

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

## ESCUELA DE POSGRADO



### UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

### PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

### TESIS:

### COMPARACIÓN DE SEIS ACCESIONES DE *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, EN LA CALIDAD DE INULINA PROVINCIA DE SAN MARCOS

Para optar el Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: SALUD PÚBLICA**

Presentado por:

**MARGARET NORDIT TOCAS VIGO**

Asesora:

**Dra. MARTHA ADRIANA SÁNCHEZ UCEDA**

Cajamarca, Perú

2024

### CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- Investigador:  
Margaret Nordit Tocas vigo  
DNI: 70018790  
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Salud. Programa de Maestría en Ciencias, Mención: Salud Pública
- Asesor: Dra. Q.F. Martha Adriana Sánchez Uceda
- Grado académico o título profesional  
 Bachiller  Título profesional  Segunda especialidad  
 Maestro  Doctor
- Tipo de Investigación:  
 Tesis  Trabajo de investigación  Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:  
Comparación de seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* "yacón" en la calidad de inulina, provincia de San Marcos.
- Fecha de evaluación: **30/08/2024**
- Software antiplagio:  TURNITIN  URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud: **14%**
- Código Documento: **3117:376923804**
- Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 **APROBADO**  PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **17/09/2024**

Firma y/o Sello  
Emisor Constancia



.....  
Dra. Q.F. Martha Adriana Sánchez Uceda  
DNI: 26614591

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2024 by  
**MARGARET NORDIT TOCAS VIGO**  
Todos los derechos reservados



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 050-2018-SUNEDU/CD

**Escuela de Posgrado**  
CAJAMARCA - PERU



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las **10:30** horas del día 23 de agosto de dos mil veinticuatro, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por la **Dra. MARINA VIOLETA ESTRADA PÉREZ, Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO, Dr. DAVID MILTON LARA ASCORBE**, y en calidad de Asesora la **Dra. MARTHA ADRIANA SÁNCHEZ UCEDA**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y la Directiva para la Sustentación de Proyectos de Tesis, Seminarios de Tesis, Sustentación de Tesis y Actualización de Marco Teórico de los Programas de Maestría y Doctorado, se dió inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **COMPARACIÓN DE SEIS ACCESIONES DE *Smallanthus sonchifolius* "yacón", EN LA CALIDAD DE INULINA PROVINCIA DE SAN MARCOS**; presentada por la **Bachiller en Farmacia y Bioquímica, MARGARET NORDIT TOCAS VIGO**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó **APROBAR**.....con la calificación de **18 (DIECIOCHO)**.....la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bachiller en Farmacia y Bioquímica, MARGARET NORDIT TOCAS VIGO**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias de la Salud, con Mención en **SALUD PÚBLICA**.

Siendo las **12:00** horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....  
**Dra. Martha Adriana Sánchez Uceda**  
Asesora

.....  
**Dra. Marina Violeta Estrada Pérez**  
Jurado Evaluador

.....  
**Dra. Consuelo Belania Plaseñcia Alvarado**  
Jurado Evaluador

.....  
**Dr. David Milton Lara Ascorbe**  
Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A mi querida hija JULIETTA, por ser el motivo para seguir y superarme cada día, por iluminar mi vida con su sonrisa y querer que se sienta orgullosa de mí; a DENNIS QUILICHE ESTACIO por impulsarme a progresar en lo profesional como en lo personal, ayudarme en el proceso de desarrollo de tesis y enseñarme a no rendirme, a ambos, que me brindan su amor cada día y son la Bendición más hermosa que Dios me ha dado.

A mi madre: AURA ESTELA VIGO VIGO, uno de los regalos más grandes y especiales que Dios me pudo otorgar, por ser una gran persona e inculcarme valores, por sus consejos que han hecho que vaya por el camino del bien y por apoyarme incondicionalmente para poder cumplir mis objetivos.

A mi padre JUAN ANTERO TOCAS TAFUR, por brindarme su cariño y consejos para crecer de manera personal y profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por guiar mis pasos e iluminar mi camino, no dejarme caer a pesar de las adversidades y permitirme culminar mis estudios de postgrado con éxito.

A toda la plana docente de postgrado en ciencias, mención Salud Pública de la Universidad Nacional de Cajamarca, por su entrega en las aulas, compartiendo sus conocimientos y experiencias, los cuales serán usados en beneficio de la población.

A mi asesora Dra. Q.F. Martha Adriana Sánchez Uceda por encaminar este trabajo de investigación, lo cual ha permitido su culminación con éxito.

Al personal del INIA Cajamarca: Ing. Ángel Esteban Santa Cruz Padilla e Ing. Jorge Luis Vásquez Orillo y el agricultor, por brindar las accesiones debidamente identificadas; así mismo al Q.F. Fredy Martos Rodríguez, Q.F. Erika Estrada Julón, Q.F. Jessica Bardales Valdivia, Q.F. Marili Villanueva Gutiérrez y Q.F. Maribel Vásquez Tantalean, por apoyarme a lo largo del trabajo de investigación.

A mi familia y amigos, por su confianza, los ánimos y consejos que me han servido en el transcurso de la maestría.

“Tu cuerpo es templo de la naturaleza y del Espíritu Divino. Consérvalo sano, respétalo  
estúdialo y concédele sus derechos”

Frédéric Amiel

# ÍNDICE

	Pág
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>LISTA DE APÉNDICES</b> .....	<b>xii</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Delimitación y definición del problema de Investigación/planteamiento del problema:.....	1
1.2. Justificación del estudio:.....	3
1.3. Objetivos:.....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>7</b>
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes del estudio.....	7
2.2. Bases teóricas del objeto de estudio.....	11
2.3. Hipótesis.....	30

2.4. Variables.....	30
<b>CAPÍTULO III: .....</b>	<b>33</b>
3. MARCO METODOLÓGICO:.....	33
3.1. Diseño y tipo de estudio.....	33
3.2. Población de estudio.....	33
3.3. Criterio de inclusión y exclusión.....	34
3.4. Unidad de Análisis.....	34
3.5. Muestra.....	35
3.6. Técnicas a instrumentos de recolección de datos.....	35
3.7. Procesamiento y análisis de datos.....	42
3.8. Consideraciones éticas.....	42
3.9. Dificultades y limitaciones para el estudio.....	43
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>44</b>
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>80</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág</b>
Tabla N° 1: Clasificación Taxonómica del yacón.....	13
Tabla N° 2: Composición química de las raíces reservantes del yacón .....	16
Tabla N° 3: Composición química del yacón en tres estadios de madurez.....	17
Tabla N° 4: Composición de los carbohidratos de la raíz reservante de yacón en diferentes estadios de maduración.....	18
Tabla N° 5: Contenido de azúcares en la raíz tuberosa de yacón .....	18
Tabla N° 6: Concentración de inulina de dos biotipos de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón" .....	19
Tabla N° 7: Características fisicoquímicas de la inulina e inulina de alta pureza .....	28
Tabla N° 8: Cantidad de inulina por accesión de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón", expresado en concentración (mg/mL), por medio del método de espectrofotometría .....	44
Tabla N° 9: Porcentaje de extracción de inulina por accesión de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón", obtenido mediante el secado del extracto acuoso, expresado en porcentaje (%) m/m .....	47
Tabla N° 10: Punto de fusión de la inulina por accesión de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón", expresado en Temperatura (°C) .....	49
Tabla N° 11: Densidad aparente de la inulina por accesión de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón", expresado en g/mL.....	51
Tabla N° 12: Comparación de la calidad de inulina en seis accesiones de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón" .....	53

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág</b>
Figura N° 1: Síntesis enzimática de Fructooligosacáridos (FOS) de las raíces de <i>Smallanthus sonchifolius</i> “yacón” .....	21
Figura N° 2: Estructura de los tres tipos de fructanos: A. Estructura 1 – Kestosa (inulina), B. Estructura 6 – Kestosa (levano), C. Fructano tipo mixto.....	24
Figura N° 3: Fructanos tipo inulina: A. (1 - kestosa), B. (Nistasa) .....	25
Figura N° 4: Estructura básica de la inulina: Izquierda, con una molécula terminal de glucosa ( $\beta$ -D-glucopiranosil). Derecha con una molécula terminal de fructosa ( $\beta$ -D-fructopiranosil).....	27
Figura N° 5: Recolección de muestra .....	89
Figura N° 6: Preparación del extracto acuoso .....	90
Figura N° 7: Cuantificación de inulina como azúcares reductores mediante el espectrofotómetro .....	90
Figura N° 8: Extracción de inulina .....	91
Figura N° 9: Caracterización de los cristales obtenidos .....	91

## LISTA DE APÉNDICES

	<b>Pág</b>
Apéndice N° 1: Curva patrón a partir de inulina .....	80
Apéndice N° 2: Instrumentos de recolección de Datos .....	81
Apéndice N° 3: Preparación de reactivos .....	86
Apéndice N° 4: Fotografías de ejecución del trabajo de investigación .....	89

## GLOSARIO

- **Accesión (vegetal):** Muestra distinta, que puede ser de semillas o plantas (tallos, forma de los frutos o raíces), que se identifica con un código alfanumérico, y que lo distingue del resto en un banco de germoplasma.(1)
- **Extracción:** para la extracción de principios activos de una planta, los cuales necesitan de un líquido extractivo que va a depender del procedimiento técnico y de la naturaleza química del principio activo.(2)
- **Fitomedicamento:** medicamento cuya sustancia activa (mezcla compleja de fitocomponentes o compuestos naturales que pueden tener un efecto aditivo o sinérgico en su efecto farmacológico principal), se obtiene de vegetales mediante procedimientos específicos y que tiene un uso clínico justificado por estudios científicos correspondientes.(3)
- **Forma farmacéutica:** forma o estado físico en el que se presenta un producto para facilitar su fraccionamiento, dosificación, administración o empleo.(3)
- **Hidrólisis:** una reacción de hidrólisis es el rompimiento de los enlaces químicos mediante la adición de agua o una base que suministra el ion hidroxilo (enlace sencillo OH<sup>-</sup>). Se rompe un enlace químico y se forman dos nuevos enlaces, cada uno con el componente de hidrógeno (H) o el componente de hidroxilo (OH) de la molécula de agua.(4)
- **Prebiótico:** alimento no digerible, que provoca el crecimiento y/o aumento de actividad de las bacterias en el colón, lo cual es beneficioso para el huésped, ya que mejora la flora intestinal y por tanto mejora la salud del individuo.(5,6)
- **Probiótico:** son microorganismos vivos, principalmente bacterias, no patógenas, utilizados en forma de suplemento alimenticio, que tras ser ingeridos en cantidades

suficientes, mejoran el equilibrio microbiano intestinal y provocan efectos benéficos sobre la salud de quienes los ingieren.(7)

- **Raíz:** es la parte de un vegetal que extrae el agua con sales minerales del suelo y la bombea hacia las hojas, acumula a menudo azúcares, otras veces vitaminas y alcaloides; la flor también contiene principios activos sobre todo es rica en pigmentos.(2)

## RESUMEN

El trabajo de investigación: comparación de seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, en la calidad de inulina, provincia de San Marcos fue medida a través de los parámetros de: cantidad, porcentaje de extracción y propiedades fisicoquímicas (punto de fusión y densidad aparente) del extracto acuoso de las raíces reservantes frescas de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, las cuales se obtuvieron del Caserío Cochamarca, Centro Poblado de Paucamarca, Distrito y Provincia de San Marcos. Para la cuantificación de inulina se usó el método espectrofotométrico de Park-Johnson en el que se obtuvo para la accesión 106 (14,87 mg/mL) el mayor valor y para la accesión 102 (9,34 mg/mL) el menor valor. Se utilizó también el secado del extracto acuoso de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” para la extracción de inulina en forma de cristales, donde las accesiones 106 (3,11%) y 166 (3,01%) obtuvieron los mayores valores ubicándose en un mismo grupo según la prueba post hot Duncan y la accesión 102 (1,65%) el menor valor. Además, se determinaron las características fisicoquímicas de los cristales de inulina extraídos a partir de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, en que para punto de fusión los mayores valores fueron para las accesiones 106 y 127 (79, 67 °C) y los menores valores para las accesiones 102, 103, 107 y 166 (79,33 °C), y para densidad aparente la accesión 166 (0,51 g/mL) obtuvo el mayor valor y la accesión 106 (0,44 g/mL) el menor valor. Finalmente al analizar los datos mediante análisis estadístico ANOVA, se puede decir que no es diferente la calidad de inulina de las seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, San Marcos; ya que para los parámetros de cantidad y porcentaje de extracción mostraron diferencias y la accesión 106 mostró mayores valores respecto a ellos, sin embargo para el parámetro de características fisicoquímicas todas las accesiones fueron iguales.

Palabras Clave: *Smallanthus sonchifolius*, accesión, calidad, espectrofotómetro.

## SUMMARY

The research work: comparison of six accessions of *Smallanthus sonchifolius* “yacon”, in the quality of inulin, province of San Marcos was measured through the parameters of: quantity, percentage of extraction and physicochemical properties (melting point and bulk density) of the aqueous extract of fresh reservoir roots of *Smallanthus sonchifolius* “yacon”, which were obtained from the Cochamarca Village, Paucamarca Town Center, District and Province of San Marcos. For the quantification of inulin, the Park-Johnson spectrophotometric method was used in which the highest value was obtained for accession 106 (14.87 mg/mL) and the lowest value for accession 102 (9.34 mg/mL). Drying of the aqueous extract of *Smallanthus sonchifolius* “yacon” was also used for the extraction of inulin in the form of crystals, where accessions 106 (3.11%) and 166 (3.01%) obtained the highest values, placing them in the same group according to the post-hot Duncan test, and accession 102 (1.65%) the lowest value. In addition, the physicochemical characteristics of the inulin crystals extracted from *Smallanthus sonchifolius* “yacon” were determined, in which for melting point the highest values were for accessions 106 and 127 (79, 67 °C) and the lowest values for accessions 102, 103, 107 and 166 (79.33 °C), and for bulk density accession 166 (0.51 g/mL) obtained the highest value and accession 106 (0.44 g/mL) the lowest value. Finally, when analyzing the data by ANOVA statistical analysis, it can be said that the quality of inulin of the six accessions of *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, San Marcos is not different, since for the parameters of quantity and percentage of extraction showed differences and accession 106 showed higher values with respect to them, however for the parameter of physicochemical characteristics all the accessions were equal.

Key words: *Smallanthus sonchifolius*, accession, quality, spectrophotometer.

## INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud, considera la medicina tradicional y complementaria, en la que se incluye a las plantas medicinales como la más segura, de mayor accesibilidad, facilidad en adquisición, teniendo como principal ventaja “la aceptación” por la población, por lo cual su uso ha incrementado considerablemente, siendo utilizadas para el tratamiento o prevención de enfermedades, como tratamiento de elección o complementario. Sin embargo, aún no es considerada por completo en los sistemas de salud, debido a las barreras existentes; por ello se llevan a cabo estudios con plantas medicinales, donde la industria farmacéutica destaca, ya que con dichas investigaciones se logra determinar el uso adecuado y características de sus constituyentes (metabolitos primarios y secundarios), ya sea como principio activo o como excipiente, de tal manera que se genere evidencia que garantice la seguridad al utilizarlas; y que consecuentemente permita el desarrollo de nuevos medicamentos y/o de fitomedicamentos, además de establecer su grupo farmacológico, dosis, concentración, vía de administración, entre otros aspectos importantes para ser seguros, eficaces y de calidad.(8,9)

Por otro lado, cabe mencionar que en la actualidad, la población a nivel mundial sufre de enfermedades degenerativas como cáncer de colon, dislipidemias, diabetes u otras, las cuales afectan en gran medida la calidad de vida y a la vez la economía de las personas.(10,11) Todo ello podría controlarse mediante la práctica de estilos de vida saludable, como ejercicio y la dieta diaria, esta última podría incluir el consumo de fibra dietética o los también llamados alimentos prebióticos, ya que estos sirven de alimento y son fermentados únicamente por las bacterias probióticas, por ende posee muchos beneficios para la salud humana, siendo una opción saludable, y evitando además consecuencias que podrían ser fatales.(11–13)

En ese sentido, la inulina, un fructooligosacárido (FOS), considerado como alimento prebiótico y por lo tanto también como fibra dietética, proveniente de una raíz andina, llamada *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, podría desarrollarse como fitomedicamento o como coadyuvante para potenciar otros fármacos, ya que, al servir como alimento a las bacterias probióticas, provoca que crezcan y se reproduzcan en mayor proporción, siendo favorecedor para la salud humana. Por otra parte para el desarrollo de un fitomedicamento es necesario conocer de manera especial las características del principio activo o excipiente a utilizar; por lo tanto al ser *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, una fuente de inulina que se desea obtener en mayor proporción, también debe tenerse en cuenta el contenido y porcentaje de extracción que brindaría dicha especie vegetal, la cual puede verse afectada por la accesión, suelo, altitud, clima, riego, tiempo de maduración, intensidad de luz y las condiciones de almacenamiento posterior a su cosecha.(14)

Sin embargo es importante destacar que en la Región Cajamarca se han identificado distintas accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, de las cuales no se dispone de información sobre su contenido, porcentaje de extracción y características fisicoquímicas de la inulina presentes en esta especie, por ello es que deseando obtenerla en mayor proporción y con fines ligados a mejorar la salud de la población, se tiene como objetivo: Comparar seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, provenientes de la provincia de San Marcos, en cuanto a la calidad de inulina. Para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Es diferente la calidad de inulina de las seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, San Marcos, en cantidad, porcentaje de extracción y características fisicoquímicas.

# CAPÍTULO I

## 1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Delimitación y definición del problema de Investigación/planteamiento del problema:

Desde tiempos remotos, se ha venido utilizando en el mundo, la medicina tradicional, en la que se incluye a las plantas medicinales, ya sea para mantener la salud, prevenir o controlar enfermedades, como tratamiento principal o complementario; debido a que forma parte de las costumbres de la población, o porque los centros de atención en salud convencional son limitados en cuanto a tratamientos, siendo un importante aporte para la promoción de la salud y prevención de enfermedades. Por ello, desde la Declaración de Alma – Ata (Conferencia Internacional sobre Atención Primaria de Salud, en 1978), se considera que la medicina tradicional debe incluirse, como un referente local, frente a lo conocido por el personal de salud; además la Organización Mundial de la Salud (OMS) elaboró la estrategia sobre medicina tradicional complementaria 2014 – 2023, donde se analiza la eficacia, seguridad, calidad, disponibilidad, preservación y reglamentación de la medicina tradicional complementaria buscando que se use de manera adecuada.(8,15)

Las plantas medicinales le atribuyen sus efectos a los componentes bioactivos que poseen, como ácidos grasos poliinsaturados, carotenoides, vitaminas, esteroides, aceites esenciales, polisacáridos, glucósidos, y compuestos fenólicos brindando efectos antiinflamatorios y antioxidantes y a su vez previniendo de algunas enfermedades como la aterosclerosis, hipertensión, entre otras.(16) También poseen componentes no activos, como los oligosacáridos, a quienes se considera como fibra dietética, lactosacarosa,

azúcares – alcoholes, glucooligosacáridos, fructanos o levanos, entre otros; a partir de las plantas medicinales se puede desarrollar fitomedicamentos, combinando la tecnología farmacéutica con los conocimientos empíricos, brindando alternativas en favor de la salud pública.

