

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

Determinación de las propiedades funcionales y fisicoquímicos del epicarpio del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en tres variedades, para su uso como ingrediente funcional en la Agroindustria

Presentado por:

Nayda Karen Huamani Cahuana

Kevin Vargas Camacho

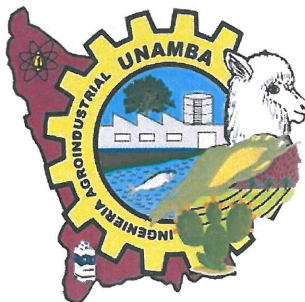
Para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL




TESIS

“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y FÍSICOQUÍMICOS DEL EPICARPIO DEL TOMATE DE ÁRBOL (*SOLANUM BETACEUM*) EN TRES VARIEDADES, PARA SU USO COMO INGREDIENTE FUNCIONAL EN LA AGROINDUSTRIA”

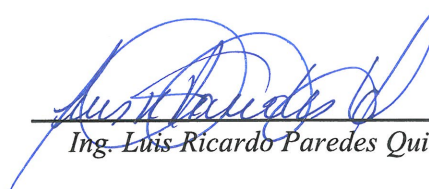
Presentado por **Nayda Karen Huamani Cahuana** y **Kevin Vargas Camacho**,
para optar el Título de **Ingeniero Agroindustrial**

Sustentado y aprobado el 10 de octubre del 2022 ante el jurado evaluador:

Presidente:


Ph. D Lucy Marisol Guanuchi Orellana


Primer Miembro:


Ing. Luis Ricardo Paredes Quiroz

Segundo Miembro:


Mg. Gladys Marilú Castro Pérez

Asesor (es):


MSc. Luis Fernando Pérez Falcon

Agradecimiento

Muchas gracias, a nuestro asesor MSc. Luis Fernando Falcon Pérez, por su apoyo, experiencia, paciencia, orientación, motivación, durante todo este tiempo.

Así mismo al Ing. Justo Arias Motta y a la Ing. Marilyn Juro Vargas, por su apoyo, accesibilidad, durante el proceso de la realización de la parte experimental de la tesis.

~Nayda Karen

A mis familiares; mamá, hermanos y hermanas que con su apoyo incondicional pude lograr esta meta que siempre anhelaba, ser el primer ingeniero de la familia.

A mis amigos y compañeros tanto de código como no, quienes hicieron mi vida universitaria la mejor que pude haber pedido.

A nuestro asesor MSc. Luis Fernando Falcon Pérez quien con sus sabios consejos supo guiarnos para sacar adelante nuestra tesis.

A mi querida Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac y mi Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial quienes me acogieron y me instruyeron de la mejor manera para ser un gran profesional con los mejores valores.

A Nayda Karen Huamaní Cahuana quien con su amor, paciencia y dedicación pudimos finalizar con nuestra meta de llegar a graduarnos como ingenieros juntos.

~Kevin



Dedicatoria

A mis queridos padres Juan Huamani Blas y Flora Cahuana Condori por su amor, apoyo incondicional, emocional y su constante motivación.

A mi hermana Kemberly Huamani Cahuana por su motivación y consejos.

~Nayda Karen

A mi tío José Sullca Huamán que, con su apoyo incondicional pude terminar la universidad.

A toda la plana de docentes de Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial que, con sus conocimientos impartidos, me formaron como un gran profesional que posee valores.

A mí, porque siempre creí desde muy pequeño que llegaría a ser grande en esta vida.

A Dios por protegerme en todo mi caminar y dejarme llegar a cumplir mi meta de ser ingeniero.

~Kevin



“Determinación de las propiedades funcionales y fisicoquímicos del epicarpio del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en tres variedades, para su uso como ingrediente funcional en la Agroindustria”

Línea de investigación:

Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la agroindustria

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema.....	4
1.2 Enunciado del Problema.....	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos.....	5
1.3 Justificación de la investigación.....	6
CAPÍTULO II	7
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
2.2 Hipótesis de la investigación.....	7
1.3.3 Hipótesis general	7
1.3.4 Hipótesis específicas.....	8
2.3 Operacionalización de variables.....	8
1.3.5 Definición de variables	8
CAPÍTULO III	11
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	11
3.1 Antecedentes	11
3.2 Marco teórico	13
3.2.1 Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>).....	13



3.2.2	Taxonomía del Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>).....	13
3.2.3	Características del fruto	14
3.2.4	Ecotipos de tomate de árbol	15
3.2.5	Importancia nutricional.....	16
3.2.6	Fibra dietética	17
3.2.7	Clasificación de la fibra dietética	18
3.2.8	Fibra dietética soluble (FDS).....	18
3.2.9	Componentes de la fibra dietética soluble (FDS).....	19
3.2.10	Fibra insoluble (FI)	20
3.2.11	Componentes de la fibra dietética insoluble (FDI).....	20
3.2.12	Cualidades físico-tecnológicas de la fibra dietética.....	20
3.2.13	Impacto fisiológico de la fibra dietética	22
3.2.14	Fermentación colónica.....	23
3.2.15	Velocidad del tránsito intestinal	24
3.2.16	Relevancias del consumo de fibra	24
3.2.17	Residuos de alimentos aprovechables como fibra dietética	25
3.2.18	Alimentos funcionales	25
3.2.19	Uso de la fibra en la elaboración de alimentos funcionales.....	25
3.2.20	Alimentos enriquecidos con fibra.....	26
3.2.21	Compuesto bioactivo	27
3.2.22	Espectrofotómetro infrarrojo (FTIR).....	27
3.2.23	Antioxidantes	29
3.2.24	Polifenoles totales	30
3.3	Marco conceptual	32
CAPÍTULO IV		33
METODOLOGÍA		33
4.1	Tipo y nivel de investigación	33
4.2	Diseño de la investigación.....	33



4.3	Población y muestra	33
4.3.1	Población	33
4.3.2	Muestra	33
4.4	Procedimiento.....	34
4.4.1	Flujograma para obtener las muestras a analizar.....	34
4.5	Técnica e instrumentos.....	36
4.5.1	Técnica.....	36
4.5.2	Materiales	47
4.6	Análisis estadístico.....	49
4.6.1	Técnicas estadísticas:.....	49
4.6.2	Factores y niveles:	49
4.6.3	Tratamientos:	49
4.6.4	Variables respuestas:	49
4.6.5	Nivel de significancia	52
CAPÍTULO V		53
RESULTADOS Y DISCUSIONES		53
5.1	Análisis de resultados.....	53
5.1.1	Análisis de resultados de las propiedades fisicoquímicas	53
5.1.2	Análisis de los resultados de las propiedades funcionales	60
5.1.3	Resultados del contenido de las propiedades bioactivas	67
5.1.4	Análisis de resultados del análisis por FTIR	69
5.2	Contrastación de hipótesis (si corresponde).....	73
5.2.1	Análisis de las hipótesis de las propiedades fisicoquímicas.....	73
5.2.2	Análisis de las hipótesis de las propiedades funcionales.....	77
5.2.3	Análisis de las hipótesis de la de determinación de compuestos bioactivos	81
5.3	Discusión.....	83
5.3.1	Discusión de las propiedades fisicoquímicas	83
5.3.2	Discusión de las propiedades funcionales	88



5.3.3	Discusión de compuestos bioactivos	92
CAPÍTULO VI	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
6.1	Conclusiones	96
6.2	Recomendaciones	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXOS	105



