en muchos vegetales, frutas y cereales. En la actualidad, a nivel industrial se extrae de la raíz de la achicoria (*Cichorium intybus*) y se utiliza ampliamente como ingrediente en alimentos funcionales. La inulina y sus derivados (oligofructosa, fructooligosacáridos) son generalmente llamados fructanos, que están constituidos básicamente por cadenas lineales de fructosa (Madrigal y Sangronis, 2007).

Las inulinas son carbohidratos tipo fructanos, polímeros de fructosa, unidos mediante enlaces glucosídicos de tipo $\beta(2-1)$. Las inulinas poseen un grado de polimerización superior a 10 unidades, (Olvera *et al.*, 2007); son considerados prebióticos, ya que no son digeribles por el tracto digestivo humano, poseen carácter bifidogénico (estimulan el crecimiento de bifidobacterias) y además, al ser consumidos con frecuencia, favorecen la absorción de minerales como calcio, contribuyen a la salud y bienestar del colon a través del fortalecimiento de su epitelio y previenen patologías colorrectales tales como cáncer (Aguilera *et al.*, 2008; Pool, Zoobel, *et al.*, 2007; Pool, Zobel, *et al.*, 2007; Rafter *et al.*, 2007).

Los fructanos de tipo inulina de los alimentos naturales tienen valores calóricos más bajos debido a los enlaces $\beta(2,1)$ que enlazan las moléculas de fructosilfructosa (Roberfroid, 1999). Estas configuraciones de enlaces glicosídicos son resistentes a la hidrólisis enzimática en el tracto gastrointestinal humano. Así, los fructanos son fermentados por Bifidobacterias sacarolíticas, dando como resultado productos finales, tales como ácido carboxílico de cadena corta (principalmente acetato),

propionato y butirato. Estos fructanos y oligofructosa de tipo inulina se han clasificado como prebióticos (Roberfroid, 1999) y son prometedores como alimentos funcionales (Valentová y Ulrichová, 2003) porque son capaces de estimular el crecimiento y/o la actividad de las bacterias de la flora intestinal (Santana y Cardoso, 2008).

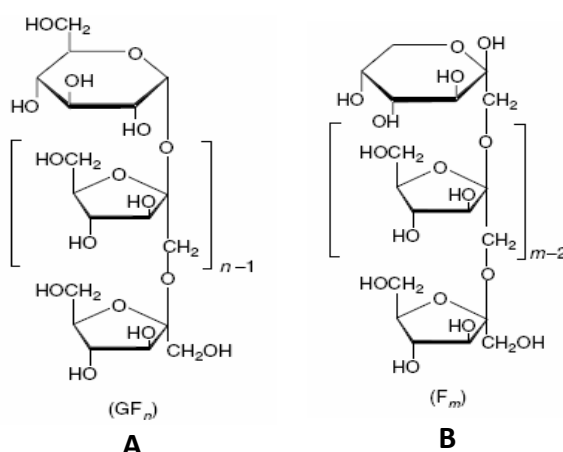


Figura 2. Estructura química de la inulina: con una molécula terminal de glucosa (β -D-glucopiranosil)

Nota:(A) y con una molécula terminal de fructosa (β -D-fructopiranosil) (B); London, New York, 2006.

Fuente: Reporte de (Madrigal y Sangronis, 2007 y Phillips *et al.*, 2006)

Tabla 4

Contenido promedio de inulina en diferentes especies vegetales; Bélgica, 1995

Especie vegetal	Inulina (g/100g base seca)
Pataca (<i>Helianthus tuberosus</i>)	89
Achicoria (<i>Cichorium intybus</i>)	79
Raíz de Dalia (<i>Dahlia spp.</i>)	59
Cebolla (<i>Allium cepa</i> L.)	48
Ajoporro (<i>Allium porrum</i> L.)	37
Ajo (<i>Allium sativum</i>)	29
Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	27
Espárrago (<i>Asparagus officinalis</i> L.)	4
Cambur (<i>Musa cavendishii</i>)	2
Centeno (<i>Secale cereale</i>)	1

Fuente: (VanLoo *et al.*, 1995)

En términos dietéticos, el fructano tiene un valor energético bajo (1,5 kcal/g), que se vuelve relevante para los pacientes con DM1 y aquellos con

obesidad excesiva (Oliveira y Nishimoto, 2004). Esto apoya la posibilidad de que este alimento funcional pueda ejercer efectos hipolipemiantes, reduciendo los factores de riesgo de enfermedad cardiovascular aterosclerótica en pacientes diabéticos (Stanley *et al.*, 2004).

1.1.3.3 Fructooligosacaridos (FOS)

Los FOS, son carbohidratos tipo fructanos, polímeros de fructosa, unidos mediante enlaces glucosídicos de tipo $\beta(2-1)$, son también conocidos como oligofruktosas, oligosacáridos, tienen un grado de polimerización inferior, aproximadamente entre 3 y 7 unidades (Olvera *et al.*, 2007).

Estos fructanos son considerados prebióticos, ya que no son digeribles por el tracto digestivo humano, poseen carácter bifidogénico (estimulan el crecimiento de bifidobacterias) y además, al ser consumidos con frecuencia, favorecen la absorción de minerales como calcio, contribuyen a la salud y bienestar del colon a través del fortalecimiento de su epitelio y previenen patologías colorrectales tales como cáncer (Aguilera *et al.*, 2008; Pool, Zoobel, *et al.*, 2007; Pool, Zobel, *et al.*, 2007; Rafter *et al.*, 2007).

Los FOS son prebióticos prospectivos ya que son fermentados por especies beneficiosas de bacterias intestinales (DuPont y DuPont, 2011; Gibson y Roberfroid, 1995; Havenaar, 2011). También se utilizan como una fuente de edulcorantes naturales y jarabes adecuados para personas que sufren problemas digestivos (Charalampopoulos y Rastall, 2012). El tratamiento oral con jarabe de yacon aceleró notablemente el tiempo de tránsito colónico en individuos sanos (Geyer *et al.*, 2008) y aumentó la frecuencia de la defecación y la sensación de saciedad en mujeres premenopáusicas obesas y con dislipemia (Genta *et al.*, 2009).

La jícama es una de las raíces reservantes comestibles con mayor contenido de agua, entre el 85 y 90% del peso fresco de las raíces es agua. Las cuales el 50 y 70% son fructooligosacáridos (FOS). El resto de carbohidratos lo conforman la sacarosa, fructosa y glucosa. Los diferentes

azúcares varían significativamente por diferentes factores como época de siembra y cosecha, tiempo y temperatura en poscosecha (Ramos, 2017).

Los fructooligosacáridos (FOS) pertenecen a una clase particular de azúcares conocidos con el nombre de fructanos. A diferencia de los tubérculos de la jícama, que contienen fructooligosacáridos como ingrediente principal, la composición química de las hojas es poco conocida. Se sabe que contienen sesquiterpenos, lactonas, flavonoides y un grupo de sustancias aun no identificadas, el té de jícama administradas a ratas diabéticas en forma crónica durante 30 días, redujo los niveles de glucosa en la sangre (Seminario y Valderrama, 2003).

Durante el almacenamiento poscosecha y la exposición de las raíces de la jícama al sol, se generan procesos bioenzimáticos de transformación de los fructooligosacáridos en azúcares simples o comunes (fructosa, glucosa y sacarosa), por acción de la enzima fructanohidrolasa, que determina una disminución de hasta 39% (Manrique y Párraga, 2005; Recalde, 2010).

Las raíces de yacon son un importante aporte para la medicina ya que actúa como un rehidratante natural por su alto contenido en minerales 3.73% y azúcares 22%, y un bajo contenido en calorías, están compuestos de fructooligosacáridos, que son azúcares los mismos que no son metabolizados por el organismo humano, siendo ideal para la personas que padecen problemas de diabetes ya que al consumir estos azúcares no elevan el índice glicémico (Recalde, 2010).

1.1.4 Deterioro y Almacenamiento

Existen distintas formas de almacenamiento de los productos frescos, las cuales tienen en común la disminución de los procesos fisiológicos, como la respiración, la transpiración y todos procesos de maduración y degradación que redundan en la calidad y conservación del producto y su eficiencia se mide por la cantidad de tiempo que puede mantenerse la calidad del producto (García y García, 2001).

El deterioro de los alimentos empieza desde su cosecha, en el caso de los vegetales o desde el sacrificio, en el caso de animales, pasando por una serie de etapas de descomposición progresiva. También durante el proceso de elaboración, los

alimentos sufren deterioro, el cual puede extenderse durante su vida útil, causando disminución de la calidad del producto, si los factores que influyen no son controlados adecuadamente. Las causas de deterioro de los alimentos pueden ser físicas, químicas o biológicas, siendo éstas últimas las de mayor importancia en el campo de los alimentos, porque son las que permiten el desarrollo de microorganismos que dañan el alimento y afectan la salud del consumidor. Las enzimáticas son causadas por acción de enzimas propias del alimento. Las parasitarias son producidas por infestación de insectos, roedores, pájaros, etc. Estas deben ser consideradas por las pérdidas económicas y porque ponen el alimento a disposición de infecciones provocadas por contaminación cruzada de microorganismos. Y, las microbiológicas son producidas por acción de microorganismos, responsables de las alteraciones más frecuentes y más graves (Fao, 1993).

La degradación de los alimentos está en función del tiempo, mientras más tiempo transcurra mayor será el deterioro de la calidad de los productos alimenticios. Sobre las causas de deterioro de los alimentos, influyen diversos factores ambientales como son la temperatura, la humedad, la luz y el aire, especialmente el oxígeno, unido a todos estos factores está además el tiempo (Casp y Abril, 2003).

a) Aire y Oxígeno

El aire y el oxígeno ejercen efectos destructores sobre las vitaminas, los colores, los sabores y otros componentes. El oxígeno interviene en las actividades metabólicas de las células vegetales y animales como la respiración, la biosíntesis del etileno y la oxidación. Durante el almacenamiento de muchos alimentos se produce CO_2 y se absorbe O_2 . La velocidad de transferencia del CO_2 desde el alimento y de absorción de O_2 por el alimento se cuadruplica cada 10°C de incremento en la temperatura (Miranda, 2004).

b) Luz

El deterioro de los colores en muchos alimentos y la destrucción de algunas vitaminas como la riboflavina, la vitamina A y la vitamina C son causadas por la

acción de la luz. Los alimentos sensibles a la luz pueden ser protegidos por medio de envases que impidan su entrada (Casp y Abril, 2003).

El efecto de la luz en la poscosecha, no es solamente vital para el óptimo desarrollo y la supervivencia de los vegetales, sino también puede influir sobre la calidad y longevidad en poscosecha, como por ejemplo el envasado de coliflor, brócoli, acelgas, puerros y espárragos puede verse alterado en su calidad y vida útil debido a la exposición a la luz, En papas cosechadas, y a intensidades lumínicas muy bajas (p.e. 25 lux) pueden inducir la síntesis de clorofila acompañada de una acumulación de glicoalcaloides tóxicos (Kays, 1997).

c) Temperatura

La temperatura no solo afecta al desarrollo de los microorganismos, sino también de todos los procesos químicos y bioquímicos, que tienen lugar en el alimento. La velocidad de la mayoría de las reacciones químicas enzimáticas y no enzimáticas se duplica aproximadamente cada 10°C de aumento de temperatura (Casp y Abril, 2003; Miranda, 2004). Las altas temperaturas afectan el valor nutritivo de los alimentos (Miranda, 2004), desnaturalizan las proteínas, rompen emulsiones, destruyen vitaminas (Casp y Abril, 2003) y cambian la textura de los alimentos, al provocar la eliminación de la humedad. El frío puede deteriorar los alimentos especialmente las frutas y las hortalizas. Si las temperaturas son excesivamente bajas, pueden producirse daños fisiológicos como por ejemplo, cambios en la textura, pardeamiento, etc. (Casp y Abril, 2003; Miranda, 2004).

d) Humedad relativa

Algunos productos son sensibles a la presencia de agua física en su superficie, producida por la condensación del agua debida a cambios de temperatura. Este fenómeno también puede producirse dentro de los envases cuando se almacenan los productos y si desciende la temperatura, el agua evaporada puede condensarse y alterar la calidad de los productos; la humedad también favorece el desarrollo de los microorganismos (Casp y Abril, 2003).

e) Almacenamiento y factores

Con respecto a la temperatura ideal para almacenar el yacón, Vilhena *et al.* (2000) observaron que las raíces de yacón mantenidas en condiciones ambientales tenían respiraciones más altas, que bajo refrigeración a 2 °C. recomiendan el almacenamiento en cámaras frías a 4°C hasta 30 días; por su parte Quijano *et al.* (2000) observaron que durante el almacenamiento de yacón, la actividad de las enzimas peroxidasa (POD) y polifenoloxidasas (PPO) fue significativamente menor en las raíces mantenidas a 4 °C. En las raíces conservadas a temperatura ambiente (22 °C), la actividad de POD aumentó progresivamente durante el almacenamiento, y al final de 15 días fue tres veces mayor que la actividad de las raíces conservadas a 4 °C. La actividad máxima de PPO se produjo el sexto día de almacenamiento a temperatura ambiente y el noveno día para condiciones de refrigeración. Fernandez *et al.* (1997) observaron que en las raíces de yacón empacadas en bolsas de papel y almacenadas a 14 °C durante 140 días, hubo una disminución moderada en FOS y el consiguiente aumento de fructosa. La cantidad de azúcares totales se mantuvo constante.

Respecto a los Factores Ambientales que influyen en el almacenamiento, Pólit (2008), nos indica que los parámetros que más influencia tienen en la acción del cambios de las características generales son: la temperatura, la humedad relativa, la composición de la atmósfera circundante, la presencia de etileno, y la luz; manejando adecuadamente estos factores ambientales, e impidiendo daños mecánicos y la acción de microorganismos, podemos lograr productos de alta calidad y mayor tiempo de vida. Así, Al bajar la temperatura, sin sobrepasar la temperatura crítica o el punto de congelación, se bajan los procesos de respiración, transpiración, producción de etileno y sensibilidad al mismo. Se retardan también los procesos de maduración y senescencia, se disminuye la pérdida de peso, se disminuye la actividad microbiana y se mitiga el efecto de daños mecánicos.

El control de temperatura puede favorecerse con edificios sombreados, con el pintado de los almacenes en color blanco o plateado que refleja los rayos del sol y con el uso de sistemas de rociado en el techo de los edificios para el enfriamiento por evaporación. La FAO (2002), recomienda la utilización de ferro cemento (ferroconcreto) para construir las unidades de almacenamiento en regiones tropicales, con paredes gruesas para proteger del calor exterior. Al controlar la Humedad Relativa, su elevación disminuye la transpiración, pero favorece el

desarrollo de microorganismos, por lo que debe encontrarse un adecuado punto de equilibrio.

La composición Atmosférica con la reducción de los niveles de oxígeno y la elevación del contenido de CO₂, sea intencional (uso de atmósferas controladas o modificadas, uso de empaque especiales) o no intencional (ventilación restringida), puede ser favorable por retardar los procesos metabólicos, pero, si pasa de ciertos límites que dependen nuevamente de productos, variedades y formas de cultivo, pueden causar daño fisiológico y daños graves de sabor. La intensidad de luz puede causar decoloraciones en papas y otros productos (FAO, 2002).

Existen algunos métodos de conservación en alimentos que se pueden utilizar después de su maduración como los que citamos a continuación Chiesa (2010):

- Utilización de altas temperaturas y otros métodos de conservación.
- Estrés térmico agudo y crónico.
- Tipos de tratamientos térmicos.
- Efectos sobre el metabolismo y la calidad de las frutas.
- Métodos combinados. Radiación UV,C radiación Gamma
- Aplicación de productos inicuos alternativos o fungicidas: sales de bicarbonato y óxido nitroso
- La base genética como factor de impacto para la conservación de las frutas.
- Transgénicos con modificaciones en la síntesis de etileno, en la firmeza o color: situación actual y perspectivas
- Puntos de control para la conservación de la calidad de las frutas con destino al mercado interno y a mercados de ultramar.
- Refrigeración. Cámaras frigoríficas. Métodos de pre enfriado de frutas.
- Refrigeración pasiva, refrigeración por aire forzado, hidro enfriamiento.

- Curvas de enfriamiento, características de cada sistema, niveles de eficiencia
- Niveles de tolerancia de las diferentes especies. Refrigeración durante el transporte.
- Atmosferas controladas y modificadas con elevados niveles de CO₂ y bajos niveles de O₂. Efecto de las variaciones de la atmósfera normal sobre el metabolismo de las frutas. Principales usos de atmosferas controladas: manzana, pera, banana, kiwi, 'berries', frutos secos, etc.
- Control de insectos y hongos. Películas plásticas.
- Utilización de coberturas y barreras alternativas: revestimiento con lípidos, azúcares y otros aditivos.
- Agentes inhibidores de la síntesis o de la acción del etileno a nivel comercial.
- Inhibición de la biosíntesis de etileno con amino etoxivinilglicina (AVG) y ácido amino oxiacético (AOA).
- Agentes oxidantes o secuestradores del etileno. Remoción del etileno mediante el uso de KMnO₄, lámparas de luz ultravioleta, carbón activado, oxidantes catalíticos, almacenaje hipobárico

1.2 Antecedentes

Neto *et al.* (2019) propone, evaluar el efecto del sombreado en la producción de hojas y raíces del yacon. Las plantas fueron sometidas a dos tratamientos diferentes: sombreado y sol absoluto. Se verificó que el sombreado tuvo un mejor efecto sobre las características del número de hojas, la altura de las plantas, el área de las hojas y la producción de raíces, mientras que el contenido de azúcar no se alteró. Concluye que la raíz de Yacon almacena azúcar en forma de fructooligosacarido, tipo inulina, un tipo beneficioso de azúcar para la salud humana.

Wagner *et al.* (2019) indican que un edulcorante natural es el yacon (*Smallanthus sonchifolius*) ((Poepp. Y Endl.) H. Robinson), que podría desempeñar un papel destacado debido a su alto rendimiento de fructooligosacáridos. Actualmente, Yacon es solo un cultivo menor en Europa y hay poca información disponible sobre los impactos

ambientales y económicos de sus diversos sistemas de cultivo. Estos se ven especialmente afectados por los niveles de fertilización nitrogenada y la selección del genotipo. Por lo tanto, antes de que el cultivo se introduzca a mayor escala, es conveniente identificar el sistema de cultivo más sostenible. La evaluación del ciclo de vida (LCA) y el análisis del costo del ciclo de vida (LCC) de los sistemas de cultivo de yacón realizados en este estudio revelaron diferencias significativas entre los genotipos de yacón y descubrieron que un nivel de fertilización nitrogenada de 80 kg N ha⁻¹ disminuyeron significativamente los costos de producción y simultáneamente condujeron a un desempeño ambiental relativamente bueno. Los resultados indicaron que, para la evaluación integral de los sistemas agrícolas, es crucial evaluar el desempeño económico y ambiental de los nuevos cultivos.

González *et al.* (2019) determinaron el contenido de fructano del tipo inulina del Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*), mediante un procedimiento estandarizado por Cromatografía Líquida de Alto Rendimiento (HPLC). Se empleó un diseño multifactorial 2³ usando el programa Statgraphics V. 16. Se seleccionaron tres variables independientes a dos niveles- temperatura: 333 K y 353 K; tiempo: 5 y 25 min; y una relación agua-yacón de 3 mL/200 g y 7 mL/200 g. El rendimiento máximo obtenido fue de 18%. Las condiciones óptimas de extracción fueron tiempo: 24 min, temperatura: 352 K, y la relación volumen de agua-masa de yacón fue de: 6,9 mL/200 g.

Khajehei *et al.* (2018) evaluaron las características de calidad de siete cultivares de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. Y Endl.) (Cajamarca, Cusco, White Early, Red Late, Morado, Nueva Zelanda y Quinault) cultivados en el suroeste de Alemania. Se investigaron entre otros rasgos fito / químicos el contenido de azúcar (contenido de fructosa, glucosa y sacarosa); los resultados indicaron una interacción significativa entre el cultivar y la parte del tubérculo en todos los rasgos examinados ($p < 0,0001$). De carne y tubérculo entero, cv. Rojo Tardío, cv. Morado y cv. Cajamarca tuvo la mayor actividad de captación de radicales TPC, TFC, DPPH y FRAP. También tenían un contenido de azúcar total relativamente más alto. CV. Nueva Zelanda tenía la menor cantidad de azúcares. Además, los resultados indicaron que la cáscara de los tubérculos de yacón contenía cantidades considerablemente altas de fitoquímicos mientras poseía bajos contenidos de azúcar. En general, este estudio proporciona una visión amplia del contenido fito / químico de los tubérculos de yacón de diferentes cultivares, que se pueden

utilizar para otros programas de mejoramiento y la selección de cultivares adecuados para el desarrollo de productos alimenticios específicos.

Cao *et al.* (2018) sobre el yacon, demuestra que una de las plantas que se considera una fuente potencial de prebióticos es el yacón. Yacon es una planta subutilizada que se consume como una fruta tradicional a base de raíces en América del Sur. Yacon contiene principalmente fructooligosacáridos (FOS) e inulina. Por lo tanto, tiene beneficios bifidogénicos para la salud intestinal, ya que las enzimas digestivas no descomponen fácilmente los FOS. Los compuestos químicos bioactivos y los extractos aislados de yacón se han estudiado por sus diversas propiedades nutrigenómicas, incluso como prebiótico para la salud intestinal y sus efectos antimicrobianos y antioxidantes. El yacon puede considerarse una fuente prebiótica potencial y un alimento funcional novedoso. Sin embargo, faltan estudios clínicos epidemiológicos, animales y humanos más detallados, particularmente estudios basados en mecanismos y fitofarmacológicos, para el desarrollo de productos alimenticios funcionales basados en evidencia.

Chirinosa *et al.* (2017) indicó, que los factores pH y temperatura influyeron significativamente en el rendimiento en fructosa a partir de un extracto de yacon con 1% de FOS, mientras que el factor tiempo no fue significativo; adicionalmente el tipo de ácido también influye en el rendimiento en fructosa obtenida, así, bajo las condiciones óptimas encontradas por los modelos cuadráticos, el ácido sulfúrico produjo un mayor rendimiento en fructosa (9,11 g/L de extracto de yacon) en comparación al ácido fosfórico (7,84 g fructosa/L de extracto de yacon).

Ramos (2017) estudió el efecto de la temperatura en las características físico-químicas y sensoriales de la Oca (*Oxalis tuberosa*) y Jícama (*Smallanthus sonchifolius*) durante su maduración, determinando la combinación óptima de temperatura y método, que permita desarrollar una maduración que no altere sus características. Para esto trabajó con tubérculos frescos oca (blanca chaucha) y jícama (morfotipo morado), aplicando tres niveles de temperatura (30, 35, 40 °C) y dos métodos artificiales de secado cámara infrarroja y estufa. Al finalizar el ensayo se evaluaron los mejores tratamientos a través de análisis físico-químico y sensorial para seleccionar el mejor, mediante la comparación con las ocas y jícamas maduras naturalmente por radiación solar (muestra testigo), siendo el mejor tratamiento las ocas y jícamas maduras a 35°C en cámara infrarroja por 5 días, y las mejores características físico-químicas y sensoriales de la raíz tuberosa de

jícama madurados con los dos métodos artificiales, comparados con la materia prima fresca, se logra en cámara infrarroja a 35°C un incremento de 63,93% de la concentración de sólidos solubles a partir de 11,75°Brix.