Los oligosacáridos son considerados como fibra dietética, entre los que se encuentra la inulina, aportando de manera beneficiosa a la microflora intestinal del huésped, jugando un papel importante en la subsistencia de las bacterias comensales o las también llamadas probióticas. Sin embargo, gran porcentaje de la población en general no consume inulina o no la consume en la cantidad adecuada en la dieta diaria, siendo necesaria la suplementación, evitando así que sufran de problemas estomacales (inflamación, estreñimiento o hemorroides), incluso sobrepeso y obesidad.(17,18)

Como una opción de suplemento de inulina como fibra dietética, podría ser el desarrollo de un fitomedicamento, permitiendo aprovechar el potencial medicinal de la planta que provenga, no obstante, para ello se necesita de ciertos conocimientos interdisciplinarios entre los que se encuentran los agrónomos, farmacológicos y de tecnología farmacéutica, como: la identificación adecuada del vegetal en familia, especie, sub especie y accesión; conocer al principio activo que se desea trabajar en actividad farmacológica y características fisicoquímicas lo cual permitirá elegir correctamente a los excipientes y por ende la mejor forma farmacéutica a elaborar, ya sean líquidas, sólidas o semisólidas; convirtiéndolos en tratamientos seguros, eficaces, accesibles y de calidad, incrementando así su rendimiento económico del vegetal, como la aceptación del tratamiento por la población.(3,16)

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y a la región andina de Cajamarca, misma que produce *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, se puede aprovechar esta raíz con gran contenido en fibra dietética, para desplegar nuevos estudios que permitan la transformación de inulina en fitomedicamento; contribuyendo además al conocimiento de la población sobre sus propiedades, y de que existen distintas accesiones de esta raíz, las cuales pueden provocar diferencia en contenido y en las características del constituyente inulina.(19) Es por ello que en el presente trabajo de investigación se planteó la siguiente pregunta: ¿Será diferente la calidad de inulina de las seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” en cantidad, porcentaje de extracción y características fisicoquímicas?

## **1.2.Justificación del estudio:**

La medicina tradicional para la prevención y tratamiento de enfermedades ha sido practicada desde tiempos remotos, ya sea por tradición, creencia o sus propios efectos; en ella se incluye a las plantas medicinales, las cuales en actualidad ha generado gran beneficio a quienes la utilizan; debido a ello y al avance de la tecnología es que se ha visto un gran potencial para desarrollar fitomedicamentos a partir de ellas, siendo más fácil de consumir, reduciendo reacciones adversas, con menor costo y aceptados por la población, por lo cual es fundamental que se consideren como parte de la Salud Pública, buscando prevenir enfermedades y promocionar la salud.(20)

Para que un fitomedicamento pueda ser desarrollado y comercializado se debe tener en cuenta estándares de calidad, siguiendo un proceso de estudios preclínicos y clínicos, los cuales deben ser interdisciplinarios, iniciando por los agrónomos, farmacológicos,

toxicológicos y de tecnología farmacéutica. Los estudios agronómicos, son de los más importantes, ya que es fundamental que se identifique correctamente a la planta con la que se trabajará, en familia, especie, sub especie, accesión e incluso el nombre común, para que no haya equivocación; a su vez es básico que se controlen las condiciones en la que crece, de esta manera se mantendrá la sostenibilidad en grandes cantidades. Posteriormente se realizan investigaciones de farmacología, toxicología y de tecnología farmacéutica, de manera conjunta, ya que estos van interconectados, a pesar que cada uno tiene sus propios objetivos; así pues, se debe formular el fitomedicamento y este debe garantizar la seguridad, calidad y eficacia cada vez que se obtenga el producto terminado.(3,21)

Por ello se ha tomado en consideración como planta medicinal a *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, ésta crece principalmente en la zona andina, por lo que Cajamarca no es ajena a ello, además en la actualidad es valorada por sus propiedades nutricionales y medicinales, por lo cual ha despertado gran interés, pues se le atribuye acción hipoglicemiante, además de ser antioxidante y antimicrobiano, asimismo en la raíz contiene oligosacáridos, entre ellos a la inulina, la cual es un carbohidrato, que posee propiedades benéficas para la salud humana como prebiótico e hipocalórico; este compuesto no puede ser hidrolizado por las enzimas digestivas de los humanos, por lo que llega intacto al colon para ser consumido por las bacterias benéficas del organismo (probióticos), puede utilizarse en industria comercial y farmacéutica, como excipiente o agregado, brindando valor adicional; incluso podría ser el principio activo, sirviendo para alimentar a las bacterias probióticas que a su vez mejoran la flora intestinal, fortaleciendo el sistema inmunológico, ya que se aprovecharía los nutrientes de los alimentos de manera adecuada, brindando un valor adicional a los productos en los que sea agregado.(22,23)

Sus efectos pueden ser locales como aumento de la masa fecal, aumento en la absorción de algunos minerales como el  $\text{Ca}^+$  y el  $\text{Mg}^+$ , aumento de la síntesis de ácido fólico, ayudan al metabolismo de las grasas y absorción de nutrientes, evitan infecciones urogenitales, prevención del cáncer; a nivel sistémico la disminución de colesterol, triglicéridos, amonio, urea, entre otras actividades.(17,18,24)

Sin embargo, existen distintas accesiones identificadas de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, más no se tiene mayor conocimiento de la inulina que contienen en su raíz reservante, por eso se ha creído conveniente conocer la calidad de inulina que poseen seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” cultivadas y cosechadas en Cochamarca, y la diferencia entre ellas, respecto a cantidad, porcentaje de extracción y la caracterización fisicoquímica en punto de fusión y densidad aparente de inulina, conviniendo esto para una posible formulación de fitomedicamento, ya que las características fisicoquímicas se hallaran mediante pruebas reológicas que se le deben realizar a los sólidos pulverulentos como principios activos, el punto de fusión se basa en la temperatura que cambia de estado sólido a líquido, conociendo de esa manera su pureza y la densidad aparente permite conocer el volumen que ocupa una masa conocida dentro de un espacio conocido, influyendo en el flujo; ambas características conceden elegir adecuadamente a los excipientes que acompañarán al principio activo, por ende de estos dependerá la forma farmacéutica del producto terminado.(25,26) De esta manera se desea promover el aprovechamiento de dicha raíz por la población.

### **1.3.Objetivos:**

#### **1.3.1. Objetivo general:**

Comparar seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, provenientes de la provincia de San Marcos, respecto a la calidad de inulina.

#### **1.3.2. Objetivos específicos:**

- Determinar cuantitativamente a la inulina del extracto acuoso de la raíz de seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” por espectrofotometría.
- Establecer el porcentaje de extracción de inulina mediante secado del extracto acuoso de la raíz de seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”.
- Determinar la diferencia de las características fisicoquímicas como punto de fusión y densidad aparente de la inulina obtenida a partir del secado del extracto acuoso de seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del estudio

##### **Internacionales**

**Escobar F (2017)**, realizó el estudio “Obtención de cristales de inulina a partir de cuatro variedades de plantas de cultivo no tradicional del Ecuador” a partir de extractos de raíces de jícama y meristemo de cabuya mediante un proceso de difusión en agua. La cantidad de fructanos solubles para jícama fue de 14% y para cabuya de 37,5%; donde se determinó que las mejores condiciones de extracción para la jícama fueron 130 revoluciones por minuto (rpm), 75 °C, 1:5 Sólido-Líquido (S-L) y 25 min y para la cabuya fueron 80 °C, 300 rpm, 1:5 S-L y 100 min. En la caracterización de la inulina se demostró la presencia de una mezcla de fructanos. El Peso molecular medio de la inulina de jícama y cabuya fue 2 757 y 2 171 g/mol, respectivamente. Los extractos fueron identificados como inulina al comparar sus espectros IR con estándares comerciales.(27)

**Álvarez R et al (2019)**, realizaron la extracción y determinación del contenido de fructanos de tipo inulina del yacón (*Smallanthus sonchifolius*): esquema tecnológico para su producción industrial, se la determinó mediante un procedimiento estandarizado por Cromatografía Líquida de Alto Rendimiento (HPLC). 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. Se realizó el análisis económico a partir de una planta de 100 kg/día de procesamiento de materia

prima y se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de 200 005, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 40% y un tiempo de recuperación de la inversión de 19 meses.(28)

**Fernández Y, Villalobos J (2019)**, realizaron la investigación Obtención de inulina en tres formas de presentación a partir del *Smallanthus sonchifolius* “yacón” y *Opuntia ficus-indica* “tuna” donde el proceso de obtención de la inulina diluida, sirope y cristales se realizó por el método de extracción sólido (materia prima) – líquido (agua) en relación 1:5, por un tiempo de 25 min a una temperatura de 70 y 90°C, además de evaporación y cristalización. Luego se evaluó las características físico-químicas de las materias primas: peso, °Brix, humedad y pH. La identificación y cuantificación de la inulina se realizó mediante la aplicación del método de Park Johnson. El mayor contenido de inulina lo obtuvo el diluido de yacón con fue 8,96% a una temperatura de 90°C.(29)

**Pinango R (2019)**, en su investigación titulada extracción de inulina de dos variedades de *Tuna Opuntia ficus - indica* color roja y blanca del valle de Chota por Lixiviación. Se establecieron las condiciones adecuadas para la extracción de inulina cruda de tuna, mediante el proceso de extracción sólido – líquido a distintas temperaturas y volumen de solvente/soluto, pero al mismo tiempo y agitación. Se extrajo mayor cantidad de inulina a 85 °C y 4 mL/g, con las que se consiguió un rendimiento de 10,63 % para tuna roja y 10,83 % para tuna blanca, por lo que se concluye que se relaciona de manera positiva la temperatura y solvente/soluto con el porcentaje de extracción de inulina a partir de la tuna.(22)

**Garcés M, Velastegui J (2024)**, en su estudio Extracción, purificación y evaluación de inulina proveniente de la jícama (*Smallanthus sonchifolius*) y fruto de tuna (*Opuntia ficus*) en tres especies de microorganismos *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces boulardii*, y *Bifidobacterium longum*, tuvieron como objetivo la obtención de inulina a partir de la raíz de jícama y del fruto de tuna, con el fin de encontrar nuevas fuentes, se aplicaron dos métodos de extracción: extracción sólido - líquido el cual se basa en la trituración de la materia prima, seguido por la adición de buffer a temperaturas elevadas de 80 °C, y la extracción por ultrasonido el cual consistió en la aplicación de ondas sonoras de alta frecuencia a una temperatura de 60 °C. Se evaluó la influencia de la inulina proveniente de la tuna y la jícama en la velocidad de crecimiento y tiempo de generación de los microorganismos probióticos *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces boulardii*, y *Bifidobacterium longum*. Donde *Lactobacillus acidophilus* fue el que tuvo un menor tiempo de generación, tiempo de 6.80 minutos con la inulina proveniente de la jícama por el método de extracción de ultrasonido. Se determinó que el mejor tratamiento es la jícama con el método de extracción de ultrasonido debido a sus factores de operación.(30)

## **Nacionales**

**Ramos D (2019)**, en su estudio efecto de las condiciones ambientales sobre la conservación del contenido de inulina y fructooligosacáridos del yacón fresco (*Smallanthus Sonchifolius* [poepp. Y endl.] H. Robinson) en los andes tuvo como objetivo: determinar las condiciones de almacenaje del yacón fresco, a fin de que se conserve el contenido de fructooligosacáridos e inulina en cantidades similares al cosechado. El almacenamiento del yacón 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). Como resultados se indicó que el yacón 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 Fructooligosacáridos 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. Se concluyó 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.(31)

**Miraval R (2022)**, realizó el estudio Evaluación de la influencia de la maduración y el soleado de los tubérculos del yacón (*Smallanthus sonchifolius*), en el contenido de fructooligosacáridos (FOS) en el jarabe de yacón; donde el objetivo principal fue evaluar la influencia de la maduración y el soleado de los tubérculos del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en el contenido de FOS en el jarabe de yacón proveniente del distrito de Umarí, provincia de Pachitea de la región Huánuco. El estudio se elaboró de manera aplicada y experimental con una muestra de 36 kg de yacón. Los resultados mostraron que el exceso de sol afecta el valor porcentual de FOS presente en la composición química del yacón pese a presentar el mayor índice de maduración, observándose una relación entre la luminosidad y el aumento porcentual de FOS en los ensayos. Finalmente, el valor promedio del porcentaje de FOS para esta investigación fue de 33,29 %.(32)

## 2.2.Bases teóricas del objeto de estudio

### 2.2.1. *Smallanthus sonchifolius* “yacón”

#### 2.2.1.1. Descripción botánica.

Es una planta perenne que puede medir de 0,7 – 2,5 metros de alto, rara vez puede presentarse como arbustos o pequeños árboles y puede tener uno o varios tallos si es de semilla o propágulos respectivamente, a su vez alcanza a producir entre 2 – 3 kilogramos de raíces.(33,34)

El género se caracteriza por la superficie (con ligeras hendiduras) y forma del aquenio (radialmente engrosada y lateralmente comprimido), la nervadura foliar (casi siempre trinervadas o palmatilobuladas), presencia de un verticilio al exterior de las brácteas involucrales, la falta de glándulas en el ápice de las anteras y la forma de los pelos de la corola (con ápice agudo).(34)

- **Raíz tuberosa:** las raíces del yacón pueden ser de dos tipos: las fibrosas, estas son delgadas, fijan la planta al suelo y absorben nutrientes y las reservantes, las cuales son engrosadas, fusiformes, es la que usualmente sirve para el consumo humano, es de color blanco a crema y en ocasiones con manchas púrpuras, su apariencia de ovada a esférica o alargada puede cambiar dependiendo de la variedad, tipo de suelo, localidad entre otros; la cáscara es lisa y suele tener algunas hendiduras, está bien adherida a la pulpa, la cual es blanda porque se constituye de gran cantidad de agua (80 a 90 % del peso total). El peso de raíz va desde 50 a 1000 g.(33)

- **Tallos:** son de color verde y algunos con pigmentos purpura de forma cilíndrica pilosa y hueca. Existen de 4 a 12 tallos por planta.(33)
- **Hojas:** son opuestas de lámina triangular, tiene base hastada o corazonada con bordes dentados, los tallos llegan a tener 13 y 16 pares de hojas, pero después de la floración solo produce hojas pequeñas y en menor cantidad.(33)
- **Cepas:** es una masa de tejido de reserva con yemas que se forman entre los tallos y raíces, pueden dar lugar a brotes que reciben el nombre de corona y a partir de ellos obtener más plantas de yacón.(33)
- **Inflorescencia:** Existen dos tipos de flores: femeninas, también llamadas liguladas (amarillo intenso o anaranjado pálido, se encuentran alrededor del capítulo) y las masculinas (se forman en estambres, producen semillas en menor cantidad por eso tienen poco poder germinativo).(33)

En el Perú existen muchas especies del género *Smallanthus*, una de ellas es *sonchifolius* a la cual se le conoce como “yacón”, que se empezó a utilizar después de la conquista española, aunque el nombre común cambia según la zona y la lengua que se hable en ella (quechua o aimara); Llacon, Llacum, Llacuma, Yacumpi son en quechua, pero en países como Ecuador se lo conoce como Jicama, Chicama, Jiquima y Jiquimiquilla. Su taxonomía es la siguiente:(5,33)

**Tabla N° 1: Clasificación Taxonómica del yacón**

<b>Reino</b>	Plantae
<b>Sub – reino</b>	Embriofita
<b>Superclase</b>	Angiosperma
<b>Clase</b>	Dicotiledónea
<b>Orden</b>	Asterales
<b>Familia</b>	Astareceae (Compositae)
<b>Género</b>	<i>Smallanthus</i>
<b>Especie</b>	<i>S. sonchifolius</i>
<b>Nombre común</b>	yacón, llacón, aricoma, jicama.