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Operacionalización de variables de las propiedades fisicoquímicos.....	9
Tabla 2 — Operacionalización de variables de las propiedades funcionales.....	10
Tabla 3 — Taxonomía del Tomate de árbol.....	13
Tabla 4 — Composición nutricional del Tomate de árbol.	17
Tabla 5 — Beneficios de los componentes de la fibra para la salud del organismo	23
Tabla 6 — Productos enriquecidos con fibra y sus características.....	26
Tabla 7 — Diseño estadístico DCA de los análisis preliminares.	50
Tabla 8 — Diseño completamente al azar con arreglo factorial.	51
Tabla 9 — Resultados de las propiedades fisicoquímicas en el epicarpio.	53
Tabla 10 — Rendimiento determinada en las tres variedades.....	60
Tabla 11 — Resultados de las propiedades funcionales.....	61
Tabla 12 — Resultados de las propiedades bioactivos.....	67



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Tomate de árbol ecotipo amarillo	15
Figura 2 — Tomate de árbol color anaranjado.....	15
Figura 3 — Tomate de árbol color rojo.....	16
Figura 4 — Bandas y picos de absorción del FTIR	28
Figura 5 — Diagrama de flujo para obtener la muestra a analizar.....	34
Figura 6 — Curva patrón para determinar polifenoles totales	44
Figura 7 — Curva patrón de la determinación de actividad antioxidante.....	45
Figura 8 — Análisis de los resultados de la determinación de proteína cruda.....	54
Figura 9 — Análisis de los resultados de la determinación de grasas.....	55
Figura 10 — Análisis de los resultados de la determinación de cenizas.....	56
Figura 11 — Análisis de los resultados de la determinación de humedad.....	57
Figura 12 — Análisis de los resultados de la determinación de carbohidratos totales	58
Figura 13 — Análisis de los resultados del contenido de fibra dietaria total.....	59
Figura 14 — Análisis de los resultados de la capacidad de retención de agua	61
Figura 15 — Análisis de los resultados de la capacidad de retención de aceite	63
Figura 16 — Análisis de los resultados de la capacidad de solubilidad.....	64
Figura 17 — Análisis de los resultados de la capacidad de hinchamiento.....	66
Figura 18 — Análisis de los resultados de la capacidad de antioxidante.....	68
Figura 19 — Análisis de los resultados de polifenoles totales.....	69
Figura 20 — Análisis de los picos hallados en el FTIR variedad amarilla	70
Figura 21 — Análisis de los picos hallados en el FTIR variedad anaranjada.....	71
Figura 22 — Análisis de los picos hallados en el FTIR variedad roja	72



INTRODUCCIÓN

El fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), también conocido como tomate francés, tomate cimarrón, tomate de palo, tomate de castilla, tomate de monte y tamarillo es oriundo de las zonas tropicales-andinas del Perú, que está compuesto por propiedades fitoquímicos y bioactivas que lo convierten en un producto altamente funcional (Torres 2012), pero aún no ha sido estudiado o investigado la cáscara de este fruto que viene a ser un subproducto con concentración de nitrógeno, fósforo y elevada concentración de agua convirtiéndose susceptible a degradaciones por bacterias, levaduras y otros microorganismos. Resultando ser un residuo de alta contaminación. Por tanto, es propicio tomarla en cuenta en investigarla, ya que se tiene antecedentes sobre la pulpa de este fruto que contiene propiedades regenerativas y nutricionales que pueden satisfacer la demanda de consumidores conscientes de la salud (Wang y Zhu 2020).

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la actualidad 15 millones de personas en el mundo entre las edades de 30 a 65 años de edad mueren cada año con enfermedades no transmisibles (ENT), lo que significa un 85 % de muertes prematuras en países con ingresos medios y bajos, principalmente debido al consumo inferior de 17 g/día de fibra dietética; existiendo un notable margen de diferencia para alcanzar al nivel sugerido por la ingesta de 2500 kcal/día que se debería consumir (De Las Mercedes Salas y Haros 2016). Por este motivo, en este estudio se busca cuantificar algunos componentes nutricionales y funcionales que pudieran convertir este subproducto en un ingrediente para ser usado en la formulación de productos altamente funcionales.

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de determinar sus propiedades fisicoquímicas, funcionales y bioactivas presentes en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado), de esta manera se busca generará un valor agregado para un subproducto que viene siendo desechado. De esta manera se promoverá su cultivo y consumo de este fruto, maximizando su uso al utilizar su epicarpio en la formulación de productos agroindustriales que puedan generar un impacto favorable en la salud de los consumidores, así mismo en la economía de muchos agricultores que producen este fruto, que nos han heredados nuestros antepasados.



RESUMEN

La importancia de buscar un mundo más sostenible, hace que se investiguen más alternativas alimenticias que busquen reducir los desechos generados por la industria alimentaria, por ello hoy en día se estudian los residuos (cáscara) de diferentes frutas y verduras que, poseen cantidades apreciables de compuestos funcionales y bioactivos que pueden mejorar el estado de salud de la población. El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar las propiedades fisicoquímicas, funcionales y bioactivas en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos (rojo, amarilla y anaranjado) presentes en la región de Apurímac. Los resultados respecto a las propiedades fisicoquímicas que más resaltan son el contenido de proteína y fibra dietaria total que reportó promedios de 7.119% y 7.937g/100g, respectivamente, no presentan diferencias significativa entre ecotipos ($p < 0.05$); no obstante, en la determinación de las propiedades funcionales tales como capacidad de retención de agua y aceite (CRA y CRAC), capacidad de hinchamiento (CH) y capacidad de solubilidad (CS) según a los tamaños de partículas utilizadas (125 μm , 150 μm , 180 μm y 500 μm), el ecotipo amarillo resultó tener mayor capacidad de hinchamiento y solubilidad (11.618 ml/g y 135.825%) en tamaño de partículas de 150 μm y 125 μm , respectivamente. Asimismo, en las propiedades bioactivas se reportó contenido de actividad antioxidante y polifenoles totales de 24.938 mg Equivalente de Ácido Ascórbico/100g y 376.107 mg ácido gálico/100g, siendo el ecotipo rojo con mayor contenido en ambas propiedades bioactivas, finalmente se identificó los componentes mayoritarios a través del FTIR donde se pudo identificar picos de 3291 cm^{-1} y 1600 cm^{-1} donde se hallan grupos de fenoles y antocianinas, así también se identificó un pico de 1019 cm^{-1} donde se ubica grupos de carbohidratos que conforman la fibra dietaria. Dichos resultados muestran que el epicarpio del fruto del Tomate de árbol puede ser una fuente importante de fibra dietaria y funcional convirtiéndolo en un residuo que posee gran potencial en ser utilizada para el desarrollo de productos agroindustriales y productos farmacéuticos que puede generar un impacto positivo en la salud de los consumidores, así mismo en la economía de muchos agricultores de nuestra región.

Palabras clave: Tomate de árbol, epicarpio, propiedades funcionales, fibra dietaria total.