Chamorro (2017) propone desarrollar un método de conservación para la jícama (*Smallanthus sonchifolius*) como producto mínimamente procesado, tomando en cuenta dos factores de estudio como la proporción del líquido de cobertura y la temperatura del mismo. Tomando como experimentación dos factores: la temperatura del líquido de cobertura a 70°C y 85°C, y la proporción de ácidos (acético-cítrico) 1:1, 1,5:1 y 1:1,5 respectivamente. Luego de realizar los respectivos ensayos se logró obtener un producto de calidad y se determinó un método de conservación para la jícama como producto mínimamente procesado, dando como mejor tratamiento al que fue aplicado una temperatura al líquido de cobertura de 70°C y una proporción de la mezcla del líquido de cobertura de 1,5:1.

Zevallos y Acosta (2016) al evaluar el efecto combinado de la temperatura (correspondiente con presión de vacío) y tiempo de concentración sobre el pardeamiento (color) y el contenido de azúcares y oligofructanos en extractos de yacon (*Smallanthus sonchifolius*). Usó yacon anaranjado procedente de Amazonas. La concentración se realizó en un rotavapor Büchi a 60 °C (20 kPa), 70 °C (32 kPa) y 80 °C (48 kPa), evaluándose el proceso a 15, 20 y 25 minutos. Los resultados mostraron que el aumento de temperatura incrementó la concentración de azúcares y oligofructanos en el extracto de yacon; el incremento a 80 °C fue muy superior que a 70 y 60 °C. A 80 °C y 25 minutos de proceso se consiguió una concentración de azúcares y oligofructanos de 24,48 g/100 g de extracto. Conforme se incrementó la temperatura de concentración el índice de color de los extractos también aumentó, siendo los valores 0,35 (60 °C), 0,46 (70 °C), and 0,72 (80 °C).

Del Castillo *et al.* (2016) concluyen que la textura de los aperitivos de yacon, no varía independientemente del tratamiento previo utilizado antes del secado con aire caliente, pero las muestras sometidas a deshidratación osmótica tuvieron los valores más altos para todos los parámetros evaluados. Con un tiempo de secado más largo, los parámetros de dureza, rigidez y fracturabilidad aumentan, mientras que la gomosidad y la adhesividad disminuyen. No hubo diferencias significativas en el color dependiendo del tipo de pretratamiento utilizado con respecto a los tiempos de secado. Pero, las muestras que

permanecieron más tiempo en el horno fueron menos brillantes. En comparación con las raíces frescas, en todas las muestras el contenido de FOS fue menor y el contenido de azúcar más alto.

Zura y Patricia (2016) utilizó *Smallanthus sonchifolius* como materia prima para la elaboración del jarabe de jícama (*Smallanthus sonchifolius*). El factor en estudio para la elaboración del yogurt, fue diferentes porcentajes de sustitución (25%, 50%, 75% y 100%) de azúcar común por jarabe de jícama (*Smallanthus sonchifolius*), los mismos que fueron distribuidos bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento, un análisis de significancia de prueba de Tukey al 5%, los tratamientos fueron cinco y el tamaño de la unidad experimental fue de 1 litro. Cada tratamiento se sometió a pruebas de degustación evaluando características de color, olor, sabor, aceptabilidad y viscosidad, con la participación de 30 panelistas semi-entrenados, usando una escala hedónica de 5 puntos donde se obtuvo como resultado que el mejor tratamiento T3 (yogur con 75% de sustitución de jarabe de jícama) tuvo una diferencia significativa con respecto a los otros tratamientos.

Zamudio (2015) observó, que el contenido de FOS en el yacon disminuye conforme aumenta la temperatura de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento. Por su parte, el porcentaje de humedad disminuye tanto por efecto de la temperatura de almacenamiento (a mayor temperatura, menor porcentaje de humedad) y el tiempo de almacenamiento (a mayor tiempo de almacenamiento, menor humedad). Concluye en que las variables dependientes, temperatura y tiempo de almacenamiento (en días), así como la interacción de ambas, afectan significativamente al porcentaje de humedad y porcentaje de fructooligosacáridos presentes en el yacon y analizando los resultados, se recomienda una temperatura de almacenamiento de 8°C con una humedad inicial del yacon entre 80% y 90% para mantener por más tiempo el contenido de FOS.

Inga *et al.* (2015) encontró que el factor relación MP:S tuvo un efecto significativo sobre la extracción de FOS y AR ($p\text{-value} < 0,05$). En la siguiente etapa se evaluó diferentes niveles de relación MP:S (1:10-1:100 g/ml) manteniendo el tiempo 5 minutos y la temperatura 30°C. La máxima extracción y la mayor recuperación del extracto se obtuvo con la relación MP:S 1:30 g/ml. Finalmente, se empleó dos modelos cinéticos para describir el proceso de extracción de FOS y AR (1-60 min), dando valores de R^2 : 0,97-0,99, respectivamente. Los resultados señalan que la relación MP:S 1:30, tiempo 10

minutos y temperatura de 30 °C aseguran un máximo rendimiento en la extracción de FOS ($37,60 \pm 0,50$ % bs).

Castillo y Stephani (2015) concluyen que, un tratamiento por ebullición de 6 min en rodajas de yacon de 5 mm no afectó significativamente el contenido de FOS y azúcares reductores, y la actividad residual fructano 1-exohidrolasa (1-FEH) pudo ser reducida a niveles por debajo del 10 por ciento; así mismo, el secado por aire caliente a 65 y 80 °C no tuvo influencia significativa en el contenido de FOS y azúcares reductores de la harina de yacon, en estas condiciones no se detectó actividad residual 1-FEH. El mejor procesamiento de blanqueado y secado de las raíces de yacon se obtuvo aplicando un tratamiento térmico por ebullición a las rodajas de 5 mm durante 6 min, seguido de un acondicionamiento con cloruro de calcio al uno por ciento por 5 min y posterior secado a 65 °C. Bajo estas condiciones se obtuvo una harina con 49.2 por ciento de FOS, 12.1 por ciento de fructosa, 7.6 por ciento de glucosa y 6.0 por ciento de sacarosa. Los azúcares reductores representaron el 24.7 por ciento.

Salvatierra (2015) propone determinar la composición química proximal, carbohidratos totales, azúcares libres y fructanos del tipo inulina – fructooligosacáridos del yacon variedad amarilla que fueron trabajados al tercer día después de ser cosechados. Respecto a los fructanos, concluye que el método más adecuado para hidrolizar los fructanos es el método 2 (HCl al 5%, tiempo 2 horas y temperatura 65°C-70°C) ya que es el que más porcentaje recuperó del estándar de inulina (95.62%). Reportando la cantidad de 65.33 % de fructanos tipo inulina – fructooligosacáridos expresados en base seca; así mismo se encontró que la fase móvil que mejor separó a los FOS fue acetonitrilo – isopropanol - agua (12:4:6 v/v).

Gutiérrez y Vaca (2012) prolongó la vida útil del Yacon en los 4 tratamientos en relación al Testigo que presentó calidad comercial en un tiempo máximo de 14 días, las muestras envasadas en polietileno de baja densidad más refrigeración conserva el Yacon por un tiempo de 35 días, envasado en polietileno stretch, encerado y parafinado mantienen las características organolépticas propias del alimento en fresco por un tiempo mayor a dos meses en almacenamiento a temperatura ambiente (17 a 21°C), sin embargo de los cuatro tratamientos la parafina es el recubrimiento lipídico que presentó menor contenido de sacarosa en los primeros 28 días identificado como tiempo óptimo para el consumo.

Scher *et al.* (2009), Realizo estudios sobre el comportamiento de secado de los tubérculos de yacón con y sin vaporización. El secado se llevó a cabo durante 5 h y 30 min en un secador de aire forzado a 50 ° C, 60 ° C y 70 ° C. Los resultados indicaron que el tiempo de secado más corto se obtuvo a 70 ° C para muestras blanqueadas, y que los valores de equilibrio de la actividad del agua fueron significativamente más bajos para las muestras blanqueadas a todas las temperaturas. El yacón secado sin blanqueo previo mostró concentraciones más bajas de azúcares reductores cuando se secó a 70 ° C, significativamente más bajas que las secadas a 50 ° C y 60 ° C. Esto indica la hidrólisis de los fructooligosacáridos a 70 ° C, un hecho verificado por el aumento significativo en el contenido de azúcares reductores de 36.65 ± 0.54 – $44.10 \pm 0.96\%$ y la reducción de los azúcares no reductores de 31.62 ± 0.55 – $26.18 \pm 0.29\%$

Torrez (2008), a partir de la raíz de yacón, estudió la obtención de un jarabe concentrado, rico en FOS, logrando un rendimiento del 95% de los FOS. A partir de estos resultados, diseñó una planta para la producción anual de 1 000 TM de jarabe con 45% de FOS, al año. El producto final sería destinado principalmente a un mercado industrial, con un precio de 2,7 \$US/kg de jarabe. Para la planta se calculó una TIR de 42%.

Lachman *et al.* (2007), En un estudio del contenido de polifenoles totales (TP) en rizomas, hojas y raíces tuberosas de cinco genotipos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) de Nueva Zelanda, Alemania, Ecuador y Bolivia cultivados en parcelas de campo de prueba de la Universidad de Agricultura de Praga-Suchdol en condiciones de campo de la cosecha de 2003 se determinó espectrofotométricamente con el reactivo de fenol Folin-Ciocalteau. Se encontró que el contenido de TP e inulina dependía del origen botánico, Además, el contenido de inulina en los genotipos de Ecuador (ECU) y Bolivia (BOL) fue mayor, por lo tanto, encontramos que el contenido de TP e inulina dependía del origen botánico, los rasgos morfológicos y los polimorfismos de los genotipos individuales. Además, el contenido de inulina en los genotipos de Ecuador (ECU) y Bolivia (BOL) fue mayor en comparación con los genotipos de Alemania (DEU) y Nueva Zelanda (NZLy). Por lo tanto, encontramos que el contenido de TP e inulina dependía del origen botánico, los rasgos morfológicos y los polimorfismos de los genotipos individuales.

Vilhena *et al.* (2003), en su trabajo cuyo objetivo fue determinar el ciclo de cultivo de yacón para obtener una mayor cantidad de fructooligosacáridos en sus raíces tuberosas. Donde las muestras de las raíces tuberosas fueron homogenizadas en etanol al 80%,

hervidas al baño maría y almacenados a -18°C . Realizó la extracción de azúcares y analizaron los fructanos totales, azúcares reductores y peso fresco. Después de 7, 8, 9 y 10 meses analizando cualitativamente los azúcares por cromatografía líquida (HPAEC). En sus resultados mostraron que la mayor cantidad de fructosa total (91,84 mg/g materia fresca) se obtuvo a los 8 meses de la siembra, época en la que todavía se observó una mayor cantidad de fructooligosacáridos. Se obtuvo una mayor cantidad de azúcares reductores en estos órganos a los 9 meses, a partir del cual se inició una tendencia a la disminución de estos carbohidratos.

Chasquibol *et al.* (2002), en su trabajo de investigación "Estudio químico y nutricional de las variedades de la raíz de la *Polymnia sonchifolia* (yacon)"; concluye que el yacon es una raíz, de la familia de los girasoles, así mismo las raíces del yacon tiene inulina. La inulina es un polífructosano, el cual ayuda a controlar los niveles de azúcar en la sangre (pasan a través del tubo digestivo sin metabolizar). El yacon por lo tanto es muy valioso en la elaboración de dietas, para personas con diabetes.

Goto *et al.* (1995) obtiene oligosacáridos purificados de 8 DP diferentes con una pureza del 99% o más. Se estimó que los oligosacáridos eran trisacáridos a decasacáridos en comparación con sus volúmenes de elución con los de maltooligosacáridos mediante cromatografía de filtración en gel y mediante análisis elemental. Un patrón típico de elución para los oligosacáridos y maltooligosacáridos de yacon. El rendimiento de los oligosacáridos de trisacárido a decasacárido fue: trisacárido 876 mg, tetrasacárido 726 mg, pentasacárido 658 mg, hexasacárido de las plantas de la carne, forraje de tabaco, nonasaccharide 133 mg, y decasaccharide 60 mg.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

El yacon (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. y Endl.] H. Robinson) es una planta cuya raíz es atribuida principalmente a su contenido elevado de oligosacaridos (FOS) e inulina (Seminario y Valderrama, 2003), los cuales no pueden ser hidrolizados por el organismo humano y atraviesan el tracto digestivo sin ser metabolizados, proporcionando calorías inferiores al de la sacarosa, excelentes para las dietas hipocalóricas y dietas para diabéticos, reduce los niveles de glucosa en la sangre (Mayta *et al.*, 2001).

Después de la cosecha ocurre una disminución progresiva de los fructooligosacaridos mientras que la de los azúcares simples (glucosa, fructuosa y sacarosa) se incrementará. Estos dos procesos la síntesis y la degradación de los fructooligosacaridos, están bajo control enzimático, cambios bioquímicos y condiciones de almacenamiento. Durante el almacenamiento las raíces de yacon son bastante susceptibles a la deshidratación, como consecuencia las raíces pierden peso y adquieren una apariencia rugosa que las hace menos atractivas para el consumidor, cambiando sus características generales (Fukai *et al.*, 1997).

Los estudios han mostrado que las condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa e intensidad de luz), son factores ambientales que alteran la composición de los azúcares del yacon (oligosacáridos e inulina), convirtiéndolos en azúcares simples como la glucosa, la misma que es incompatible con el enfermo diabético (Fukai, 1997 y Lupetti, 2005).

El almacenamiento del yacon en fresco es un aspecto importante para la conservación de los oligofruktanos e inulina; sin embargo, se tiene limitada información sobre las formas o mecanismos de conservación en fresco, puesto que en pocos días la mayor parte de la raíz se degrada y consecuentemente genera altos niveles de glucosa. Así el yacon refleja poca expectativa por comercializadores y consumidores finales debido a que no cuenta con parámetros estandarizados de manejo poscosecha y almacenamiento; que al ser consumidos tienen la probabilidad de ser rechazados u observados, además de atentar contra la salud, desde el punto de vista de inocuidad, es más, cabe indicar que no existen estudios específicos de almacenamiento que expliquen los cambios químicos, físicos y organolépticos que ocurren en el proceso de poscosecha de la raíz de yacon. Motivos que nos permite plantear los siguientes interrogantes:

2.2 Enunciados del problema objeto de investigación

- ¿Qué condiciones de almacenamiento requiere el yacon fresco a fin de que conserve los oligosacáridos e inulina en cantidades similares al cosechado?
- ¿Cuál es la temperatura, humedad relativa, e intensidad de luz de almacenamiento que permiten una variación mínima del contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada?
- ¿Cuáles son los factores que interactúan y permiten minimizar la variación del contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada?

2.3 Justificación

La raíz de yacon tiene un alto contenido de Inulina y Fructooligosacaridos (FOS) (polímero de fructosa) los cuales no pueden ser hidrolizados por el organismo humano y atraviesan el tracto digestivo sin ser metabolizados, proporcionando calorías inferiores al de la sacarosa, excelentes para las dietas hipocalóricas y dietas para diabéticos.

La inulina y los FOS, están considerados por la FDA (Food and Drugs Administration) como ingredientes alimenticios GRAS (Generally Recognized As Safe) o seguros para el consumo. Por otra parte, los FOS del Yacon tienen especiales propiedades físico-químicas, como su elevada capacidad de retención de agua, estabilidad a temperaturas altas y de refrigeración, así como en rangos de pH de 4 a 7; además de poseer cerca de un tercio del poder edulcorante de la sucrosa y de ser bajo en calorías, así como ser una

alternativa al uso del azúcar comercial (sacarosa) y de productos similares, que hacen de los FOS unos compuestos de gran aplicabilidad tecnológica y nutricional.

Hoy en día, la inulina y los FOS, están siendo incluidos en numerosos productos alimentarios humanos y animales, por su efecto positivo como prebiótico y estimulante del crecimiento de la flora intestinal no patógena.

El valor comercial de este producto es poco difundido, debido principalmente a la descomposición en forma acelerada que sufre en el proceso de post cosecha (tratamientos de recolección, transporte y almacenamiento), esto debido a las condiciones de almacenamiento con las que el productor maneja, con pérdidas en su contenido de FOS, el cual se transforma en azúcares simples y por ende el rápido deterioro del yacon fresco.

Los resultados de la presente investigación nos permiten encontrar las mejores condiciones de almacenamiento (Temperatura, humedad Relativa e intensidad de luz) del yacon fresco los cuales mantengan tanto el contenido de fructooligosacaridos e inulina en la cantidad similar al cosechado o en estado fresco. Datos que serán de mucha utilidad para los productores, comercializadores (exportación) diseñadores de almacenes y procesadores de la micro y pequeña agroindustria de la región y el país.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo General

Determinar las condiciones de almacenamiento que requiere el yacon fresco a fin de que conserve los oligosacáridos e inulina en cantidades similares al cosechado.

2.4.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar la temperatura, humedad relativa y la intensidad luminosa de almacenamiento que permita minimizar la variación del contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada.
- Determinar la interacción de los factores que permiten minimizar la variación del contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis General

Las condiciones de almacenamiento del yacon en forma controlada permiten conservar los oligosacáridos e inulina en cantidades similares al cosechado.

2.5.2 Hipótesis Específicas

- La temperatura inferior a los 15°C, la humedad relativa superior a 50% y la intensidad de luz de almacenamiento permite conservar un alto contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada
- las interacciones de los factores influyen significativamente al minimizar la variación del contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

La investigación fue desarrollada en los laboratorios de química y procesos Agroindustriales, de la Universidad Nacional José María Arguedas, ubicados en el Distrito de Talavera de la Reyna, Provincia de Andahuaylas y Departamento de Apurímac, a 2815 msnm, Latitud 13°39'13" Sur y Longitud 73°25'40" Oeste. Talavera tiene una temperatura media anual de 14.7°C y precipitación de 881 mm al año; el mes más caluroso es octubre con 16.2°C y el más frío es julio con 12.9°C. los análisis del contenido de fructooligosacaridos e inulina fueron analizados en los laboratorios de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco y la Universidad Nacional del Altiplano.

3.2 Población y tamaño de muestra

3.2.1 Población de estudio

Yacon fresco de la variedad *Ch'ecche llajum*, cuya pulpa es de color amarillo, procedente de los productores de yacon del fundo Poso Cuy- Santa Rosa, Talavera -Andahuaylas.

3.2.2 Muestra

En función a la capacidad de almacenamiento de las cámaras, la muestra fue de 01 Kg de yacon fresco de la variedad *Ch'ecche llajum* por cada condición de almacenamiento, las condiciones de almacenamiento fueron 08 cámaras diseñadas, cada una con condiciones de almacenamiento independientes de

3.3.2 Variables dependientes

Características Físicas: Peso, Contenido de solidos solubles;

Características químicas: Concentración de azucares (fructooligosacaridos, inulina, glucosa);

Características sensoriales (Textura, Sabor, olor y color)

En función a las variables planteadas, el yacon cosechado siguió paso a paso el siguiente diagrama de flujo, que conlleva al diseño experimental, lo que se detalla en la Figura 3, además las figuras (18 al 31) mostradas en Anexos.

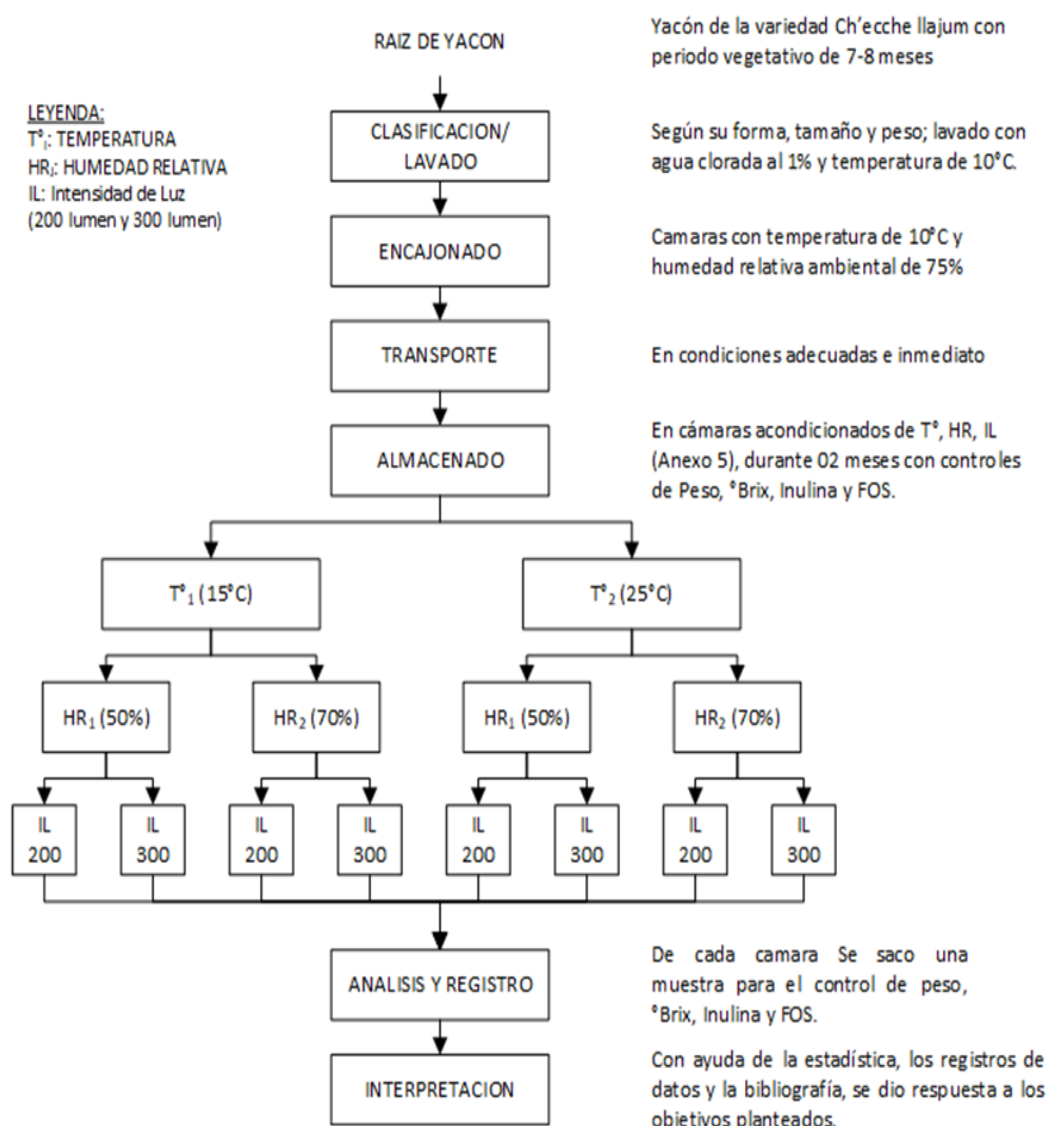


Figura 3. Diagrama de flujo para determinar las condiciones de almacenamiento que requiere el yacon fresco a fin de que conserve los oligosacáridos e inulina en cantidades similares al cosechado; elaborado en Andahuaylas, 2017.