**Fuente:** Mendez M, Mariel L. Purificación de fructooligosacáridos de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl) mediante técnicas cromatográficas(5)

#### **2.2.1.2. Distribución geográfica y condiciones para cultivo**

El yacón puede soportar temperaturas de 10 a 25 °C, desde lo templado a lo montañoso y crecer desde el nivel del mar hasta los 3500 msnm, por tal razón es una planta que puede ser cultivado en la costa, sierra y selva; se adapta a suelos de Oceanía, Europa y Asia, así como en Sudamérica que se cultiva desde Venezuela y Colombia hasta el norte de Argentina.(24,33,35) En el Perú crece en la zona andina, como Amazonas, Cajamarca, Cerro de Pasco, Huánuco y Puno figuran entre las principales, pero se tiene también a Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cusco, Junín, La Libertad, Lambayeque, Lima y Piura. En la región Cajamarca suele cultivarse en las provincias de Cajamarca, Contumazá, San Marcos, San Ignacio y Jaén.(33)

Al sembrar la raíz, se debe tener en cuenta que los suelos ubicados desde los 100 a 1 000 m.s.n.m. se recomienda para semilleros, ya que el rendimiento de raíces reservantes es bajo; mientras que aquellos de 1 100 a 2 500 m.s.n.m. (valles interandinos) son mejores para la producción. El cultivo requiere suelos francos, de buen drenaje, profundos, porosos y provistos de materia orgánica. El pH óptimo es de 6.0 a 7.5 pero tolera suelos ligeramente ácidos. Se debe evitar sembrar en suelos arcillosos y salinos.(35)

El cultivo de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” crece en óptimas condiciones a temperaturas de 14 °C – 20 °C, sin embargo, resiste temperaturas desde 10 °C hasta 25 °C, temperaturas menores a 10 °C retardan el crecimiento y disminuyen los rendimientos; temperaturas mayores a 26 °C, sin la humedad necesaria, la planta se estresa y detiene su desarrollo. Es susceptible a heladas y vientos fuertes y se desarrolla normalmente en un rango de 550 a 1 000 mm de lluvia anual.(35)

El yacón no demanda horas luz e intensidad de luz específica; no obstante, debe recibir como mínimo nueve horas de luz, además puede crecer junto a otras especies forestales que le generan sombra o también puede crecer recibiendo luz solar directa.(35) Es importante tener en cuenta que las raíces de yacón deben ser cortadas por el tallo, mas no arrancadas, ya que esto afectaría a la raíz, causándole heridas y por lo tanto podría contaminarse, así también debe dejarse con la tierra que se cosecha y no lavarse antes de transporte a manera de protección, además de evitar colocar peso excesivo sobre ellas.(36)

### 2.2.1.3. Composición Química:

Los tallos y hojas secas contienen proteínas (11% - 17%) y grasa (2% – 3%).(37)

Las raíces reservantes del yacón tienen bastante contenido de agua, el cual puede ser entre 83% y 90% del peso fresco de la raíz. La raíz de yacón contiene grandes cantidades de FOS, formando parte de 90% de los carbohidratos aproximadamente, además de que esta gran diversidad de azúcares que se acumulan son variables significativamente en cantidad según el ecotipo, y entre los que se encuentran en base seca: la inulina con 40% a 70 % aproximadamente, y en menor cantidad a la sacarosa (15%), fructosa (5% a 15 %) y glucosa (menos del 5 %), oligofructanos, trazas de almidón y oligosacáridos varios. Estos fructanos presentan un grado de polimerización de 3 a 10 unidades, y representan un 67% de la materia seca total de la raíz.(33,38,39)

La raíz reservante de yacón contiene cantidades pequeñas de proteínas (1,3% a 7.3%); grasa (0,4% a 1.0 %), fibra (1,0% – 5,7%) sobre base seca.(37) El yacón no contiene almidón aunque se han encontrado trazas hasta 0,04% en base seca, la cantidad de lípidos y proteínas es baja (2,4% a 4,3 % y 0,14% a 0,43% del peso en materia seca respectivamente). Los minerales que se encuentran son potasio (230mg/100g de materia seca comestible), hierro y magnesio. A su vez tienen poder antioxidante ya que contienen polifenoles como ácido clorogénico, varios derivados del ácido cafeico y otros como la quercetina, ácido ferúlico y ácido gálico.(33) A continuación, se presenta la composición química de las raíces reservantes de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” en promedio por 1Kg de raíz tuberosa fresca (Tabla N° 2):

**Tabla N° 2: Composición química de las raíces reservantes del yacón**

<b>Variable</b>	<b>Promedio</b>
Materia seca (g)	115
Carbohidratos totales (g)	106
Fructanos (g)	62
Glucosa libre (g)	3,4
Fructosa libre (g)	8,5
Sacarosa libre (g)	14
Proteínas (g)	3,7
Fibra (g)	3,6
Lípidos (mg)	244
Calcio (mg)	87
Fósforo (mg)	240
Potasio (mg)	2282

**Fuente:** Hurtado D. Determinación de la composición química proximal, carbohidratos totales, azúcares libres y fructanos del tipo inulina- fructooligosacáridos del yacón (33)

El contenido de los componentes de la raíz tuberosa del yacón puede variar dependiendo de la fecha de cosecha, territorio y cuidados, por ello en la tabla N° 3 se muestra la composición química del yacón en tres diferentes estadios de madurez. Para aquellos componentes que forman parte de la base seca del yacón, los carbohidratos son los de mayor contenido, ya que las cantidades de proteínas y grasa son bajas para todos los casos y son poco variables, por otro lado, el contenido de fibra fruta disminuye conforme madura la raíz.(39)

**Tabla N° 3: Composición química del yacón en tres estadios de madurez**

<b>Características (%)</b>	<b>Primera cosecha (En Floración)</b>	<b>Segunda cosecha (Dos meses de Floración)</b>	<b>Tercera Cosecha (Cuatro meses luego de floración)</b>
Humedad	81,8	82,32	81,34
Grasa (base seca)	0,24	0,23	0,17
Proteína (base seca)	2,69	2,77	2,63
Carbohidratos (base seca)	89,95	91,96	94,15
Fibra bruta (base seca)	4,08	3,37	1,34
Cenizas (base seca)	3,04	2,65	1,81
Sólidos solubles (°Brix)	14,2	15,4	16,2
pH	6,43	6,61	6,60
Acidez (exp. Ácido cítrico)	0,293	0,297	0,30
Azúcares reductores (exp. glucosa b.s)	5,5	7,54	30,79

**b.s:** base seca

**Fuente:** Rojas E. Optimización de la incorporación de Aloe vera en yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) mediante impregnación al vacío.(39)

El contenido de los azúcares en la raíz tuberosa de yacón, cambian por el tiempo de cosecha, y el estadio de madurez, mientras mayor sea la madurez de la raíz, mayor será la cantidad de fructuosa y glucosa, sobresaliendo el contenido de fructuosa, por ser unidad fundamental de los oligofructanos, como se aprecia en la tabla N°4.

**Tabla N° 4: Composición de los carbohidratos de la raíz reservante de yacón en diferentes estadios de maduración**

<b>Carbohidratos (base seca) %</b>	<b>Primera cosecha (Floración)</b>	<b>Segunda cosecha (Dos meses después de la floración)</b>	<b>Tercera cosecha (Cuatro meses después de la floración)</b>
Glucosa	0,72	1,89	3,41
Fructosa	5,60	8,25	26,93
Sacarosa	4,81	6,11	2,90
Oligofructanos	78,3	74,66	59,61

**Fuente:** Hurtado D. Determinación de la composición química proximal, carbohidratos totales, azúcares libres y fructanos del tipo inulina- fructooligosacáridos del yacón (33)

El Contenido de los azúcares en la raíz tuberosa de yacón, se muestra en la tabla N° 5.

**Tabla N° 5: Contenido de azúcares en la raíz tuberosa de yacón**

<b>Componentes</b>	<b>Contenido mg/g Peso seco</b>
Fructosa	350,1 ± 42,0
Glucosa	158,3 ± 28,6
Sacarosa	74,5 ± 19,0
GF2	60,1 ± 12,6
GF3	47,4 ± 8,20
GF4	33,6 ± 9,30
GF5	20,6 ± 5,20

GF6	25,8 ± 4,00
GF7	12,7 ± 4,00
GF8	9,6 ± 7,20
GF9	6,6 ± 2,30
Inulina	13,50 ± 0,40

**G**= glucosa. **F**= Fructosa. **GF**=glucosilfructuosa

**Fuente:** Rojas E. Optimización de la incorporación de Aloe vera en yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) mediante impregnación al vacío.(39)

El contenido de inulina de la raíz de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” puede cambiar por las condiciones climáticas, condiciones de cultivo, condiciones de suelo, así como del biotipo que se tenga, y las condiciones que estos presenten como se muestra en la tabla N° 6.(40)

**Tabla N° 6: Concentración de inulina de dos biotipos de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”**

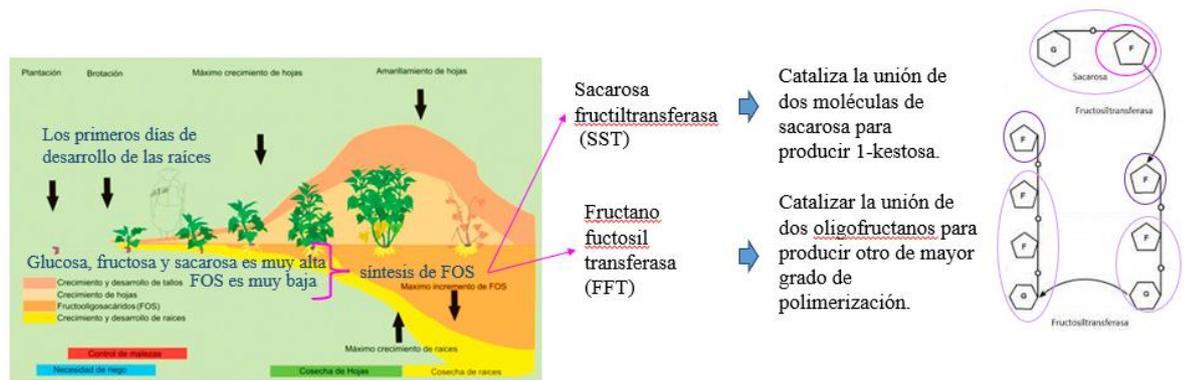
<b>Biotipo</b>	<b>Concentración, expresado en fructosa % (base húmeda)</b>	<b>Concentración, expresado en fructosa % (base seca)</b>
Blanco	13,29 ± 0,24	15,32 ± 0,24
Rojo	11,98 ± 0,97	13,61 ± 0,67

**Fuente:** Aguillón L, Valderrama A Extracción de inulina en dos biotipos de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” para su aprovechamiento industrial.(40)

#### **2.2.1.4. Cambios en la concentración de Fructooligosacáridos (FOS) de las raíces de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”**

La mayoría de propiedades del yacón se le atribuyen al contenido de fructooligosacáridos (FOS), sin embargo, la concentración de estos a lo largo del desarrollo cambia, interviniendo un control enzimático de la siguiente manera:(41)

A medida que la planta madura aumenta la concentración de FOS y posiblemente alcance su máximo valor en el estado senescente o un poco antes. Los primeros días de desarrollo de las raíces reservantes, la concentración de azúcares simples como glucosa, fructosa y sacarosa es muy alta y el de los FOS es muy baja, a medida que transcurren los días, intervienen dos enzimas que son las responsables de la síntesis de FOS; la primera es la sacarosa fructiltransferasa (SST), la cual cataliza la unión de dos moléculas de sacarosa para producir 1-kestosa (FOS más sencillo), misma que sirve de intermediario de FOS de mayor tamaño (mayor grado de polimerización); la segunda enzima es fructano fuctosil transferasa (FFT) y su función es catalizar la unión de dos oligofructanos para producir otro de mayor grado de polimerización.(41,42) Se muestra una modificación hecha por el autor de acuerdo al tema en la Figura N° 01.



**Figura N° 1: Síntesis enzimática de Fructooligosacáridos (FOS) de las raíces de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”**

**Fuente:** Tomado de Kortzarz A, Zannier M, Grau A. Variación estacional de azúcares de reserva en yacón cultivado en el pedemonte de Tucumán, y Sarup R, Rupinder F, Kennedy J. Recent insights in enzymatic synthesis of fructooligosaccharides from inulin, fue modificado por el autor del presente estudio.(43,44)

Cuando las raíces reservantes de yacón culminan la etapa de senescencia o son cosechados, comienzan a emerger los nuevos brotes y la concentración de FOS disminuye progresivamente, convirtiéndose en azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa), este proceso es activado por la enzima fructano hidrolasa (FH) la cual actúa liberando sucesivamente las moléculas de fructosa que se encuentran en posición terminas dentro de la cadena de FOS.(41)

### 2.2.1.5. Actividades farmacológicas de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”

Al yacón se le atribuye distintas propiedades beneficiosas para la salud, como la actividad antioxidante, la que se debe a compuestos fenólicos, es prebiótico, debido a los azúcares que contienen sus raíces reservantes, también es capaz de inhibir el crecimiento bacteriano fúngico y ayuda a prevenir o corregir el estreñimiento.(10,24,29)

Se ha demostrado que extractos metanólicos, butanólicos, clorofórmico o el té de hojas de yacón a partir de *Smallanthus sonchifolius*, aumenta los niveles de insulina en diabetes tipo 1 y tipo 2; sumado a los compuestos fenólicos que derivan del ácido clorogénico, como los ácidos altraricos, que se obtienen de hojas y raíces de yacón, quienes tienen la capacidad de inhibir la enzima  $\alpha$ -glucosidasa, responsable de la degradación del glucógeno a glucosa en los lisosomas, provocando que reduzca la glucosa en sangre y también a los carbohidratos que contiene (acción hipoglucemiante).(10,29) El ácido clorogénico también modifica de manera benéfica las concentraciones plasmáticas y hepáticas de colesterol y triglicéridos.(10)

Su contenido de fructanos le atribuye propiedades inmunomoduladoras, ya que no se hidrolizan por las enzimas del tracto digestivo humano, por lo que conserva su estructura original, debido a ello es considerada como fibra dietética, estas moléculas son fermentadas por las micro bacterias propias del intestino, transformándolas en ácidos grasos de cadena corta como el acetato, propionato, butirato, ácido láctico, dióxido de carbono e hidrógeno; el butirato que sirve como combustible para los enterocitos, desintoxica la mucosa intestinal de compuestos carcinogénicos, mientras que el acetato y el propionato, penetran en la sangre y pueden influir en el metabolismo de carbohidratos y lípidos.(10)

Se ha relacionado el consumo del yacón con la prevención del cáncer de colon, porque induce el crecimiento de bacterias probióticas como *Bifidus* y *Lactobacillus*, por el contenido de FOS e inulina, que modifica y equilibra la

microflora del tracto gastrointestinal e inhibir el establecimiento de bacterias patógenas y promueve la absorción de minerales como  $\text{Ca}^+$  y  $\text{Mg}^+$ , y metabolitos a nivel del tracto gastrointestinal, reduciendo el riesgo de osteoporosis ya que mejora la biodisponibilidad de calcio, previene la obesidad, incluso el cáncer; a su vez aumenta el porcentaje de fagocitosis a nivel de macrófagos, teniendo efecto sobre la respuesta inmune.(29)

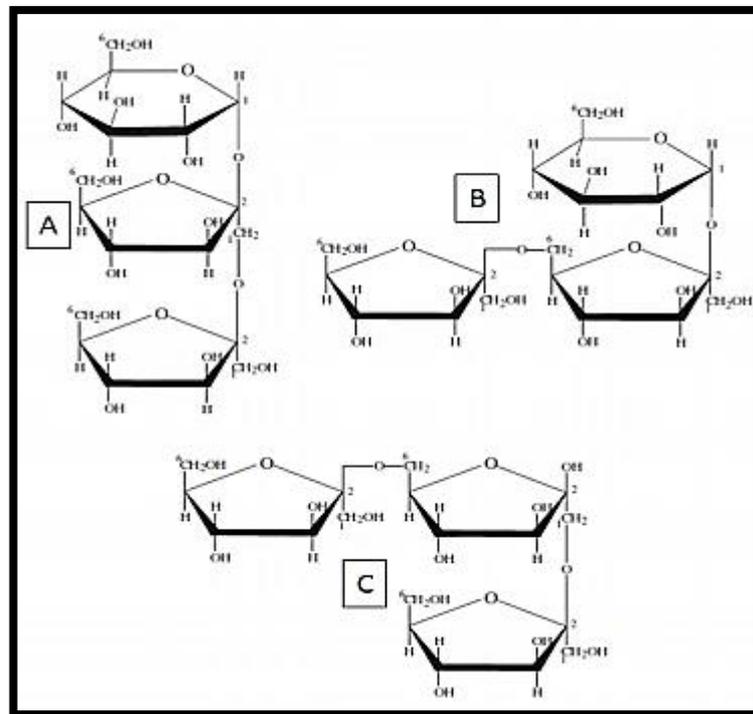
### **2.2.2. Fibra dietaria**

Según la Asociación Americana Internacional de Químicos de Cereal, identifica a la fibra dietaria como la porción comestible de las plantas y carbohidratos que son resistentes a la digestión y absorción del intestino delgado humano, sin embargo, pueden fermentar parcial o completamente en el intestino grueso. Por otro lado, el Codex Alimentarius o también llamado código de alimentos define a la fibra dietaria como el conjunto de polímeros de carbohidratos con diez o más unidades monoméricas no hidrolizables por enzimas endógenas en el intestino delgado e incluye polímeros muy importantes no digeribles de tres a nueve grados de polimerización, tales como la inulina, fructooligosacáridos, galactooligosacáridos, maltodextrinas resistentes, rafinosa y otros.(45)

### **2.2.3. Fructanos tipo inulina (FTI):**

Los fructanos están formados por polímeros de fructosa u oligosacáridos de fructosa específicamente son solubles en agua y no son azúcares reductores.(6,28) Existen fructanos lineares o ramificados, existiendo distintos tipos, diferenciándose principalmente por los tipos de enlaces con la fructuosa (glucosídicos y de residuo

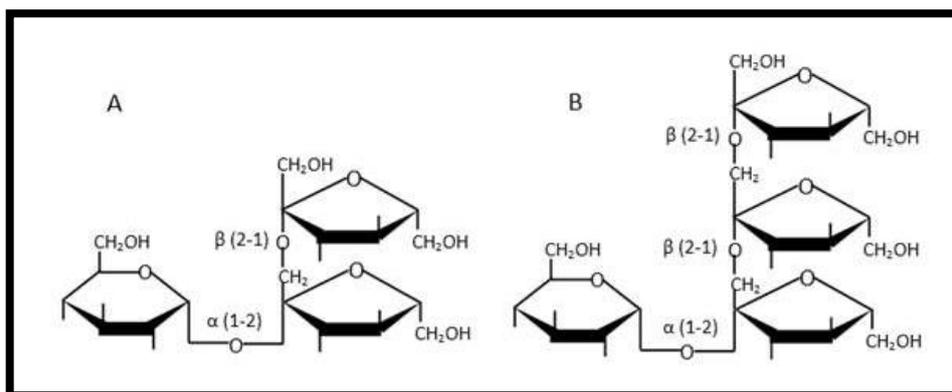
fructosil); los más conocidos son los tipos inulina (FTI) (Figura N°2), estos son de cadena lineal, donde las unidades de fructuosa están unidas por enlaces  $\beta$ -(2 $\rightarrow$ 1) fructosil fructuosa, son polímeros de fructosa en su forma  $\beta$ -D furanosa, pueden contener entre 2 y 106 unidades monosacáridas; y son muy comunes en plantas como agave, chicoria, raíces de dahlia, alcachofas y yacón; otro tipo son los levanos, son de cadenas lineales donde las unidades de fructuosa se encuentran unidas por enlaces  $\beta$ -(2 $\rightarrow$ 6) fructosil fructuosa, más comunes en algunas plantas monocotiledoneas (levanos de bajo peso molecular) y en gran parte de bacterias (levanos de gran peso molecular); y finalmente se tiene los gramíneos o mixtos, que cuentan con ambos tipos de enlaces  $\beta$ -(2 $\rightarrow$ 1) y  $\beta$ -(2 $\rightarrow$ 6) fructosil fructuosa y pueden presentar ramificaciones, se encuentran mayormente en hongos.(6,33)



**Figura N° 2: Estructura de los tres tipos de fructanos: A. Estructura 1 – Kestosa (inulina), B. Estructura 6 – Kestosa (levano), C. Fructano tipo mixto.**

**Fuente:** Hurtado D. Determinación de la composición química proximal, carbohidratos totales, azúcares libres y fructanos del tipo inulina- fructooligosacáridos del yacón (33)

Cuando los fructanos tipo inulina tienen cadenas cortas de moléculas de fructosa, sin un residuo de glucosa terminal, suelen nombrarse oligofruktosas; a diferencia de cuando presentan un residuo terminal de glucosa y un grado de polimerización (GP), generalmente entre 2 y 4 residuos de fructosa, se denominan fructooligosacáridos (FOS) mientras que los de cadena larga, que presentan un GP entre 10-60, en su conjunto se nombran inulina. Entre los fructooligosacáridos de cadena corta los más abundantes son: 1-kestosa (glucosa-fructosa-fructosa, GF2), nistosa (GF3), y 1- $\beta$ -fructofuranosil-nistosa (GF4) (Figura N° 3). Entre las principales propiedades de los FTI se encuentran su bajo poder edulcorante, que disminuye con el aumento del grado de polimerización, su bajo nivel de calorías y el hecho de ser seguros para el consumo como prebióticos.(33)