ABSTRACT

The importance of seeking a more sustainable world leads to the investigation of more food alternatives that seek to reduce the waste generated by the food industry, which is why today the residues (peel) of different fruits and vegetables are studied, which have appreciable amounts of functional and bioactive compounds that can improve the health status of the population. The objective of this research work was to determine the physicochemical, functional and bioactive properties in the tree tomato (*Solanum betaceum*) fruit peel in its three ecotypes (red, yellow and orange) present in the Apurimac region. The results regarding the physicochemical properties that stand out the most are the content of protein and total dietary fiber, which reported averages of 7.119% and 7.937g/100g, respectively, with no significant differences between ecotypes ($p < 0.05$); however, in the determination of functional properties such as water and oil retention capacity (CRA and CRAC), swelling capacity (CH) and solubility capacity (CS) according to the particle sizes used (125 μm , 150 μm , 180 μm and 500 μm), the yellow ecotype turned out to have higher swelling capacity and solubility (11.618 ml/g and 135.825%) in particle sizes of 150 μm and 125 μm , respectively. Likewise, in the bioactive properties, antioxidant activity content and total polyphenols of 24,938 mg Ascorbic Acid Equivalent/100g and 376,107 mg gallic acid/100g were reported, being the red ecotype with the highest content in both bioactive properties, finally the majority components were identified. through FTIR where it was possible to identify peaks of 3291 cm^{-1} and 1600 cm^{-1} where groups of phenols and anthocyanins are found, as well as a peak of 1019 cm^{-1} where groups of carbohydrates that make up dietary fiber are located. These results show that the epicarp of the tree tomato fruit can be an important source of dietary and functional fiber, making it a residue that has great potential to be used for the development of agro-industrial products and pharmaceutical products that can generate a positive impact on the health of consumers, as well as in the economy of many farmers in our region.

Keywords: Tree tomato, epicarp, functional properties, total dietary fiber.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Los hábitos alimenticios vienen modificándose en los últimos años, junto a las enfermedades derivadas del estrés, el sedentarismo y la mala alimentación, estos vienen provocando millones de decesos cada año por enfermedades no transmisibles (obesidad, diabetes, cáncer de colon). Los profesionales de la salud hacen esfuerzos por combatir los problemas de salud mencionados, pero con poco éxito, ya que, al pasar los años las cifras de muertes van en aumento, también el bajo interés de la ciencia de los alimentos en buscar nuevas fuentes de compuestos funcionales como el de la fibra dietaria proveniente de sub productos (Cho et al.,2001).

El arbusto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), es oriundo de las zonas tropicales de Perú y en la región de Apurímac, la población lo cultiva de manera casual o esporádicamente, teniendo poco interés comercial sobre este fruto andino. Su consumo se da de manera tradicional siendo usada en refrescos, jugos y en salsas picantes. El epicarpio de este fruto no es aprovechada y destinada a ser desechado o usada en la alimentación de animales menores como cuyes, gallinas. Sin ningún conocimiento de que este residuo orgánico pueda contener efectos beneficiosos en la salud de las personas.

El epicarpio de este fruto tiene una representación significativa, la mala gestión de este residuo genera contaminación al medio ambiente debido a que la cáscara de este fruto posee buena cantidad de agua, provocando así la proliferación de microorganismos, malos olores y gases (CH₄) al paso de su descomposición. Existe poco interés por parte de la industria Agroalimentaria en considerarlo como ingrediente funcional en la formulación de nuevos productos nutraceuticos.

No existe investigación acerca de las propiedades funcionales del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), en sus tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado) existentes en la región de Apurímac; entre estas propiedades destacan la facilidad que tiene al retener agua (CRA) y aceite (ARAC), los cuales conllevan beneficios fisiológicos en el organismo. De igual forma existe escaso datos sobre investigaciones con respecto a sus propiedades fisicoquímicas que posee este residuo. Así mismo, no existe información suficiente del tamaño de partícula de este subproducto, que sea apta para ser utilizado



como ingrediente en formulaciones de diversos alimentos procesados agroindustrialmente.

1.2 Enunciado del Problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles serán los valores de las propiedades fisicoquímicas, funcionales y bioactivas del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado)?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será el valor de las propiedades fisicoquímicas (proteína, humedad, cenizas, grasas, carbohidratos totales, fibra dietaria, F-TIR y rendimiento) del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado)?
- ¿Cuál será el valor de las propiedades funcionales (retención de agua, retención de aceite, solubilidad, hinchamiento) del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado) en función al tamaño de partículas?
- ¿Cuál será el contenido de propiedades bioactivas (capacidad antioxidante y polifenoles totales) del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado)?

1.3 Justificación de la investigación

En los últimos años los productos agroindustriales tienen un rol importante dentro de la salud de la población, es por ello que se vienen haciendo estudios respecto a nuevas alternativas de fuentes de fibra dietaria provenientes de subproductos como; la cáscara de mango, cáscara de papa. Existiendo una clara oportunidad de seguir investigando subproductos de frutos y verduras que nuestra región posee.

El consumo del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), ha empezado a incrementarse entre la población de América del sur, esto debido a que se tiene conocimientos de que ayuda a prevenir y contrarrestar enfermedades como: arteriosclerosis, hígado graso, hipertensión alta. Así mismo, contiene propiedades antioxidantes, antiproliferativas, antinociceptivas, antiinflamatorias, alergénicas y antiobesas (Wang y Zhu 2020). Este contexto genera el interés de realizar investigaciones sobre sus propiedades fisicoquímica, funcionales y bioactivas del epicarpio de este fruto, generando innovaciones en la fabricación de nuevos productos funcionales que ayuden a mejorar la salud de los consumidores; con lo cual, se incrementaría el interés en cultivar y producir de manera comercial este fruto andino, generando diversificación de la agricultura en nuestra región, también afectaría a los pequeños productores de manera positiva. En Apurímac se encuentran los 3 ecotipos de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), estos se diferencian por el color que poseen su epicarpio (rojo, amarillo y anaranjado) también al contar con diferentes pisos ecológicos, convierten a nuestra región como potencial productor de este fruto.

Cabe resaltar que solo es consumido la pulpa y desechado el epicarpio, por lo cual es una excelente oportunidad para darle un valor agregado a dicho subproducto, que no posee estudios sobre el contenido de propiedades funcionales y compuestos bioactivos en el epicarpio de este fruto y sobre el tamaño de partículas apropiados para ser utilizado como ingrediente funcional para la formulación de productos agroindustriales. Por ello, el presente estudio e investigación esta direccionado a identificar las propiedades funcionales que poseen el epicarpio del Tomate de árbol según al tamaño de partículas así también determinar sus propiedades fisicoquímicas y bioactivas, dándole un valor agregado a un subproducto que, por lo general, es desechado. De tal manera, que posterior al presente proyecto de investigación, este podría ser utilizado para la formulación en diferentes productos agroalimentarios funcionales, que puedan ayudar a contribuir en la



buena salud de nuestra población e impulsar la producción agrícola del fruto del tomate de árbol en la región de Apurímac.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar las propiedades funcionales, fisicoquímicas y bioactivas del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado).

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas (proteína, humedad, cenizas, grasas, carbohidratos totales, fibra dietaria, F-TIR y rendimiento) del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado).
- Determinar las propiedades funcionales (solubilidad, hinchamiento, retención de agua y retención de aceite) del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado) en función al tamaño de partículas.
- Determinar las propiedades bioactivas (capacidad antioxidante y polifenoles totales) del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado)

2.2 Hipótesis de la investigación

1.3.3 Hipótesis general

- Los ecotipos influyen significativamente en la determinación de las propiedades funcionales, fisicoquímicas y bioactivas del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*).



1.3.4 Hipótesis específicas

- Los ecotipos del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) influyen significativamente en la determinación de las propiedades fisicoquímicas (proteína, humedad, cenizas, grasas, carbohidratos totales, fibra dietaria, F-TIR y rendimiento).
- El tamaño de partículas y sus tres ecotipos del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) influyen significativamente en la determinación de las propiedades funcionales (retención de agua, retención de aceite, solubilidad, hinchamiento).
- Los ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) influyen significativamente en la determinación de las propiedades bioactivas (polifenoles totales y actividad antioxidante)

2.3 Operacionalización de variables

1.3.5 Definición de variables

Variables independientes: Los tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado) y los tamaños de partículas del polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol de 500 μm , 180 μm , 150 μm y 125 μm .