3.4 Descripción de métodos por objetivos

3.4.1 Análisis desarrollados para obtener los resultados y cumplir con Determinar las condiciones de almacenamiento que requiere el yacon fresco a fin de que conserve los oligosacáridos e inulina en cantidades similares al cosechado.

El almacenamiento de las raíces de yacon fresco de la variedad *Ch'ecche llajum* se realizó en cámaras diseñadas provistas de temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa, con controladores e indicadores digitales programables (MT-530E SUPER, ver. 05), cada cámara fue construido con estructura de aluminio y material aislada (Anexo 5). Los procesos de almacenamiento se siguieron paso a paso lo indicado en la Figura 3, donde a cada cámara se puso 01 kg. de yacon por un periodo de 02 meses, haciendo los controles periódicamente de acuerdo al diseño experimental. Considerándose tres factores de estudio con dos niveles, lo que nos permitió hacer un diseño factorial 2^3 para su deducción estadística de la variación mínima o conservación del Peso, °Brix, Inulina, FOS y glucosa.

En base a los factores en estudio y el diagrama de flujo para el diseño experimental (Figura 3), se tomó en consideración las siguientes variables respuesta:

a) Análisis Físico

- **Determinación de peso:** Se siguió la metodología recomendada por la AOAC (2001), cada 20 días.
- **Determinación de °Brix:** Se realizó medición directa con refractómetro, cada 20 días.

b) Análisis Químico

- **Determinación de fructooligosacáridos:** Se realizó mediante el Método 997.08 AOAC (2001), utilizando columnas y métodos modificados de (AGILENT, 2003 ; González y Ramírez, 2018; WAKO, 2006) (Anexos 2, 3 y 4); al inicio y al final (0 días y 60 días) de almacenamiento.
- **Determinación de Inulina:** Se realizó mediante el método 997.08 (AOAC (2001)), utilizando columnas y métodos modificados de (AGILENT, 2003 ; González y Ramírez, 2018; WAKO, 2006) (Anexos 2, 3 y 4); al inicio y al final (0 días y 60 días) de almacenamiento.

- **Determinación de Glucosa:** Se realizó mediante el método 997.08 AOAC (2001) utilizando columnas y métodos modificados de (AGILENT, 2003 ; González y Ramírez, 2018; WAKO, 2006) (Anexos 2, 3 y 4); al inicio y al final (0 días y 60 días) de almacenamiento.

c) Análisis Sensorial

Se utilizó 10 panelistas o jueces semientrenados los que registraron los datos mediante una apreciación hedónica; el cual fue usado para medir a que nivel de placer se llegó y manifiesta al consumir un determinado alimento, lo que se determinó a partir de la apreciación de cómo agrada o desagrade este a una muestra poblacional de potenciales consumidores (Ureña y D´arrigo, 1999)

Se presentó a los jueces una escala adimensional de 05 apreciaciones (Anexo 1), la que hizo uso para manifestar la mayor o menor intensidad de un determinado atributo sensorial presente en cada muestra a categorizar. Los jueces recibieron muestras codificadas de forma simultánea. Los parámetros a ser analizados fueron Textura (Firmeza), color, olor y sabor.

3.4.2 Para seleccionar la temperatura, humedad relativa e intensidad de luz del almacenamiento que manifiesta un alto contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada.

Se almaceno el yacon fresco cosechado en 08 cámaras diseñadas que cuentan con control de Temperatura, humedad relativa e intensidad de luz; el periodo de almacén fue de 60 días; a cada muestra (yacon fresco) de las cámaras se les realizo un análisis del contenido de Fructooligosacaridos e inulina a los 0 y 60 días de almacenamiento; Para la selección de la temperatura, humedad relativa e intensidad de luz de almacenamiento que manifieste un alto contenido de fructooligosacaridos e inulina en la raíz de yacon almacenada, los resultaos obtenidos fueron evaluados y analizados estadísticamente mediante un arreglo factorial 2³, a fin de determinar cuáles son los factores que influyen en la variación de los FOS e inulina y para realizar la selección se llevó a cabo el proceso de optimización de los factores que permitan obtener un máximo contenido de FOS e Inulina o una mínima variación porcentual del contenido de FOS e inulina. con respecto al inicio. los resultados fueron analizados e interpretados estadísticamente de acuerdo a la matriz de diseño, utilizándose para ello el

Software (Statgraphics, 2009), que está diseñado para facilitar el análisis estadístico de datos y siguiendo el método ajustado en la matriz de diseño y citado por (Araujo y Gandur, 2008).

3.4.3 Para determinar la interacción de los factores que permitan minimizar la variación del contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada.

Una vez obtenida los resultados del contenido de fructooligosacaridos e inulina; se procedió a determinar la interacción de los factores que permiten minimizar la variación del contenido de Fructooligosacaridos e inulina de la raíz de yacon fresco almacenada, utilizando el comando de interacciones del programa, se procedió al análisis de las interacciones que se genera con los factores en estudio (temperatura, humedad relativa e intensidad de luz) y mediante el grafico de interacciones que contiene el Software se procedió a analizar cada interacción: temperatura-humedad relativa; temperatura-intensidad luminosa; humedad relativa-intensidad luminosa, así como la interacción de los tres factores (Statgraphics, 2009), estos cálculos y gráficos están diseñado para facilitar el análisis estadístico de datos y siguiendo el método ajustado en la matriz de diseño citado por (Araujo y Gandur, 2008).

3.5 Equipos e instrumentos

3.5.1 Equipos

- Cámaras de almacenamiento diseñadas y construidas con control de temperatura, humedad relativa e intensidad de luz (Anexo 5).
- Controladores e indicadores digitales programables (MT-530E SUPER, ver. 05) (Anexo 3).
- Cabinas para análisis sensorial.

3.5.2 Materiales e Instrumentos

- Balanza digital de precisión (ABS 200-4) Cap. 400g. Sensibilidad 0.001g
- Balanza electrónica digital (E-ACCUPA) Cap. máxima de 30 Kg., y mínima de 200 g.



- Refractómetro brixómetro ATC: 0 a 80 brix OGROSANT Modelo: SBR0032
- Higrómetro Termómetro LCD (Termometer) digital con Sensor para Exteriores

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variación de los parámetros físicos, químicos y sensoriales del yacon fresco (variedad *Ch'ecche llajum*), almacenado en los 60 días.

En función al diseño experimental, se procedió a determinar la variación de los parámetros físicos (peso, contenido de sólidos solubles), químicos (FOS, Inulina y glucosa) y la preferencia sensorial, de 08 muestras de yacon (*Ch'ecche llajum*) fresco, almacenados bajo las condiciones de temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa, planteadas en la metodología experimental; obteniéndose los siguientes resultados:

4.1.1 Variación de las características físicas de las raíces de yacon fresco almacenados

Para observar la variación de las características físicas de las raíces de yacon (*Ch'ecche llajum*) fresco almacenado se determinaron y analizaron 02 parámetros: el peso y el contenido de sólidos solubles, los cuales fueron determinados durante 02 meses. Observándose así la variación de cada característica, con controles cada 20 días, lo que detallo a continuación:

4.1.1.1 Peso

La variación del peso, obtenido en cada muestra de yacon fresco (*Ch'ecche llajum*) almacenado, fueron determinados en cuatro fechas diferentes, lo que permitió la interpretación de la variación o cambio del peso del yacon fresco durante el almacenamiento, se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Resultados de la variación del peso de la raíz yacon (*ch'ecche llajum*) fresco almacenada en las 08 cámaras, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.

Temperatura (°C)	25							
	15		50		70		70	
Humedad Relativa (%)	200	300	200	300	200	300	200	300
Intensidad de Luz (lm)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Almac./Día								
PESO (g)	0	274,37	48,31	86,69	93,95	161,61	88,32	97,96
	20	233,66	38,74	72,45	82,54	133,34	61,45	77,56
	40	191,99	32,63	62,62	55,90	65,58	38,64	61,68
	60	138,34	25,56	57,49	35,19	46,47	33,36	34,81
Variación peso (g)		136,04	22,75	40,99	58,76	115,14	54,95	63,15
Porcentaje (%)		49,58	47,11	47,28	62,53	71,24	62,22	64,46

De los resultados obtenidos en la Tabla 6, observamos que durante el almacenamiento de las raíces de yacon, todas las muestras sufren una disminución en el peso. Así mismo el yacon almacenado en la cámara seis (C6: T°=25; HR=50; IL=300) presenta el mayor porcentaje de variación del peso (71.24%) y el yacon almacenado en la cámara tres (C3: T°=15; HR=70; IL=200) presenta menor variación (43.93%), todo respecto al peso inicial de cada yacon almacenado, tal como se muestra en la Figura 4, así como en la Tabla 16 mostrada en Anexos. La disminución del peso se da por la pérdida de humedad presente en el yacon, generando la deshidratación del producto con una apariencia general considerada como menos atractiva, presentándose al final un yacon arrugado, confirmando lo reportado por (Seminario y Valderrama, 2003), donde indican que, durante el almacenamiento, la raíz de yacon se deshidrata; así mismo (Fukai, 1997; Manrique *et al.*, 2005), indican que, como consecuencia de la deshidratación, las raíces pierden peso y adquieren una apariencia rugosa que las hace menos atractivas para el consumidor. Lo más recomendable para evitar una deshidratación rápida es cosechar las raíces y ponerlas inmediatamente en un lugar fresco y con sombra. Si las raíces no se van a comercializar directamente después de la cosecha y se van a almacenar por un periodo corto de tiempo, es preferible hacer el embalaje con las raíces sucias (con tierra). De esta manera, la tierra adherida a las raíces puede ayudar a que la deshidratación sea más lenta y a que se produzca un menor daño en la cáscara de las raíces durante el transporte.

La variación negativa del peso, es causada por el efecto de la transpiración acelerada, el cual es generado por los factores de almacenamiento como es la temperatura, humedad relativa e intensidad de luz, las raíces de yacon son muy susceptibles a la deshidratación cuando se exponen a la luz solar directa. Como resultado de la deshidratación, las raíces pierden peso y adquieren una apariencia rugosa que las hace menos atractivas para el consumidor. La forma más recomendable de evitar la deshidratación rápida es cosechar las raíces y colocarlas inmediatamente en un lugar oscuro, seco y fresco (Grau y Rea, 1997).

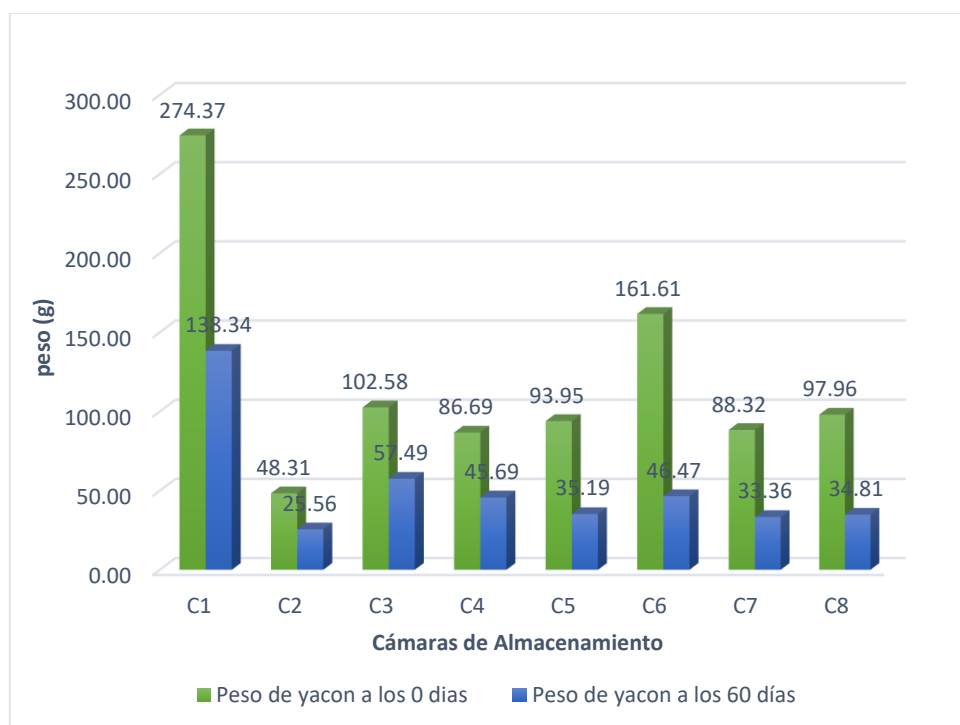


Figura 4. Variación del peso (g) del yacón fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.

4.1.1.2 Contenido de sólidos solubles

La variación de los sólidos solubles, obtenido en cada muestra de yacón fresco almacenado, determinados en cuatro fechas diferentes, que conllevó a su variación o cambio del contenido de sólidos solubles de cada raíz de yacón fresco durante el almacenamiento, se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7
Resultados de la variación del contenido de sólidos solubles de la raíz yacon (*ch'ecche llajum*) fresco almacenada en las 08 cámaras, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.

Temperatura (°C)	15								25															
	50		70		200		300		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8	
Humedad Relativa (%)	200	300	200	300	200	300	200	300	8,00	6,33	6,00	8,33	7,00	6,00	8,33	7,00	6,00	8,00	6,00	8,00	10,00	13,33	15,00	7,67
Intensidad de Luz (lm)	200	300	200	300	200	300	200	300	11,33	8,00	9,33	12,33	8,00	9,33	12,67	15,00	16,00	13,00	15,67	15,00	16,33	13,33	15,00	14,00
Almac./Día	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	8,00	6,33	6,00	8,33	7,00	6,00	8,33	7,00	6,00	8,00	6,00	8,00	10,00	13,33	15,00	7,67
Sólidos solubles (°Brix)	0	20	40	60	8,00	11,33	14,00	16,00	8,00	9,33	12,67	15,00	13,00	16,00	13,00	15,67	15,00	16,33	15,00	16,33	13,33	15,00	15,00	15,00
Variación SS (°Brix)	8,00	7,33	7,00	7,67	8,67	9,00	8,33	7,33	49,61	53,66	54,06	47,91	55,14	60,18	50,98	49,03	50,98	50,98	50,98	50,98	50,98	50,98	50,98	50,98
Porcentaje (%)	49,61	53,66	54,06	47,91	55,14	60,18	50,98	49,03	49,61	53,66	54,06	47,91	55,14	60,18	50,98	49,03	50,98	50,98	50,98	50,98	50,98	50,98	50,98	50,98

De los resultados obtenidos observamos que durante el almacenamiento de las raíces de yacon, todas las muestras sufren un incremento en el contenido de los sólidos solubles. Así mismo el yacon almacenado en la cámara seis (C6: T°=25; HR=50; IL=300) presenta el mayor porcentaje de variación del contenido de sólidos solubles (60.18%) y el yacon almacenado en la cámara cuatro (C4: T°=15; HR=70; IL=300) presenta menor variación (47.91%), todo respecto al contenido final de sólidos solubles de cada yacon almacenado, lo que se ilustra en la Figura 5, así como en la Tabla 17 mostrada en Anexos; el incremento de los sólidos solubles se da por efecto de las condiciones de almacenamiento que se sometió el yacon, así como la deshidratación que sufrió durante el tiempo de almacenamiento, incrementando los valores de los sólidos solubles (°Brix), estos son una lectura de la presencia de azúcares simples presentes en el yacon, producto probablemente de la síntesis de los oligosacáridos que van sintetizando (por intervención de las enzimas) en azúcares simples (fructosa, glucosa y sacarosa), lo que se lee en el refractómetro son todos los sólidos solubles y estas son los azúcares simples, a mayor deshidratación mayor será el valor de sólidos solubles. Llegando a confirmar lo indicado por (Mindani, 2008), los sólidos solubles pueden variar dependiendo de la entrada y tiempo transcurrido entre la recolección y el almacenamiento; similarmente se indica en los reportes de (Gutiérrez y Vaca, 2012); además el efecto del incremento de los °Brix, se debe a la conversión de la oligofructosa en azúcares simples, proceso que se acelera como factor dependiente del tiempo de almacenamiento (Seminario y Valderrama, 2003).

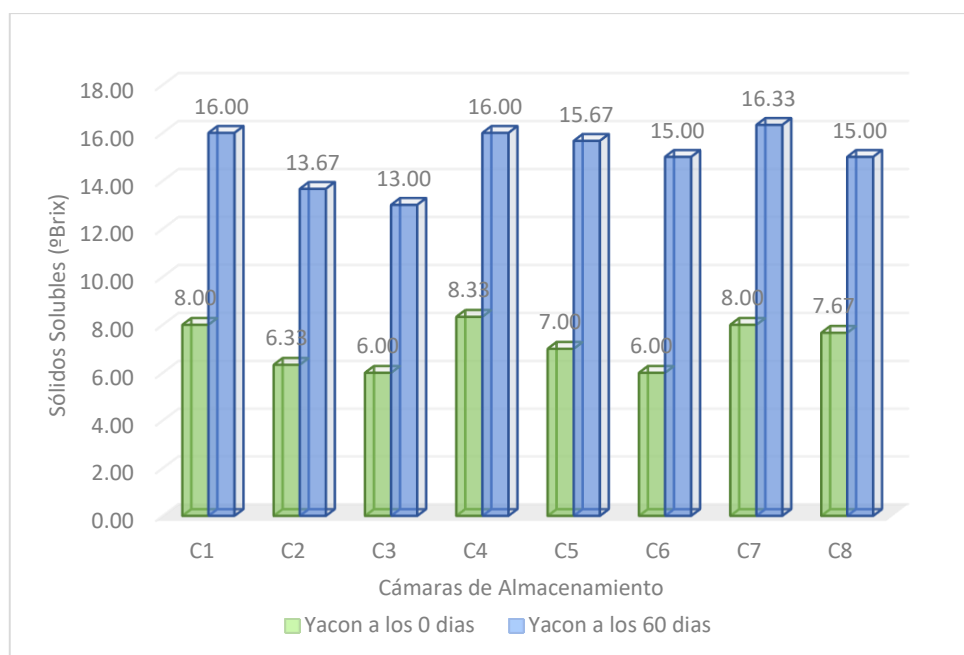


Figura 5. Variación de los sólidos solubles (°Brix) de yacón fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.

De los dos parámetros analizados en las características físicas del yacón, existe una disminución significativa del peso y un incremento del contenido de sólidos solubles, influenciados tanto por la temperatura así como la humedad relativa del medio y la presencia de luz. En la raíz de yacón se provoca deshidratación y variación en el contenido de sólidos siendo la raíz más dulce (Seminario y Valderrama, 2003); como consecuencia de la deshidratación, las raíces pierden peso y adquieren una apariencia rugosa que las hace menos atractivas para el consumidor. Lo más recomendable para evitar una deshidratación rápida es cosechar las raíces y ponerlas inmediatamente en un lugar fresco y con sombra. Si las raíces no se van a comercializar directamente después de la cosecha y se van a almacenar por un periodo corto de tiempo, es preferible hacer el embalaje con las raíces sucias (con tierra). De esta manera, la tierra adherida a las raíces puede ayudar a que la deshidratación sea más lenta y a que se produzca un menor daño en la cáscara de las raíces durante el transporte (Manrique *et al.*, 2005). Probablemente las raíces se vuelven más dulces porque se deshidratan (pierden alrededor del 40% de su peso fresco) y porque una parte importante de los FOS se convierten en azúcares simples. Esto sugiere que, para obtener el máximo beneficio de los FOS,

la mejor forma de consumir yacon sería en forma fresca (Seminario y Valderrama, 2003).

4.1.2 Variación de las características químicas de las raíces de yacon fresco almacenados

Para observar la variación de las características químicas de las raíces de yacon fresco almacenado, se determinaron y analizaron 03 parámetros: la variación del contenido de Fructooligosacaridos u oligosacáridos, la variación del contenido de inulina y la variación del contenido de Glucosa, los cuales fueron determinados al inicio y fin del almacenamiento de 02 meses. Lo que detallo a continuación:

4.1.2.1 Fructooligosacaridos

La variación del contenido de fructooligosacaridos, obtenido en cada muestra de yacon fresco almacenado, determinados al inicio y final del almacenamiento se muestran en la Tabla 8.

De los resultados obtenidos observamos que durante el almacenamiento de las raíces de yacon, todas las muestras sufren una disminución en el contenido de los Fructooligosacaridos. Así mismo el yacon almacenado en la cámara ocho (C8: T°=25; HR=70; IL=300) presenta el mayor porcentaje de variación del contenido de fructooligosacaridos (43.19%) y el yacon almacenado en la cámara tres (C3: T°=15; HR=70; IL=200) presenta menor variación (25.48%), todo respecto al contenido inicial de fructooligosacaridos de cada yacon almacenado, tal como se ilustra en la Figura 6, así como en la Tabla 18 mostrada en Anexos.

Tabla 8

Resultados de la variación del contenido de los fructooligosacaridos de la raíz yacon (*ch'ecche llajum*) fresco almacenada en las 08 cámaras, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.

Temperatura (°C)	15						25											
	200		300		50		200		300		50		200		300			
Almac./Día	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16		
FOS (mg/10g)	0	120,74	100,33	104,42	116,23	121,34	117,33	106,51	99,85	60	84,78	69,91	77,82	83,55	77,83	72,98	66,89	56,73
Variación FOS (mg/10g)		35,96	30,41	26,60	32,68	43,51	44,35	39,62	43,12		29,78	30,31	25,48	28,11	35,86	37,79	37,20	43,19
Porcentaje (%)																		

El yacon contiene principalmente fructooligosacáridos (FOS). Por lo tanto, tiene beneficios bifidogénicos para la salud intestinal (Cao *et al.*, 2018). La disminución del contenido de fructooligosacaridos es un efecto de las condiciones de almacenamiento a los que fueron sometidos las raíces de yacon, así como a la síntesis o hidrólisis de los FOS en azúcares simples, este efecto es generado por la presencia de la enzima Fructano Hidrolasa (FH), la cual actúa liberando sucesivamente las moléculas de fructosa que se encuentran en posición terminal dentro de la cadena de los fructooligosacaridos, este mecanismo enzimático es “encendido” dentro de la planta con la finalidad de emplear los fructanos como fuente de energía para el rebrote (Fukai *et al.*, 1997); poco después de iniciada la cosecha, en las raíces se inicia un rápido proceso de cambio en la composición química de sus azúcares: los FOS son hidrolizados a azúcares por la simple acción de la hidrolasa fructano (FH) que lo convierte en fructosa, sacarosa y glucosa. Entonces, la invertasa rompe la molécula de sacarosa resultando glucosa y fructosa libre (Santana y Cardoso, 2008; Seminario y Valderrama, 2003; Wei *et al.*, 1991). Después de una semana de almacenamiento a temperatura ambiente, del 30 al 40% de los FOS serán convertidos en azúcares simples. Sin embargo, la velocidad de esta conversión es más lenta si el yacon se almacena a temperaturas de refrigeración (Graefe *et al.*, 2004; Manrique y Hermann, 2005; Santana y Cardoso, 2008).