**Figura N° 3: Fructanos tipo inulina: A. (1 - kestosa), B. (Nistosa)**

**Fuente:** Monroy W. Determinación de inulina en once especies vegetales(6)

Los fructanos tipo inulina estimulan el crecimiento de bacterias probióticas y puede ser causado por sus productos de fermentación, como ácidos grasos de cadena corta. Para la mayoría de las cepas probióticas, los fructanos de tipo inulina con menor grado de polimerización conduce a un crecimiento más temprano de *Lactobacillus* y

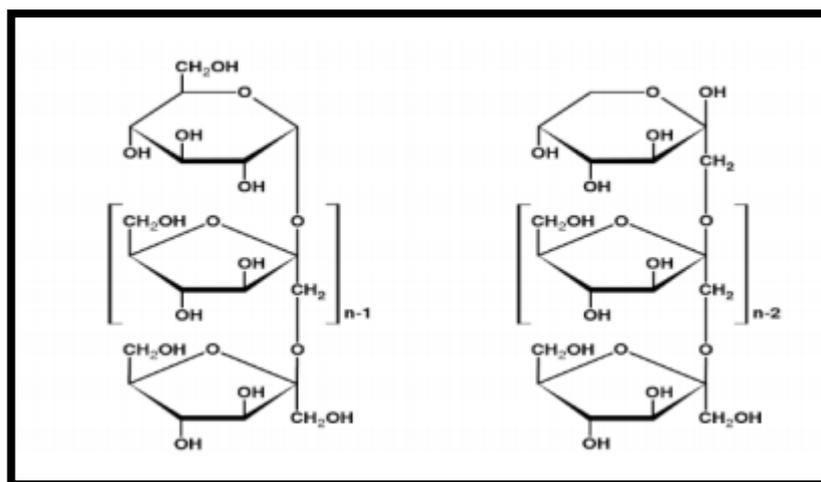
*Bifidobacterium* que los que tienen mayor grado de polimerización. Las inulinas de cadena más largas muestran un efecto prebiótico más pronunciado que afecta no solo probióticos en el colon proximal sino también en el colon distal.(46)

Los FTI cumplen con los criterios para ser clasificados como prebióticos:(47)

- Resistencia a la acidez gástrica, a la hidrólisis por enzimas de mamíferos, y a la absorción gastrointestinal.
- Fermentación por el microbiota intestinal.
- Estimulación selectiva del crecimiento y/o la actividad de microorganismos probióticos.
- Efecto beneficioso en la salud del huésped.
- Estabilidad a las condiciones de procesamiento de alimentos.

#### 2.2.3.1. **Inulina:**

La inulina es un carbohidrato de reserva energética presente en más de 36.000 especies de plantas, fue extraída por primera vez por el científico alemán Rose usando agua caliente en una planta denominada *Inula helenium* y la sustancia fue nombrada después inulina por Thomson en 1818. La inulina químicamente se ha definido como un material polidisperso de hidrato de carbono que está compuesto de cadenas de 25 a 30 moléculas de fructosa unidas por enlaces  $\beta$  (1-2) glucosídicos y terminada con una molécula de sacarosa (Figura N° 4).(22)



**Figura N° 4: Estructura básica de la inulina: Izquierda, con una molécula terminal de glucosa ( $\beta$ -D-glucopiranosil). Derecha con una molécula terminal de fructosa ( $\beta$ -D-fructopiranosil)**

**Fuente:** Cacuango P, Omar R. Extracción de inulina de dos variedades de tuna opuntia ficus-indica color roja y blanca del Valle del Chota por lixiviación.(22)

- **Características físicas y químicas de la inulina**

Los fructanos por su configuración química no pueden ser hidrolizados por las enzimas digestivas del hombre, ni de los animales, por lo que permanecen con la misma estructura en su recorrido por la parte superior del tracto gastrointestinal, pero son hidrolizados y fermentados en su totalidad por las bacterias de la parte inferior del tracto gastrointestinal (intestino grueso, colón). De esta manera, este tipo de compuestos se comportan como fibra dietética.(22)

A nivel industrial, la presentación de inulina es en polvo blanco, inoloro, de sabor neutro y sin impurezas, se pueden conseguir en polvo y en jarabe viscoso (75% de materia seca), ambos incoloros. La inulina nativa, a diferencia de la inulina HP (high performance) o de alta pureza, contiene azúcares libres

(glucosa, fructosa, sacarosa), lo que le confiere cierto dulzor (10% del dulzor de la sacarosa). La inulina de alta pureza es menos soluble que la inulina nativa, debido a la casi total ausencia de azúcares libres como glucosa, fructosa y sacarosa, correspondiente aproximadamente al 0,5 % de materia seca, como se puede apreciar en la tabla N° 7 (22,48). La inulina mejora la estabilidad de emulsiones y espumas, por lo que se usa como estabilizante en muchos alimentos (helados, salsas, untables, postres cremosos, etc.)(22)

**Tabla N° 7: Características fisicoquímicas de la inulina e inulina de alta pureza**

<b>Características</b>	<b>Inulina</b>	<b>Inulina de alta pureza</b>
Materia seca (g/100g)	95	95
Pureza (g/100g)	92	99,5
Azúcares (g/100g)	8	0,5
pH	5 – 7	5 -7
Cenizas (g/100g)	< 0,2	<0,2
Metales pesados (g/100g secos)	< 0,2	<0,2
Apariencia	Polvo blanco	Polvo blanco
Sabor	Neutral	Neutral
Dulzor % (vs. Sacarosa =100%)	10	Ninguno
Solubilidad en agua a 25 °C	120	125

**Fuente:** Madrigal L, Sangronis E. La inulina y derivados como ingredientes clave en alimentos funcionales.(22)

- **Propiedades y usos de inulina**

La inulina cuenta con distintas propiedades, por ello se aprovecha para diferentes usos, tanto para la industria alimentaria como la industria farmacéutica, sin realizar modificaciones de texturas.

En la industria alimentaria se usa como edulcorante, ya que tiene un aporte bajo en calorías, para aumentar la viscosidad y mejorar las propiedades de los alimentos, como las organolépticas y como fibra no digerible, brindándole a todos los alimentos donde es agregada, las propiedades que esta posee.(49)

En la industria farmacéutica se utiliza como excipiente en muchos medicamentos como tabletas, colaborador de vacunas al ser sustituyente de algunos azúcares carcinogénicos, al ser probiótico, también se utiliza para liberar fármacos en el intestino y para formulaciones de profármacos.(23) La inulina cobra mayor importancia en industria farmacéuticas al aumentar las defensas del sistema inmune ya que sirve de alimento a las bacterias con capacidades inmuno modulatorias por ser un fructano, dicho efecto es notorio en infantes lactantes o en personas de la tercera edad, al mejorar la absorción y acumulación de minerales como el calcio (mejora el metabolismo óseo en todas las edades por lo tanto mejoran la salud ósea y permite prevenir enfermedades como la osteoporosis), el magnesio, el zinc, el hierro y el cobre; mejora los niveles de hemoglobina en la sangre, los niveles de sulfuro disminuyen, aquellos producidos por la fermentación de proteínas que imposibilita su absorción, previene la anemia; además permite un control y hasta una disminución del índice de masa corporal, el peso corporal y la masa grasa del cuerpo.(23,42)

La inulina como toda fibra en una ingesta inadecuada puede provocar efectos perjudiciales para la persona, diferenciando los de menor grado de polimerización y los de mayor grado de polimerización o de cadena más larga que suelen ser más fáciles de tolerar. Los compuestos de menor grado de polimerización tienen efectos osmóticos, ya que aumentan la presencia de agua, favoreciendo el tránsito intestinal, también aumenta la producción de gases resultantes de la fermentación bacteriana en el colon; cabe mencionar que ingestas excesivas de inulina que no sean toleradas por el organismo pueden causar diarreas.(23)

### **2.3.Hipótesis**

Es diferente la calidad de inulina de las seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, San Marcos, en cantidad, porcentaje de extracción y características fisicoquímicas.

### **2.4.Variables**

Variable 1: accesiones de *Smallanthus Sonchifolius* “yacón”

Variable 2: cuantificación de inulina

Variable 3: porcentaje de extracción de inulina

Variable 4: punto de fusión

Variable 5: densidad aparente

**Operacionalización de variables:**

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable y escala de medición</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones/ categorías</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades de medida</b>	<b>Instrumento de evaluación/Fuente de información</b>
Variable 1: Accesiones de <i>Smallanthus Sonchifolius</i> “yacón”	Cualitativa, nominal	Muestra distinta, identificada con un código.	Muestra distinta de <i>Smallanthus sonchifolius</i> “yacón”, identificada con un código.	102, 103, 106, 107, 127 y 166	Los códigos usados para cada una de las accesiones	102, 103, 106, 107, 127 y 166	Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Innovación Agraria Cajamarca
Variable 2: Cuantificación de inulina	Cuantitativa, de razón	Expresión de manera numérica de la cantidad de inulina.	Cantidad de inulina que se encuentra en el extracto acuoso de raíz de <i>Smallanthus sonchifolius</i> “yacón”	Cuantificación de inulina	Expresión en peso/volumen	Concentración mg/mL	Espectrofotómetro
Variable 3: Porcentaje de extracción de inulina	Cuantitativa, de razón	Expresión de la cantidad de inulina obtenida en porcentaje.	Cantidad de inulina obtenida del extracto acuoso de raíz de	Porcentaje de extracción.	Expresión en porcentaje	Porcentaje m/m	Balanza analítica

			<i>Smallanthus sonchifolius</i> “yacón”.				
Variable 4: Punto de fusión	Cuantitativa, de razón	Temperatura en la que cambia de estado sólido a líquido.	Temperatura en que cambia a inulina de <i>Smallanthus sonchifolius</i> “yacón” de estado sólido a líquido.	Punto de fusión.	Expresión en °C	Temperatura °C	Capilar y termómetro
Variable 5: Densidad aparente	Cuantitativa, de razón	Relación entre el peso seco y el volumen, incluyendo huecos que contenga.	Relación entre el peso seco y el volumen, incluyendo huecos que contenga, la inulina extraída de <i>Smallanthus sonchifolius</i> “yacón”	Densidad aparente	Expresión en peso/volumen	g/mL	Probeta y balanza

## CAPÍTULO III:

### 3. MARCO METODOLÓGICO:

#### 3.1. Diseño y tipo de estudio.

Tomando en cuenta a Hernández R (2014), esta investigación fue no experimental, ya que no se tuvo grupo experimental y grupo control, además no se manipularon intencionadamente las variables para hacerlas variar, solo se observaron los fenómenos que ocurren naturalmente.(50)

El diseño de investigación de acuerdo a su temporalidad, según Liu (2008) y Tucker (2004), fue de carácter transversal, ya que la recolección de las raíces reservantes de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” y su análisis, se realizó en un solo momento (octubre de 2020), describiendo variables y analizando su relación.(50)

Es básica, ya que se contribuyó a los conocimientos científicos existentes y crear teorías, como lo menciona Hernández R (2014).(50)

#### 3.2. Población de estudio

Raíces reservantes frescas de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” provenientes del caserío de Cochamarca, centro poblado Paucamarca, provincia de San Marcos.

Se consideró a Cochamarca, ya que ahí se encuentra la zona experimental del Instituto Nacional de Investigación agraria (INIA) de Baños del Inca, perteneciente a la región de Cajamarca.

El caserío Cochamarca se encuentra ubicada al Sur - Este de la ciudad de Cajamarca con orientación al Distrito de Baños del Inca y Puyllucana en el Centro poblado: Paucamarca,

que comprende altitudes que van desde los 1500 hasta los 4100 m.s.n.m. y la humedad relativa es de 60-70% de acuerdo a la estación.(48)

### **3.3.Criterio de inclusión y exclusión**

#### **3.3.1. Criterios de inclusión**

- Raíces reservantes frescas de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” libre de contaminación microbiológica como hongos parásitos; que no hayan tenido picaduras, ni insectos.
- Raíces reservantes frescas de seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” cultivadas, cosechadas, correctamente identificadas en el Caserío Cochamarca.
- No se consideró el tiempo de cosecha, ni grado de maduración porque la especie ya estaba sembrada, en condiciones no controladas completamente, por lo que se buscó obtener resultados de la producción y cosecha propias de la zona.

#### **3.3.2. Criterios de exclusión**

- Raíces reservantes de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” con malas características organolépticas como olor, color, sabor.

### **3.4.Unidad de Análisis**

Extracto acuoso de las raíces reservantes frescas de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” de cada una de las seis accesiones (102, 103, 106, 107, 127 y 166).

### **3.5.Muestra**

160 g de raíces reservantes frescas de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” de cada una de las seis accesiones (102, 103, 106, 107, 127 y 166), cultivadas y cosechadas en el Caserío Cochamarca, Distrito de San Marcos, Provincia de San Marcos, Departamento de Cajamarca, identificadas por el INIA Cajamarca.

### **3.6.Técnicas a instrumentos de recolección de datos.**

Las fotográficas del procedimiento se muestran en el apéndice N° 4

#### **3.6.1. Preparación de extracto acuoso**

Las raíces reservantes de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” fueron seleccionadas para cada una de las accesiones teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión, de inmediato se trasladaron al Laboratorio Multifuncional de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca en octubre del año 2020; quedando almacenadas a temperatura ambiente. Al siguiente día, se lavaron con agua potable, luego fueron peladas y troceadas.(51,52)

Se usó el método de extracción sólido – líquido, el cual se fundamenta en que el solvente caliente llegue a introducirse en el soluto triturado, transfiriendo sus componentes hacia la solución, durante un tiempo determinado(27), como lo narra Arango O et al (2008)(52); además de precipitar la inulina con etanol de 96°(51).

Para la extracción de inulina se utilizó el método de extracción de fructanos con agua caliente, por ello el extracto acuoso se preparó por decocción, colocando en un matraz de

vidrio de 500 mL la cantidad de 160 g de trozos de las raíces de yacón, en 300 mL de agua destilada por 90 minutos en baño maría Memmert a 70 °C, se dejó enfriar y se agregó etanol de 96° (provocó la precipitación de inulina) en relación 1:1 con el volumen del extracto.(51)

### **3.6.2. Cuantificación de inulina como azúcares reductores**

Se utilizó el método espectrofotométrico de Park Johnson, por su precisión y sensibilidad para la cuantificación de azúcares reductores, se basa en la reducción del ferricianuro de potasio por los grupos aldehído de un carbohidrato y la formación subsiguiente de ferrocianida férrica (azul de Prusia) después de la adición de  $Fe^{3+}$ ; se usa un agente tensioactivo que contenga sodio (Reactivo A), para mantener el azul de Prusia en suspensión a fin de permitir su determinación colorimétrica.(53). Este método ha sido utilizado para las investigaciones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” por Álvarez F et al (2008) y Aguillón L, Valderrama A (2013)(40,51).

Los fructanos se extrajeron con agua caliente. Se utilizó el método de Park Johnson modificado por (Hizukuri, Takeda, Yasuda & Suzuki, 1981) para la cuantificación de inulina como azúcares reductores.(22) el cual consiste en obtener monosacáridos de glucosa y fructosa, a partir de la molécula inulina, mezclada con ácidos, en el presente estudio se utilizó el HCl 1M; los azúcares reductores luego se midieron usando el espectrofotómetro.(54)

Para aplicar el método en la elaboración de la curva patrón y cuantificación de inulina, se prepararon los reactivos estándares, para lo cual se usaron otros reactivos a concentraciones determinadas (Apéndice N° 3):(22,47,51)

- **Reactivo A:**

Solución de cianuro de potasio KCN (9,2 mM), carbonato de sodio Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (45 mM) y bicarbonato de sodio NaHCO<sub>3</sub> (109 mM).

Para la preparación del reactivo A, se pesó 14,98 mg de KCN; 119,24 mg de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y 228,927 mg de NaHCO<sub>3</sub>, todo se agregó a una fiola de 50 mL y se disolvió con agua destilada.

- **Reactivo B:**

Solución de ferricianuro de potasio K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> (1,5 mM).

Se pesó 12,344 mg de K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>, se agregó a una fiola de 25 mL y se disolvió con agua destilada.

- **Reactivo C:** Solución de sulfato férrico amoniacal (FeNH<sub>4</sub>(SO<sub>4</sub>))<sub>2</sub> (10,6 mM), ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (50 mM).

Se pesó 511,15 mg de (FeNH<sub>4</sub>(SO<sub>4</sub>))<sub>2</sub>, se agregó 275,51 µL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y se completó con agua destilada en una fiola de 100 mL.

- **Estándar de inulina:** 1 mg/mL.

▪ **Elaboración de la Curva Patrón a partir de inulina**

Se realizó la curva patrón a partir de inulina pura, para la cual se pesó 10 mg de inulina y se agregó agua destilada en una fiola de 10 mL y a partir de esta se tomaron distintas cantidades como se indica:(47)

Tubos	0	1	2	3	4	5
Sol. Inulina	0,1 mL	0,2 mL	0,4 mL	0,6 mL	0,8 mL	1 mL
Agua destilada	1 mL	0,8 mL	0,6 mL	0,4 mL	0,2 mL	0 mL
Reactivo A	0,5 mL					
Reactivo B	0,5 mL					
Se colocó los tubos en agua hirviendo durante 15 minutos						
Se enfrió los tubos en agua durante 10 minutos						
Reactivo C	0,5 mL					

Fuente: Madrigal y Sangronis, 2007

Luego se leyó la absorbancia a la longitud de onda de 715 nm en el espectrofotómetro UV/VIS Spectronic 20 modelo Genesys, colocando una cubeta dentro de él. Posteriormente mediante cálculos se determinó la concentración de inulina (Apéndice N° 1 : Curva patrón a partir de inulina).(22)

A continuación se siguió el siguiente esquema por triplicado, para la cuantificación de inulina como azúcares reductores en el extracto de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”: Se

tomó 15 mL de cada extracto en tubos de ensayo, luego se los hidrolizó al agregar a cada uno 5 mL de HCl 1M.(33)

Muestras						Blanco del sistema
I (102)	II (103)	III (106)	IV (107)	V (127)	VI (166)	
Extracto 1mL	Extracto 1mL	Extracto 1mL	Extracto 1mL	Extracto 1mL	Extracto 1mL	-
Reactivo A 0,5 mL	Reactivo A 0,5 mL	Reactivo A 0,5 mL	Reactivo A 0,5 mL	Reactivo A 0,5 mL	Reactivo A 0,5 mL	Reactivo A 0,5 mL
Reactivo B 0,5 mL	Reactivo B 0,5 mL	Reactivo B 0,5 mL	Reactivo B 0,5 mL	Reactivo B 0,5 mL	Reactivo B 0,5 mL	Reactivo B 0,5 mL
Todos los tubos se colocaron en agua hirviendo por 15 minutos. Luego se enfriaron con agua durante 10 minutos.						
Reactivo C 2,5 mL	Reactivo C 2,5 mL	Reactivo C 2,5 mL	Reactivo C 2,5 mL	Reactivo C 2,5 mL	Reactivo C 2,5 mL	Reactivo C 2,5 mL
Los tubos se dejaron reposar a temperatura ambiente durante 20 minutos.						
Se colocó parte de la solución en una cubeta y se leyó la absorbancia a 715 nm en el espectrofotómetro UV/VIS Spectronic 20 modelo Genesys.						