Variable dependiente 1: propiedades fisicoquímicas (humedad, cenizas, proteína, grasas, carbohidratos totales, fibra dietaria, F-TIR y rendimiento).

Variable dependiente 2: propiedades bioactivas (capacidad antioxidante y polifenoles totales).

Variable dependiente 3: propiedades funcionales; capacidad de retención de agua (CRA), retención de aceite (CRAC), hinchamiento (CH) y capacidad de solubilidad (CS).

A continuación, en la Tabla 1, se presenta la estructura de la operacionalización de las variables en la determinación de las propiedades fisicoquímicas y bioactivas de manera preliminar presentes en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol. Donde, se tiene una variable independiente que son los ecotipos del fruto (rojo, amarillo y anaranjado) y una variable dependiente que son las propiedades fisicoquímicas (proteína, humedad, grasas, cenizas, carbohidratos totales, fibra

dietaria y rendimientos) y bioactivas (capacidad antioxidante y polifenoles totales).

Tabla 1 — Operacionalización de variables de las propiedades fisicoquímicas.

Variable independiente		
Variables	Indicador	Índice
Tres ecotipos de Tomate de árbol	Color: (rojo, amarillo y anaranjado)	Tonalidad
Variable Dependiente		
Variable	Indicador	Índice
Propiedades fisicoquímicas	Humedad	(%)
	Ceniza	(%)
	Proteína	(%)
	Carbohidratos totales	(%)
	Grasa	(%)
	FTIR	#onda (cm ⁻¹)
	Fibra dietaria total	g/100g
Rendimiento	(%)	
Propiedades bioactivas	Capacidad antioxidante	mgAAC/100g
	Polifenoles totales	mgAG/100g

#: Porcentaje. #onda(cm⁻¹): Número de ondas de transmitancia. Indicador: Análisis fisicoquímicos y bioactivos. Índice: Medidas con de los análisis.

Se presenta en la Tabla 2, la operacionalización de las variables de la determinación de las propiedades funcionales, donde se tiene dos variables independientes; los ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado) y los tamaños de partículas (500 µm, 180 µm, 150 µm y 125 µm). Se tiene una variable dependiente, las propiedades funcionales (capacidad de retención de agua y de aceite, capacidad de hinchamiento y capacidad de solubilidad).



Tabla 2 — Operacionalización de variables de las propiedades funcionales.

Variable independiente		
Variables	Indicador	Índice
Tamaños de partículas 500 µm, 250 µm, 180 µm y 125 µm.	Diámetro medio (Dm)	Micras (µm)
Tres ecotipos de tomate de árbol	Color:(rojo, amarillo y anaranjado)	Tonalidad
Variable dependiente		
Variable	Indicador	Índice
Propiedades funcionales	Capacidad de solubilidad	(%)
	Capacidad de retención de agua	(g/g)
	Capacidad de retención de aceite	(g/g)
	Capacidad de hinchamiento	(ml/g)

%; Porcentaje. µm: Tamaño de partículas en micras. g/g: Contenido de gramos por cierta cantidad en gramos. ml/g: Mililitros por cierta cantidad en gramos. Indicador: análisis de las propiedades funcionales. Índice: medidas de los análisis.

En la anterior tabla 2 se describe las variables independientes (ecotipos y tamaños de partículas) tomadas en cuenta para determinar las propiedades funcionales que es la variable dependiente; capacidad de retención de agua (CRA) teniendo como unidad de medida g/g, capacidad de retención de aceite (CRAC) teniendo como unidad de medida g/g, capacidad de hinchamiento (CH) teniendo como unidad de medida ml/g y capacidad de solubilidad (CS) teniendo como medidas en %.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) Según Vargas et al. (2019) reportaron contenidos de las propiedades fisicoquímicas y bioactivas en las cáscaras de berenjena, papaya, zanahoria y lima, las muestras fueron previamente secadas, molidas y tamizadas para luego determinar el contenido de humedad, cenizas, fibra, proteína, extracto etéreo, también la cuantificación de los compuestos tales como carotenos, polifenoles totales, flavonoides, antocianinas y la capacidad antioxidante. Los resultados indicaron que las cáscaras de la fruta de papaya y de berenjena reportaron mejores características de calidad bromatológicas para proteína (2.23 y 13.50%), fibra (0.643 y 1.88%), cenizas (10.45 y 9.2%), capacidad antioxidante (99.63 y 97.90%) y polifenoles totales (4798.93 y 10289.72 mg/100g). Las cáscaras de las frutas de lima y de la zanahoria reportó menor contenido de fibra (0.439 y 0.409%), proteína (1.11 y 0.67%), polifenoles totales (4500.86 y 4960.18 mg/100g). Estos resultados mostraron que estos residuos poseen gran potencial para ser utilizados en la industria alimentaria y farmacéutica.
- b) Según Urbina (2019) en su investigación desarrollada sobre la obtención de un extracto rico en carotenoides con capacidad antioxidante a escala de banco a partir de residuos agroindustriales del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) determinando su capacidad de antioxidantes e identificando los grupos funcionales existentes por FTIR, reportó el mejor resultado obtenido en el volumen de dilución de 0,5 L con un valor de 55,724% de inhibición del radical DPPH seguido por el 53,65% para el volumen de dilución de 3 L y finalmente 50,801% para el de 5 L de dilución. Además, en la determinación de los grupos funcionales se tuvieron estos resultados donde se comparó con la muestra del extracto microencapsulado, obteniéndose un pico máximo en 1027, 87 cm⁻¹ que correspondió a 81,50% de transmitancia y con la mezcla de polímeros utilizados en la microencapsulación que presentó un pico máximo en 1017,27 cm⁻¹ para 88,33% de transmitancia que indican la presencia de carbohidratos considerados fibra dietaria.
- c) Según Sir Elkhatim et al. (2018) que determinaron los compuestos fenólicos, la vitamina C y la actividad antioxidante de las partes desperdiciadas en frutas cítricas (naranja, limón y pomelo). Prepararon extractos etanólicos de fruta entera, cáscara y pulpa que contenían semillas de cada tipo de cítricos. Dentro de cada tipo de cítrico, los resultados



revelaron que las cáscaras contenían una mayor cantidad de compuesto fenólico, flavonoides, vitamina C y actividad antioxidante que las de sus partes internas desperdiciadas (pulpa y semillas). Las cáscaras de pomelo reportaron el mayor contenido fenólico total, seguidas por el limón y la naranja, que fueron de 77.3, 49.8 y 35.6 mg de equivalente de ácido gálico / g de cáscaras, respectivamente. Por el contrario, las cáscaras de naranja reportaron la mayor cantidad de flavonoides (83,3 mg de equivalente de catequina / g) y vitamina C (110,4 mg / 100 g) en comparación con las cáscaras de los otros cítricos utilizados en este estudio. En general, el alto contenido de capacidad antioxidante y la actividad de los residuos de cítricos, particularmente las cáscaras, indicaron que pueden impartir beneficios para la salud y la nutrición cuando se involucran en la industria alimentaria como un antioxidante natural.