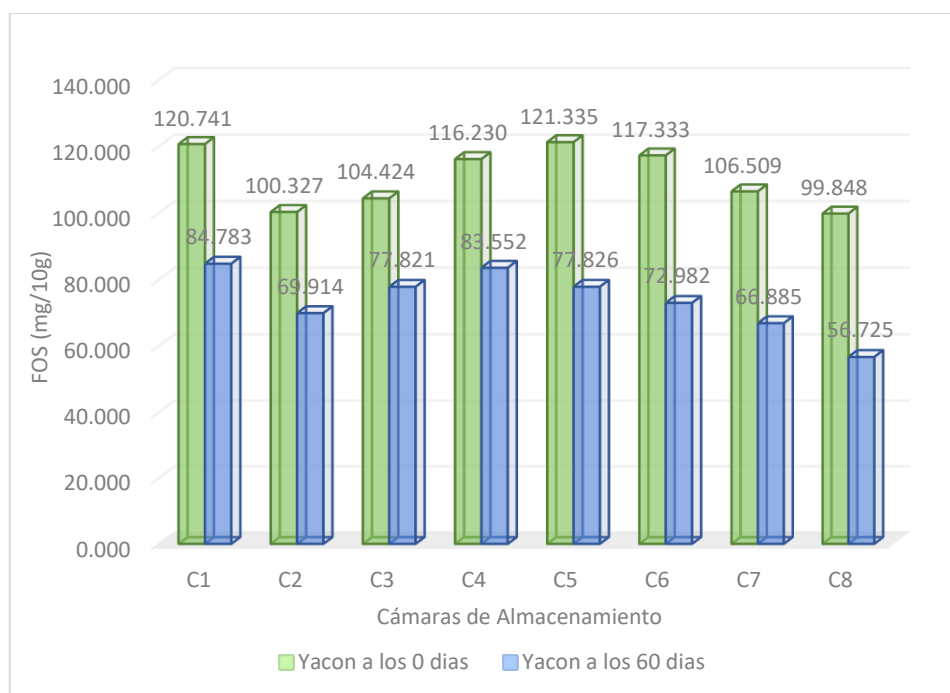


Figura 6. Variación del contenido de Fructooligosacáridos del yacón fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.

Entonces podemos afirmar que al almacenar raíces de yacón a la temperatura (15°C) considerada como baja, y humedad relativa alta (70%) y una intensidad de luz de 200 lumen, la pérdida de FOS es menor, llegando a 77,82 mg/10g a los 60 días de almacenamiento de 104,42 mg/10g que fue al inicio (0 días de almacenamiento), haciendo una variación de 26,60 mg/10g y representando una pérdida de 25,48% de FOS, que es similar en contraste a lo que indican ([Graefe *et al.*, 2004](#); [Manrique y Hermann, 2005](#); [Santana y Cardoso, 2008](#)), la conversión de FOS a azúcares simples es menor, lo que coincidiría con la pérdida de peso del yacón fresco, el cual también es menor en este tratamiento. Esto indica que al almacenar yacón a una temperatura baja, con humedad alta y intensidad de luz baja se obtiene menores variaciones en el contenido de FOS del yacón fresco almacenado durante 60 días.

4.1.2.2 Inulina

La variación del contenido de inulina, obtenido en cada muestra de yacón fresco almacenado, determinados al inicio y final de las ocho condiciones (cámaras) de almacenamiento, se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9
Resultados de la variación del contenido de inulina de la raíz yacon (*ch'ecche llajum*) fresco almacenada en las 08 cámaras, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.

Temperatura (°C)	15		25	
	50	70	50	70
Humedad Relativa (%)				
Intensidad de Luz (lm)	200	300	200	300
Almac./Día	C1	C2	C3	C4
INULINA	0	207,81	191,87	160,61
(mg/100g)	60	188,35	157,18	135,21
Variación Inulina (mg/100g)	38,33	37,15	34,69	25,40
Porcentaje (%)	16,91	17,88	18,08	15,82
			19,99	19,50
			204,84	199,81
			163,89	160,84
			40,94	38,97
			198,82	158,88
			39,93	36,80
			20,08	18,75

De los resultados obtenidos observamos que durante el almacenamiento de las raíces de yacon fresco, todas las muestras sufren una disminución en su contenido de Inulina. Observándose que, el yacon almacenado en la cámara siete (C7: T°=25; HR=70; IL=200) presenta el mayor porcentaje de variación de Inulina (20,08%) y el yacon almacenado en la cámara cuatro (C4: T°=15; HR=70; IL=300) presenta menor variación (15,82%), todo respecto al contenido inicial de Inulina de cada yacon almacenado, tal como se ilustra en la Figura 7, así como en la Tabla 19 mostrada en Anexos.

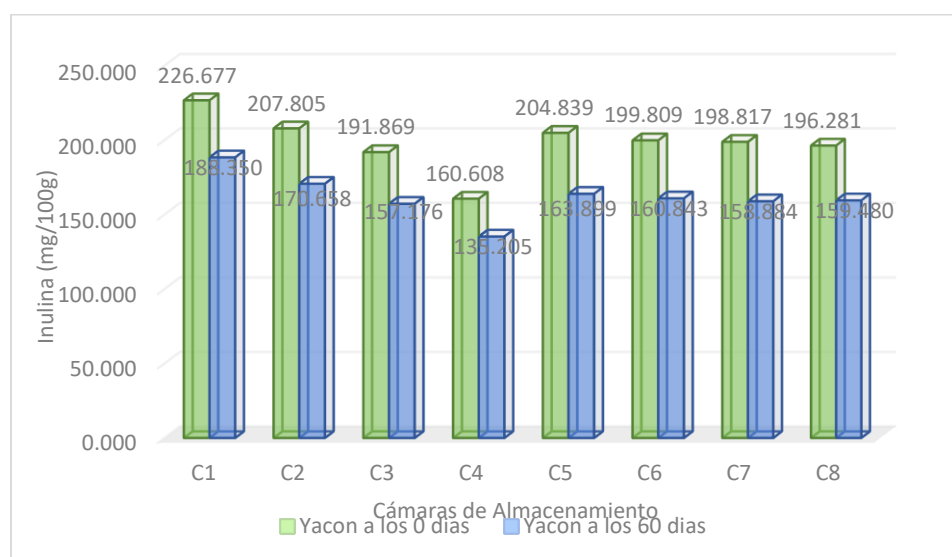


Figura 7. Variación del contenido de Inulina del yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.

El yacon contiene principalmente inulina. Por lo tanto, tiene beneficios bifidogénicos para la salud intestinal (Cao *et al.*, 2018). La disminución del contenido de Inulina es un efecto de las condiciones de almacenamiento a los que fueron sometidos las raíces de yacon, así como a la síntesis o hidrólisis de la inulina; La inulina sufre la escisión del enlace glucosídico mediante la adición de agua en un proceso conocido como hidrólisis (Biermann, 1988; Franck y De Leenheer, 2005; Matusek *et al.*, 2009). Finalmente, esta reacción conducirá a la descomposición del polímero en los monosacáridos componentes (Blecker *et al.*, 2002). En el Yacon, Similares resultados obtienen (Santana y Cardoso, 2008; Seminario y Valderrama, 2003; Wei *et al.*, 1991), demostrado que poco después de iniciada la cosecha, en las raíces se inicia un rápido proceso de cambio en la composición química de sus azúcares. Mientras que la inulina es

relativamente estable a la hidrólisis a temperatura ambiente y pH neutro, la velocidad de esta reacción puede incrementarse aumentando la temperatura y los extremos de pH (Blecker *et al.*, 2002; Franck y De Leenheer, 2005; L'homme *et al.*, 2003; Matusek *et al.*, 2009; Shu, 1998). La hidrólisis de la inulina se realiza a velocidades que varían según las propiedades del enlace glucosídico. En particular, el enlace glucosilfructosilo es 4-5 veces más resistente al hidrólisis ácida que el enlace fructosil-fructosilo (Heyraud *et al.*, 1984). Además, las unidades terminales de fructosa se escinden más fácilmente que las internas (Heyraud *et al.*, 1984), probablemente debido al cambio de conformación requerido del grupo fructosilo durante la hidrólisis (Edward, 2005). Este cambio se logra más fácilmente por un grupo final que uno interno al polímero. A pesar de estos efectos, para los oligómeros de cadena corta donde los problemas de solubilidad y los efectos de viscosidad son insignificantes, la tasa de hidrólisis es directamente proporcional a la concentración de inulina (hasta 40% / p) (Blecker *et al.*, 2002). Esto sugiere que la hidrólisis sigue una cinética de primer orden o pseudo primer orden (Blecker *et al.*, 2002; L'homme *et al.*, 2003). En particular para el yacon, (Graefe *et al.*, 2004; Manrique y Hermann, 2005; Santana y Cardoso, 2008) indican que después de una semana de almacenamiento a temperatura ambiente, del 30 al 40% del contenido de oligómeros serán convertidos en fructanos y en azúcares simples. Entonces podemos afirmar que al almacenar raíces de yacon a la temperatura (15°C) considerada como baja, y humedad relativa alta (70%) y una intensidad de luz de 300 lumen, la pérdida de Inulina es menor, llegando a 157,18 mg/100g a los 60 días de almacenamiento de 191,87 mg/100g que fue al inicio (0 días de almacenamiento), haciendo una variación de 34,69 mg/100g y representando una pérdida de 18,08% de Inulina. La conversión de inulina es menor, siendo probablemente la intensidad de luz un efecto retardante en este tratamiento. Esto indica que al almacenar yacon a una temperatura baja, con humedad alta e intensidad de luz alta se obtiene menores variaciones en el contenido de inulina del yacon fresco almacenado durante 60 días.

4.1.2.3 Glucosa

La variación del contenido de glucosa, obtenido en cada muestra de yacon fresco almacenado, determinados al inicio y final de almacenamiento, lo que conllevó a la variación del contenido de este componente en la raíz de yacon almacenado bajo las ocho condiciones de almacenamiento, se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10
Resultados de la variación del contenido de glucosa de la raíz yacon (*ch'ecche llajum*) fresco almacenada en las 08 cámaras, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.

		Temperatura (°C)							
		15		25		35		45	
		50		70		90		110	
		200	300	200	300	200	300	200	300
		C1		C2		C3		C4	
Almac./Día		C1		C2		C3		C4	
Humedad Relativa (%)									
Intensidad de Luz (lm)									
GLUCOSA	0	18,76	18,49	23,92	34,21	28,69	3,42	19,16	20,77
(mg/10g)	60	23,76	24,94	28,04	39,07	55,49	15,45	26,24	26,26
Variación Glucosa (mg/10g)		4,99	6,45	4,13	4,86	26,81	12,03	7,08	5,48
Porcentaje (%)		21,05	25,87	14,70	12,44	48,31	77,86	27,01	20,89

De los resultados obtenidos observamos que durante el almacenamiento de las raíces de yacon fresco, todas las muestras sufren un incremento en el contenido de glucosa. Observándose que, el yacon almacenado en la cámara seis (C6: T°=25; HR=50; IL=300) presenta el mayor porcentaje de variación de glucosa (77,86%) y el yacon almacenado en la cámara cuatro (C4: T°=15; HR=70; IL=300) presenta menor variación (12,44%), todo respecto al contenido final de glucosa de cada yacon almacenado, tal como se ilustra en la Figura 8, así como en la Tabla 20 mostrada en Anexos. El incremento del contenido de glucosa es un efecto de las condiciones de almacenamiento a los que fueron sometidos las raíces de yacon, así como a la degradación, síntesis o hidrólisis tanto de la inulina y los FOS que se convierte en azúcares simples; El proceso de degradación de fructanos ocurre por despolimerización de la cadena, en la cual la enzima fructan hidrolasa (FH) actúa primero, rompiendo la cadena entre los residuos de fructosa y la molécula terminal de sacarosa. Luego la invertasa rompe la molécula de sacarosa resultante que es fructosa y glucosa libre (Carvalho *et al.*, 2004). A través de este sistema multienzimático se produce la síntesis y degradación de todos los tipos de FOS que existen en las raíces tuberosas del yacón (Carvalho *et al.*, 2004; Seminario y Valderrama, 2003). Finalmente, esta reacción conducirá a la descomposición del polímero en los monosacáridos componentes (Blecker *et al.*, 2002). Así mismo un incremento del contenido de azúcares (Khajehei *et al.*, 2018).

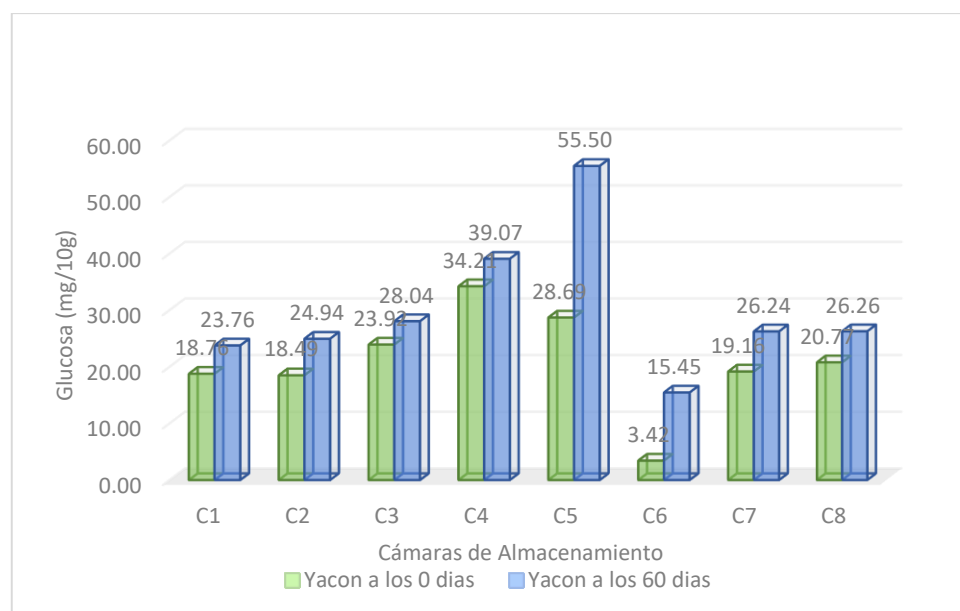


Figura 8. Variación del contenido de glucosa de yacón fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018.

Entonces podemos afirmar que al almacenar raíces de yacón a la temperatura (15°C) considerada como baja, y humedad relativa alta (70%) y una intensidad de luz de 300 lumen, el incremento de glucosa es menor, llegando a 39,07 mg/10g a los 60 días de almacenamiento de 34,21 mg/10g que fue al inicio (0 días de almacenamiento), haciendo una variación de 4,86 mg/10g y representando un incremento de 12,44% de glucosa. La conversión en glucosa es menor, siendo probablemente la intensidad de luz sea un efecto retardante en este tratamiento. Esto indica que al almacenar yacón a una temperatura baja, con humedad alta e intensidad de luz alta se obtiene menores variaciones en el contenido de glucosa del yacón fresco almacenado durante 60 días.

De los tres parámetros analizados en las características químicas del yacón, existe disminución del contenido de fructooligosacáridos e Inulina, y un incremento del contenido de Glucosa; esto, debido a las condiciones de almacenamiento controlados de temperatura, humedad relativa y la intensidad luminosa. En el yacón fresco bajo almacenamiento se provoca despolimerización de los azúcares siendo estos de azúcares superiores representados por los fructooligosacáridos e Inulina a azúcares simples representados por la glucosa; afirmando lo que indica (Graefe *et al.*, 2004)

“la velocidad de la conversión de FOS en azúcares simples es especialmente rápida en los primeros días de pos cosecha”.

4.1.3 Análisis Sensorial del yacon fresco almacenado

La característica sensorial evaluada al yacon fresco permitió ver las características, así como la preferencia y la aceptación, se utilizó 10 panelistas o jueces semientrenados, los que registraron los datos en una escala hedónica con puntaje de 01 a 05, que indica el menor y el máximo grado de aceptación tal como se muestra en el Anexo 1. Los parámetros a ser analizados fueron Textura, color, olor y sabor.

Los resultados promedio del análisis sensorial de cada muestra del yacon, se muestran en la Tabla 11, determinándose así la aceptación y preferencia por parte de los panelistas semientrenados. Además, de las 08 formas de almacenamiento, podemos indicar que el yacon fresco almacenado tiene una preferencia entre no gusto ni disgusto, así como disgusto moderado por parte de los panelistas. El yacon almacenado en la cámara cuatro (C4: T°=15; HR=70; IL=300) presenta la mayor aceptación (3.28) con escala calificativo de no gusto ni disgusto con tendencia a gusto moderadamente y la cámara ocho (C8: T°=25; HR=70; IL=300) presenta menor aceptación (2.55) con escala calificativo de Disgusto moderadamente con tendencia a no gusto ni disgusto, desde el punto de vista del análisis de los cuatro atributos analizados (Textura, sabor, olor y color) (Figura 9). El resultado nos muestra una ligera aceptación en comparación a (Ramos, 2017), quien encuentra el mejor tratamiento a las jícamas maduradas a 35°C en cámara infrarroja por 5 días con las mejores características físico-químicas y sensoriales de la raíz tuberosa de jícama madurados con los dos métodos artificiales, comparados con la materia prima fresca. La diferencia es por el tiempo de almacenamiento que realizamos el cual fue de 02 meses.

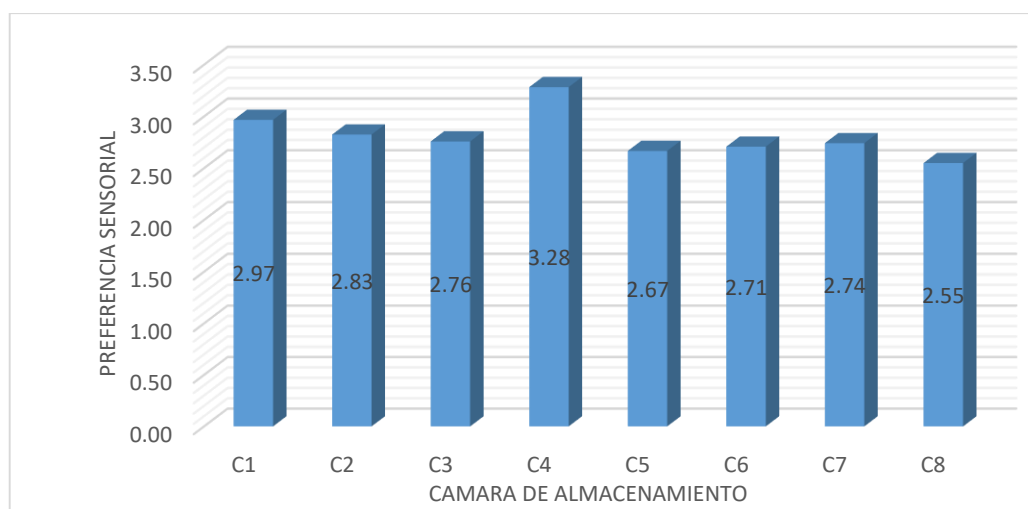


Figura 9. Aceptación de las muestras de yacon (ch'ecche llajum) en su análisis sensorial; realizadas en Andahuaylas, junio del 2018

4.2 Selección de la temperatura, humedad relativa, e intensidad de luz de almacenamiento que manifiesta un alto contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada

Para la selección de la temperatura, humedad relativa e intensidad de luz de almacenamiento que manifieste un alto contenido de fructooligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada, se procedió a evaluar y analizar estadísticamente mediante un arreglo factorial 2^3 , a fin de determinar cuáles son los factores que influyen en la variación de los FOS e inulina y para realizar la selección se llevó a cabo el proceso de optimización de los factores que permitan obtener un máximo contenido de FOS e Inulina o una mínima variación porcentual del contenido de FOS e inulina. con respecto al inicio. tal como detallamos a continuación:

4.2.1 Para el contenido de fructooligosacáridos:

Análisis de Varianza (ANOVA) de la influencia de los factores en la variación de los FOS se muestran en la Tabla 12, este permitió observar los factores en estudio que influyen en la variación del contenido de los fructooligosacáridos, así mismo la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, siete de los efectos tienen los p-valores inferiores a 0,05 (Temperatura, intensidad de luz, la interacción temperatura-humedad relativa, la interacción temperatura-intensidad de luz, la interacción humedad-intensidad de luz, interacción Temperatura-humedad-intensidad de luz y bloques), indicando que son significativamente diferentes de

cero al 95,0% de nivel de confianza, siendo estos factores los que influyen de manera significativa en la variación de los Fructooligosacaridos del yacon fresco almacenado, a un estadístico R-Cuadrada de 99,9349%. Lo que también se afirma con el diagrama de Pareto (Figura 10), solo la humedad relativa no influye de manera significativa en la variación de los FOS.

Tabla 12
Análisis de varianza y los efectos más influyentes en la variación del contenido de fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	610,95000	1	610,95000	17572,33	0,0000
B:Humedad R	0,01927	1	0,01927	0,55	0,4689
C:Intensidad Luz	46,16490	1	46,16490	1327,81	0,0000
AB	65,74320	1	65,74320	1890,93	0,0000
AC	8,47757	1	8,47757	243,83	0,0000
BC	14,18960	1	14,18960	408,13	0,0000
ABC	1,41135	1	1,41135	40,59	0,0000
bloques	0,50455	2	0,25227	7,26	0,0069
Error total	0,48675	14	0,03477		
Total (corr.)	747,94700	23			

R-cuadrada = 99,9349 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,9065 por ciento

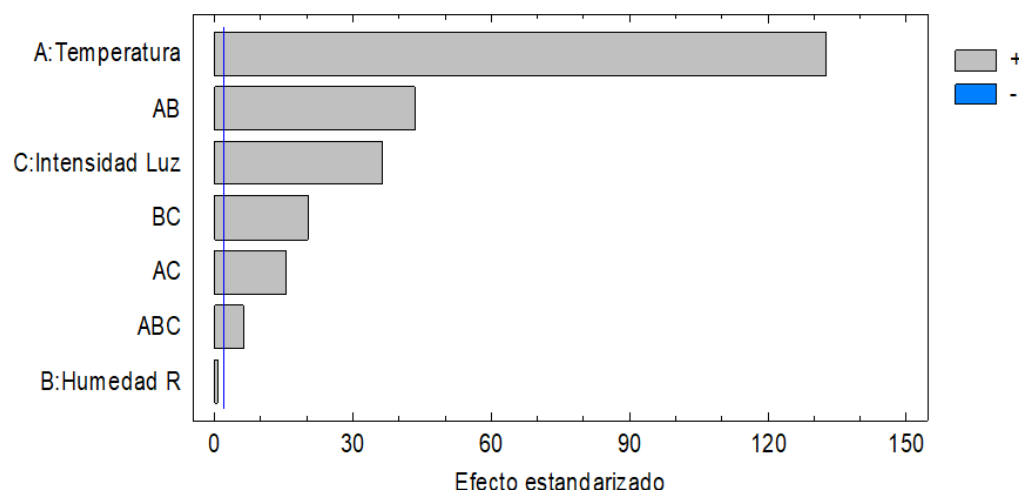


Figura 10. Diagrama de Pareto y los factores que influyen en la variación de los Fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, obtenida en Andahuaylas, julio del 2018.