Se usó la siguiente fórmula para hallar la concentración de inulina:

$$C = \frac{Abs\ muestra - b}{m}$$

Donde:

C = concentración

b = intercepto.

m = pendiente de la curva de calibración.

### 3.6.3. Extracción de inulina

Tomando en cuenta a Fuentes M et al (2013), se procedió a la extracción de la inulina, mediante el secado de una solución a temperaturas controladas, obteniendo finalmente cristales(27,42)

Del precipitado obtenido en el paso anterior (3.6.1), se procedió a separarlo del medio acuoso, a través del secado, dicho procedimiento se realizó por triplicado, en el que se colocó 300 mL de extracto acuoso a calentar en baño maría Memmert a 70 °C hasta concentrar el líquido hasta la cuarta parte aproximadamente.(42,52) La solución obtenida fue distribuida sobre cápsulas de porcelana para luego llevarlas a la estufa Memmert de secado a la temperatura constante de 70 °C ± 2°C durante el tiempo necesario (14 días) hasta evaporar todo el líquido y obtener los cristales de inulina (polvo de color marrón oscuro), los cuales se pesaron en la balanza analítica: Ohaus Modelo Explorer, para conseguir el porcentaje de rendimiento experimental de las seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”. Para hallar el porcentaje de extracción de inulina, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Extracción (m/m)} = \frac{\text{Peso obtenido experimentalmente (g)}}{\text{Peso de la raíz en el extracto (g)}} \times 100$$

### 3.6.4. Caracterización de los cristales obtenidos.

El producto de la extracción de la inulina, dio como resultado cristales, los cuales fueron sometidos a los ensayos de densidad aparente y punto de fusión.(52)

#### **3.6.4.1. Densidad aparente apelmazada:**

El método de la densidad aparente se fundamenta en el valor obtenido en g/mL de una masa conocida de muestra y el volumen ocupado por ella, sin eliminar la porosidad.

Se pesó la cantidad de cristales de inulina extraída; se colocaron en una probeta de vidrio y se realizó la lectura del volumen que ocupa sobre una superficie plana (para lograr la acomodación de las partículas, se golpeó levemente la base de la probeta en la mesa). Se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$daa = \frac{m (g)}{vf (mL)}$$

Donde:

- m = masa

- vf = volumen final del polvo

#### **3.6.4.2. Punto de fusión**

El punto de fusión permite identificar cristales, determinar la pureza, la calidad y la temperatura de conservación de un producto, ya que un sólido al ser sometido a calor en una temperatura determinada, pasa a estado líquido, sin descomponerse.

Se tomaron 0,2 g de cristales de inulina obtenidos en el paso (3.6.6), se pulverizaron con una espátula, se colocaron dentro de un capilar (paredes finas de 1 o 2 mm de diámetro y cerrados por un extremo). El sólido ocupó medio centímetro como máximo, para acomodar la muestra se golpeó con cuidado el capilar por el extremo cerrado en la superficie de la mesa de trabajo, para que llegara hasta el fondo, y quede firmemente empaquetada dentro del capilar.

Se unió el capilar al bulbo del termómetro y se lo colocó dentro de un vaso de precipitación de 250 mL, el cual contuvo la cantidad de agua suficiente para cubrir el capilar. Se calentó el baño lentamente y se observó la temperatura a la que la fusión comienza y se completa.

### **3.7. Procesamiento y análisis de datos**

Luego de obtener los resultados, se procedió a analizarlos usando el método estadístico ANOVA y cuando fue necesario se aplicó la prueba post hoc Duncan que permitió la comparación de las medias de los grupos a analizar. La distribución normal de los datos de las variables numéricas se valoró a través de la prueba estadística Shapiro – Wilk. Se consideró una  $p < 0,05$  como estadísticamente significativo, se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS versión 23.

El análisis de los resultados se realizó en base a la información estadística, antecedentes y marco teórico enfocado en comprobar lo planteado en la hipótesis.

### **3.8. Consideraciones éticas**

La presente investigación se realizó mediante el empleo de una especie vegetal teniendo en cuenta el cuidado de la biodiversidad, políticas, planes y normas para el ordenamiento, aprovechamiento y conservación de las especies de plantas medicinales silvestres propuestas por el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Instituto Nacional de Medicina Tradicional (INMETRA), el Colegio Químico Farmacéutico del Perú y el colegio de Biólogos del Perú según indica la Ley N° 27300 – Ley de Aprovechamiento sostenible de plantas medicinales.(55)

### **3.9.Dificultades y limitaciones para el estudio**

La mayor dificultad para el desarrollo del trabajo de investigación fue respecto a que era tiempo de pandemia (2020), sin embargo, se lograron los permisos correspondientes y el personal mínimo necesario para el uso del laboratorio multifuncional de la UPAGU. Sin embargo, se tuvieron algunas limitaciones en el conocimiento de grado de maduración, tiempo de cosecha, número de veces de regadío de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta la cantidad de inulina por cada accesión de *Smallanthus sonchifolius* "yacón", dichos datos son importantes, ya que podría predecir el rendimiento de cristales de inulina. En la Tabla N° 8, se puede apreciar que la accesión 106 obtuvo un valor mayor de 14,87 mg/mL y la accesión 102 un valor menor de 9,34 mg/mL, con valores cercanos para las otras accesiones estudiadas. Al someter estos datos a la prueba estadística ANOVA, se determinó el valor de  $p < 0,05$ ; lo cual indicó que existe diferencia significativa entre ellos, por eso se utilizó una prueba post hoc (Duncan) que comparó las medias de los resultados, en el que se evidenció que cada dato es diferente estadísticamente para las accesiones 102, 106, 127 y 166; excepto para las accesiones 103 y 107 que se agruparon en un mismo lugar, no presentado diferencias significativas en cantidad de inulina.

**Tabla N° 8: Cantidad de inulina por accesión de *Smallanthus sonchifolius* "yacón", expresado en concentración (mg/mL), por medio del método de espectrofotometría**

Accesión de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón"	102	103	106	107	127	166
Concentración de Inulina (mg/mL)	9,34	10,85	14,87	10,99	11,46	12,93

$p < 0,05$

Tomando en cuenta la (Tabla N°8), Álvarez P et al (51) obtuvieron cantidades de 7,86% de inulina, expresado en gramos (g) para el extracto hidrolizado, al igual que Aguillon L,

Valderrama A (40) quienes estudiaron dos biotipos de yacón: blanco y rojo, donde obtuvieron 15,32% y 13,61% de inulina en base seca respectivamente, también Fernández Y, Villalobos J (29) obtuvieron 8,96% de inulina en dilución a 90 °C, usando para la cuantificación de fructanos como azúcares reductores el método de Park-Johnson modificado por Hizukuri y col; así mismo Álvarez R (28) al realizar la extracción y determinación de fructanos tipo inulina (FTI) por cromatografía HPLC, obtuvo el 18% como rendimiento; para todas los estudios mencionadas, las cantidades de inulina, superan a las accesiones de la presente investigación.

Algunas razones por las cuales la inulina de las accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” estudiadas disminuyó, puede haberse debido a las condiciones en las que fueron tratadas las raíces antes y después de su recolección, así pues las raíces del estudio hecho por Álvarez P et al (51), se cultivaron y cosecharon en un terreno costero, cercano al nivel del mar (Jardín Botánico del Instituto Nacional de Salud), donde sus condiciones fueron conocidas y controladas, empleando agua potable para el riego durante tres veces a la semana, favoreciendo a su calidad y seguridad, además de que fueron conservadas bajo sombra y en refrigeración; y también mencionan al tiempo de almacenamiento de las raíces como posible responsable de la baja de inulina, debido a la actividad metabólica intrínseca de las raíces, por su dependencia enzimática, para convertirse en azúcares simples (sacarosa, fructosa, glucosa); asimismo que las cantidades de inulina en las raíces podría en alguna forma relacionarse con la calidad del suelo y las condiciones ambientales. Así mismo Ramos D (31) menciona que para obtener mayor cantidad de oligofructanos, las raíces deben ser procesadas inmediatamente después de ser recolectadas, de lo contrario conviene colocarse en un lugar seco y bajo sombra o ser refrigeradas, al mejorarse las condiciones de conservación se evitará su degradación, ya que rápidamente empieza el proceso de

conversión de oligofruktanos a azúcares simples y después de una semana la cantidad de oligofruktanos puede disminuir en un 30 a 40%. Aguilón L, Valderrama A (40), menciona a la edad vegetativa de la planta en el momento de la cosecha como un cambio en la cantidad de inulina, dado que a mayor edad vegetativa, mayor será la degradación de los azúcares disminuyendo el contenido de inulina.

Otro aspecto importante que puede haber influido en la disminución de la concentración (mg/mL) de inulina en todas las accesiones, es el clima, ya que *Smallanthus sonchifolius* “yacón” es susceptible a heladas, las cuales se reportaron hasta un mes antes de su cosecha y según Cabrera R et al (35) en el Manual de Manejo Agronómico del Yacón del Instituto Nacional Agrario (INIA), el cultivo crece en condiciones óptimas en temperaturas de 14 °C a 20 °C; temperaturas menores a 10 °C podrían retrasar su crecimiento y rendimiento (FOS, entre ellos a la inulina), y temperaturas mayores a 26 °C, sin la humedad necesaria provocan que la planta se estrese y a su vez detiene su desarrollo.

Se puede decir entonces que se obtuvieron resultados distintos entre accesiones, además respecto a otros estudios porque no se tuvieron los mismos cuidados para las accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, cosechadas y cultivadas en el Caserío de Cochamarca, ya que el regadío no estuvo controlado, e incluso puede haber existido escases de agua, por la época en que se encontraba (agosto - octubre), después de la recolección de accesiones, estas no se refrigeraron, fueron conservadas bajo sombra y a temperatura ambiente por un periodo aproximado de 20 horas hasta iniciar con el proceso de elaboración de extracto acuoso; además de que puede haber existido diferencia en la edad vegetativa entre accesiones y/o cantidad de enzimas presentes en cada una de ellas, las cuales se encargan

directamente de la síntesis y degradación de inulina, así pues la accesión 106 puede haber estado cerca a la etapa de senescencia, por ello obtuvo mayores resultados respecto a las otras accesiones.

El porcentaje de extracción para la obtención de cristales de inulina por la cantidad de cada extracto de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, se presentan en la Tabla N° 9, que al someterlos al análisis estadístico ANOVA, se determinó un valor de  $p < 0,05$ ; lo que nos indica que existe diferencia significativa entre la accesiones, no siendo igual el porcentaje de extracción entre ellas, por lo cual se realizó la prueba post hoc Duncan, la cual muestra un menor valor para la accesión 102 con 1,65 %, ascendiendo para la accesión 103 y 107 en las que no existe diferencia significativa con resultados de 2,38 % y 2,42 % respectivamente, para la accesión 127 aumenta a 2,63 % y en un último grupo se encuentran las accesiones 166 con 3,01 % y 106 con 3,11 %, siendo esta ultima la de mayor porcentaje, sin embargo no presenta diferencia significativa respecto a la accesión 166.

**Tabla N° 9: Porcentaje de extracción de inulina por accesión de *Smallanthus sonchifolius* "yacón", obtenido mediante el secado del extracto acuoso, expresado en porcentaje (%) m/m**

<b>Accesión de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón"</b>	<b>102</b>	<b>103</b>	<b>106</b>	<b>107</b>	<b>127</b>	<b>166</b>
<b>Porcentaje de extracción de inulina (%) m/m</b>	1,65	2,38	3,11	2,42	2,63	3,01

P<0,05

Para el porcentaje de extracción de inulina de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” (Tabla N° 9), se puede decir que de manera similar Fernández Y, Villalobos J (29) obtuvieron mayores resultados en porcentaje (%) de cristales, respecto a los cuantificados por el espectrofotómetro, debido a la diferencia de métodos utilizados, ya que el espectrofotómetro solo cuantifica los azúcares reductores dentro de una solución y el secado extrae de manera física a la inulina, el porcentaje de cristales de inulina conseguido en dicho estudio para el yacón fue de 74,67% a una temperatura de 90 °C y de 65,50% a la temperatura de 70°C de extracción, asimismo Escobar F (27) obtuvo al cristalizar la inulina la cantidad de 14,0%, por otro lado Arango O, et al (52) logró porcentajes de rendimiento de inulina por el método de secado del 17,3 % expresado en gramos; siendo mayores los resultados obtenidos en dichos estudios respecto a las accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, además también existe diferencia entre algunas de las accesiones con las que se trabajó.

De acuerdo a los resultados, esto se explica debido a que la concentración de fructooligosacáridos en la planta de yacón después de ser cosechada disminuye gradualmente y los azúcares simples como: glucosa, fructosa y sacarosa, aumentan, dependiendo del control de las enzimas propias de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, según Seminario J et al (41); así pues podría ser por la enzima fructano hidrolasa (FH), encargada de la síntesis e hidrólisis de los Fructooligosacaridos (FOS) en azúcares simples, esta funciona liberando continuamente las moléculas de fructosa que se encuentran en posición terminal dentro de la cadena de los FOS, y según Ramos D (31), este proceso suele activarse dentro de la misma planta, con el fin de emplear los fructanos como fuente de energía para el rebrote; también puede llevarse a cabo en las raíces, después de la cosecha y cuando estas se conservan a temperatura ambiente, donde la Fructano hidrolasa convierte a los FOS en fructosa, sacarosa y glucosa, dando pase a la enzima invertasa para que rompa a la molécula

de sacarosa, obteniendo nuevamente fructosa y glucosa, reduciendo las cantidades de FOS del 30 al 40% porque estos fueron convertidos en azúcares más simples, teniendo en cuenta nuevamente a la edad vegetativa y de que de acuerdo a ello se tienen dichas enzimas, puede ser que las accesiones 106 y 166 quienes se ubicaron en un mismo grupo hayan sido las raíces reservantes más jóvenes o se hayan encontrado cerca al pico máximo de inulina.

Los resultados del punto de fusión de la inulina extraída a partir del extracto acuoso se presentan expresadas en temperatura (°C) en la tabla N°10, en donde las accesiones: 102, 103, 107 y 166 obtuvieron el mismo valor (79,33 °C) como punto de fusión, siendo la temperatura más baja y para las accesiones 106 y 127 el punto de fusión fue de 79,67 °C como las temperaturas más altas. Al aplicar la prueba estadística ANOVA muestra que  $p = 0,994$ , siendo  $p > 0,05$  por lo tanto se puede decir que los resultados no presentan diferencia significativa, siendo iguales en dicha característica.

**Tabla N° 10: Punto de fusión de la inulina por accesión de *Smallanthus sonchifolius* "yacón", expresado en Temperatura (°C)**

<b>Accesión de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón"</b>	<b>102</b>	<b>103</b>	<b>106</b>	<b>107</b>	<b>127</b>	<b>166</b>
<b>Punto de fusión de inulina (°C)</b>	79,33	79,33	79,67	79,33	79,67	79,33

$p=0,994$

Respecto a la caracterización de la inulina obtenida de las accesiones de *Smallanthus sonchifolius* "yacón" del punto de fusión (Tabla N° 10) y densidad aparente (Tabla N° 11) son iguales para todas las accesiones, pues no presentaron diferencia significativa. Así pues

Arango O et al (27) obtuvo resultados mayores (150 °C a 160 °C) para el punto de fusión de inulina nativa, el cual tampoco alcanzó al que se da teóricamente (165 - 180 °C); atribuyendo la disminución de temperatura en el punto de fusión a las impurezas que contiene (52), pues Pinango R (22) informó también que posee azúcares libres como glucosa, fructosa y sacarosa las que a su vez le confieren cierto dulzor; coincidiendo con Fuertes M (48) que también le atribuye a la inulina nativa impurezas, conteniendo azúcares libres como: glucosa, fructosa, sacarosa adquiriendo el dulzor mencionado; por otro lado Escobar F (27) determinó el punto de fusión de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” que comienza a 113 °C y culmina a 182 °C, con un mínimo relativo de 165 °C, atribuyendo esto al tamaño de la molécula, que habría entre 6 y 33 unidades de fructosa, además de que las cadenas de fructanos más cortas, comienzan a fundirse cuando las cadenas más largas aún se encuentran en forma sólida, datos que brindan información sobre la solubilidad y viscosidad que viene relacionada directamente con el grado de polimerización, por ello se podría decir que la inulina que se consiguió extraer de cada una de las accesiones en este estudio tuvo impurezas, lo cual pudo haber influido en la disminución del punto de fusión, conjuntamente de que en ella existieron moléculas con grados de polimerización menores de 33 unidades de fructosa, tomando importancia por las reacciones de la ingesta de inulina y sus derivados que menciona Lara M et al (23), así pues los de cadena corta pueden causar algunos efectos osmóticos, aumentando la presencia de agua, favoreciendo el movimiento del intestino, además de la producción de gases resultantes de la fermentación de bacterias en el colon, lo cual puede resultar negativo para algunos individuos, a diferencia de los de cadena larga que suelen ser mejor tolerados, sin embargo Ignat A (46) indica que los fructanos de tipo inulina con menor grado de polimerización conducen a un crecimiento adelantado de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* que aquellos con mayor grado de

polimerización, ya que estas muestran un efecto prebiótico más pronunciado que afecta no solo probióticos en el colon proximal sino también en el colon distal.

La Tabla N° 11 presenta los resultados de la densidad aparente de inulina, así pues, los valores van ascendiendo en el siguiente orden: 106, 127, 102, 107, 103 y 166, donde la accesión de *Smallanthus sonchifolius* "yacón" 106 (0,44 g/mL) obtuvo el valor menor, y la accesión 166 (0,51 g/mL) el valor mayor, y las accesiones 102 y 107 (0,49 g/mL) consiguieron el mismo valor; al aplicar la prueba ANOVA, el valor de  $p = 0,104$ , el cual  $p > 0,05$ , por lo tanto no existe diferencia significativa entre las accesiones para esta característica.