- d) Según Torres (2012), reportó resultados en la caracterización fisicoquímicas de la pulpa madura de los frutos enteros del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), realizado en una investigación en la Universidad Simón Bolívar de Venezuela. Dichos resultados mostraron aportes considerables de fibra dietaria con un total de (4,10 g/100g). Así mismo, la humedad fue de 87,72 g/100 g, su contenido de proteínas de 1,78g/100g, en sólidos solubles resultó 10,51 °Brix y una acidez titulable de 0,20 g/100ml. En carbohidratos disponibles reportó resultados similares al de la fibra con un (5,36g/100g) y finalmente el contenido de energía fue de (30 Kcal). Este fruto subtropical obtuvo una puntuación en nutrición de 7.4 (ecotipo rojo) a 7.9 (ecotipo amarillo o dorado).
- e) Según García (2003), en su investigación denominada determinación de los residuos del mango, variedad criollo fibroso (*Mangifera indica L*) y su formulación como ingrediente usadas en galletas, reportó contenido de fibra dietaria del 56.68%, con respecto al contenido de fibra soluble fue del 29.46 % y contenido de fibra insoluble fue del 27.21%. Mostrando ser apta para ser usado como ingrediente en la formulación de productos de galletería, por contener fibra soluble e insoluble casi equilibrada, brindando al producto final excelentes cualidades de manejo y características organolépticas únicas.



3.2 Marco teórico

3.2.1 Tomate de árbol (*Solanum betaceum*)

El Tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae*), es un fruto tropical de la familia de las Solanaceas comúnmente denominado como tomate de palo, sachatomate, y tomatillo. Esta planta proveniente del ande peruano, también se pueden encontrar en algunos países de América del sur que poseen regiones andinas como; Chile y países vecinos de Perú. En años recientes, se ha hecho popular en países bajos como Nueva Zelanda desplazando al kiwi fuit, así también se han visto cultivares en zonas montañosas de África, India y Australia (Escarria,1986). El Tomate de árbol taxonómicamente, es parte de la familia de las solanáceas y fue nombrado por primera vez como *Solanum betaceum* por el botánico español Cavanilles, tiempo después fue cambiado de género por Sendtner a *Cyphomandra* y nombrado como *Cyphomandra betacea* (Cav.), luego fue puesta con a la original denominación *Solanum betaceum* (Cav.) (Ramírez y Kallarackal 2019).

Es un árbol que llegan a medir de dos a cuatro metros. Su crecimiento rápido y raíces poco profundas son característicos. Su base es leñoso alcanzando diámetros entre 5 a 10 cm. Sus hojas son generalmente grandes, midiendo de 20 a 35 cm de ancho y 30 a 40 cm de largo (Lewis y Considine, 1999).

3.2.2 Taxonomía del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*)

En la Tabla 4 se presenta las características de su taxonomía.

Tabla 3 — Taxonomía del Tomate de árbol.

Nombre científico	<i>Solanum betaceum</i>
Reino	<i>Plantae</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Genero	<i>Solanum</i>
Subgénero	<i>Cyphomandra</i>
Variedades	<i>Betaceum</i>
Sección	<i>Pachyphylla</i>
Especie	<i>Solanum betaceun</i>
Tipo	Fruto

Nota: Clasificación ordenada y jerárquica biológica del Tomate de árbol. Tomado de Escarria (1986), p, 29.



3.2.3 Características del fruto

El fruto del Tomate de árbol es considerada como una baya carnosa que cuelga, teniendo una forma ovoide a elipsoide. Las frutas se dan solas o se agrupan de tres a doce. La coloración del epicarpio lisa varía de un tono amarillo, amarillo-naranja, naranja, púrpura-rojo a rojo oscuro, su pulpa es cremosa, anaranjado pálido o amarillo y rojizo, las semillas traen una capa de gelatina de color anaranjado o rojo oscuro Prohens y Nuez (2000),

- a) Color: Las clases de colores de la piel se clasifican en tres tipos principales, roja, amarilla y anaranjado para tomates de árbol provenientes de la región andina. Los frutos se han asociado con el color de la hoja, hojas verdes amarillentas suelen producir frutos amarillos, mientras que las hojas que tienen tonalidad verde púrpura dan frutos de color rojo a anaranjado (Schotsmans et al., 2011).

- b) Tamaño: El tamaño oscila entre 4 y 10 cm de longitud, 3 y 6 cm de sección transversal y pesan entre 30 y 160 g en frutos maduros. La fruta madura contiene más de 400 semillas reniformes, delgadas y aplanadas de color naranja o púrpura oscuro dependiendo de la forma de cultivar (Ramírez y Kallarackal 2019).

- c) Flor: Su inflorescencia es descrita como una cima escorpioide, pudiendo tener entre 10 y 50 flores. Generalmente la inflorescencia se da como un mono o dichasium con flores a lo largo del raquis con patrón alterno diseminadas. Además, sus flores individuales son hermafroditas estrelladas y radialmente simétricas, teniendo cinco pétalos que van del color blanco crema, blanco rosado, rojizo o con manchas moradas. Las flores son colgantes y morfológicamente, sus pétalos son triangulares de unos 0,5 cm de ancho por 1,3 cm de largo. La corola (los pétalos en la flor) tiene un radio de 1,25 a 2,6 cm, los pétalos son rodeados por un verticilo de cinco sépalos pubescentes verdes (cáliz, con un radio de aproximadamente 0,3 a 0,5 cm) (Ramírez y Kallarackal 2019).



3.2.4 Ecotipos de Tomate de árbol

Según la caracterización morfológica del cultivo del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) se determina que existen tres ecotipos en la zona de estudio que solo se diferencian en la tonalidad del fruto tales como son:

- a) Ecotipo de color amarillo: Presenta una forma oblonga y la maduración es de verde claro a amarillo (León 2019). Se observa en la Figura 1.



Figura 1 — Tomate de árbol ecotipo amarillo

- b) Ecotipo de color anaranjado: Tiene la forma elíptica con presencia de jaspes en el fruto, la maduración es de color verde oscuro con jaspes luego se torna a color púrpura claro luego se torna aun color anaranjado como maduración final (León 2019). Como se observa en la Figura 2.



Figura 2 — Tomate de árbol color anaranjado.

- c) Ecotipo de color rojo: Tiene la forma oblonga con presencia en mayor escala de jaspes, en la parte apical tiene mayor coloración roja. La maduración se torna de color verde oscuro con jaspes y esta sigue con un color rojo oscuro luego como fase final de la maduración se coloca a un color rojo intenso (León 2019). Como se observa en la Figura 3.



Figura 3 — Tomate de árbol color rojo

3.2.5 Importancia nutricional

Los frutos del Tomate de árbol resultan ser muy beneficiosos para la salud y la nutrición por contener en su composición fuentes excelentes en minerales tales como calcio, hierro y fosforo. Al igual que grandes cantidades de vitaminas y proteínas de alto valor biológicos. Esta fruta contiene índices reducidos de hidratos de carbono. Por contener niveles considerables de proteína y caroteno fortalecen el sistema inmunológico y mejorar el sistema ocular, posee pectina en gran manera y actúan como antioxidante (Escarria,1986). Dicha composición nutricionales se detalladas en la Tabla 4.

Tabla 4 — Composición nutricional del Tomate de árbol.

Componente	Contenido en 100 g	Componente	Contenido en 100 g
Agua	85,84 g	Calcio	6 mg
Proteína	1,7 g	Hierro	0,4 mg
Grasa	0,1 g	Tiamina	0,05 mg
Carbohidratos	10,3 g	Riboflavina	0,03 mg
Fibra	1,1 g	Niacina	1,1 mg
cenizas	0,8 g	Ácido ascórbico	25 mg
Fosforo	22 mg	Vitamina A	100 mg

Nota: Las propiedades nutricionales se dan en función a la porción sugerida (100g). Tomada de Escarria (1986), p,30.