El análisis de regresión para los datos del contenido de los fructooligosacaridos permitió obtener la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. Siendo la ecuación del modelo ajustado que permite obtener una variación del contenido de los fructooligosacaridos la siguiente:

$$\text{varFOS} = 51,7567 - 0,11635 * T - 0,558658 * \text{HR} + 0,00432167 * \text{IL} + 0,00885167 * T * \text{HR} - 0,00344267 * T * \text{IL} - 0,000402167 * \text{HR} * \text{IL} + 0,000097 * T * \text{HR} * \text{IL}$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para evaluar esta función, se realizó el gráfico de superficie de respuesta (Figura 11) el cual nos indica que la zona azul presenta la menor variación de los fructooligosacaridos a los 60 días de almacenamiento lo que nos indica que en esta zona se conservan los fructooligosacaridos en mayor cantidad siendo casi igual al primer día de almacenamiento.

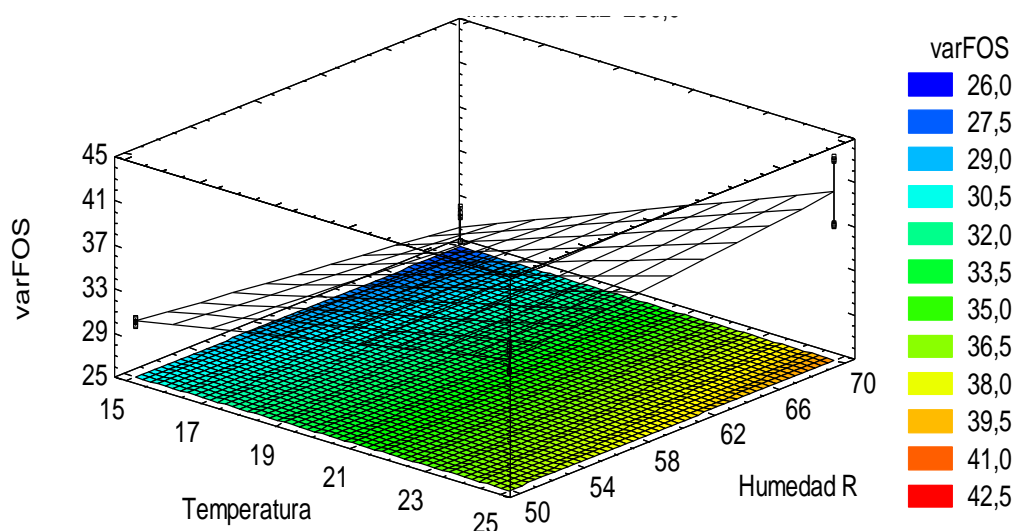


Figura 11. Superficie de respuesta para la variación de los Fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

Para confirmar mejor lo mostrado por la superficie de respuesta se procedió a Optimizar la Respuesta y observar cuales son los factores en donde se puede obtener la menor variación de FOS o también denominado como la conservación de los FOS en mayor cantidad, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 13. Podemos observar que una temperatura de 15°C, una humedad relativa de 70% y una intensidad de luz de 200 lumen permiten obtener una variación optima de 25,48%, lo que representa una conservación de 77.82 mg/10g de 104.42 mg/10g

de fructooligosacaridos como la mayor cantidad y conservada en la cámara tres (C3: T°=15°C; HR=70%; IL=200lumen), lo que se corrobora con el grafico de contornos, siempre teniendo como referencia la zona azul donde se presenta la menor variación (Figura 12). Estando el rango de almacenamiento, similar a lo que indica Recalde (2010), “el almacenamiento poscosecha de la jícama se debe realizar a temperaturas de refrigeración y una humedad relativa entre el 60 y 70 %” para el aprovechamiento de los fructooligosacaridos (FOS), se debe reducir la tasa de deterioro y la pérdida de humedad y evitar la pudrición de la raíz”, así mismo Los tubérculos de jícama son altamente susceptibles a daño por frío y deben ser almacenadas entre 12,5°C a 15°C, y a moderada humedad relativa (70-80 %). Bajo estas condiciones, los tubérculos pueden resistir de 2 a 4 meses (Álvarez *et al.*, 2012), Por otro lado el contenido de oligofructanos después de una semana en almacenamiento a temperatura ambiente puede disminuir en un 30 a 40%; siendo nuestro caso mucho menor (25,48%) y en 60 días, esto se debe a ue el sistema de almacenamiento fue controlado tanto en la temperatura, humedad relativa e intensidad de luz establecidas (Chasquibol *et al.*, 2002; Seminario y Valderrama, 2003).

El factor que influye significativamente en la variación del contenido de Oligosacaridos (fructanos) es la temperatura y la intensidad de luz, así como existe una diferencia significativa entre las interacciones esto porque los tratamientos son diferentes uno de otro; poco después de iniciada la cosecha, en las raíces se inicia un rápido proceso de cambio en la composición química de sus azúcares: Los azúcares después de la cosecha tienden a despolimerizarse, es decir, los FOS son hidrolizados a azúcares por la simple acción de la hidrolasa fructano (FH) que lo convierte en fructosa, sacarosa y glucosa. Entonces, la invertasa rompe la molécula de sacarosa resultando glucosa y fructosa libre (Santana y Cardoso, 2008; Seminario y Valderrama, 2003; Wei *et al.*, 1991), Así mismo, después de una semana de almacenamiento a temperatura ambiente, del 30 al 40% de los FOS serán convertidos en azúcares simples. Sin embargo, la velocidad de esta conversión es más lenta si el yacon se almacena a temperaturas de refrigeración (Graefe *et al.*, 2004; Manrique y Hermann, 2005; Santana y Cardoso, 2008). Por lo que podemos afirmar que al almacenar yacon fresco a la temperatura (15°C) considerada como baja, humedad relativa considerada como alta (70%) y una

intensidad de luz de 200 lumen, la perdida de FOS llega a un 25,48% de variación en comparación al inicio, es decir que el yacon fresco puede ser conservada en la cámara tres (C3), siendo las concentraciones de fructooligosacaridos (FOS) al inicio (0 días de almacenamiento) de 104,42 mg/10g y final (60 días de almacenamiento) 77,82 mg/10g, lo que implica una variación del 25,48%, en este tiempo, asegurando de esta forma una durabilidad del producto respecto a su contenido de fructooligosacaridos tal como se obtien con los resultados de optimizacion mostrados en la Tabla 13, el que nos permite aceptar la hipotesis que indica que la temperatura inferior a los 15°C, la humedad relativa superior a 50% y la intensidad de luz de almacenamiento permite conservar un alto contenido de fructooligosacáridos en la raíz de yacon almacenada, asegurándonos que las condiciones de almacenamiento del yacon en forma controlada permiten conservar los FOS en cantidades similares al cosechado.

Tabla 13
Optimización de la respuesta para la menor variación de los fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (°C)	15,0	25,0	15,0
Humedad Relativa (%)	50,0	70,0	70,0
Intensidad Luz (lm)	200,0	300,0	200,0

Meta: minimizar varFOS
 Valor óptimo = 25,48%

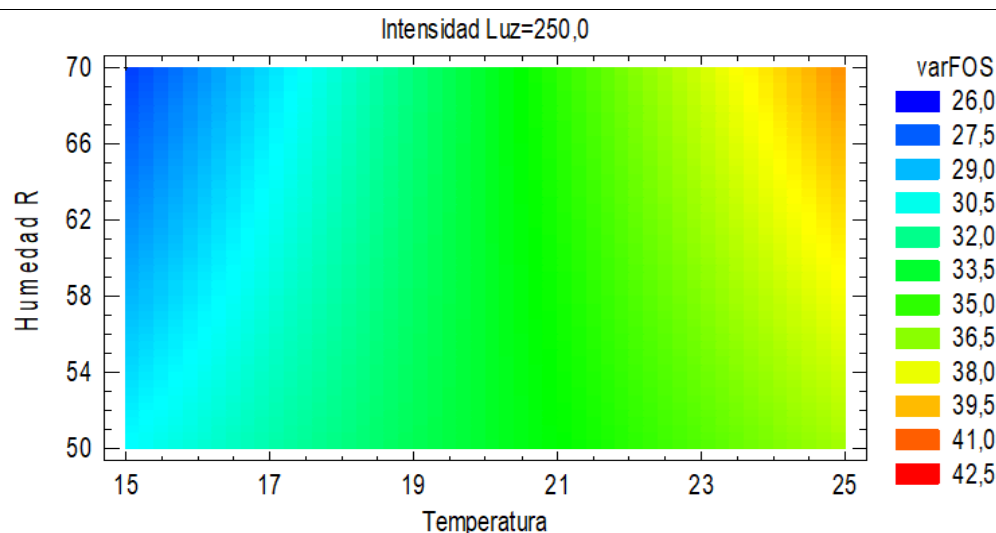


Figura 12. Superficie de contornos para la variación de los Fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

4.2.2 Para el contenido de Inulina:

El Análisis de Varianza (ANOVA) de la influencia de los factores en la variación de la inulina se muestra en la Tabla 14, este permitió observar los factores en estudio que influyen en la variación del contenido de la inulina, así mismo la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, cinco de los efectos tienen los p-valores inferiores a 0,05 (Temperatura, humedad relativa, intensidad de luz, interacción humedad-intensidad de luz y la interacción Temperatura-humedad relativa-intensidad de luz), indicando que son significativamente diferentes de cero al 95,0% de nivel de confianza, siendo estos factores los que influyen de manera significativa en la variación de la inulina del yacon fresco almacenado, a un estadístico R-Cuadrada de 96,66%. Lo que también se afirma con el diagrama de Pareto (Figura 13), la interacción temperatura-humedad relativa, temperatura-intensidad de luz; no influye de manera significativa en la variación de la inulina.

Tabla 14

Análisis de varianza y los efectos más influyentes en la variación del contenido de inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	34,85340	1	34,85340	292,97	0,0000
B:Humedad R	0,89475	1	0,89475	7,52	0,0159
C:Intensidad Luz	3,64728	1	3,64728	30,66	0,0001
AB	0,02007	1	0,02007	0,17	0,6875
AC	0,10454	1	0,10454	0,88	0,3644
BC	6,25873	1	6,25873	52,61	0,0000
ABC	2,11702	1	2,11702	17,79	0,0009
bloques	0,34684	2	0,17342	1,46	0,2660
Error total	1,66554	14	0,11897		
Total (corr.)	49,90820	23			

R-cuadrada = 96,6628 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 95,2028 porciento

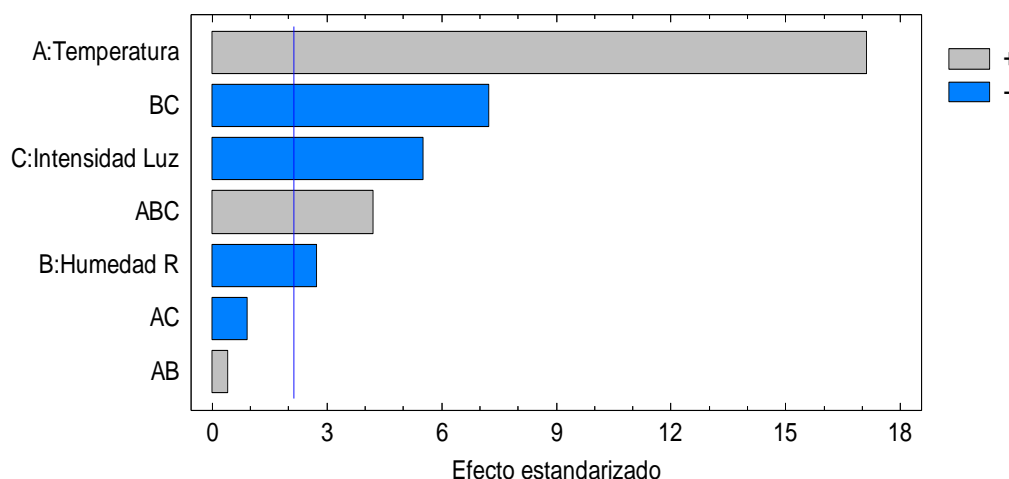


Figura 13. Diagrama de Pareto y los factores que influyen en la variación de Inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

El análisis de regresión para los datos del contenido de inulina permitió obtener la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. Siendo la ecuación del modelo ajustado que permite obtener una variación del contenido de la inulina la siguiente:

$$\text{varINULINA} = -34,9237 + 2,05432 * T + 0,818458 * HR + 0,201323 * IL - 0,0291217 * T * HR - 0,007392 * T * IL - 0,00339733 * HR * IL + 0,0001188 * T * HR * IL$$

Los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para evaluar esta función, se realizó el gráfico de superficie de respuesta (Figura 14), el cual presenta la menor y mayor variación de inulina, la zona azul representa la menor variación de la inulina a los 60 días de almacenamiento, lo que nos indica que en esta zona se conserva la inulina en mayor cantidad siendo casi igual al primer día de almacenamiento.

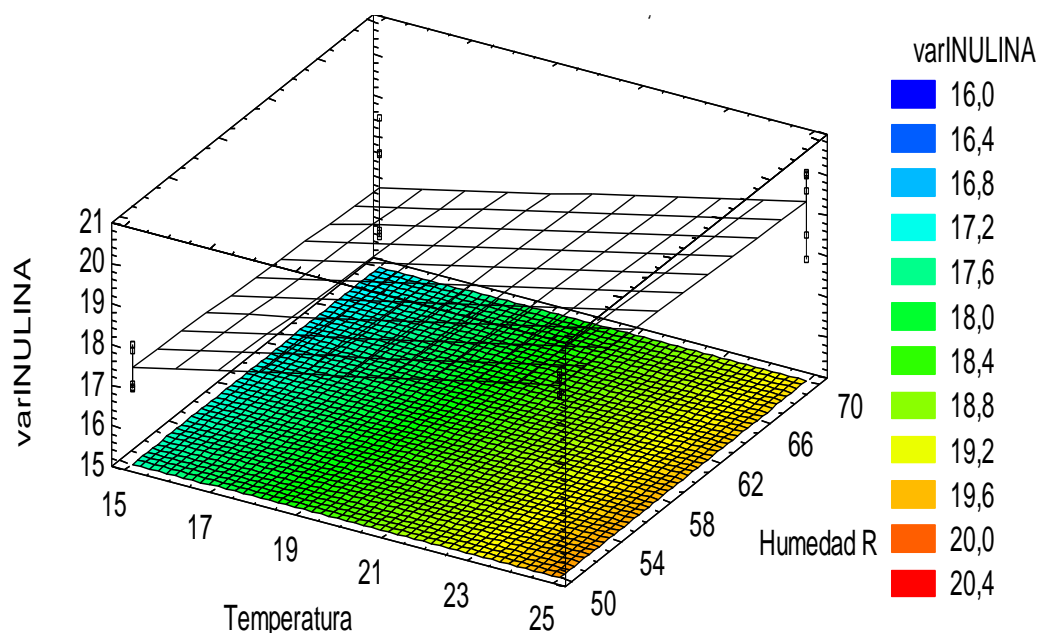


Figura 14. Superficie de respuesta para la variación de Inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

Para confirmar mejor lo mostrado por la superficie de respuesta se procedió a Optimizar la Respuesta y observar cuales son los factores en donde se puede obtener la menor variación de inulina o también denominado como la conservación de la inulina en mayor cantidad, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 15. Podemos observar que una temperatura de 15°C, una humedad relativa de 70% y una intensidad de luz de 300 lumen permiten obtener una variación optima de 15,82%, lo que representa una conservación de 135,21 mg/100g de 160.61 mg/100g de inulina como la mayor cantidad y conservada en la cámara cuatro (C4: T°=15°C; HR=70%; IL=300lumen) (Tabla 9); lo que se corrobora con el grafico de contornos, siempre teniendo como referencia la zona azul donde se presenta la menor variación (Figura 15). Valores similares fueron encontrados por (Asami *et al.*, 1991) quien indica que el contenido de inulina disminuyo gradualmente hasta un 45% durante 02 semanas de almacenamiento a 25°C. así mismo, el contenido de oligofructanos después de una semana en almacenamiento a temperatura ambiente puede disminuir en un 30 a 40%.(Chasquibol *et al.*, 2002; Seminario y Valderrama, 2003). Por lo que podemos afirmar que al almacenar yacon fresco a la temperatura (15°C) considerada como baja, humedad relativa considerada como alta (70%) y una intensidad de luz de 300 lumen, la perdida de inulina llega a un 15,82% de variación en comparación al inicio, es decir que el yacon fresco puede ser

conservada en la cámara cuatro (C4), siendo las concentraciones de inulina: al inicio (0 días de almacenamiento) 160,61 mg/100g y final (60 días de almacenamiento) 135,21 mg/100g, lo que implica una variación del 15,82%, en este tiempo, asegurando de esta forma una durabilidad del producto respecto a su contenido de inulina, tal como se obtienen con los resultados de optimización mostrados en la Tabla 15, el que nos permite aceptar la hipótesis que indica que la temperatura inferior a los 15°C, la humedad relativa superior a 50% y la intensidad de luz de almacenamiento permite conservar un alto contenido de inulina en la raíz de yacon almacenada, asegurándonos que las condiciones de almacenamiento del yacon en forma controlada permiten conservar la inulina en cantidades similares al cosechado.

Tabla 15. Optimización de la respuesta para la menor variación de inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (°C)	15,0	25,0	15,0
Humedad Relativa (%)	50,0	70,0	70,0
Intensidad Luz (lm)	200,0	300,0	200,0

Meta: minimizar varINULINA
 Valor óptimo = 15,82%

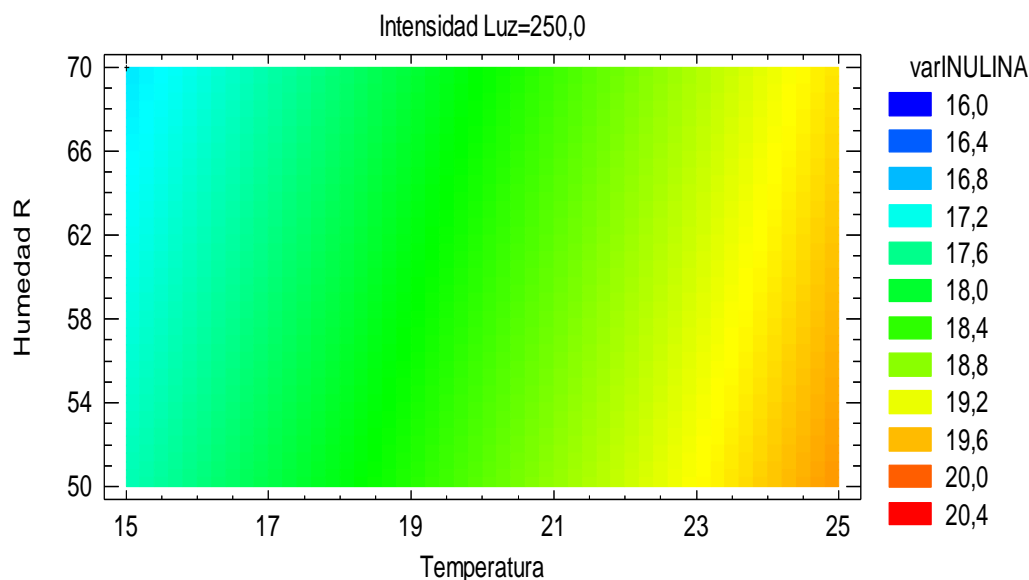


Figura 15. Superficie de contornos para la variación de Inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

De los dos parámetros analizados para seleccionar los factores que más influencia en la variación de los FOS, podemos indicar que la temperatura es más influyente, seguida por la humedad y luego la intensidad de luz (Vilhena, 1997); la hidrólisis

de los fructooligosacáridos a temperaturas altas es un hecho verificado por el aumento significativo en el contenido de azúcares reductores y la reducción de los azúcares no reductores (Scher *et al.*, 2009), esto es debido a la degradación enzimática tanto de los FOS como de la inulina y se produce incluso cuando la raíz es almacenada a bajas temperaturas. Se produce una disminución considerable de FOS en la materia seca de las raíces tuberosas de yacón en solo unos días lo que resulta en grandes cantidades de azúcares simples de la despolimerización de FOS (Graefe *et al.*, 2004). Durante doce días de almacenamiento, la concentración de FOS, que representaba del 50 al 62% de la materia seca al comienzo, disminuyó en aproximadamente un tercio en todos los cultivares posteriores al almacenamiento (Graefe *et al.*, 2004). Durante la exposición al sol, la mayor disminución en la concentración de FOS en la materia seca de la raíz, así como la mayor deshidratación, se produjo durante los primeros dos días. Esta rápida conversión inicial de FOS probablemente se debió al aumento de la temperatura inducida por la radiación solar, lo que favoreció la actividad enzimática en un corto período de tiempo. Se encontró una mayor disminución de FOS en las raíces almacenadas a altitudes más bajas, lo que se atribuye a temperaturas más altas de día y de noche, que favorecen la actividad enzimática (Graefe *et al.*, 2004). Después de dos semanas de almacenamiento, las tasas de conversión comenzaron a estabilizarse. La menor tasa de degradación de FOS que se produjo después de los primeros dos días de exposición al sol puede deberse a la rápida deshidratación de la raíz, lo que puede haber llevado a una menor actividad de las enzimas responsables de la despolimerización de FOS. Debido a la aparición de la despolimerización de fructanos acumulados después de la cosecha, es muy importante establecer un manejo poscosecha que busque minimizar los cambios en el contenido y la distribución de estos carbohidratos para prolongar la vida útil de estos productos (Graefe *et al.*, 2004; Seminario y Valderrama, 2003; Vilhena *et al.*, 2003). Sin embargo, un edulcorante natural es el yacón (*Smallanthus sonchifolius*) ((Poepp. Y Endl.) H. Robinson), que podría desempeñar un papel destacado debido a su alto rendimiento de fructooligosacáridos (Wagner *et al.*, 2019); si se requieren productos con el mayor contenido de oligofructano posible, las raíces deben procesarse inmediatamente después de la cosecha o refrigerarse para una mayor conservación y estabilización del oligofrutano (Manrique y Hermann, 2005).