**Tabla N° 11: Densidad aparente de la inulina por accesión de *Smallanthus sonchifolius* "yacón", expresado en g/mL**

Accesión de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón"	102	103	106	107	127	166
Densidad aparente de inulina (g/mL)	0,49	0,50	0,44	0,49	0,48	0,51
p=0,104						

Respecto a la densidad aparente, Arango O et al (49) consiguió 1,10 g/mL la cual es mayor a los valores obtenidos en el presente estudio; por otro lado Ignat A (46) obtuvo para fructanos nativos  $0,441 \pm 0,02$  mg/mL, y Fuertes M (48) con el dato teórico de  $0,490 \pm 40$  g/mL para inulina de alta pureza de Inulina Berneo HP, datos semejantes a los resultados del presente estudio (Tabla N°8); esto puede estar relacionado a la cantidad de humedad en la muestra de *Smallanthus sonchifolius* "yacón", ya que a mayor humedad será

más fácil que se peguen unas partículas con otras, teniendo espacios intermedios entre ellas y por lo tanto mayores volúmenes en la probeta, a su vez la densidad será menor, también está vinculado al tamaño de la partícula y estructura según Ignat A (46), este mismo autor también menciona a la densidad con una relación directa al flujo de los cristales, menor densidad, será menor flujo y mayor densidad, mayor será el flujo; por lo tanto el flujo para todas las accesiones será igual, así mismo se le puede atribuir los datos obtenidos a la manipulación de la muestra, ya que la densidad aparente depende de la preparación, el tratamiento y el almacenamiento de la muestra, los cristales pueden compactarse de manera distinta, afectando al volumen que ocupa en la probeta, como lo confirma Molina I y Franco P (56), por ello se puede decir que todas las accesiones estudiadas se trataron de la misma manera en cuanto a manipulación, después de ser cosechadas, además de que existió la misma humedad todas las muestras de inulina, y de que existe similitud con el dato teórico de inulina de alta pureza, asegurando una buena características fisicoquímica.

La Tabla N° 12 presenta los resultados de comparación de la calidad de inulina en seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” para todos los parámetros, que al aplicar la prueba ANOVA, obtuvieron  $p < 0,05$  en concentración de inulina (mg/mL) y porcentaje de extracción de inulina (%) m/m, por lo tanto las accesiones presentaron diferencia significativa y para las características fisicoquímicas:  $p = 0,994$  en punto de fusión (°C) y  $p = 0,104$  en densidad aparente (g/mL), por lo cual para ambos casos las accesiones no presentaron diferencia significativa. Todos los resultados obtenidos se muestran en el apéndice N° 2.

**Tabla N° 12: Comparación de la calidad de inulina en seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”**

Parámetros de calidad de inulina	Accesión de <i>Smallanthus sonchifolius</i> "yacón"						Valor p*
	102	103	106	107	127	166	
Concentración de inulina (mg/dL)	9,34	10,85	14,87	10,99	11,46	12,93	< 0,05
Porcentaje de extracción de inulina (%) m/m	1,65	2,38	3,11	2,42	2,63	3,01	< 0,05
Punto de fusión de inulina (°C)	79,33	79,33	79,67	79,33	79,67	79,33	0,994
Densidad aparente de inulina (g/mL)	0,49	0,50	0,44	0,49	0,48	0,51	0,104

\* ANOVA de una vía

Finalmente al comparar seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, provenientes de la provincia de San Marcos, respecto a la calidad de inulina y contrastar la hipótesis de investigación: es diferente la calidad de inulina de las seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, San Marcos, en cantidad, porcentaje de extracción y características fisicoquímicas, esta se rechaza, ya que para los parámetros de calidad: concentración de inulina (mg/mL) y porcentaje de extracción de inulina (%) m/m son diferentes para las seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” y para los parámetros de: punto de fusión (°C) y densidad aparente (g/mL) como características fisicoquímicas son iguales. Siendo benéfico para salud pública porque con dichos conocimientos se permite avanzar en la combinación de los conocimientos empíricos sobre las plantas medicinales, y el avance de la tecnología para tenerlos como base en próximos estudios preclínicos y clínicos, que en conjunto con otras disciplinas (agronomía, farmacología, toxicología y tecnología farmacéutica), permitan introducir la medicina a base de plantas medicinales y sus productos, con calidad, brinden seguridad, eficacia, y sean accesibles a un menor costo.(9)

## CONCLUSIONES

- Al comparar seis accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, provenientes de la provincia de San Marcos, estas demostraron no ser diferentes, ya que obtuvieron resultados distintos en los parámetros de cantidad y porcentaje de extracción de inulina, y la accesión 106 mostró mayores valores respecto a ellos, sin embargo, para el parámetro características fisicoquímicas: punto de fusión y densidad aparente todas las accesiones fueron iguales.
- En cantidad de inulina, la accesión 106 (14,87 mg/mL) de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” obtuvo mayor valor, seguido de las accesiones 166 (12,93 mg/mL), 127 (11,46 mg/mL), 107 (10,99 mg/mL), 103 (10,85 mg/mL) y por último la accesión 102 (9,34 mg/mL) obtuvo el menor valor.
- Las accesiones 106 (3,11%) y 166 (3,01%) de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” obtuvieron los mayores valores en porcentaje de extracción de inulina ubicándose en un mismo lugar según la prueba post hot Duncan, seguidos de las accesiones 127 (2,63%), 107 (2,42%), 103 (2,38%) y la accesión 102 (1,65%) el menor valor.
- Para características fisicoquímicas: punto de fusión obtuvo los mayores valores con las accesiones 106 y 127 (79,67 °C) y los menores valores con las accesiones 102, 103, 107 y 166 (79,33 °C); respecto a densidad aparente el mayor valor lo obtuvo la accesión 166 (0,51 g/mL), seguido de las accesiones 103 (0,50 g/mL), 102 y 107 (0,49 g/mL), 127 (0,48 g/mL) y por último la accesión 106 (0,44 g/mL) con el menor valor. Todas las accesiones de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, mostraron ser iguales respecto a estas dos características.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de las accesiones *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, controlando la siembra, cultivo y cosecha, en tiempo, estación y regadío.
- Evaluar la concentración de inulina de *Smallanthus sonchifolius* “yacón”, utilizando equipos más modernos, que permitan obtener valores más exactos, respecto a la concentración de inulina.
- Ejecutar estudios preclínicos y clínicos que conlleven a la transformación de la inulina extraída en fitomedicamentos para la prevención o como coadyuvante de enfermedades.
- Al consumir la raíz directamente, que este sea fresco, para aprovechar los fructooligosacáridos como inulina, ya que al pasar el tiempo, este se deshidrata y obtiene azúcares simples.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. WIEWS - El Sistema Mundial de Información y Alerta Rápida sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura [Internet]. [citado 20 de diciembre de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/wiews/glossary/es/>
2. Carrión Jara AV, García Gómez CR. Preparación de extractos vegetales: determinación de eficiencia de metódica. 2010 [citado 13 de julio de 2020]; Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2483>
3. Hernández Rodríguez AI. Guía metodológica de investigación para el desarrollo de un fitomedicamento. [Internet]. La Habana: Editorial Ciencias Médicas, 2017 [citado 12 de septiembre de 2021];132-132. Disponible en:<http://fiadmin.bvsalud.org/document/view/vnm2f>
4. ScienceDirect. Hidrólisis: una visión general [Internet]. [citado 13 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/hydrolysis>
5. Mendez M, Mariel L. Purificación de fructooligosacáridos de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl) mediante técnicas cromatográficas. [Tesis de maestría en Scientiae en Tecnología de alimentos]. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2016 [citado 23 de junio de 2020]; Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2717>
6. Armas Ramos RA, Martínez García D, Pérez Cruz ER, Armas Ramos RA, Martínez García D, Pérez Cruz ER. Fructanos tipo inulina: efecto en la microbiota intestinal, la obesidad y la

- saciedad. Gaceta Médica Espirituana [Internet]. 2019 [citado 9 de julio de 2020];21(2):134-45. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1608-89212019000200134&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1608-89212019000200134&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
7. Manzano A C, Estupiñán G D, Poveda E E. Efectos clínicos de los probióticos: qué dice la evidencia. Rev. chil. nutr. [Internet]. 2012 [citado 10 de julio de 2020]; 39(1):98-110. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0717-75182012000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-75182012000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
  8. Organización Mundial de la Salud. Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023 [Internet]. Organización Mundial de la Salud; 2013 [citado 10 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/95008>
  9. Soria N. Las Plantas Medicinales y su aplicación en la Salud Pública. Revista de salud pública del Paraguay [Internet]. 2018 [citado 18 de enero de 2024]; 8(1):7-8. Disponible en: [http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2307-33492018000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2307-33492018000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
  10. Méndez LC, Pineda AMC. Yacón como planta promisoría en el manejo de enfermedades. Investigaciones Andina [Internet]. 2018. [citado 8 de julio de 2020]; 20(36):145-57. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/2390/239059788010/html/index.html>
  11. Durán Agüero S, Carrasco Piña E, Araya Pérez M. Alimentación y diabetes. Nutr. Hosp. [Internet]. 2012 [citado 24 de mayo de 2021]; 27(4):1031-6. Disponible en: Disponible en: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0212-16112012000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0212-16112012000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
  12. Vilcanqui-Pérez F, Vélchez-Perales C. Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. ALAN [Internet]. 2017 [citado 25 de mayo

- de 2021]; 67(2):146-56. Disponible en:  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0004-06222017000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0004-06222017000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=pt)
13. Salazar Ruiz EN, Márquez Sandoval YF, Vizmanos Lamotte B, Altamirano Martínez MB, Salgado Bernabé AB, Salgado Goytia L, et al. Asociación entre comportamiento alimentario e hipercolesterolemia-LDL en jóvenes universitarios. *Nutrición Hospitalaria* [Internet]. 2015 [citado 24 de mayo de 2021]; 31(6):2696-702. Disponible en:  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0212-16112015000600048&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0212-16112015000600048&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
14. García-Montalvo IA, Méndez-Díaz SY, Aguirre-Guzmán N, Sánchez-Medina MA, Matías-Pérez D, Pérez-Campos E, et al. Incremento en el consumo de fibra dietética complementario al tratamiento del síndrome metabólico. *Nutrición Hospitalaria* [Internet]. 2018 [citado 25 de mayo de 2021]; 35(3):582-7. Disponible en:  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0212-16112018000300582&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0212-16112018000300582&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
15. Instituto nacional de salud. *Medicina Tradicional* [Internet]. Perú: CENCI. [actualización: 14 de enero de 2024; citado 10 de septiembre de 2021]. Disponible en:  
<https://www.gob.pe/46189-instituto-nacional-de-salud-medicina-tradicional>
16. Duran Peña SM, Caramantín Soriano M del P, Schiappacasse Canepa F. Cuantificación de inulina y aislamiento e identificación de metabolitos secundarios desde la hierba de las marismas (*Selliera radicans. cav*) [Internet]. Universidad de Talca Chile Escuela de Agronomía; 2016 [citado 12 de septiembre de 2021]. Disponible en:  
<https://login.otalca.idm.oclc.org/login?url=http://dspace.otalca.cl/handle/1950/11200>

17. Meléndez Rentería NP, Aguilar CN, Nevárez Moorillón GV, Rodríguez Herrera R.  
Compuestos prebióticos: de las moléculas al ser humano. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología [Internet]. junio de 2011 [citado 10 de septiembre de 2021];31(1):6-12.  
Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1315-25562011000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1315-25562011000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
18. Castillo-Contreras O, Flores-Flores C. Mortalidad por enfermedades digestivas no neoplásicas en la población adulta del Perú, 2010 - 2015. Anales de la Facultad de Medicina [Internet]. enero de 2019 [citado 20 de diciembre de 2020];80(1):39-44. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1025-55832019000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1025-55832019000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
19. Mansilla R, López C, Flores M, Espejo R. Estudios de la biología reproductiva en cinco accesiones de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) Robinson. Ecología Aplicada [Internet]. julio de 2010 [citado 20 de diciembre de 2020];9(2):167-75. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1726-22162010000200012&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-22162010000200012&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
20. Gallegos-Zurita M. Las plantas medicinales: principal alternativa para el cuidado de la salud, en la población rural de Babahoyo, Ecuador. Anales de la Facultad de Medicina [Internet]. octubre de 2016 [citado 26 de diciembre de 2020];77(4):327-32. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/scielo.php> Duran Peña SM, Caramantín Soriano M del P, Schiappacasse Canepa F. Cuantificación de inulina y aislamiento e identificación de metabolitos secundarios desde la hierba de las marismas (*Selliera radicans*. cav) [Internet]. Universidad de Talca Chile, Escuela de Agronomía; 2016 [citado 12 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://login.otalca.idm.oclc.org/login?url=http://dspace.otalca.cl/handle/1950/11200>

17. Meléndez Rentería NP, Aguilar CN, Nevárez Moorillón GV, Rodríguez Herrera R.  
Compuestos prebióticos: de las moléculas al ser humano. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* [Internet]. 2011 [citado 10 de septiembre de 2021]; 31(1):6-12. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1315-25562011000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1315-25562011000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
18. Castillo-Contreras O, Flores-Flores C. Mortalidad por enfermedades digestivas no neoplásicas en la población adulta del Perú, 2010 - 2015. *Anales de la Facultad de Medicina* [Internet]. enero de 2019 [citado 20 de diciembre de 2020];80(1):39-44. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1025-55832019000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1025-55832019000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
19. Mansilla R, López C, Flores M, Espejo R. Estudios de la biología reproductiva en cinco accesiones de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) Robinson. *Ecología Aplicada* [Internet]. 2010 [citado 20 de diciembre de 2020]; 9(2):167-75. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1726-22162010000200012&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-22162010000200012&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
20. Gallegos-Zurita M. Las plantas medicinales: principal alternativa para el cuidado de la salud, en la población rural de Babahoyo, Ecuador. *Anales de la Facultad de Medicina* [Internet]. 2016 [citado 26 de diciembre de 2020]; 77(4):327-32. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1025-55832016000400002&lng=es&nrm=iso&tlng=es?script=sci\\_abstract&pid=S1025-55832016000400002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1025-55832016000400002&lng=es&nrm=iso&tlng=es?script=sci_abstract&pid=S1025-55832016000400002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
21. Boletín Farmacológico. Fitomedicamentos: lugar en la terapéutica desde la mirada farmacológica. [Internet]. Montevideo, Uruguay. 2021. [citado 29 de marzo de 2023].

Disponible en:

[https://www.boletinfarmacologia.hc.edu.uy/index.php?option=com\\_content&task=view&id=306&Itemid=91](https://www.boletinfarmacologia.hc.edu.uy/index.php?option=com_content&task=view&id=306&Itemid=91)

22. Cacuango P, Omar R. Extracción de inulina de dos variedades de tuna opuntia ficus-indica color roja y blanca del Valle del Chota por lixiviación. [Tesis para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial]. Ecuador: Universidad Técnica del Norte; 2019 [citado 17 de marzo de 2020]; Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9160>
23. Lara-Fiallos M, Lara-Gordillo P, Julián-Ricardo MC, Pérez-Martínez A, Benítez-Cortés I. Avances en la producción de inulina. Tecnología Química [Internet]. 2017 [citado 19 de agosto de 2020]; 37(2):352-66. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2224-61852017000200016&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852017000200016&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
24. Arnao I, Seminario J, Cisneros R, Trabucco J. Potencial antioxidante de 10 accesiones de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, procedentes de Cajamarca - Perú. An. Fac. Med. [Internet]. 2011 [citado 25 de junio de 2020]; 72(4):239-43. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1025-55832011000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1025-55832011000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
25. Sánchez-González EG, Vázquez-Olvera JI, Marroquín-Segura R, Contreras CE, Hernández-Abad VJ. Importancia de la investigación acerca del estado sólido durante las etapas iniciales del desarrollo de medicamentos. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas [Internet]. 2016 [citado 13 de marzo de 2023]; 47(3):7-28. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956611002>

26. Martín Islán Á, Molina Montes E. Polimorfismo farmacéutico. Offarm [Internet]. 2006 [citado 30 de marzo de 2023]; 25(8):94-100. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-polimorfismo-farmaceutico-13094132>
27. Escobar Ledesma FR. Obtención de cristales de inulina a partir de cuatro variedades de plantas de cultivo no tradicional del Ecuador [Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico]. Quito: Escuela Politécnica Nacional; 2017. [citado 2 de febrero de 2024]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17438>
28. Álvarez-Borroto R, González-Gavilánez HR, Montenegro-Cepeda AC. Extracción y determinación del contenido de fructanos del tipo inulina del yacón (*Smallanthus sonchifolius*): esquema tecnológico para su producción industrial. Tecnología Química [Internet]. 2019 [citado 9 de julio de 2020]; 39(1):37-48. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2224-61852019000100037&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852019000100037&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
29. Fernández Pérez YL, Villalobos Saucedo JE. Obtención de inulina en tres formas de presentación a partir del Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y la tuna (*Opuntia ficus – indica*). [Tesis para obtener el Título de Ingeniero Agroindustrial]. Puyo-Ecuador: Universidad Estatal Amazónica; 2019 [citado 31 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/881>
30. Velastegui Morales JH. Extracción, purificación y evaluación de inulina proveniente de la jícama (*Smallanthus sonchifolius*) y fruto de tuna (*Opuntia ficus*) en tres especies de microorganismos *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces boulardii*, y *Bifidobacterium longum* [Tesis para obtener el título de ingeniero biotecnólogo]. Ecuador: Universidad

Técnica de Ambato.; 2024 [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:

<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/40902>

31. Huallpartupa R, Juan D. Efecto 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. [Tesis de doctorado en Ciencia, Tecnología y medio ambiente]. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano; 2019; Disponible en: <http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12059>
  
32. Miraval Ayala RR. Evaluación de la influencia de la maduración y el soleado de los tubérculos del yacón (*Smallanthus sonchifolius*), en el contenido de fructooligosacáridos (FOS) en el jarabe de yacón. [Tesis para obtener el título de ingeniero agroindustrial]. Huánuco-Perú: Universidad Nacional Hermilio Valdizán; 2022 [citado 18 de marzo de 2024]; Disponible en: <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/7998>
  
33. Salvatierra Hurtado D. 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 para obtener el título de Licenciado en Química]. Lima-Perú: Universidad Privada Cayetano Heredia; 2015. [citado 18 de junio de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/668>
  
34. Dostert N, Roque J, Cano A, La Torre M, Weigend M. Datos botánicos de Yacón. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) Perú Biodiverso. [Internet] Lima; 2009 [citado 21 de junio de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/43178819\\_Factsheet\\_datos\\_botanicos\\_de\\_Yacon\\_Smallanthus\\_sonchifolius\\_Poepp\\_H\\_Rob](https://www.researchgate.net/publication/43178819_Factsheet_datos_botanicos_de_Yacon_Smallanthus_sonchifolius_Poepp_H_Rob)