3.2.6 Fibra dietética

Durante años los nutriólogos y médicos tomaron importancia para investigar cual es la función principal de la fibra cruda, pero verdaderamente no mostraba todo el proceso que ocurre en el organismo una vez ingerido. Por un largo periodo se utilizó la terminología de fibra cruda, el cual era relacionado a residuos de algunos alimentos que son evaluados en laboratorio con la ayuda de solventes ácidos al igual que álcalis calientes (García 2003).

La fibra dietética viene a ser esa parte de las plantas o carbohidratos análogos que no puede ser metabolizado y absorbido en el intestino delgado en nuestro organismo y con una fermentación en el intestino grueso completa o parcial (García 2003).

Algunos compuestos químicos que conforman la fibra son influenciados significativamente por el grado de madures del producto vegetal, por esta razón la celulosa incrementa porcentualmente según avance el estado de madurez y cuando es menos maduro hay poca producción de la pectina y hemicelulosa. El envejecimiento de la planta es resultado de la lignificación (Ramírez 2017).

3.2.7 Clasificación de la fibra dietética

La fibra dietética se clasifica en 2 tipos, por un lado, tenemos a la fibra dietética soluble (FDS) y fibra dietética insoluble (FDI), según al comportamiento en medios acuosos. La fibra soluble crea una disgregación en agua, mientras el insoluble no tiene esta capacidad. Resultado de esa disimilitud de hidratación, los dos tipos de fibras llegan a poseer distintos efectos fisiológicos. La fibra soluble puede generar viscosos geles en los intestinos, por otro lado, la fibra que es insoluble incrementa las heces fecales en su volumen. Dichas capacidades de ser viscosa o de generar geles, provoca aceleración o la relentización de la deposición gastrointestinal, así mismo lo convierte en más eficiente a la hora de digerir y metabolizar los alimentos, mejorando así un mejor estado de saciedad (García 2003).

Una cualidad que resalta de la fibra soluble es su facilidad de captar agua, debido a esta cualidad la masa fecal se incrementa en 20 veces su peso, por tanto, se le vincula con corregir y prevenir malestares digestivos. Tanto ambos tipos de fibras suelen ser frecuentemente usados por la flora intestinal en el colon a manera de un sustrato manteniendo de manera óptima la fermentación en el colon y favoreciendo el desarrollo de células epiteliales y bacterias benéficas; así mismo es crucial mencionar que pueden generar ciertos gases y los ACC como (acético, propiónico y butírico) estos vienen a ser digeridos en su mayoría (95-99%), reduciendo la fijación del colesterol malo en el hígado (Ramírez 2017).

3.2.8 Fibra dietética soluble (FDS)

Es conocido por la capacidad de formación de geles viscosos en el tracto gastrointestinal por poseer acción de dispersión en agua, por este motivo también poseen la capacidad de hacer más lento la evacuación gástrica, esto se convierte beneficioso en ciertos casos, convirtiéndolo muy capaz de metabolizar eficientemente los alimentos y provocando así una sensación de llenos. Este tipo de fibra resulta ser sumamente descomponible y se le relaciona con la absorción de carbohidratos y lípidos. Mayoritariamente este tipo de fibra contiene los siguientes componentes; conjunto de monosacáridos no-celulósicos como; (la pectina, gomas) algunas hemicelulosas como (Arabinosilanos, Arabinogalactanos) y mucilagos. También podemos encontrarlas en las estructuras de frutas y algas marinas de manera abundantemente (Lajolo et al., 2001).

3.2.9 Componentes de la fibra dietética soluble (FDS)

a) Hemicelulosa

Su formación se fundamenta en una serie inicial de polímeros entre estos el más resaltante son los homoglicanos que poseen algunos desechos de glucosas que son de cadenas pegadas a esta de manera echada (García 2003).

b) Pectinas

Es encontrada en la pared primaria y partes de esta, en las plantas dicotiledóneas. Lo que conforman un conjunto selecto de carbohidratos complejos que poseen altos índices en azúcar ácido como; galacturónico, ramnosa, arabinosa y galactosa (Schweizer 2019).

c) β -glucanos

Es un polímero de glucosa tipo β , que tienen divergencias en sus enlaces por ello si se provoca un cambio en su estructura posicional generará diversos polímeros (García 2003).

d) Gomas Galactomananos

Se constituyen según la química básica en una estructura compleja de azúcares simples como la manosa adheridas lateralmente a cadena de galactosil solubles (Ramírez 2017).

e) Ácido fítico

El ácido fítico se encuentra relacionada con la fibra soluble en un 75%. Este ácido se encuentra en los cereales, leguminosas y semillas oleaginosas. Cabe resaltar que, ciertos cationes de algunos minerales como; Ca^{+2} , Mg^{+2} , Zn^{+2} y Fe^{+2} tienen una interacción con este ácido orgánico (Centeno 2014).

f) Inulina y fructoligosacaridos

Son unos carbohidratos complejos que gracias a las investigaciones recientes vienen siendo reconocidas como fibra dietética. Es el resultado de la unión de oligosacáridos lineales (Centeno 2014).

g) Taninos

Proviene de un tipo de compuestos fenólicos. Que tienen la capacidad de accionar como agentes antioxidantes reteniendo el desarrollo de radicales libres y suspender el desgaste celular (García 2003).



h) Almidón resistente

Viene a formar una parte reducida del almidón total el cual se encuentra en un alimento, presentando resistencia a la hidrólisis enzimática, por ello este se clasificaría como una fibra dietética. (García 2003).

3.2.10 Fibra insoluble (FI)

Tienen la cualidad de no dispersarse en agua, llegando a ser constituido de celulosa, hemicelulosas y ligninas. Su reconocido efecto positivo sobre la salud es que tiene el efecto laxante, provocando así la aceleración del tránsito intestinal protegiendo y previniendo el estreñimiento, la constipación, las hemorroides y generando ácidos grasos de cadenas cortas. Podemos encontrar este tipo de fibra en ciertas verduras de hoja verde, cereales secos, leguminosas bien desarrolladas y en frescas frutas (Zúñiga, 2005).

3.2.11 Componentes de la fibra dietética insoluble (FDI)

Viene a ser un polímero de estructura lineal de desechos de D-glucosa adheridas por enlaces β (1- 4) generando una relación a través de puentes de hidrógeno generando agregados denominados como microfibrillas. Viene a ser la mayor parte de la estructura mayoritaria de la pared celular de los vegetales superiores, representado en un 20% a 30 % y 40% a 90% del peso en estado deshidratado de la estructura primaria y secundaria. Dichas paredes convierten a este componente en un elemento insoluble en solventes ordinarios, en especial el agua (Vergara, 2007). Dentro de este grupo de componentes se encuentran los siguientes polisacáridos:

- Hemicelulosa
- Lignina

3.2.12 Cualidades físico-tecnológicas de la fibra dietética

Es la determinación de propiedad fisicoquímica de los polímeros, el cual está relacionado con características de un alimento y beneficia muy significativamente en la calidad en un producto final. De esta forma provoca efectos fisiológicos provechosos en el organismo (Zúñiga, 2005).