4.3 Resultado de la determinación de la interacción de los factores que permiten maximizar el contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada

4.3.1 Fructooligosacaridos

Del análisis de varianza observado para los efectos (Tabla 12), observamos que, las interacciones: Temperatura-humedad relativa, temperatura-intensidad de luz, humedad-intensidad de luz y temperatura-humedad relativa e intensidad de luz, influyen significativamente en la variación del contenido de los fructooligosacaridos del yacon fresco almacenado durante los 60 días, lo que se ilustra en el gráfico de interacciones de los factores que influyen en la variación de los fructooligosacaridos (Figura 16)

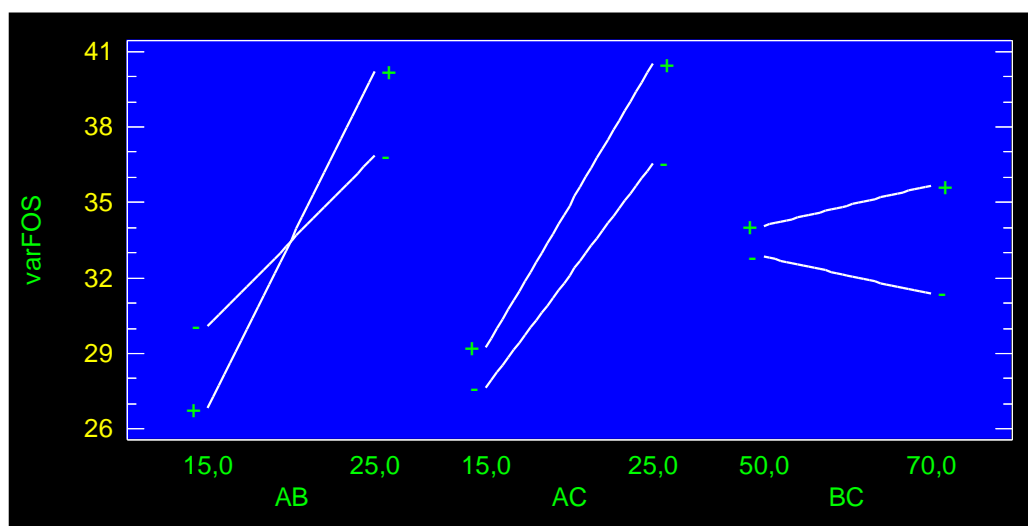


Figura 16. Gráfico de interacciones de los factores que influyen en la variación de los Fructooligosacaridos del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado. realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

La interacción temperatura-Humedad Relativa (AB); nos indica que a temperatura baja (15°C) y humedad relativa alta (70%) se consigue menor variación del contenido de fructooligosacaridos (27%) del yacon fresco almacenado durante 60 días. Sucediendo lo contrario a una temperatura alta (25°C) y una humedad alta (70%). Es decir, una variación de hasta un 40%. La interacción temperatura-Intensidad de luz (AC); nos indica que a temperatura baja (15°C) y intensidad de luz baja (200 lumen) se consigue menor variación del contenido de fructooligosacaridos (27%) del yacon fresco almacenado durante 60 días. A temperatura alta (25°C) e intensidad de luz mayor (300 lumen) se consigue una

variación mayor (41%) en el contenido de los Fructooligosacaridos del yacon fresco almacenado durante 60 días. La interacción humedad relativa-Intensidad de luz (BC); nos indica que a humedad relativa alta (70%) e intensidad de luz baja (200 lumen) se consigue menor variación del contenido de fructooligosacaridos (31%) del yacon fresco almacenado durante 60 días. A humedad relativa alta (70%) e intensidad de luz mayor (300 lumen) se consigue una variación mayor (36%) en el contenido de los Fructooligosacaridos del yacon fresco almacenado durante 60 días.

Podemos afirmar que al almacenar yacon fresco en camaras cuya temperatura (15°C) considerada como baja, y humedad relativa alta (70%), durante los 60 días, la variacion de los FOS es baja; llegando a variar hasta un 27% en 60 días. La misma variacion se obtiene al almacenar yacon fresco a la temperatura (15°C) considerada como baja e intensidad de luz baja (200 lm). Al almacenar yacon fresco a una humedad relativa alta (70%) e intensidad de luz baja (200 lm), durante 60 días, la variacion de los FOS llega a variar hasta un 31% en 60 días. La variacion se aproxima a lo encontrado por (Manrique *et al.*, 2004) quien, después de una semana de almacenamiento a temperatura ambiente, indica que, el contenido de Oligofructanos puede disminuir en un 30 a 40%. Asi mismo para el aprovechamiento de los (FOS fructooligosacáridos), se debe reducir la tasa de deterioro y la pérdida de humedad y evitar la pudrición de la raíz, por lo que el almacenamiento poscosecha de la jícama se debe realizar a temperaturas de refrigeración y una humedad relativa entre el 60 y 70 % (Recalde, 2010); por otro lado, las condiciones recomendadas para almacenamiento comercial de jícama se basan en el mantenimiento de los tubérculos a bajas temperaturas y secas. Los tubérculos de jícama son altamente susceptibles a daño por frío y deben ser almacenadas entre 12,5°C a 15°C, y a moderada humedad relativa (70-80 %). Bajo estas condiciones, los tubérculos pueden resistir de 2 a 4 meses (Álvarez *et al.*, 2012). El contenido de FOS en el yacon disminuye conforme aumenta la temperatura de almacenamiento, así mismo disminuye con respecto al tiempo de almacenamiento, la temperatura y tiempo de almacenamiento (en días), así como la interacción de ambas, afectan significativamente al porcentaje de humedad y porcentaje de fructooligosacáridos presentes en el yacon y analizando los resultados, se recomienda una temperatura de almacenamiento de 8°C con una

humedad inicial del yacon entre 80% y 90% para mantener por más tiempo el contenido de FOS (Zamudio, 2015). Por lo que podemos afirmar que al almacenar yacon fresco con interacciones cuya temperatura (15°C) considerada como baja, y humedad relativa alta (70%), durante los 60 días, la variación de los FOS es baja; llegando a variar hasta un 27% en 60 días. La misma variación se obtiene al almacenar yacon fresco a la temperatura (15°C) considerada como baja e intensidad de luz baja (200 lm). Al almacenar yacon fresco a una humedad relativa alta (70%) e intensidad de luz baja (200 lm), durante 60 días, la variación de los FOS llega a variar hasta un 31% en 60 días. Estos resultados nos permite aceptar la hipótesis que indica que las interacciones de los factores influyen significativamente al minimizar la variación del contenido de oligosacáridos e inulina en la raíz de yacon almacenada asegurándonos que las condiciones de almacenamiento del yacon en forma controlada permiten conservar los fructooligosacáridos en cantidades similares al cosechado.

4.3.2 Inulina

Del análisis de varianza (ANOVA) realizado (Tabla 14), observamos que, respecto a las interacciones, la humedad relativa-intensidad de luz y la interacción temperatura, humedad relativa-intensidad de luz influyen significativamente en la variación del contenido de inulina del yacon fresco almacenado durante los 60 días, lo que se ilustra en el gráfico de interacciones de los factores que influyen en la variación de Inulina (Figura 17).

La interacción temperatura-Humedad Relativa (AB); no proporciona efecto significativo puesto que el gráfico tiene un comportamiento con tendencia paralela, que indica la no existe interacción con efecto significativo entre estos factores, pero podemos indicar que a temperatura baja (15°C) y humedad relativa alta (70%) se consigue menor variación del contenido de inulina (17%) del yacon fresco almacenado durante 60 días, se obtiene mayor variación (19.8%) del contenido de inulina a una temperatura alta (25°C) y una humedad baja (50%).

La interacción temperatura-Intensidad de luz (AC); no ilustra efecto significativo puesto que el gráfico tiene un comportamiento con tendencia paralela, que indica la no existe interacción con efecto significativo entre estos factores, pero podemos indicar que a temperatura baja (15°C) y intensidad de luz alta (300 lumen) se

consigue menor variación del contenido de inulina (17%) del yacon fresco almacenado durante 60 días. A temperatura alta (25°C) e intensidad de luz menor (200 lumen) se consigue una variación mayor (41%) en el contenido de los Fructooligosacaridos del yacon fresco almacenado durante 60 días.

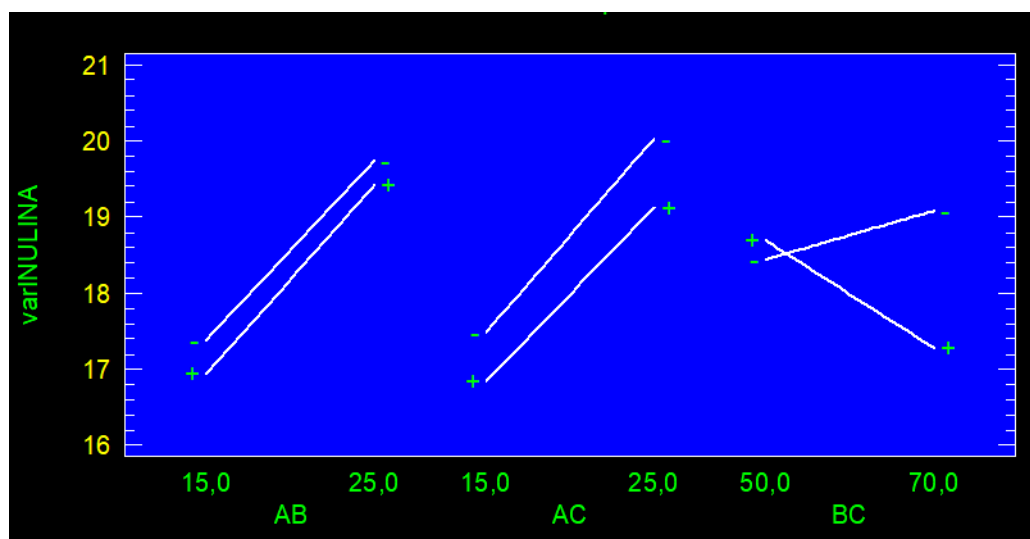


Figura 17. Gráfico de interacciones de los factores que influyen en la variación de inulina del yacon (ch'ecche llajum) fresco almacenado, realizado en Andahuaylas, julio del 2018.

La interacción humedad relativa-Intensidad de luz (BC); nos ilustra el efecto influyente sobre la variación del contenido de inulina del yacon fresco almacenado durante 60 días, además nos indica que a humedad relativa alta (70%) e intensidad de luz alta (300 lumen) se consigue menor variación del contenido de inulina (17.2%) del yacon fresco almacenado durante 60 días. A humedad relativa alta (70%) e intensidad de luz menor (200 lumen) se consigue una variación mayor (19.2%) en el contenido de Inulina del yacon fresco almacenado durante 60 días.

Podemos afirmar que al almacenar yacon fresco en cámaras cuya temperatura (15°C) considerada como baja, y humedad relativa alta (70%), durante los 60 días, la variación del contenido de inulina es baja; llegando a variar hasta un 17% en 60 días. La misma variación se obtiene al almacenar yacon fresco a la temperatura (15°C) considerada como baja e intensidad de luz alta (300 lm). Al almacenar yacon fresco a una humedad relativa alta (70%) e intensidad de luz alta (300 lm), durante 60 días, la variación de los FOS llega a variar hasta un 17.2% en 60 días. Valores similares fueron encontrados por (Asami *et al.*, 1991) quien indica que el contenido de inulina disminuyo gradualmente hasta un 45% durante 02 semanas

de almacenamiento a 25°C. así mismo, (Chasquibol *et al.*, 2002; Seminario y Valderrama, 2003). Indica que contenido de oligofruktanos después de una semana en almacenamiento a temperatura ambiente puede disminuir en un 30 a 40%. Las afirmaciones, nos permite aceptar la hipótesis que indica que las interacciones de los factores influyen significativamente al minimizar la variación del contenido de inulina en la raíz de yacon almacenada asegurándonos que las condiciones de almacenamiento del yacon en forma controlada permiten conservar la inulina en cantidades similares al cosechado.

CONCLUSIONES

- La variación mínima del contenido de los Fructooligosacaridos del yacon fresco es de 25.47% y 15.82% para la inulina, en 60 días de almacenamiento, bajo las condiciones de 15°C de temperatura, 70% de humedad relativa, así como 200 y 300 lumen de intensidad luminosa respectivamente.
- Las interacciones de los factores temperatura (15°C) considerada como baja, y humedad relativa alta (70%); temperatura (15°C) considerada como baja e intensidad de luz baja (200 lm); humedad relativa alta (70%) e intensidad de luz baja (200 lm) permiten variaciones del contenido de fructooligosacaridos de 27% a 31% en 60 días de almacenamiento y de 17% a 17.2% para el caso de inulina.
- El manejo de los factores temperatura, humedad relativa e intensidad de luz, en condiciones bajas, en forma controlada y combinada permiten variaciones del contenido de FOS e inulina de hasta 31% en 60 días de almacenamiento.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios sobre extracción de fructooligosacaridos a partir de la raíz de yacon fresco.
- Realizar estudios sobre técnicas de aislado de inulina a partir de la raíz de yacon fresco.
- Evaluar la tasa de respiración en las condiciones de almacenamiento.
- Generar empaques que permitan facilitar el transporte bajo las condiciones de almacenamiento encontrados y que permitan evitar la despolimerización de los FOS.

BIBLIOGRAFÍA

- AGILENT, T. U. (2003). Typical Performance of ZORBAX Carbohydrate Analysis, Column N° 820629-008c.
- Aguilera Garca, C., Barberá Mateos, J. M., Esperanza Díaz, L., Duarte de Prato, A., Gálvez Peralta, J., Gómez, S. & Zarzuelo Zurita, A. (2008). *Alimentos Funcionales. Aproximación a una nueva alimentación. Dirección General de Salud Pública y Alimentación*. Madrid: Instituto de Nutrición y Transtornos Alimentarios.
- Álvarez, G., Sánchez, S. y Uchuari, Y. (2012). *Manual técnico para el cultivo de la jícama en Loja*. Loja: Universidad Nacional de Loja. Retrieved from <http://www.unl.edu.ec/agropecuaria/wpcontent/uploads/2012/03/ManualT%C3%A9cnico-de-J%C3%ADcama.pdf>.
- Álvarez, R., González, H., y Montenegro, A. C. (2019). Extracción y determinación del contenido de fructanos del tipo inulina del yacón (*Smallanthus sonchifolius*): esquema tecnológico para su producción industrial. *Revista Tecnología Química*, 39(1), 37-48. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852019000100037&lng=es&nrm=iso
- AOAC. (2001). International official methods of analysis. (AOAC Ed.). *International official methods of analysis*, 1(16), 25-26.
- Araujo, M., y Gandur, M. P. (2008). *Statgraphics*. Bogotá: Facultad de Ciencias Económicas Unidad De Informática y Comunicaciones.
- Asami, T., Kubota, M., Minamisawa, K., y Tsukihashi, T. (1989). Chemical composition of yacon [*Polymnia sonchifolia*], a new root crop from the Andean highlands. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 60(2), 122-126.

- Asami, T., Minamisawa, K., Tsuchiya, T., Kano, K., Hori, I., Ohyama, T., . . . Tsukihashi, T. (1991). Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition (Japan)*, 621-627.
- Barrera, V. H. (2003). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (Vol. 4). Lima: International Potato Center.
- Biermann, C. J. (1988). Hydrolysis and other cleavages of glycosidic linkages in polysaccharides. *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry*, 46, 251-271.
- Blecker, C., Fougnes, C., Van Herck, J. C., Chevalier, J. P., y Paquot, M. (2002). Kinetic study of the acid hydrolysis of various oligofructose samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(6), 1602-1607.
- Book, G. (2014). Compendium of chemical terminology. *International Union of Pure and Applied Chemistry*, 528.
- Butler, G., y Rivera, D. (2004). Innovations in peeling technology for yacon. *Project Report International Potato Center*. Retrieved from <http://www.cipotato.org/artc/CIPcrops/2004-1127.pdf>.
- Cabello, C. (2005). Extração e pré-tratamento químico de frutanos de yacon, *Polymnia sonchifolia*. *Food Science and Technology (Campinas)*, 202-207.
- Cajas, G. A., Oviedo, S. P., & Paredes, Y. J. (2012). *Manual técnico para el cultivo de jícama*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Cao, Y., Ma, Z. F., Zhang, H., Jin, Y., Zhang, Y., y Hayford, F. (2018). Phytochemical properties and nutrigenomic implications of yacon as a potential source of prebiotic: current evidence and future directions. *Foods*, 7(4), 59.
- Capito, S. (2001). *Raiz tuberosa de yacón (Polymnia sonchifolia): caracterização química e métodos de determinação de frutanos (CG e CLAE-DPA)*. Sao Paulo: Universidade Estadual de São Paulo.
- Carvalho, R., Pashley, D. H., Tay, F., Yiu, C., Hashimoto, M., Breschi, L., y Ito, S. (2004). Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. *Journal of dental research*, 83(3), 216-221.
- Casp, A., y Abril, A. (2003). *Procesos de conservación de alimentos* (2da. ed.). España: A. Madrid Ediciones.
- Castillo, y Stephani, s. (2015). Influencia del blanqueado y secado de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl) en el contenido de azúcares y fructooligosacáridos.

- Castillo, y Vidal, M. (2005). El yacón: una nueva alternativa en la prevención y el tratamiento de la salud. 2005. *Capturado em*, 2.
- Chamorro Rivadeneira, D. M. (2017). *Desarrollo de un método de conservación de la jícama (Smallanthus sonchifolius) como producto mínimamente procesado*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte Ibarra, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5851/2/ARTICULO.pdf>
- Charalampopoulos, D., y Rastall, R. A. (2012). Prebiotics in foods. *Current opinion in biotechnology*, 23(2), 187-191.
- Chasquibol, N., Aguirre, R., Bravo, M., Lengua, R., Ch, G. T., Delmás, I., y Rivera, D. (2002). Estudio químico y nutricional de las variedades de la raíz de la *Polymnia sonchifolia* "yacon". *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 5(1), 37-42.
- Chiesa, A. (2010). Factores precosecha y postcosecha que inciden en la calidad de la lechuga. *Horticultura Argentina*, 29(68), 28-32.
- Chirinosa, R., Mendoza, R., Aguilar-Gálvez, A., y Camposa, D. (2017). Hidrólisis química y enzimática de extracto de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) para la producción de fructosa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83, 200-212.
- Cisneros Zevallos, L. (2002). Characterization and Evaluation of Fructooligosaccharides on Yacon Roots (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) During Storage. Department of Horticulture.
- Council, N. R. (1989). *Lost crops of the Incas: little-known of the Andes with promise for worldwide cultivation*. Washington D.C: National Academy Press.
- Del Castillo, V. C., Goldner, M. C., y Armada, M. (2016). Evaluation of texture profile, color and determination of FOS in yacón products (*Smallanthus sonchifolius*). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(7), 540-544.
- DuPont, A. W., y DuPont, H. L. (2011). The intestinal microbiota and chronic disorders of the gut. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 8(9), 523.
- Edward, J. (2005). Stability of glycosides to acid hydrolysis. *Chemistry and industry*, 3, 1102-1104.
- FAO. (1993). *Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Manual de capacitación* (Vol. 2). Food & Agriculture Org.
- FAO. (2002). *Manual de prácticas de manejo poscosecha de los productos hortofrutícolas a pequeña escala, Series de horticultura poscosecha* California: University of California – Davis.

- Fernandez, C., Michl, J., y Lipavska, H. (1997). Determination of saccharides content in different ecotypes of yacon (*Polymnia sonchifolia*) cultivated under conditions of the Czech Republic. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 30, 79-87.
- Fernández, J. (2003). Yacón: Importancia Prebiótica y Tecnológica. *AGROENFOQUE*, (139), 46 - 47.
- Flamm, G., Glinsmann, W., Kritchevsky, D., Prosky, L., & Roberfroid, M. (2001). Inulin and Oligofructose as Dietary Fiber: A Review of the Evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41(5), 353-362. <https://doi.org/doi:10.1080/20014091091841>
- Flickinger, E. A., Loo, J. V., y Fahey, G. C. (2003). Nutritional Responses to the Presence of Inulin and Oligofructose in the Diets of Domesticated Animals: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(1), 19-60. <https://doi.org/doi:10.1080/10408690390826446>
- Franck, A., y De Leenheer, L. (2005). Inulin. Biopolymers . EE.UU: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Fukai, Ohno, S., Goto, K., Nanjo, F., y Hara, Y. (1997). Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activities in yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Soil Science and Plant Nutrition*, 43(1), 171-177. <https://doi.org/doi:10.1080/00380768.1997.10414725>
- Fukai. (1997). Seasonal fluctuations in fructans content and related activities in yacon (*Polymnia sonchifolius*. . *Soil Sci. Plant Nutr.*, 43, 171-177.
- García, M., & García, B. (2001). *Manejo cosecha y postcosecha de mora, lulo y tomate de árbol*. Bogotá, Colombia:
- Genta, S., Cabrera, W., Habib, N., Pons, J., Carillo, I. M., Grau, A., & Sánchez, S. (2009). Yacon syrup: beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. *Clinical nutrition*, 28(2), 182-187.
- Geyer, H., Parr, M. K., Koehler, K., Mareck, U., Schänzer, W., & Thevis, M. (2008). Nutritional supplements cross-contaminated and faked with doping substances. *Journal of mass spectrometry*, 43(7), 892-902.
- Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition*, 125(6), 1401-1412.

- González, A. C. L., y Ramírez, N. J. S. (2018). Desarrollo y validación de un método para la cuantificación de fructooligosacáridos en un helado prebiótico. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 6(2), 108-116.
- González, G. H., Álvarez, B. R., y Montenegro, C. A. (2019). Extracción y determinación del contenido de fructanos del tipo inulina del Yacón (*Smallanthus Sonchifolius*): esquema tecnológico para su producción industrial. *Tecnología Química*, 39(1), 44-56.
- Goto, K., Fukai, K., Hikida, J., Nanjo, F., & Hara, Y. (1995). Isolation and Structural Analysis of Oligosaccharides from Yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 59(12), 2346-2347. doi: 10.1271/bbb.59.2346
- Graefe, S., Hermann, M., Manrique, I., Golombek, S., y Buerkert, A. (2004). Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. *EL SEVIER, Field Crops Research* 86, University of Kassel, Institute of Crop Science, Steinstr. 19, D-37213 Witzenhausen, Germany International Potato Center (CIP). Lima, Perú.
- Grau, A., y Rea, J. (1997). Yacon *Smallanthus sonchifolius* Andean Root and Tubers: *Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon*. Roma: IPGRI Rome.
- Gutiérrez, V. L., y Vaca, J. S. M. (2012). *Evaluación del uso de recubrimientos lipídicos, poliméricos y refrigeración para prolongar la vida útil del Yacón (Smallanthus Sonchifolius)*. Lima, Perú.
- Havenaar, R. (2011). Intestinal health functions of colonic microbial metabolites: a review. *Beneficial microbes*, 2(2), 103-114.
- Hermann, M., Freire, I., & Pazos, C. (1999). Compositional diversity of the yacon storage root. *Impact on a changing world International Potato Center Program Report 1997-1998*, 425-432.
- Heyraud, A., Rinaudo, M., y Taravel, F. R. (1984). Isolation and characterization of oligosaccharides containing D-fructose from juices of the Jerusalem artichoke. Kinetic constants for acid hydrolysis. *Carbohydrate research*, 128(2), 311-320.
- Inga, G. M., Betalleluz Pallardel, I., Kina Noborikawa, M., y Campos Gutierrez, D. (2015). Optimización del proceso de extracción de los fructooligosacáridos de yacón (*Smallanthus Sonchifolius*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(3), 263-272.
- Kays, S. (1997). *Postharvest physiology of perishable plant products*. Athens: Exon Press.