35. Cabrera Pintado RM, Sánchez Jhong KJ, Linares Estrada A. Manual de manejo agronómico del yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson). [Internet]. INIA. Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria; 2019 [citado 27 de mayo de 2021].  
Disponible en:  
<https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/1056/1/Manual%20de%20manejo%200agron%C3%B3mico%20del%20yac%C3%B3n%20%28Smallanthus%20sonchifolius%20%28Poepp.%20%26%20Endl.%29%20H.%20Robinson%29..pdf>
36. Manrique I. Jarabe de yacón: Principios y procesamiento. [Internet]. Lima: International Potato Center, 2005. Disponible en:  
[https://books.google.com.pe/books?id=Isa0ST\\_j8gYC&printsec=copyright&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=Isa0ST_j8gYC&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
37. Lock O, Rojas R. Química y Farmacología de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. («Yacón»). Revista de Química [Internet]. 2005 [citado 8 de julio de 2020]; 19(1):31-5.  
Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/18728>
38. Boletín Biopat Perú [Internet]. Perú: INDECOPI. [citado 3 de julio de 2020]. Disponible en:  
<https://www.indecopi.gob.pe/web/invenciones-y-nuevas-tecnologias/boletin-biopat-peru>
39. Rojas Gutiérrez EL. Optimización de la incorporación de Aloe vera en yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) mediante impregnación al vacío. [Tesis de maestría en tecnología de alimentos]. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2015  
Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3012462>
40. Aguillón Rozo L, Valderrama Á. Extracción de inulina a partir de dos biotipos de yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) para su aprovechamiento industrial. Ingeniería de Alimentos

[Tesis para obtener el grado de Ingeniería de alimentos]. Bogotá: Universidad de LaSalle.2013; Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos/19638](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/19638)

41. Seminario J, Valderrama M, Manrique I. El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. [Internet]. International Potato Center. Perú; Universidad Nacional de Cajamarca, COSUDE; 2003 [citado 1 de febrero de 2024]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books/about/El\\_yacon.html?id=ELZkWwWekv4C&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/El_yacon.html?id=ELZkWwWekv4C&redir_esc=y)
42. Campos MEF, P LC, Guzmán BR. Extracción y caracterización de la inulina presente en los tubérculos de la Dahlia spp. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica [Internet]. 2013 [citado 21 de junio de 2020]; 16(31): 81-85. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11283>
43. Kortsarz G. AM, Zannier ML, Grau A. Variación estacional de azúcares de reserva en yacón cultivado en el pedemonte de Tucumán. Revista industrial y agrícola de Tucumán [Internet]. 2015 [citado 26 de agosto de 2024]; 92(2):17-22. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1851-30182015000200003&lng=es&nrm=iso&tIng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1851-30182015000200003&lng=es&nrm=iso&tIng=es)
44. Sarup R, Rupinder P, Kennedy J. Recent insights in enzymatic synthesis of fructooligosaccharides from inulin. International Journal of Biological Macromolecules [Internet]. 2016 [citado 26 de agosto de 2024]; 85: 565-572. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813016300277>
45. Calizaya- Mamani UG, Sotelo-Méndez AH, Chire-Fajardo GC, Calizaya-Mamani UG, Sotelo-Méndez AH, Chire-Fajardo GC. La fibra dietaria, importante componente

fisicoquímico: un caso peruano. *Tecnología Química* [Internet]. 2023 [citado 24 de enero de 2024];43(3):676-701. Disponible en:

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2224-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-)

[61852023000300676&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852023000300676&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

46. Ignot Gutiérrez A. Modificación de fructanos de agave (*Agave tequilana* Weber) mediante un método químico [Tesis de maestría en ciencias alimentarias]. Veracruz-Mexico: Universidad Veracruzana; 2019 [citado 9 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50804/IgnotGutierrezAnais.pdf?sequence=1&isAllowed=y><https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50804/IgnotGutierrezAnais.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
47. Monroy Rodríguez W. Determinación de inulina en once especies vegetales. [Título para obtener el título de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2014 [citado 21 de abril de 2020]; Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/429>
48. Fuertes Mantilla ME. Extracción y cuantificación de inulina a partir del ajo. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico]. Quito-Ecuador: Universidad Central de Ecuador;2014 [citado 1 de julio de 2021]; Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2868>
49. Mensink MA, Frijlink HW, van der Voort Maarschalk K, Hinrichs WLJ. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers* [Internet]. 2015 [citado 26 de septiembre de 2021]; 130:405-19. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861715004257>

50. Hernández- Sampieri R, Mendoza C. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta | RUDICS [Internet]. 2018 [citado 13 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
51. Álvarez F PP, Jurado T B, Calixto C M, Incio V N, Silva A J. Prebiótico Inulina/Oligofructosa en la raíz del Yacón (*Smallanthus sonchifolius*), fitoquímica y estandarización como base de estudios preclínicos y clínicos. Revista de Gastroenterología del Perú [Internet]. 2008 [citado 16 de marzo de 2020]; 28(1):22-7. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1022-51292008000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1022-51292008000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
52. Arango Bedoya O, Cuarán GP, Fajardo JC. Extraction, crystalization and characterization of inulin from yacon (*Smallanthus sonchifolius* (poepp. & endl.) For to be used in food and farmaceutic industry. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial [Internet]. 2008 [citado 13 de marzo de 2020]; 6(2):14-20. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1692-35612008000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612008000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
53. Porro M, Viti S, Antoni G, Neri P. Modifications of the Park-Johnson ferricyanide submicromethod for the assay of reducing groups in carbohydrates. Analytical Biochemistry [Internet]. 1981 [citado 20 de septiembre de 2021]; 118(2):301-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0003269781905868>
54. Manso OL, Alonso RL, Santos M, Giraldo GA. Optimización de la hidrólisis ácida de la inulina: Obtención de jugo fermentable para la producción de bioetanol. Ingeniería química [Internet]. 2005 [citado 13 de septiembre de 2021]; (423):199-203. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1182066>

55. Ley de aprovechamiento sostenible de las plantas medicinales. Ley 27300. Congreso de la República, (15 de junio de 2000). Disponible en:  
<http://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ambiente/ley27300.htm>
56. Molina I. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. WIEWS - El Sistema Mundial de Información y Alerta Rápida sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura [Internet]. [citado 20 de diciembre de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/wiews/glossary/es/>
2. Carrión Jara AV, García Gómez CR. Preparación de extractos vegetales: determinación de eficiencia de metódica. 2010 [citado 13 de julio de 2020]; Disponible en:  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2483>
3. Hernández Rodríguez AI. Guía metodológica de investigación para el desarrollo de un fitomedicamento. [Internet]. La Habana: Editorial Ciencias Médicas, 2017 [citado 12 de septiembre de 2021];132-132. Disponible en:  
<http://fiadmin.bvsalud.org/document/view/vnm2f>
4. ScienceDirect. Hidrólisis: una visión general [Internet]. [citado 13 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/hydrolysis>
5. Mendez M, Mariel L. Purificación de fructooligosacáridos de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl) mediante técnicas cromatográficas. [Tesis de maestría en Scientiae en Tecnología de alimentos]. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2016 [citado 23 de junio de 2020]; Disponible en:  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2717>

6. Armas Ramos RA, Martínez García D, Pérez Cruz ER, Armas Ramos RA, Martínez García D, Pérez Cruz ER. Fructanos tipo inulina: efecto en la microbiota intestinal, la obesidad y la saciedad. *Gaceta Médica Espirituana* [Internet]. 2019 [citado 9 de julio de 2020];21(2):134-45. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1608-89212019000200134&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1608-89212019000200134&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
7. Manzano A C, Estupiñán G D, Poveda E E. Efectos clínicos de los probióticos: qué dice la evidencia. *Rev. chil. nutr.* [Internet]. 2012 [citado 10 de julio de 2020]; 39(1):98-110. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0717-75182012000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-75182012000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
8. Organización Mundial de la Salud. Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023 [Internet]. Organización Mundial de la Salud; 2013 [citado 10 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/95008>
9. Soria N. Las Plantas Medicinales y su aplicación en la Salud Pública. *Revista de salud pública del Paraguay* [Internet]. 2018 [citado 18 de enero de 2024]; 8(1):7-8. Disponible en: [http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2307-33492018000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2307-33492018000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
10. Méndez LC, Pineda AMC. Yacón como planta promisoría en el manejo de enfermedades. *Investigaciones Andina* [Internet]. 2018. [citado 8 de julio de 2020]; 20(36):145-57. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/2390/239059788010/html/index.html>
11. Durán Agüero S, Carrasco Piña E, Araya Pérez M. Alimentación y diabetes. *Nutr. Hosp.* [Internet]. 2012 [citado 24 de mayo de 2021]; 27(4):1031-6. Disponible en: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0212-16112012000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0212-16112012000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

12. Vilcanqui-Pérez F, Vílchez-Perales C. Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. ALAN [Internet]. 2017 [citado 25 de mayo de 2021]; 67(2):146-56. Disponible en:  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0004-06222017000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0004-06222017000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=pt)
13. Salazar Ruiz EN, Márquez Sandoval YF, Vizmanos Lamotte B, Altamirano Martínez MB, Salgado Bernabé AB, Salgado Goytia L, et al. Asociación entre comportamiento alimentario e hipercolesterolemia-LDL en jóvenes universitarios. Nutrición Hospitalaria [Internet]. 2015 [citado 24 de mayo de 2021]; 31(6):2696-702. Disponible en:  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0212-16112015000600048&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0212-16112015000600048&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
14. García-Montalvo IA, Méndez-Díaz SY, Aguirre-Guzmán N, Sánchez-Medina MA, Matías-Pérez D, Pérez-Campos E, et al. Incremento en el consumo de fibra dietética complementario al tratamiento del síndrome metabólico. Nutrición Hospitalaria [Internet]. 2018 [citado 25 de mayo de 2021]; 35(3):582-7. Disponible en:  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0212-16112018000300582&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0212-16112018000300582&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
15. Instituto nacional de salud. Medicina Tradicional [Internet]. Perú: CENCI. [actualización: 14 de enero de 2024; citado 10 de septiembre de 2021]. Disponible en:  
<https://www.gob.pe/46189-instituto-nacional-de-salud-medicina-tradicional>
16. Duran Peña SM, Caramantín Soriano M del P, Schiappacasse Canepa F. Cuantificación de inulina y aislamiento e identificación de metabolitos secundarios desde la hierba de las marismas (*Selliera radicans*. cav) [Internet]. Universidad de Talca Chile, Escuela de

Agronomía; 2016 [citado 12 de septiembre de 2021]. Disponible en:

<https://login.atalca.idm.oclc.org/login?url=http://dspace.atalca.cl/handle/1950/11200>

17. Meléndez Rentería NP, Aguilar CN, Nevárez Moorillón GV, Rodríguez Herrera R. Compuestos prebióticos: de las moléculas al ser humano. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* [Internet]. 2011 [citado 10 de septiembre de 2021]; 31(1):6-12. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1315-25562011000100003&lng=es&nrm=iso&tIng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1315-25562011000100003&lng=es&nrm=iso&tIng=es)
18. Castillo-Contreras O, Flores-Flores C. Mortalidad por enfermedades digestivas no neoplásicas en la población adulta del Perú, 2010 - 2015. *Anales de la Facultad de Medicina* [Internet]. enero de 2019 [citado 20 de diciembre de 2020];80(1):39-44. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1025-55832019000100007&lng=es&nrm=iso&tIng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1025-55832019000100007&lng=es&nrm=iso&tIng=es)
19. Mansilla R, López C, Flores M, Espejo R. Estudios de la biología reproductiva en cinco accesiones de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) Robinson. *Ecología Aplicada* [Internet]. 2010 [citado 20 de diciembre de 2020]; 9(2):167-75. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1726-22162010000200012&lng=es&nrm=iso&tIng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-22162010000200012&lng=es&nrm=iso&tIng=es)
20. Gallegos-Zurita M. Las plantas medicinales: principal alternativa para el cuidado de la salud, en la población rural de Babahoyo, Ecuador. *Anales de la Facultad de Medicina* [Internet]. 2016 [citado 26 de diciembre de 2020]; 77(4):327-32. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1025-55832016000400002&lng=es&nrm=iso&tIng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1025-55832016000400002&lng=es&nrm=iso&tIng=es)

21. Boletín Farmacológico. Fitomedicamentos: lugar en la terapéutica desde la mirada farmacológica. [Internet]. Montevideo, Uruguay. 2021. [citado 29 de marzo de 2023].  
Disponible en:  
[https://www.boletinfarmacologia.hc.edu.uy/index.php?option=com\\_content&task=view&id=306&Itemid=91](https://www.boletinfarmacologia.hc.edu.uy/index.php?option=com_content&task=view&id=306&Itemid=91)
22. Cacuango P, Omar R. Extracción de inulina de dos variedades de tuna opuntia ficus-indica color roja y blanca del Valle del Chota por lixiviación. [Tesis para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial]. Ecuador: Universidad Técnica del Norte; 2019 [citado 17 de marzo de 2020]; Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9160>
23. Lara-Fiallos M, Lara-Gordillo P, Julián-Ricardo MC, Pérez-Martínez A, Benítez-Cortés I. Avances en la producción de inulina. Tecnología Química [Internet]. 2017 [citado 19 de agosto de 2020]; 37(2):352-66. Disponible en:  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2224-61852017000200016&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852017000200016&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
24. Arnao I, Seminario J, Cisneros R, Trabucco J. Potencial antioxidante de 10 accesiones de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, procedentes de Cajamarca - Perú. An. Fac. Med. [Internet]. 2011 [citado 25 de junio de 2020]; 72(4):239-43. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1025-55832011000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1025-55832011000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
25. Sánchez-González EG, Vázquez-Olvera JI, Marroquín-Segura R, Contreras CE, Hernández-Abad VJ. Importancia de la investigación acerca del estado sólido durante las etapas iniciales del desarrollo de medicamentos. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas

- [Internet]. 2016 [citado 13 de marzo de 2023]; 47(3):7-28. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956611002>
26. Martín Islán Á, Molina Montes E. Polimorfismo farmacéutico. Offarm [Internet]. 2006 [citado 30 de marzo de 2023]; 25(8):94-100. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-polimorfismo-farmaceutico-13094132>
27. Escobar Ledesma FR. Obtención de cristales de inulina a partir de cuatro variedades de plantas de cultivo no tradicional del Ecuador [Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico]. Quito: Escuela Politécnica Nacional; 2017. [citado 2 de febrero de 2024]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17438>
28. Álvarez-Borroto R, González-Gavilánez HR, Montenegro-Cepeda AC. Extracción y determinación del contenido de fructanos del tipo inulina del yacón (*Smallanthus sonchifolius*): esquema tecnológico para su producción industrial. Tecnología Química [Internet]. 2019 [citado 9 de julio de 2020]; 39(1):37-48. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2224-61852019000100037&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852019000100037&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
29. Fernández Pérez YL, Villalobos Saucedo JE. Obtención de inulina en tres formas de presentación a partir del Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y la tuna (*Opuntia ficus – indica*). [Tesis para obtener el Título de Ingeniero Agroindustrial]. Puyo-Ecuador: Universidad Estatal Amazónica; 2019 [citado 31 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/881>
30. Velastegui Morales JH. Extracción, purificación y evaluación de inulina proveniente de la jícama (*Smallanthus sonchifolius*) y fruto de tuna (*Opuntia ficus*) en tres especies de microorganismos *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces boulardii*, y *Bifidobacterium*

- longum* [Tesis para obtener el título de ingeniero biotecnólogo]. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.; 2024 [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:  
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/40902>
31. Huallpartupa R, Juan D. Efecto 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. [Tesis de doctorado en Ciencia, Tecnología y medio ambiente]. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano; 2019; Disponible en:  
<http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12059>
32. Miraval Ayala RR. Evaluación de la influencia de la maduración y el soleado de los tubérculos del yacón (*Smallanthus sonchifolius*), en el contenido de fructooligosacáridos (FOS) en el jarabe de yacón. [Tesis para obtener el título de ingeniero agroindustrial]. Huánuco-Perú: Universidad Nacional Hermilio Valdizán; 2022 [citado 18 de marzo de 2024]; Disponible en: <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/7998>
33. Salvatierra Hurtado D. 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 para obtener el título de Licenciado en Química]. Lima-Perú: Universidad Privada Cayetano Heredia; 2015. [citado 18 de junio de 2020]. Disponible en:  
<https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/668>
34. Dostert N, Roque J, Cano A, La Torre M, Weigend M. Datos botánicos de Yacón. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) Perú Biodiverso. [Internet] Lima; 2009 [citado 21 de junio de 2020]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/43178819\\_Factsheet\\_datos\\_botanicos\\_de\\_Yacon\\_Smallanthus\\_sonchifolius\\_Poepp\\_H\\_Rob](https://www.researchgate.net/publication/43178819_Factsheet_datos_botanicos_de_Yacon_Smallanthus_sonchifolius_Poepp_H_Rob)

35. Cabrera Pintado RM, Sánchez Jhong KJ, Linares Estrada A. Manual de manejo agronómico del yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson). [Internet]. INIA. Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria; 2019 [citado 27 de mayo de 2021].  
Disponible en:  
<https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/1056/1/Manual%20de%20manejo%20oagron%C3%B3mico%20del%20yac%C3%B3n%20%28Smallanthus%20sonchifolius%20%28Poepp.%20%26%20Endl.%29%20H.%20Robinson%29..pdf>
36. Manrique I. Jarabe de yacón: Principios y procesamiento. [Internet]. Lima: International Potato Center, 2005. Disponible en:  
[https://books.google.com.pe/books?id=Isa0ST\\_j8gYC&printsec=copyright&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=Isa0ST_j8gYC&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
37. Lock O, Rojas R. Química y Farmacología de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. («Yacón»). Revista de Química [Internet]. 2005 [citado 8 de julio de 2020]; 19(1):31-5.  
Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/18728>
38. Boletín Biopat Perú [Internet]. Perú: INDECOPI. [citado 3 de julio de 2020]. Disponible en:  
<https://www.indecopi.gob.pe/web/invenciones-y-nuevas-tecnologias/boletin-biopat-peru>
39. Rojas Gutiérrez EL. Optimización de la incorporación de Aloe vera en yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) mediante impregnación al vacío. [Tesis de maestría en tecnología de alimentos]. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2015  
Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3012462>