Entre ellas se pueden citar:



3.2.12.1 Tamaño de partícula

El tamaño o dimensiones de la fibra, es fundamental para identificar el tipo de alimento o proceso en el que se le agregará. La fibra diminuta se clasifica de tres a cinco micrómetros, su uso más común es en sustitutos de componentes grasos, las de tamaño moderados suelen ser utilizados en hojuelas de maíz y en productos de texturas similares. Aclarar que los tamaños ideales de partículas para consumir se hayan entre 50 a 500 μm ; las partículas mayores afectan el aspecto del producto y provocan una percepción de fibrosidad convirtiéndolo más tedioso y difícil su masticación y deglución, a tamaños más menores presentan dificultades como en la absorción de agua generando así grumos fácilmente, por tanto, se apelmaza y compresión del producto no es buena (Sánchez, 2005).

3.2.12.2 Poder de retener agua (CRA)

Se entiende por la capacidad de captar fluido hídrico expresada, en mililitros por gramo, este viene de la capacidad que posee un gramo del polvo en presencias de un excedente de agua sometido a la interacción de un estándar de fuerza. algunas razones que afectan dicha capacidad podemos mencionar; las dimensiones, la fuerza iónica y el pH de las partículas. La retención de agua influye significativa en la cualidad viscosa en los productos ayudando o convirtiéndolo poco manejable su tratamiento. Finalmente, esta cualidad brinda suavidad y frescura a los productos de panificación (Cruz, 2002).

3.2.12.3 Poder de retener aceite (CRAC)

Se entiende como la capacidad de absorber cierta cantidad de aceite, expresada en gramos, de material seco en presencia de un excedente de este fluido aceitoso bajo el trabajo de una fuerza patrón (Zúñiga, 2005).

Conceptualmente a mayor tamaño de partículas muestran mejores cualidades absorbentes y captadoras de componentes aceitosas; principalmente a través de medios mecánicos la grasa es fijada en la estructura de la fibra. Se ha notado que la fibra soluble posee menores índices para absorber grasa que las fibras insolubles las cuales poseen valores muy importantes, sirviendo de esta manera como agente



emulsificador. Dichas características se las vincula con las dimensiones de las partículas, la conformación química y la morfología que presenta (Cruz, 2002). A mayor poder de retención de aceite imparten jugosidad y se logra ver mejoras en ciertos productos a base de carné, como en su textura a diferencia de poca retención resulta que los productos de fritura tengas una sensación no grasosa (Peraza, 2000).

3.2.12.4 Capacidad de solubilidad

Se expresa como la rapidez y nivel de eficacia de los constituyentes de las partículas de un polvo alimenticio se disipan ante un agente hídrico, su porcentaje proviene de la cantidad de polvo depositado en el sobrenadante (Serna, Torres y Ayala 2015).

3.2.12.5 Capacidad de hinchamiento

Esta propiedad afecta a la capacidad de humedecimiento de las partículas a tratar, se entiende como un factor que bloquea el hundimiento provocando de esta manera el aumento del volumen del mismo, por ello es apreciado dentro de las cualidades funcionales en los polvos alimentarios (Serna, Torres y Ayala 2015).

3.2.13 Impacto fisiológico de la fibra dietética

Un efecto beneficioso es producido por la celulosa que es un polisacárido que no genera problemas y no logra ser asimilado por ciertas enzimas en el sistema digestivo, constituyendo junto a los diferentes polisacáridos llamados inertes o resistentes. Provenientes de las plantas denominadas fibra bruta, tiene importante acción como inductor de la peristalsis intestinal (Belitz y Grosch, 1997). Debemos señalar que las investigaciones muestran los beneficios de la fibra insoluble al momento de aminorar o prevenir una de las enfermedades más resonadas en el mundo actual como el cáncer al colón. La fibra dietética posee muchos beneficios para la salud en el organismo humano (Córdoba, 2005). Se detallan en la Tabla 6 los beneficios saludables de la fibra dietética.



Tabla 5 — Beneficios de los componentes de la fibra para la salud del organismo

Componentes	Beneficios
Celulosa	Retiene mayor cantidad agua, reduce la presión ejercida en el colón y reducir el tiempo de la digestión intestinal.
Hemicelulosa	Retiene agua, aumentando el volumen fecal, reduciendo la presión colónica, también ralentizando el tránsito intestinal y garantiza la retención de ácidos generados por la bilis.
Pectina, gomas y mucilagos	Disminuye significativamente la expulsión gastrointestinal y ciertos mucilagos, proliferando la fermentación inducida en el colon.
Lignina	Retiene mayor cantidad agua, en aquellos que se encuentran ligados a minerales, incrementa la excreción y posibilita de incremento de la evacuación fecal.

Nota: Principales beneficios de algunos componentes de la fibra dietaria en la salud. Recogida de Molina y Paz (2007), p,70.

3.2.14 Fermentación colónica

Es básicamente todo lo fermentado en el colon, debido a este proceso podemos conservar el desarrollar de las bacterias del sistema digestivo, también las células epiteliales. Consecuencia de este proceso, se puede obtener gases como; el hidrógeno, dióxido de carbono y metano. También encontramos los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como; el acético, propiónico y butírico (García et al., 2008).

El colon es el responsable de la fermentación de los alimentos y tiene una relación con la presencia o ausencia de ciertas bacterias que dominan. Estudios realizados brindas luz sobre lo que provoca la presencia de fructooligosacáridos ejemplo la inulina y la oligofructosa, en la generación de ciertas bacterias. Investigadores hallaron significativo desarrollo de bífidobacterias por otro lado las colonias de bacteroides, lactobacilos, clostridios y coliformes preservaron en índices moderadamente inferiores. El poder de inhibir por parte de ciertas familias de bífido a distintas bacterias que realizan con exactitud de la secreción de fructooligosacaridos, llevando a actuar la enzima β -fructosidasa, la disminución del



pH y producción de AGCC, que resultan ser positivas al momento de metabolizar y por generar agentes bacteriocidas contra el género *Clostridium* (Córdoba, 2005).

3.2.15 Velocidad del tránsito intestinal

Los componentes no hidrosolubles provocan mayor movilidad entre los intestinos. Las fibras como (pectina, guar y etc) poseen la característica de disminuir la velocidad de asimilar la glucosa intestinal (la evacuación gástrica es más lento), también hacen difícil la interacción con el epitelio intestinal absorbente. Por ello, al cruzar a lo largo del aparato digestivo viene a tener diferentes resultados como: la llenes, que evita ingerir más alimentos. Al hacer lento el movimiento de los alimentos en el tracto intestinal, se logra controlar el estado de estreñimiento y controlar la excreción, la poca absorción de la glucosa, por tanto, tener índices glicémicos menores. El reducido contenido de calorías en la dieta alimenticias. La buena conservación y desarrollo del microbiota intestinal (Molina y Paz, 2007).

- Producir más deyección de grasa y proteína.
- Ser agente de prevención ante el cáncer intestinal.

3.2.16 Relevancias del Consumo de Fibra

Las sugerencias más destacadas por expertos en la salud para mejorar el estado saludable del ser humano es consumir con regularidad productos que tengas fibra dietética. Recientes estudios científicos mencionan que el consumo de estas fibras disminuye las posibilidades de padecer enfermedades como; cardiovasculares, diabetes, obesidad, cáncer de colon y muchas otras diversas dolencias no transmitibles. Por ello el valor de consumir más seguidos alimentos ricos en esta fibra es importante (Zúñiga, 2005).

El interés desatado al consumir fibra en la actualidad, que afectó de manera positiva y notable en la manufactura de alimentos, innovándose productos, siendo más saludables para la salud, por la excelente disposición en fibra, vitaminas y bajos en grasas así mismo en la formulación de comidas completamente con estas fibras. En su realización es necesario el uso de materia prima que tengas excelentes disposiciones de fibra dietética como los cereales y los más usados últimamente de vegetales y frutas (Zúñiga, 2005).