- Khajehei, F., Merkt, N., Claupein, W., y Graeff-Hoenninger, S. (2018). Yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) as a Novel Source of Health Promoting Compounds: Antioxidant Activity, Phytochemicals and Sugar Content in Flesh, Peel, and Whole Tubers of Seven Cultivars. *Molecules*, 23(2), 278.
- Lachman, J., Fernández, E. C., Viehmannová, I., Šulc, M., & Ěepková, P. (2007). Total phenolic content of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) rhizomes, leaves, and roots affected by genotype. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 35(1), 117-123. <https://doi.org/doi: 10.1080/01140670709510175>
- Lachman, L. (2004). Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. . *Plant soil environment*, 50(9), 383-390.
- L'homme, C., Arbelot, M., Puigserver, A., & Biagini, A. (2003). Kinetics of hydrolysis of fructooligosaccharides in mineral-buffered aqueous solutions: Influence of pH and temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(1), 224-228.
- Lupetti, K. O. (2005). Análise de imagem em química analítica: empregando metodologias simples e didáticas para entender e prevenir o escurecimento de tecidos vegetais. . *Química Nova, São Carlos*, 28(3), 548-554.
- Madrigal, L., y Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(4).
- Maldonado, S., Luna, P. P., Martínez, V., Villatarco, M., y Judith, S. (2008). Producción y comercialización de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en comunidades rurales del Noroeste argentino. *Agroalimentaria*, 13(26), 119-125.
- Manrique Hermann, M., y Bernet, T. (2004). *Descripción y usos tradicionales*. Lima, Perú.
- Manrique Parraga, A., y Hermann, M. (Eds.). (2005). *Jarabe de yacón: Principios y procesamiento* (Vol. 8a). Lima – Peru: Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Fundacion Erbacher, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperacion.
- Manrique y Párraga, A. (2005). *Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos Andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)*. *Jarabe de yacón: principios y procesamiento*. Lima: Centro Internacional de La Papa.

- Manrique, y Hermann, M. (2005). Yacon - Fact Sheet. Lima, Peru: International Potato Center (CIP). Retrieved from www.cipotato.org/artc/cipcrops/factsheetyacon.pdf.
- Matusek, A., Merész, P., Le, T. K. D., y Örsi, F. (2009). Effect of temperature and pH on the degradation of fructo-oligosaccharides. *European Food Research and Technology*, 228(3), 355-365.
- Mayta, P., Payano, J., Pelaez, J., Pérez, M., Pichardo, L., y Puycan, L. (2001). Efecto hipoglicemiante de la raíz del *Smallanthus sonchifolius* en adultos jóvenes clínicamente sanos (estudios preliminares). *The Simposio Latinoamericano de raíces y tubérculos*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Meza, G. (1995). *Varietades Nativas de Yacón (Polymnia sonchifolia) en Cusco*. Cusco: Centro de Investigación en Cultivos Andinos (CICA) - Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, CIP-COTESU.
- Mindani, C. G. (2008). *Influencia de las condiciones de proceso en el secado por liofilización del yacón (Smallanthus sonchifolius)*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Miranda, A. G. (2004). *Influencia de la temperatura, el envase y la atmósfera en la conservación de uvas pasas y de albaricoques deshidratados* Valencia, España: Universitat de València.
- Neto, R., Camargo, J., & Campos, S. (2019). *Sombreamento na produção de folhas e raízes de yacon (Smallanthus sonchifolius Poep. & Endl.)* H. Robinsón. Sao Paulo, Brazil.
- Nieto, C. (1988). *Estudios preliminares, agronómicos y bromatológicos en Jícama*. Quito: INIAP.
- Nieto, C. (1991). Estudios agronomicos y bromatologicos en Jicama (*Polymnia sonchifolia* Poep & Endl.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, XLI(2), 212-221.
- Núñez, R., Chirinos, R., Campos, D., Arbizu, C. & Cisneros Zevallos, L. (2001). In Caracterización de 10 Entradas y evaluación de los Fructooligosacaridos de la Raíz de Yacon, *Smallanthus sonchifolius*, Durante el Almacenaje (text in spanish); Resúmenes II Simposio Latinoamericano de raíces y tubérculos; UNALM, CIP: Peru, 2001.

- Oliveira, M., y Nishimoto, E. (2004). Avaliação do desenvolvimento de plantas de yacon (*Polymnia sonchifolia*) e caracterização dos carboidratos de reservas em HPLC. *Brazilian Journal of Food Technology*, 7(2), 215-220.
- Olvera, C., Castillo, E., y López, M. A. (2007). Fructosiltransferasas, fructanas y fructosa. *Biotecnología*, 14, 327-345.
- Pedreschi, R., Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., & Cisneros, Z. (2003). Andean Yacon Root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. Endl) Fructooligosaccharides as a Potential Novel Source of Prebiotics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(18), 5278-5284. <https://doi.org/doi:10.1021/jf0344744>
- Phillips, G. O., Stephen, A. M., y Williams, P. A. (2006). *Food Polysaccharides and Their Applications*: Taylor & Francis.
- Polanco, P. M. F. (2011). *Caracterización morfológica y molecular de materiales de yacón (Smallanthus sonchifolius Poep. and Endl) H. Robinson colectados en la eco región eje cafetero de Colombia*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- Pólit, P. (2008). Manejo poscosecha de productos hortifrutícolas en fresco. Retrieved from http://www.sica.gov.ec/agronegocios/sistema%20valor/poscosecha_hortifruticola s.
- Pool, Zobel, B., Van Loo, J., Rowland, I., y Roberfroid, M. B. (2007). Experimental evidences on the potential of prebiotic fructans to reduce the risk of colon cancer. *British Journal of Nutrition*, 87(S2), S273-S281. <https://doi.org/doi:10.1079/BJN/2002548>
- Pool, Zoobel, Beatrice, L., & Sauer, J. (2007). Overview of Experimental Data on Reduction of Colorectal Cancer Risk by Inulin-Type Fructans. *The Journal of nutrition*, 137(11), 2580S-2584S. <https://doi.org/doi:10.1093/jn/137.11.2580S>
- Quijano, F., Vilhena, S., Lima, G., & Câmara, F. (2000). Atividades de peroxidase e polifenoloxidase durante o armazenamento pós-colheita de yacon (*Polymnia sonchifolia* POEP & ENDL). *I Latin-American Symposium on the Production of Medicinal, Aromatic and Condiments Plants*, 569.
- Quinteros, E. T. T. (2000a). *Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon*. Campinas-Brasil. (Tesis de doctorado). Universidade Estadual de Campinas, Brazil.

- Quinteros, T. T. (2000b). *Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacón*. (Tesis de doctorado). Universidade Estadual de Campinas, Brazil.
- Rafter, J., Bennett, M., Caderni, G., Clune, Y., Hughes, R., Karlsson, P. C., . . . Collins, J. K. (2007). Dietary synbiotics reduce cancer risk factors in polypectomized and colon cancer patients. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(2), 488-496. <https://doi.org/doi: 10.1093/ajcn/85.2.488>
- Ramos Arciniega, K. E. (2017). *Efecto de la temperatura sobre las características físico-químicas y sensoriales de la jícama smallanthus sonchifolius y oca oxalis tuberosa, durante el proceso de maduración con dos métodos artificiales*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Quito.
- Ramos Zapana. R. (2007). *Estudio químico-bromatológico de algunas variedades de yacón (Smallanthus sonchifolius (Poepp and Endl) H. Robinson) de la provincia de Sandia-Puno. Puno, Perú*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Recalde, D. E. (2010). *Elaboración de una bebida alcohólica fermentada de jícama (Smallanthus sonchifolius) y manzana (Pyrus malus L.)*. Quito: EPN.
- Ribeiro, F., RCL. (1993). Distribuição, aspectos estruturais e funcionais dos frutanos, com ênfase em plantas herbáceas do cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 5(2), 203-208.
- Rivera, D., y Manrique, I. (2005). Zumo de Yacón. *Ficha Técnica*. EE.UU.: Centro Internacional de la Papa (CIP). Retrieved from <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/fichazumoyacon.pdf>
- Roberfroid, I. (1999). Concepts in functional foods: the case of inulin and oligofructose. *The Journal of Nutrition*, 129(7), 1398S-1401S.
- Roberfroid. (1993). Dietary Fiber, Inulin, and Oligofructose: A Review Comparing their Physiological Effects. *Critical Rev. Fd Sci. Nutr.*, 33(2), 103 -148.
- Rossignoli Burdano, L. (2014). *Investigación de la jícama y propuesta de cocina de autor*. (Tesis de pregrado). Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador.
- Salvatierra, D. (2015). *Determinación de la composición química proximal, carbohidratos totales, azúcares libres y fructanos del tipo inulina-fructooligosacáridos del yacón (Smallanthus sonchifolius (Poepp. et Endl.) H. Robinson)*. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú.

- Santana, I., y Cardoso, M. H. (2008). Raíz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. . *Ciência Rural*, 38, 898-905.
- Scher, F., De Oliveira Rios, A., y Noreña, P. Z. (2009). Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(11), 2169-2175. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1365-2621.2009.02056.x>
- Seminario, J., y Valderrama, M. (2003). *El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio*. Lima - Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).
- Shu, C.-K. (1998). Flavor components generated from inulin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(5), 1964-1965.
- Stanley, J.-D., Goddio, F., Jorstad, T. F., & Schnepf, G. (2004). Submergence of ancient Greek cities off Egypt's Nile Delta-A cautionary tale. *GSA TODAY*, 14(1), 4-10.
- Statgraphics, X. (2009). Statpoint technologies. *INC. version*, 16, 17.
- Stephen, M., y Phillips, O. (2016). *Food polysaccharides and their applications*: CRC press.
- Suquilanda, M. B. (2007). *Producción orgánica de cultivos andinos (Manual técnico)*. Ecuador: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura.
- Takenaka, M. (2003). Caffeic acid derivatives in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, Japan*, 51(3), 793-796.
- Torrez, L. L. (2008). Valorización de la raíz de Yacón: Obtención de un jarabe rico en fructooligosacáridos. *Revista Investigación & Desarrollo*, 1(7).
- Ureña, P., y D'arrigo, M. (1999). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Lima, Perú: Agraria.
- Valentová, K., & Ulrichová, J. (2003). *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii* – prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. *Biomedical Papers*, 147(2), 119-130.
- Valentová, K., Lebeda, A., Doležalová, I., Jirovský, D., Simonovska, B., Vovk, I., . . . & Ulrichová, J. (2006). The Biological and Chemical Variability of Yacon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4), 1347-1352. <https://doi.org/doi:10.1021/jf052645u>

- VanLoo, J., Coussement, P., De Leenheer, L., Hoebregs, H., & Smits, G. (1995). On the presence of Inulin and Oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35(6), 525-552. <https://doi.org/doi: 10.1080/10408399509527714>
- Vilhena, S. (1997). *Ciclo de cultivo e técnicas pós-colheita de yacon (Polymnia sonchifolia Poep. Endl.) em função do conteúdo de frutose total nos órgãos subterrâneos*. (Tesis de doctorado). Universidade Estadual de São Paulo, Brazil.
- Vilhena, S., Câmara, A., Piza, I., & Lima, G. (2003). Contenido de fructanos en raíces tuberosas de yacón (*Polymnia sonchifolia*). *CYTA-Journal of Food*, 4(1), 35-40.
- Vilhena, S., Câmara, F., & Kadihara, S. (2000). Cultivo e utilización de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep Endl.), una experiencia brasileña. *Congreso mundial de plantas aromáticas y medicinales para el bienestar de la humanidad II*. Mendoza, Argentina.
- Wagner, M., Kamp, L., Graeff-Hönninger, S., y Lewandowski, I. (2019). Environmental and Economic Performance of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Cultivated for Fructooligosaccharide Production. *Sustainability*, 11(17), 4581.
- Wako, U., Analytical Chemistry. (2006). Food Analysis, A. Fructooligosaccharide Analysis. In Wako (Ed.).
- Waterhouse, A. L., & Chatterton, N. J. (1993). Glossary of fructan terms. *Science and technology of fructans*, 1-7.
- Wei, B., Hara, M., Yamauchi, R., Ueno, Y., & Kato, K. (1991). Fructooligosaccharides in the tubers of jerusalem artichoke [*Helianthus tuberosus*] and yacon [*Polymnia sonchifolia*]. *Research Bulletin of the Faculty of Agriculture-Gifu University (Japan)*.
- Zamudio Bejarano, D. L. (2015). *Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la concentración de fructooligosacáridos en yacón fresco (Smallanthus sonchifolius)*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Zardini, E. (1991). Ethnobotanical notes on "Yacon," *polymnia sonchifolia* (Asteraceae). *Economic Botany*, 45(1), 72-85.
- Zevallos, R. R., y Acosta, R. V. (2016). Efecto de la temperatura y tiempo de concentración al vacío sobre el pardeamiento y contenido de azúcares y oligofructanos en extracto de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Pueblo Continente*, 20(1), 185-191.



Zura, M., & Patricia, K. (2016). *Uso de jarabe de Jícama (Smalanthus sonchifolius) como sustituto parcial y total del azúcar en la elaboración de yogurt de fresa.* Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.upec.edu.ec:8080/bitstream/123456789/512/2/303%20ARTICULO%20CIENT%20C3%8DFICO.pdf>



ANEXOS

Anexo 1. Ficha para realizar la evaluación sensorial del yacon fresco almacenado

PRUEBA DE ESCALA HEDÓNICA

NOMBRE :

PRODUCTO : FECHA :

INSTRUCCIONES: Por favor pruebe las muestras en el orden de izquierda a derecha y ubique en la escala con una X la intensidad de agrado o desagrado para cada una, en función a su

ESCALA	MUESTRAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Gusto mucho								
Gusto moderadamente								
No gusto, ni disgusto								
Disgusto moderadamente								
Disgusto mucho								

OBSERVACIONES:

.....

.....

.....

Anexo 2. Métodos de Análisis para FOS, inulina y Glucosa



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRIA - Pabellón de Control de Calidad
AV. De la Cultura 788 CUSCO-PERÚ Contacto 978688833

Análisis de Carbohidratos en Yacon por HPLC

Procedimiento


- Pasar 1.0 gr. de Yacon, extraer con 10ml de Acido Fórmico J.T. Baker al 1% (3)
- El extracto diluir al 50% con Acetonitrilo Merck, filtrar en 0.22um Thermo.
- Analizar por HPLC.
- Preparar estándar de Kestosa Sigma 1.0, 2.95, 5.90, 11.80 mg/ml (2)

Condiciones de Análisis (1, 2)

Cromatógrafo:	Agilent serie 1200
Software:	Chemstation V03.02
Columna:	ZORBAX Carbohydrate 4.6 x 250mm, 5um
Solvente A:	Agua ultrapura Barnstead Thermo
Solvente B:	Acetonitrilo Merck
Sistema de Análisis:	Isocrático B : A (80% 20%)
Flujo de Columna:	1.5 ml/min.
Detección:	Indice de Refraccion RID a 50.0°C
Temperatura del Horno:	50.0°C
Tiempo de Análisis:	14 min.
Volumen de Inyección:	3.0 µl

Nota: La metodología desarrollada para la determinación de carbohidratos es de acuerdo a la literatura descrita con algunas modificaciones:

1. Agilent Technologies USA 2003 Typical Performance of ZORBAX Carbohydrate Analysis Column N° 820629-008c
2. Analytical Chemistry, 1. Food Analysis A. Fructooligosaccharide Analysis. Wako Product Update No.16 <http://www.e-reagent.com/>
3. González-Aguirre, C. L., & Ramirez-Navas, J. S. (s. f.). (2018) Desarrollo y validación de un método para la cuantificación de fructooligosacáridos en un helado prebiótico. 9. Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research, 6 (2), 108-116, 2018 ISSN 0719-4250 <http://jppres.com/jppres>



Quím. Jorge Choquevarca Párr
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría - UNGAAC
CDP 914

Anexo 3. Agilent ZORBAX, análisis de Carbohidratos



Agilent ZORBAX Carbohydrate Analysis Column

Data Sheet

General Description

The ZORBAX Carbohydrate Analysis column is an application-specific column for the separation of mono- and other saccharides. This packing is produced by reacting 3-aminopropylsilane with ZORBAX SIL (silica) particles. The reaction conditions used to produce ZORBAX Carbohydrate were specifically developed to maximize surface coverage with a monolayer bonded phase. The uniform, spherical, ZORBAX particles are 5 µm in diameter, and have a controlled pore size to give optimum column efficiency. Columns are packed to a uniform bed density using a proprietary, high-pressure, slurry-loading technique.

Column Characteristics

Figure 1 shows typical chromatographic performance for a 4.6 x 150 mm column. The actual performance of your column may be slightly different. Each column is individually tested in a normal phase mode to ensure a quality packed-bed structure and

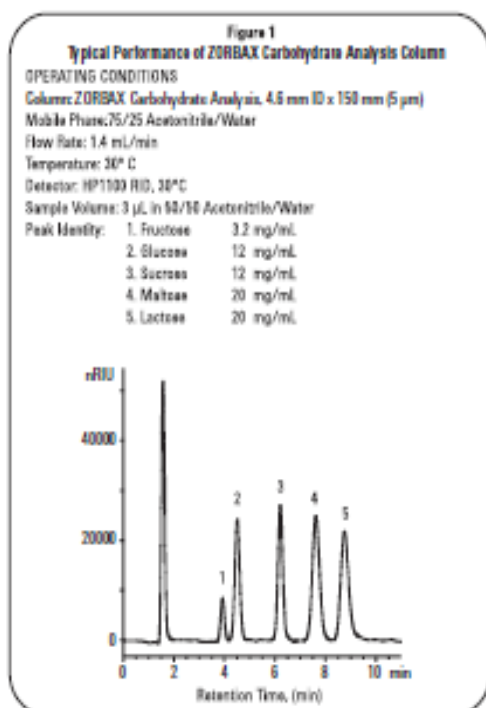
reproducible separation. The actual QC test and performance of your column is described on the Column Performance Report enclosed with your column.

Safety Considerations

- All points of connection in liquid chromatographic systems are potential sources of leaks. Users should be aware of the hazards from such leaks due to the toxicity or flammability of the chosen mobile phases.
- Because of the small particle size, dry ZORBAX packings are respirable. Columns should only be opened in a well-ventilated area.

Operational Guidelines

- The direction of flow is marked on the column.
- While generally not harmful to the column, reversing flow should be avoided except to attempt removal of inlet pluggage (see "Column Care" section).
- ZORBAX Carbohydrate Analysis Columns are shipped containing acetonitrile. As the column is to be used with an aqueous mobile phase, flush it first with acetonitrile/water (75/25) then, with at least 20 column volumes of the chosen mobile phase.
- ZORBAX Carbohydrate Analysis Columns are compatible with water and all common organic solvents.
- Use of a guard column is recommended to protect the ZORBAX Carbohydrate Analysis Column and extend its useful lifetime (see Part Numbers).
- Maximum operating pressure is 400 bar (6000 psi).
- Maximum operating temperature is 60 °C.
- **NOTE:** ZORBAX columns are designed for high stability at low pH (e.g., pH < 5). However, all silica-based packings have some solubility in pH > 6 aqueous mobile phases. Therefore, when using silica-based columns under conditions of pH > 6, maximum column lifetime is obtained by operation at low temperature (< 40 °C) using low buffer concentrations in the range of 0.01 to 0.02M. Column stability at pH > 6 is also enhanced by avoiding phosphate and carbonate buffers [ref.: H.A. Claessens, M.A. van Straten, and J.J. Kirkland, *J. Chromatogr. (A)*, 728 (1996) 259].
- Avoid exposure to aldehydes and methyl ketones, which may form Schiff's bases with the bonded phase.
- The column should be filled with 100% acetonitrile for long term storage.



Sample Preparation

The leaner the sample to be analyzed, the longer the column life. Care should be taken to remove lipids and ionic contaminants from the sample before injection onto the column. This will prolong column lifetime. Routine filtering of samples should be considered if there is the possibility that the samples contain particulate matter (see Part Numbers for syringe filters).

Mobile Phase Selection

As organic content (e.g. acetonitrile) of the mobile phase increases, the resolution of the sugars may improve, with an accompanying increase in analysis time. The higher the aqueous content that is used, the more soluble are the sugars in the mobile phase, resulting in decreased retention. The typical range for the mobile phase is 60% to 75% acetonitrile. Retention time of the sugars may decrease with extended column use. By increasing the amount of acetonitrile in the mobile phase, retention can be adjusted to the appropriate time.

Temperature

Control of temperature is important for maintaining retention time reproducibility and for maintaining refractometer baseline stability.

Resolution may be improved when column temperature is above room temperature. Operation at 30 °C or 35 °C may give better resolution of a carbohydrate mixture and; therefore, temperature should be investigated for optimizing resolution.

Small changes in temperature has a noticeable effect on baseline stability of the Refractive Index Detector (RID).

Therefore, it is important to shield the HPLC column and system from temperature fluctuations. Use of a thermostated column compartment and use of a RID with temperature stabilization is highly recommended for best performance.

Flow Rate

Adjusting flow rate is appropriate for minimizing analysis time. Typical flow rates are 1 to 1.5 mL/min. The column should not be operated above the back pressure limit (400 bar).

Column Care

The inlet frit on these columns has a nominal porosity of 2 µm. Samples that contain particulate matter larger than 2 µm may plug the column inlet frit and should be filtered before injection into the column. ZORBAX guard columns and a hardware kit are recommended for use to extend column life (see Part Numbers).

If solvent flow appears to be restricted (high column-back-pressure), check first to see that solvent flow is unobstructed up to the column inlet. If the column is the source of the high back-pressure, there may be particulate matter on the inlet frit. An initial attempt should be made to clear any inlet debris by back-flushing 25-30 mL of mobile phase through the column. If this fails to return the column to near its original back-pressure, the inlet frit should be changed. To remove the frit, loosen the nut at the column inlet, taking care not to turn the end fitting itself. Then remove the fitting, taking care not to disturb the column bed. The frit should drop out when the fitting is tapped sharply on a hard surface. Install a new frit and carefully tighten the fitting. The columns are shipped in acetonitrile. Equilibrate the column with the desired mobile phase (e.g. 75/25 acetonitrile/water by volume) until a steady baseline is obtained on the detector. Many column volumes of mobile phase may be necessary for equilibration to occur after changes in mobile phase composition. The number of column volumes required depends on the system in use.

Since columns have 1/16" terminations, a short 1/4" wrench should be used in attaching the column to the HPLC to prevent overtightening. Overtightening the fittings can damage the fitting and necessitate replacement.

Ordering Information	Agilent Part No.
Carbohydrate Analysis Columns (5 µm)	
4.6 mm ID x 150 mm	843300-908
4.6 mm ID x 250 mm	840300-908
Guard Column	
4.6 mm ID x 12.5 mm (4 Pack)	820950-908
Guard Column Hardware Kit	820888-901
Syringe Filters for Aqueous Solutions (100 Pack)	
Regenerated Cellulose (0.45 µm)	
13 mm for 1-10 mL sample size	5061-3365
20 mm for 1-50 mL sample size	5061-3364



Agilent Technologies

Printed in USA 8/21/15 Part No. 820629-088 D

Anexo 4. Análisis de fructooligosacaridos (Wako, 2006)

Wako Product Update

ANALYTICAL CHEMISTRY

No. 16

Food Analysis
High Purity Solvents and Reagents
Chromatography Products
Environmental Analysis
Standards for Crude Drug Test
Alphabetical Index

2006

1. Food Analysis	
A. Fructooligosaccharide Analysis	2
B. Azo Dye Analysis	2
C. Aspartame Analysis	3
D. Mycotoxin Analysis	3
E. Agricultural Chemical Residues in Foods Listed in the Japanese Positive List System - Simultaneous Analysis	4
F. Standards for Pesticide Residue Analysis	6
G. Standards for Veterinary Drugs Listed in the Japanese Positive List System	11
2. High Purity Solvents and Reagents	
A. LC/MS Solvents	13
B. HPLC Solvents	13
3. Chromatography Products	
A. Wakoapak® Fluofix®-III 120E	14
B. Syringe-type Solid-Phase Extraction Column	15
4. Environmental Analysis	
A. Solvents for PCB Analysis	15
B. Solvents for Dioxins Analysis	16
5. Standards for Crude Drug Test	
Alphabetical Index	20

Please visit the Wako Online Catalog
<http://www.e-reagent.com>

Wako

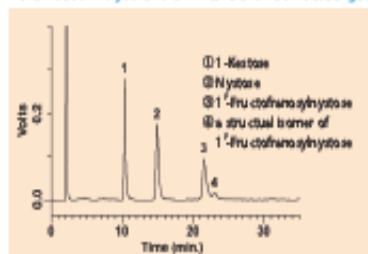
Analytical Chemistry

1. Food Analysis

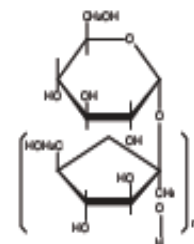
A. Fructooligosaccharide Analysis

This set consists of 500mg vial each of 1-Ketose, Nystose and 1^F-Fructofuranosylnystose. It is applicable to analyze the fructooligosaccharide components contained in foods and beverages.