40. Aguillón Rozo L, Valderrama Á. Extracción de inulina a partir de dos biotipos de yacón (*Smallathus Sonchifolius*) para su aprovechamiento industrial. Ingeniería de Alimentos [Tesis para obtener el grado de Ingeniería de alimentos]. Bogotá: Universidad de LaSalle.2013; Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos/19638](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/19638). J S, M V, I M. El yacon: Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio [Internet]. International Potato Center; 2003. 61 p. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos/196](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/196)
41. Seminario J, Valderrama M, Manrique I. El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. [Internet]. International Potato Center. Perú; Universidad Nacional de Cajamarca, COSUDE; 2003 [citado 1 de febrero de 2024]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books/about/El\\_yacon.html?id=ELZkWwWekv4C&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/El_yacon.html?id=ELZkWwWekv4C&redir_esc=y)
42. Campos MEF, P LC, Guzmán BR. Extracción y caracterización de la inulina presente en los tubérculos de la Dahlia spp. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica [Internet]. 2013 [citado 21 de junio de 2020]; 16(31): 81-85. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11283>
43. Calizaya-Mamani UG, Sotelo-Méndez AH, Chire-Fajardo GC, Calizaya-Mamani UG, Sotelo-Méndez AH, Chire-Fajardo GC. La fibra dietaria, importante componente fisicoquímico: un caso peruano. Tecnología Química [Internet]. 2023 [citado 24 de enero de 2024];43(3):676-701. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2224-61852023000300676&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852023000300676&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

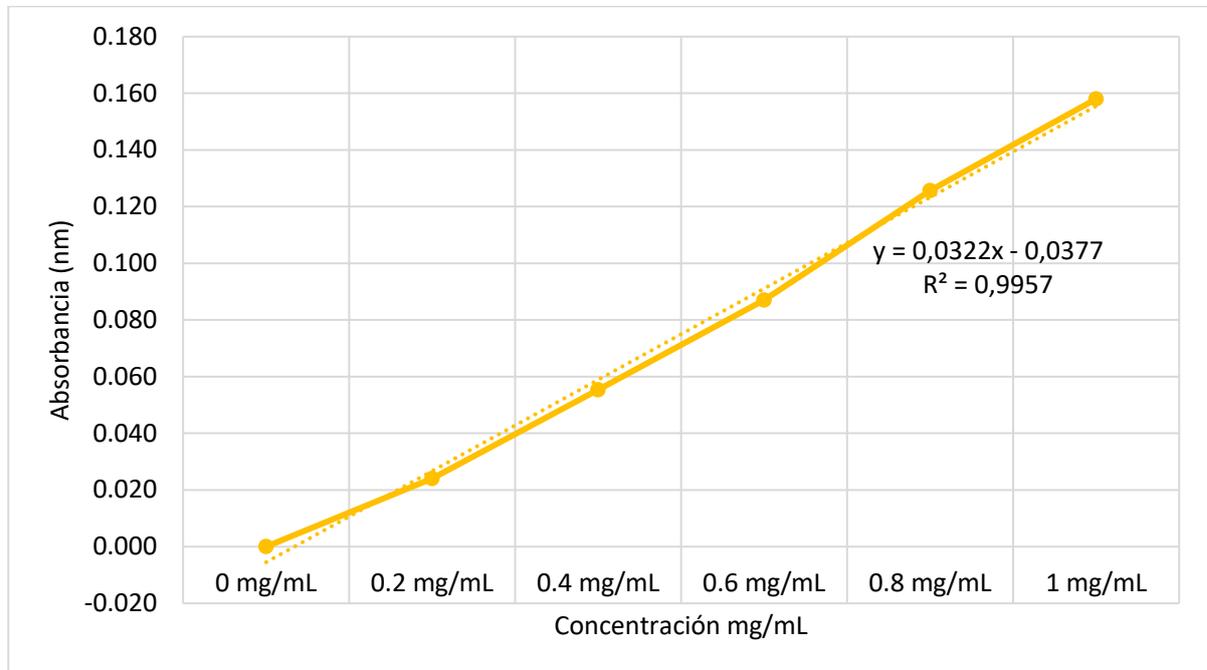
44. Ignó Gutierrez A. Modificación de fructanos de agave (*Agave tequilana* Weber) mediante un método químico [Tesis de maestría en ciencias alimentarias]. Veracruz-Mexico: Universidad Veracruzana; 2019 [citado 9 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50804/IgnóGutierrezAnais.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttps://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50804/IgnóGutierrezAnais.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
45. Monroy Rodríguez W. Determinación de inulina en once especies vegetales. [Título para obtener el título de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2014 [citado 21 de abril de 2020]; Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/429>
46. Fuertes Mantilla ME. Extracción y cuantificación de inulina a partir del ajo. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico]. Quito-Ecuador: Universidad Central de Ecuador;2014 [citado 1 de julio de 2021]; Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2868>
47. Mensink MA, Frijlink HW, van der Voort Maarschalk K, Hinrichs WLJ. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers* [Internet]. 2015 [citado 26 de septiembre de 2021]; 130:405-19. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861715004257>
48. Hernández-Sampieri R, Mendoza C. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta | RUDICS [Internet]. 2018 [citado 13 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
49. Arango Bedoya O, Cuarán GP, Fajardo JC. Extraction, crystalization and characterization of inulin from yacon (*Smallanthus sonchifolius* (poepp. & endl.) For to be used in food

- and farmaceutic industry. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [Internet]. 2008 [citado 13 de marzo de 2020]; 6(2):14-20. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1692-35612008000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612008000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
50. Álvarez F PP, Jurado T B, Calixto C M, Incio V N, Silva A J. Prebiótico Inulina/Oligofructosa en la raíz del Yacón (*Smallanthus sonchifolius*), fitoquímica y estandarización como base de estudios preclínicos y clínicos. *Revista de Gastroenterología del Perú* [Internet]. 2008 [citado 16 de marzo de 2020]; 28(1):22-7. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1022-51292008000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1022-51292008000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
51. Porro M, Viti S, Antoni G, Neri P. Modifications of the Park-Johnson ferricyanide submicromethod for the assay of reducing groups in carbohydrates. *Analytical Biochemistry* [Internet]. 1981 [citado 20 de septiembre de 2021]; 118(2):301-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0003269781905868>
52. Manso OL, Alonso RL, Santos M, Giraldo GA. Optimización de la hidrólisis ácida de la inulina: Obtención de jugo fermentable para la producción de bioetanol. *Ingeniería química* [Internet]. 2005 [citado 13 de septiembre de 2021]; (423):199-203. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1182066>
53. Ley de aprovechamiento sostenible de las plantas medicinales. Ley 27300. Congreso de la República, (15 de junio de 2000). Disponible en: <http://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ambiente/ley27300.htm>
54. Molina Muñoz IC, Franco Santamaría PA. Diseño y elaboración de lote piloto de un comprimido con extracto de milenrama (*Achillea millefolium* L.) por compresión directa.

[Tesis para obtener el título Químico Farmacéutico]. Bogotá-Colombia: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales; 2019. [citado 8 de julio de 2021]. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/1930>

## APÉNDICES

### Apéndice N° 1 : Curva patrón a partir de inulina



## Apéndice N° 2 Instrumentos de recolección de Datos

### Recolección de datos

La recolección de datos se realizó de la siguiente manera:

#### - Cuantificación de inulina

a. **Curva de calibración:** Se midió la absorbancia de cada concentración, la cual se realizó por triplicado.

Medida/ Concentración	0 mg/mL	0.2 mg/mL	0.4 mg/mL	0.6 mg/mL	0.8 mg/mL	1 mg/mL
1	0,000	0,024	0,056	0,087	0,128	0,154
2	0,000	0,025	0,053	0,088	0,125	0,167
3	0,000	0,023	0,057	0,086	0,124	0,153

b. **Absorbancias:** Para la cuantificación de inulina, de cada accesión se midió la absorbancia por triplicado.

Medida/Accesión	102	103	106	107	127	166
1	0,249	0,312	0,441	0,320	0,321	0,373
2	0,276	0,313	0,445	0,314	0,340	0,383
3	0,264	0,310	0,437	0,315	0,333	0,380

c. **Concentración:** Para obtener la concentración en mg/mL, se utilizó la siguiente fórmula:

$$C = \frac{Abs\ muestra - b}{m}$$

Donde:

b = intercepto.

m = pendiente de la curva de calibración.

<b>Concentración</b>	<b>102</b>	<b>103</b>	<b>106</b>	<b>107</b>	<b>127</b>	<b>166</b>
<b>mg/mL</b>						
<b>1</b>	8,90	10,86	14,87	11,11	11,14	12,75
<b>2</b>	9,74	10,89	14,99	10,92	11,73	13,07
<b>3</b>	9,37	10,80	14,74	10,95	11,51	12,97

También se obtuvieron los datos en g/mL

<b>Código de las accesiones</b>	<b>Concentración de</b>	<b>Concentración</b>
<b>de <i>Smallanthus</i></b>	<b>inulina (mg/mL)</b>	<b>inulina (g/mL)</b>
<b><i>sonchifolius</i> "yacón"</b>		
<b>102</b>	9,34	0,93
<b>103</b>	10,85	1,09
<b>106</b>	14,87	1,49
<b>107</b>	10,99	1,10
<b>127</b>	11,46	1,15
<b>166</b>	12,93	1,29

- **Porcentaje de extracción:** Se consiguió el porcentaje de extracción mediante el pesado del polvo obtenido (inulina) de cada accesión por triplicado, el cual se dividió con el peso de la raíz de *Smallanthus sonchifolius* “yacón” colocado para la preparación del extracto, manteniendo la concentración (53.3g), el resultado se multiplicó por 100.

Accesión	N° de medida	Volumen del extracto (mL)	Peso del polvo obtenido (g)	Inulina (g)/ peso de raíz en el extracto (mL)	% de extracción
<b>102</b>	1	100	1,6467	0,0165	1,65
	2	95	1,5959	0,0168	1,68
	3	100	1,6194	0,0162	1,62
<b>103</b>	1	100	2,3832	0,0238	2,38
	2	100	2,3986	0,0240	2,40
	3	80	1,8976	0,0237	2,37
<b>106</b>	1	100	3,0345	0,0303	3,03
	2	100	3,1938	0,0319	3,19
	3	93	2,8826	0,0310	3,10
<b>107</b>	1	100	2,4292	0,0243	2,35
	2	100	2,3540	0,0235	2,35
	3	90	2,2368	0,0249	2,49
<b>127</b>	1	94	2,4139	0,0257	2,57
	2	100	2,6468	0,0265	2,65
	3	100	2,6740	0,0267	2,67

<b>166</b>	<i>1</i>	97	2,8844	0,0297	2,97
	<i>2</i>	100	3,0664	0,0307	3,07
	<i>3</i>	100	3,0046	0,0300	3,00

- **Características:** Para calcular la densidad aparente apelmazada (g/mL) de la inulina, el peso (g) obtenido se dividió entre el volumen que ocupó en una probeta. El punto de fusión se obtuvo midiendo la temperatura en la que la inulina pasó de estado sólido a líquido (°C); todos los datos se tomaron por triplicado de cada accesión.

<b>Accesión</b>	<b>N° de medida</b>	<b>Peso del polvo obtenido (g)</b>	<b>Volumen del polvo (mL)</b>	<b>Densidad aparente apelmazada (g/mL)</b>	<b>Punto de fusión (°C)</b>
<b>102</b>	<i>1</i>	1,6467	3.5	0,47	79
	<i>2</i>	1,5959	3	0,53	81
	<i>3</i>	1,6194	3.5	0,46	78
<b>103</b>	<i>1</i>	2,3832	5	0,48	79
	<i>2</i>	2,3986	5	0,48	80
	<i>3</i>	1,8976	3.5	0,54	79
<b>106</b>	<i>1</i>	3,0345	7.5	0,40	80
	<i>2</i>	3,1938	7.5	0,43	80
	<i>3</i>	2,8826	6	0,48	79
<b>107</b>	<i>1</i>	2,4292	5	0,49	79
	<i>2</i>	2,3540	4.8	0,49	79
	<i>3</i>	2,2368	4.5	0,50	80
<b>127</b>	<i>1</i>	2,4139	5	0,48	79

	2	2,6468	5.5	0,48	79
	3	2,6740	5.5	0,49	80
<b>166</b>	1	2,8844	5.7	0,51	79
	2	3,0664	6	0,51	80
	3	3,0046	6	0,50	79

### Apéndice N° 3 : Preparación de reactivos

#### Preparación del reactivo A

- **Cianuro de potasio (KNC): 9,2 mM**

<p>Peso molecular (PM) = 65,12 g</p> $M = \frac{n}{V} = \frac{g/mol}{L}$ $M = \frac{g}{PM * L}$	<p>1 mol = 1000 mM</p> <p>X = 9,2 mM</p> <p>X = 0,0092 mol (M)</p>
<p><math>g = (M) (PM) L</math></p> <p><math>g = (0,0092 M) (65,12 g) (0,025 L)</math></p> <p><math>g = 0,01498 g</math></p>	<p>1g = 1000 mg</p> <p>0,01498 g = X</p> <p><b><u>14,98 mg = X</u></b></p>

- **Carbonato de sodio (NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>): 45 mM**

<p>Peso molecular (PM) = 105,99 g</p> $M = \frac{n}{V} = \frac{g/mol}{L}$ $M = \frac{g}{PM * L}$	<p>1 mol = 1000 mM</p> <p>X = 45 mM</p> <p>X = 0,045 mol (M)</p>
<p><math>g = (M) (PM) L</math></p> <p><math>g = (0,045 M) (105,99 g) (0,025 L)</math></p> <p><math>g = 0,11924 g</math></p>	<p>1g = 1000 mg</p> <p>0,11924 g = X</p> <p><b><u>119,24 mg = X</u></b></p>

- **Bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>): 109 mM**

<p>Peso molecular (PM) = 84,01 g</p> $M = \frac{n}{V} = \frac{g/mol}{L}$ $M = \frac{g}{PM * L}$	<p>1 mol = 1000 mM</p> <p>X = 109 mM</p> <p>X = 0,109 mol (M)</p>
<p>g = (M) (PM) (L)</p> <p>g = (0,109 M) (84,01 g) (0,025 L)</p> <p>g = 0,22893 g</p>	<p>1g = 1000 mg</p> <p>0,22893 g = X</p> <p><b><u>228,927 mg = X</u></b></p>

**PREPARACIÓN DEL REACTIVO B**

- **Ferricianuro de Potasio K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>**

<p>Peso molecular (PM) = 329,181 g</p> $M = \frac{n}{V} = \frac{g/mol}{L}$ $M = \frac{g}{PM * L}$	<p>1 mol = 1000 mM</p> <p>X = 1,5 mM</p> <p>X = 0,0015 mol (M)</p>
<p>g = (M) (PM) L</p> <p>g = (0,0015 M) (329,181 g) (0,25 L)</p> <p>g = 0,01234 g</p>	<p>1g = 1000 mg</p> <p>0,01234 g = X</p> <p><b><u>12,34429 mg = X</u></b></p>

## PREPARACIÓN DEL REACTIVO C

- **Sulfato férrico amoniacal (FeNH<sub>4</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>)**

<p>Peso molecular (PM) = 482,214 g</p> $M = \frac{n}{V} = \frac{g/mol}{L}$ $M = \frac{g}{PM * L}$	<p>1 mol = 1000 mM</p> <p>X = 10,6 mM</p> <p>X = 0,0106 mol (M)</p>
<p>g = (M) (PM) L</p> <p>g = (0,0106 M) (482,214 g) (0,1 L)</p> <p>g = 0,51115 g</p>	<p>1g = 1000 mg</p> <p>0,51115 g = X</p> <p><b><u>511,15 mg = X</u></b></p>

- **Ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (50 mM).**

<p>Peso molecular (PM) = 98,079 g</p> $M = \frac{n}{V} = \frac{g/mol}{L}$ $M = \frac{g}{PM * L}$	<p>1 mol → 1000 mM</p> <p>X ← 50 mM</p> <p>X = 0,05 mol (M)</p>
<p>g = (M) (PM) L</p> <p>g = (0,05 M) (98,079 g) (0,1 L)</p> <p>g = 0,4904 g</p>	$V = \frac{m}{D}$ $V = \frac{0,4904 \text{ g}}{1,83 \text{ g/mL}}$ <p>V = 0,27 mL</p>
<p>1mL → 1000 μL</p> <p>0,27 mL → X</p> <p>X = 270 μL</p>	<p>C1 x V1 = C2 x V2</p> <p>98% x V1 = 100% x 270 μL</p> <p><b><u>V1 = 275,51 μL</u></b></p>

Apéndice N° 4 : Fotografías de ejecución del trabajo de investigación

Figura N° 5: Recolección de muestra



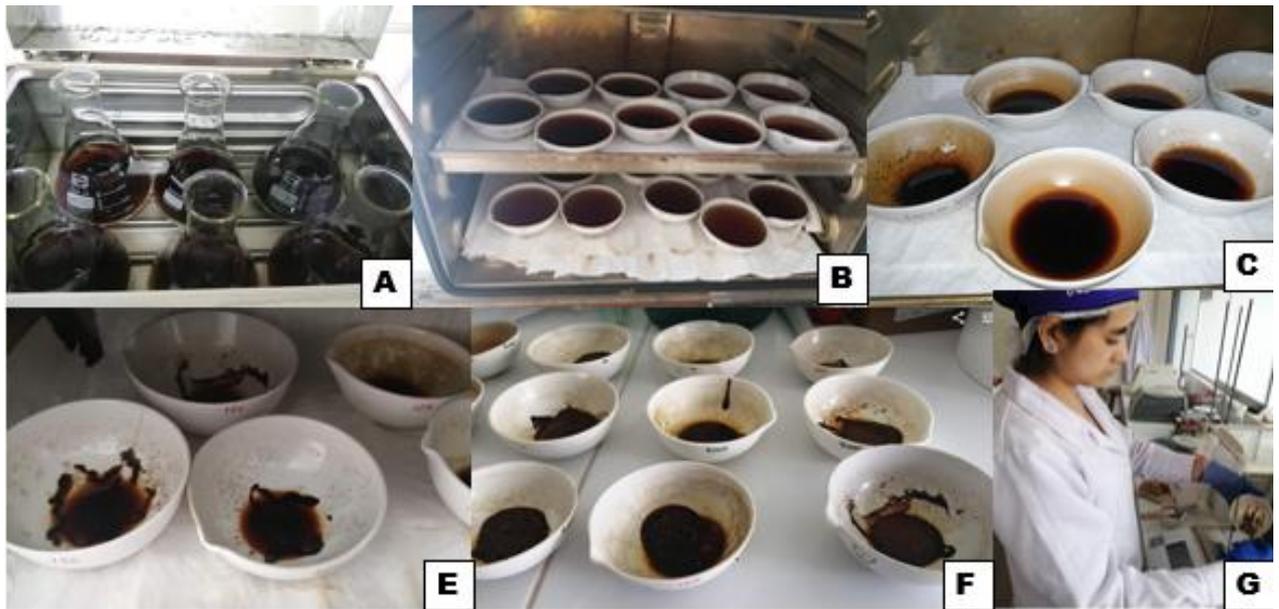
**Figura N° 6: Preparación del extracto acuoso**



**Figura N° 7: Cuantificación de inulina como azúcares reductores mediante el espectrofotómetro**



**Figura N° 8: Extracción de inulina**



**Figura N° 9: Caracterización de los cristales obtenidos**