Simultaneous analysis of the Mixture of three fructooligosaccharides



[HPLC condition]
 Column: Wakopak[®] WS 5NH₂, 4.8 x 250 mm
 Eluent: CH₃CN/H₂O = 70/30 (v/v)
 Flow rate: 1.5 mL/min. at 40°C
 Detection: RI
 Injection: 10 mg each/mL, 10 µL



m=2 1-Ketose (Glu-Fru)
 m=3 Nystose (Glu-Fru)
 m=4 1^F-Fructofuranosylnystose (Glu-Fru)

Wako Cat. No. (Pkg. Size)	Description	Specification
2-98-64101 (1 set)	Fructooligosaccharide Set for HPLC Analysis Kit Contents: ① 1-Ketose, 99.0+% (HPLC) ----- 1 vial x 500 mg ② Nystose, 99.0+% (HPLC) ----- 1 vial x 500 mg ③ 1 ^F -Fructofuranosylnystose, 80.0+% (HPLC) ----- 1 vial x 500 mg	① 1-Ketose Specific rotation (α _D ²⁰ (c=5, H ₂ O) +28.5 – +29.5° Water 5.0% ② Nystose Specific rotation (α _D ²⁰ (c=5, H ₂ O) +10.0 – +11.5° Water 5.0% ③ 1 ^F -Fructofuranosylnystose Specific rotation (α _D ²⁰ (c=5, H ₂ O) -2.5 – -1.5° Water 5.0%

Related Products

Wako Cat. No. (Pkg. Size)	Description	Specification
116-00431 (250 mg) 112-00433 (1 g)	1-Ketose, 99.0+% (HPLC) CASNo.: 470-69-9 Solubility: Soluble in water. Practically insoluble in ethanol and acetone.	Solubility in water: to pass test Specific rotation (α _D ²⁰ (c=5, H ₂ O) +28 – +32° Water 0.5 % TLC test: to pass test
147-05981 (250 mg) 143-05983 (1 g)	Nystose Trihydrate CASNo.: 139523-69-2 Solubility: Soluble in water and ethanol. Practically insoluble in acetone.	Solubility in water: to pass test Specific rotation (α _D ²⁰ (c=5, H ₂ O) +9.2 – +10.2° Water 0.5 % TLC test: to pass test

Anexo 5. Cámara de Almacenamiento diseñadas Andahuaylas enero 2019

"CÁMARA CON CONTROLADOR DIGITAL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA EL ALMACENAMIENTO Y LA CONSERVACIÓN DE YACON FRESCO (PARA INVESTIGACION)."

DESCRIPCIÓN:

La cámara de almacenamiento y conservación, está diseñada para almacenar productos frescos, con controles de temperatura, humedad relativa con rangos que varían de 15 a 40 °C y 10 a 85% de humedad relativa, los cuales son programables a la temperatura y humedad relativas deseadas dentro del rango de aplicación. Posee un sistema de control automatizado gobernado por CONTROLADOR Y INDICADOR DIGITAL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD CON COMUNICACIÓN SERIAL MODELO: MT-530E Súper v5, el cual es programable y permite el incremento de humedad mediante el humidificador cuando se requiera, así mismo de la temperatura mediante la resistencia; si se desea bajar tanto la humedad y la temperatura entra en funcionamiento el deshumidificador y el ventilador instaladas, situaciones que mantienen

controladas la temperatura y la humedad en la cabina de almacenamiento.

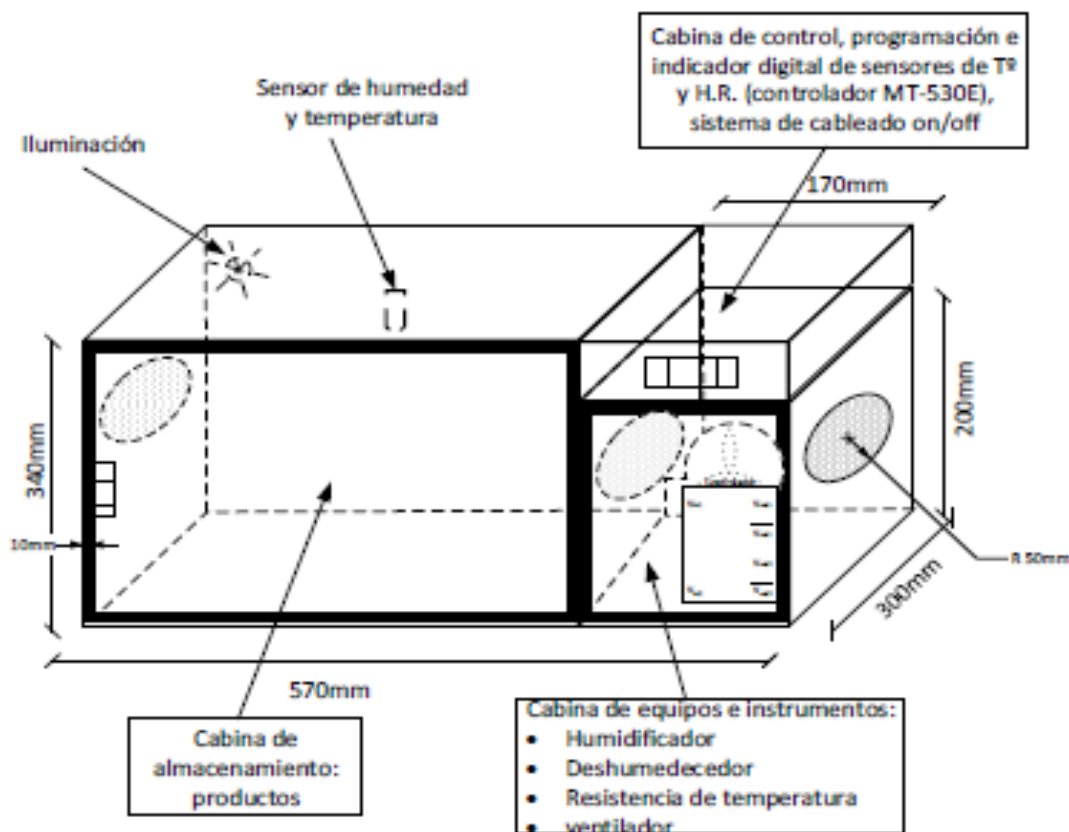
DATOS:

UBICACIÓN DE LA CÁMARA DE ALMACENAMIENTO:

- Lugar: Talavera-Andahuaylas-Perú
- Temperatura Diaria Promedio: 14°C.
- Humedad Relativa: 55%.

DIMENSIONES DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA:

- Altura: 340 mm (a).
- Ancho: 300 mm (b).
- Largo: 570 mm (c).
- Estructura: Aluminio
- Aislamiento: Núcleo de polietileno
- Recubrimiento: Panel de Aluminio Compuesto
- Espesor: 6 mm.
- Espesor de la pared: 10 mm.



CONDICIONES DE LA CÁMARA DE ALMACENAMIENTO:

- Aplicación de la cámara: pruebas de almacenamiento de yacon fresco u otros productos.
- Temperatura en el medio exterior: 14°C.
- Temperatura de almacenamiento: 15 a 40 °C. (programable)
- Diferencia de Temperatura: ± 1.5 °C (programable)
- Humedad Relativa de Almacenamiento: 10% a 85% (programable)
- Diferencia de Humedad Relativa: $\pm 5\%$ (programable)
- Intensidad luminosa: 0 a 400 lumen.
- Peso total del producto almacenado: ≤ 2.00 Kg.
- Información del producto: Yacon fresco de Talavera – Andahuaylas

EQUIPAMIENTO:**SELECCIÓN DE HUMIDIFICADOR.**

- Humidificador Por Ultrasonidos con Membrana De 20mm + Alimentador 230V
- Características Principales:
- Voltaje de entrada: 230Vac
- Consumo: < 1.0 A
- Capacidad de difusión: 90 ml/hora
- Importante: El humidificador utiliza agua no tratada.

SELECCIÓN DEL DESHUMEDECEDOR.

- Model Type: Mini Dehumidifie
- modelo: top-400
- Capacidad del tanque de agua (l): < 1 L
- Dimensiones (L x W x H): 16.5*10.2*4.3cm
- Capacidad (Pintas / 24 H): Other
- Velocidad del ventilador: Other
- Tipo: Deshumidificador desecante
- Función: Luz de indicación de cubo lleno
- Volumen de deshumidificación: < 1.1 L/h
- Voltaje (V): AC100-240V, 50/60Hz
- Potencia (W): 20W
- Output power: DC9V 2.5A

SELECCIÓN VENTILADOR.

- COOLER PARA EXTRACTOR DE AIRE:
- Voltaje: 230Vca
- Caudal de aire: 21-24CFM
- Tamaño: 80x80x25mm
- Hilos: 2 Hilos
- Revoluciones: 2500 – 3000 rpm

SELECCIÓN RESISTENCIA ELECTRICA.

- Resistencias tubulares calefactores de aire;
- Acero inoxidable, Alambre cromo-niquel de alta graduación (80%Ni20%Cr)-

- Aislador de cerámica (esteatita) de alto nivel dieléctrico protecciones térmicas primaria y secundaria.
- Diámetro de 10mm.
- Potencia < 50 W.

SELECCIÓN CONTROLADOR Y INDICADOR DIGITAL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD CON COMUNICACIÓN SERIAL

- Tiene tres salidas: una para control de la temperatura, una para control de la humedad y una tercera salida auxiliar que actúa como una segunda etapa de control de temperatura, control de humedad, alarma o temporizador (temporizador) cíclico.
- Este controlador es adecuado para baja y media humedad relativa (10 a 85% sin condensación). con sensores de temperatura y humedad que se unen en un solo bulbo.
- Tiene alarma audible (buzzer) y una función inteligente.
- Alimentación directa: 115 ó 230 Vac $\pm 10\%$ (50/60 Hz)
- Temperatura de control: -10 a 70.0 °C ± 1.5 °C (con resolución de 0.1°C)
- Humedad de control: 10 a 85%HR $\pm 5\%$ HR (con resolución de 0.1%HR)
- Corriente máxima por salida:
Therm: 16(8)A/250Vac 1HP; Humid: 5(3)A/250Vac 1/8HP; Aux: 5(3)A/250Vac 1/8HP
- Dimensiones: 76 x 34 x 77 mm (AxAxP)
- MODELO: MT-530E Súper v5

FUNCIONAMIENTO:

- Encender y programar el controlador y indicador digital de temperatura y humedad a los parámetros deseados.
- Alimentar con agua el humidificador.
- Dejar funcionar por 15 minutos, hasta estandarizar la temperatura, humedad e intensidad luminosa programadas. Nota: la temperatura debe ser > 10 °C.
- Poner la muestra en la cabina de almacenamiento, no exceder de 2 kg., cerrar.
- El controlador de temperatura y humedad mantiene constante los parámetros. Con registro en su panel.
- Revisar siempre el contenido de agua del humidificador.

Andahuaylas, enero del 2019
Ing. David Juan Ramos Huallpartupa
Universidad Nacional José María Arguedas

Tabla 16
Resultados por triplicado del peso de las muestras de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018

Temperatura (°C)		15				25			
Humedad Relativa (%)		50		70		50		70	
Intensidad de Luz (lm)		200		300		200		300	
Almac./Día		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
PESO (g)	0	275.65	47.02	101.71	85.13	92.29	161.15	87.75	97.83
		270.36	48.25	100.81	86.90	95.03	160.23	88.17	99.15
		277.11	49.65	105.23	88.03	94.53	163.46	89.03	96.89
20	235.21	38.32	87.14	72.13	81.26	132.12	60.84	77.18	
	231.25	38.42	89.26	73.21	83.29	134.06	61.34	79.24	
	234.51	39.49	90.03	72.01	83.06	133.83	62.18	76.27	
40	192.68	31.68	63.20	61.54	56.70	66.64	38.16	60.78	
	190.94	33.25	62.10	62.08	56.01	65.09	38.36	62.31	
	192.34	32.97	60.95	64.23	55.00	65.01	39.41	61.95	
60	138.22	24.62	56.89	45.14	35.94	46.45	33.11	35.40	
	136.95	25.13	58.27	45.94	35.65	45.85	32.96	34.12	
	139.84	26.93	57.32	46.00	33.98	47.12	34.02	34.90	
Variacion de peso (g)		137.43	22.40	44.82	39.99	56.35	114.70	54.64	62.43
		133.41	23.12	42.54	40.96	59.38	114.38	55.21	65.03
		137.27	22.72	47.91	42.03	60.55	116.34	55.01	61.99
Porcentaje (%)		49.86	47.64	44.07	46.98	61.06	71.18	62.27	63.81
		49.35	47.92	42.20	47.13	62.49	71.38	62.62	65.59
		49.54	45.76	45.53	47.75	64.05	71.17	61.79	63.98

Tabla 17
Resultados por triplicado de los sólidos solubles de las muestras de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018

Temperatura (°C)		15				25			
Humedad Relativa (%)		50		70		50		70	
Intensidad de Luz (lm)		200	300	200	300	200	300	200	300
Almac./Día		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Sólidos solubles (°Brix)	0	8.00	6.00	5.00	8.00	6.00	6.00	7.00	7.00
		7.00	6.00	6.00	9.00	7.00	7.00	8.00	9.00
		9.00	7.00	7.00	8.00	8.00	5.00	9.00	7.00
	20	11.00	7.00	9.00	12.00	8.00	7.00	10.00	13.00
		12.00	8.00	10.00	12.00	9.00	8.00	11.00	14.00
		11.00	9.00	9.00	13.00	7.00	6.00	9.00	15.00
	40	13.00	9.00	12.00	15.00	12.00	10.00	13.00	14.00
		14.00	10.00	14.00	14.00	13.00	11.00	14.00	15.00
		15.00	9.00	12.00	16.00	14.00	12.00	13.00	16.00
	60	16.00	13.00	12.00	16.00	16.00	15.00	16.00	15.00
		17.00	14.00	13.00	17.00	16.00	16.00	17.00	16.00
		15.00	14.00	14.00	15.00	15.00	14.00	16.00	14.00
Variacion SS (°Brix)	8.00	7.00	7.00	8.00	10.00	9.00	9.00	8.00	
	10.00	8.00	7.00	8.00	9.00	9.00	9.00	7.00	
	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	9.00	7.00	7.00	
Porcentaje (%)	50.00	53.85	58.33	50.00	62.50	60.00	56.25	53.33	
	58.82	57.14	53.85	47.06	56.25	56.25	52.94	43.75	
	40.00	50.00	50.00	46.67	46.67	64.29	43.75	50.00	

Tabla 18
Resultados por triplicado del contenido de fructooligosacaridos de las muestras de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018

Temperatura (°C)		15				25			
Humedad Relativa (%)		50		70		50		70	
Intensidad de Luz (lm)		200	300	200	300	200	300	200	300
Almac./Día		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
FOS (mg/10g)	0	120.786	100.346	104.408	116.101	121.354	117.302	106.484	99.862
		120.269	100.036	104.005	116.625	121.056	117.692	106.169	99.684
		121.169	100.598	104.859	115.964	121.596	117.004	106.875	99.997
	60	84.948	69.930	77.807	83.524	77.862	72.979	66.878	56.768
		84.236	69.657	77.495	83.236	77.618	72.698	66.562	56.425
		85.164	70.154	78.162	83.896	77.998	73.268	67.215	56.982
	Variacion FOS (mg/10g)	35.838	30.417	26.601	32.577	43.492	44.324	39.606	43.094
		36.033	30.379	26.510	33.389	43.438	44.994	39.607	43.259
		36.005	30.444	26.697	32.068	43.598	43.736	39.660	43.015
Porcentaje (%)	29.671	30.312	25.478	28.059	35.839	37.786	37.194	43.153	
	29.960	30.368	25.489	28.629	35.883	38.230	37.306	43.396	
	29.715	30.263	25.460	27.653	35.855	37.380	37.109	43.016	



por triplicado del contenido de inulina de las muestras de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio

Temperatura (°C)		15			25			
Relativa (%)		50		70		50		70
de Luz (lm)		200	300	200	300	200	300	200
Almac./Día		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A (mg/100g)	0	226.757	207.879	191.205	160.698	204.837	199.812	198.813
		226.269	207.568	190.936	160.231	204.689	199.685	198.736
		227.005	207.968	193.466	160.894	204.992	199.931	198.901
	60	188.300	170.612	157.165	135.151	163.928	160.824	158.816
		188.025	170.365	157.000	135.004	163.624	160.789	158.823
		188.726	170.998	157.362	135.461	164.145	160.917	159.012
Variación Inulina (mg/100g)		38.457	37.268	34.040	25.547	40.909	38.989	39.997
		38.244	37.203	33.936	25.227	41.065	38.896	39.913
		38.279	36.970	36.104	25.433	40.847	39.014	39.889
Porcentaje (%)		16.959	17.927	17.803	15.898	19.971	19.513	20.118
		16.902	17.923	17.773	15.744	20.062	19.479	20.083
		16.863	17.777	18.662	15.807	19.926	19.514	20.055

Tabla 20
Resultados por triplicado del contenido de glucosa de las muestras de yacon fresco almacenado, obtenidos en Andahuaylas, abril a junio del 2018

Temperatura (°C)		15				25			
Humedad Relativa (%)		50		70		50		70	
Intensidad de Luz (lm)		200	300	200	300	200	300	200	300
Almac./Día		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
GLUCOSA (mg/10g)	0	28.929	3.536	19.058	20.736	18.854	18.337	23.925	34.246
		28.105	3.105	18.567	20.345	18.298	18.164	23.562	33.895
		29.034	3.632	19.846	21.235	19.124	18.962	24.263	34.498
	60	55.448	15.525	26.181	26.361	23.841	24.855	28.013	39.070
		55.036	15.136	25.891	25.956	23.381	24.862	28.215	38.756
		56.004	15.698	26.647	26.451	24.053	25.101	27.896	39.391
	Variacion glucosa (mg/10g)	26.519	11.989	7.122	5.626	4.986	6.518	4.088	4.825
		26.931	12.031	7.324	5.611	5.083	6.698	4.653	4.861
		26.970	12.066	6.801	5.216	4.929	6.139	3.633	4.893
Porcentaje (%)	47.827	77.225	27.204	21.341	20.915	26.225	14.592	12.349	
	48.933	79.486	28.288	21.617	21.740	26.941	16.491	12.543	
	48.157	76.863	25.523	19.719	20.492	24.457	13.023	12.422	

Anexo 6. Panel fotográfico



Figura 18. Selección de raíces de yacón

Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a julio del 2018



Figura 19. Lavado de yacón

Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a julio del 2018



Figura 20. Muestras de yacon (externo)

Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a julio del 2018



Figura 21. Muestras de yacon (Interno)

Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a Julio del 2018



Figura 22. Muestras de yacon para evaluación
Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a Julio del 2018



Figura 23. Cámaras para almacenamiento programables para yacon
Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a julio del 2018



Figura 24. Cámara (interior) para almacenamiento de yacón
Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a Julio del 2018



Figura 25. Raíces de yacón en cámaras de almacenamiento
Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a julio del 2018



Figura 26. Control de peso de yacón en almacenamiento
Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a Julio del 2018



Figura 27. Control de solidos solubles de yacón almacenados,
Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a julio del 2018



Figura 28. Preparación de muestras para determinación de FOS e inulina,
Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a Julio del 2018.



Figura 29. Filtrado de muestras para análisis de FOS e inulina,
Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a Julio del 2018.

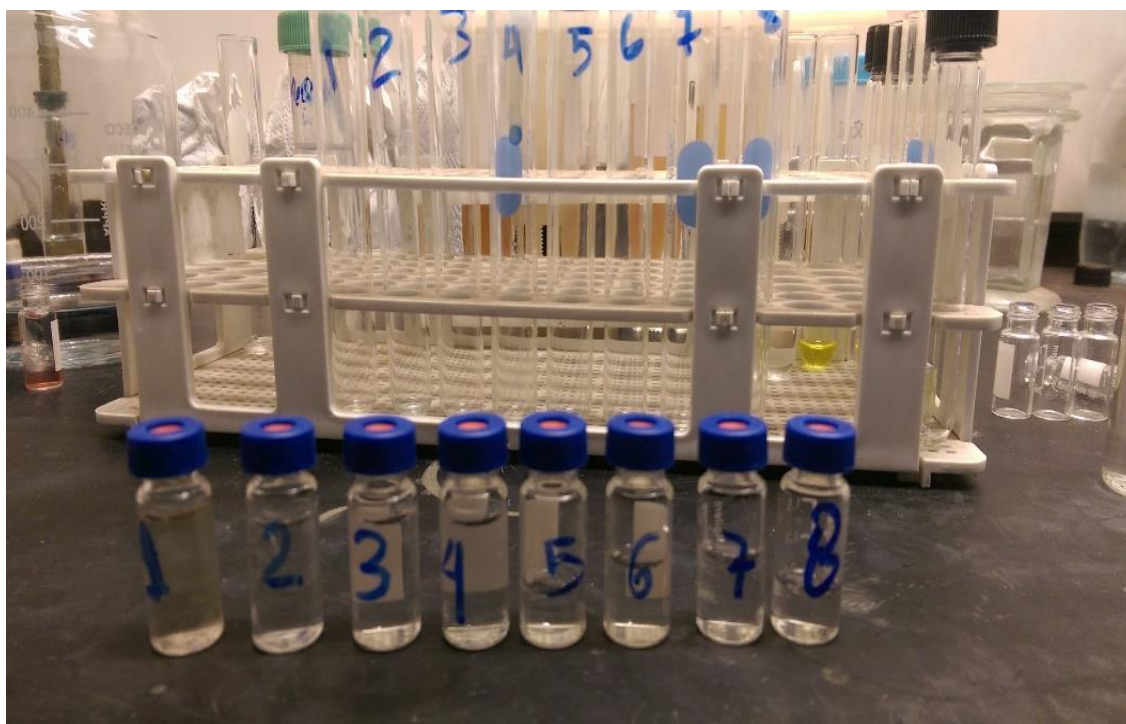


Figura 30. Muestras diluidas para determinación del FOS e inulina en HPLC
Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a Julio del 2018



Figura 31. Determinación de FOS e inulina en HPLC
Nota: Tomado en Andahuaylas, de enero a Julio del 2018.