3.2.17 Residuos de alimentos aprovechables como fibra dietética

Ciertos subproductos alimenticios vegetales están siendo estudiados como alternativas al momento de obtener fibra dietética, los residuos más comercializados hasta el momento en la industria de jugo son las naranjas, maracuyá y recientemente la guayaba, dichas fruta pueden ser ingrediente en la formulación de productos alimenticios, puesto que reúnen características que tiene los compuestos antioxidantes entre ellos la vitamina C y E, junto a las propiedades funcionales de la fibra dietética (Pak, 2001).

Citar un ejemplo de residuos de frutas a ser vistas como potencial uso como fibra dietética es la industria de los néctares y concentrados cítricos, en su proceso una etapa final es la de filtración donde una vez terminado de exprimirlos proceden a retirar quitan las semillas y las membranas, denominados como sáculos. Los subproductos mencionados representan el 50% del total del fruto, aprovechado para usos industriales. Los epicarpios que son aprovechadas para producir aceites esenciales y pectinas. No han generado interés para aprovechar estos subproductos como fuente de fibra. Ciertas investigaciones llevados a cabo sobre los sáculos de la mayoría de cítricos revelan que poseen un 70% en fibra dietaria y posee equilibrada disposición entre fibra soluble e insoluble (López, 2007).

3.2.18 Alimentos funcionales

Una definición mundialmente conocida o concertada de alimento funcional hasta el momento no existe. No obstante, de acuerdo con lo que se estableció en el consenso de la Unión Europea, llamado Funtional Food Science in Europa (FUFOSE) en décadas de los 90': un producto alimenticio se denominaría como funcional solo al demostrarse de manera adecuada que, aparte de sus propiedades nutritivas, afectan adecuadamente en una o ciertas funciones del organismo de manera que progresa la salud o bienestar de una persona, o se mitiga el riesgo de padecer enfermedad (Nancy et al. 2003).

3.2.19 Uso de la fibra en la elaboración de alimentos funcionales

La industria alimentaria viene usando la fibra dietaria como sustituto, para satisfacer las cantidades de fibra que se desperdician en etapas previas o de procesamiento y también como aditivo alimentario porque brinda mejor retención de líquidos. De igual manera en la sustitución parcial de grasas o ejerciendo como

agente emulsionante (Ramírez 2017).

Gracias a la versatilidad en su uso, los tecnólogos alimentarios alrededor del mundo han ido desarrollando diferentes maneras para añadir este como aditivo o ingredientes en el mayor número de alimentos procesados (Ramírez 2017). Se mencionan en la Tabla 7 ejemplos de productos alimenticios enriquecidos con fibra y las cualidades que brindan.

Tabla 6 — *Productos enriquecidos con fibra y sus características*

Alimentos	Características que confieren la fibra
Cereales para desayuno	El uso del salvado de avena en los cereales para desayuno, enriquecen el doble en su contenido en fibra a diferencia de las tradicionales hojuelas de avena.
Productos de panadería	Favorecen al fortificar sus nutrientes, reduciendo el contenido de calorías y la facilidad de enlazamiento de agua que generar frescura en producto de panificación.
Confitería	Las fibras derivadas de frutas, otorgan mejoras en el sabor en pasteles y color en galletas.
Pastas	Las fibras tipo neutros, favorecen los tallarines en su calidad nutricional.
Productos lácteos	La fibra ayuda a prevenir el defecto de la sinéresis.
Bebidas	Mejora la textura, haciéndolo más viscosas.
Productos cárnicos	Favorecen a obtener productos más bajos en grasas y también mejoran la textura.

Nota: Características de productos alimenticios enriquecidos con fibra dietaria en. Tomada de Ramírez (2017), p, 38.

3.2.20 Alimentos enriquecidos con fibra

El consumo de frutas y verduras ricas en fibra dietética en la alimentación por día, deben de ser unas cinco porciones por cada individuo esto aconseja La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Pero normalmente, una minoría de personas son los que se alimentan con la ración diaria aconsejada. Para cambiar esta situación se promocionó de muchos productos innovadores alimenticios en los centros comerciales (García 2003).



Los productos formulados con fibra dietética tendrían que distribuirse a un precio más accesible y es de crucial importancia que tenga sabor aceptable. Sus implicancias tecnológicas no son limitadas, puesto que al ser agregadas la sustitución o formulación de productos más enriquecidos funcionalmente o en futuras investigaciones sobre algún efecto que tenga en la textura en algunas otras (Ramírez 2017).

La fibra dietética soluble (FDS) actúa como un espesante, puesto que desplaza el uso de productos como; los aceites, el almidón, la harina y azúcar no solo generando su concentración de fibra, sino que también aminora la contribución calórica del producto. Sus usos más frecuentes son en jugos, salsas, aderezos, refrescos con pulpa y helados (García 2003).

Entre los productos elaborados con fibra dietética insoluble (FDI) se mencionan en la industria de la panificación y los cereales; dichas industrias enriquecen a niveles bajo, medio o alto en estos alimentos, verificándose que, en el ejemplo de la panificación, mientras más es el contenido de fibra sus características sensoriales mostraran una apariencia oscura, un gusto más potente y una textura porosa (García 2003).

3.2.21 Compuesto bioactivo

Se define como ciertas sustancias químicas que poseen en cantidades significativas en plantas y ciertos alimentos como; frutas, verduras, granos integrales. Estas sustancias cumplen funciones cruciales en el cuerpo que favorecen la mejora del estado de salud. Las investigaciones concluyeron que ayudan a contrarrestar el cáncer al igual que con las enfermedades que afectan al corazón y otras enfermedades degenerativas. Los ejemplos más comunes de estos compuestos incluyen al licopeno, el resveratrol, los lignanos, los taninos y los indoles (Martínez, del Mar Camacho y Martínez 2008).

3.2.22 Espectrofotómetro infrarrojo (FTIR)

El Espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier estudia el fenómeno de correlación que existe entre la radiación infrarroja y la materia como tal. Principalmente energía radiante, ubicada en cierta longitud de onda específica Infrarrojo, absorbido por moléculas en vibración (o partes de ellas) en el estado

fundamental a la misma longitud de onda que la radiación infrarroja incidente, como resultado se genera un cambio en la intensidad de la vibración.

Las medidas de la radiación infrarroja podemos hallarlas en los rangos de 10 y 13000 cm^{-1} así como entre 1000 y 0.77 μm . Donde el eje de las abscisas viene representa por ondas de longitud cuya unidad de medición es (cm^{-1}) o nanómetros. Los valores de transmitancia o absorción podemos hallarlos en los ejes de las ordenadas. De igual forma la calidad de los alimentos pueden ser determinada por la radiación infrarroja, los principales enlaces que participan son de átomos como del nitrógeno (N), el oxígeno (O), el carbono (C) o el hidrogeno (H).

Se clasifica en tres intervalos la radiación infrarroja primero está el infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo lejano. La radiación más importante donde se encuentras aplicaciones importantes es el intervalo medio (Mondragón, 2017).

En la Figura 4 se puede observar un resumen de la ubicación de compuestos o enlaces de los mismos, en un intervalo del espectro, de las bandas principales de absorción originadas en función de los componentes que se encuentran mayoritarios en una muestra alimenticia sometida a un ensayo de espectroscopia de infrarrojo (Mondragón, 2017).

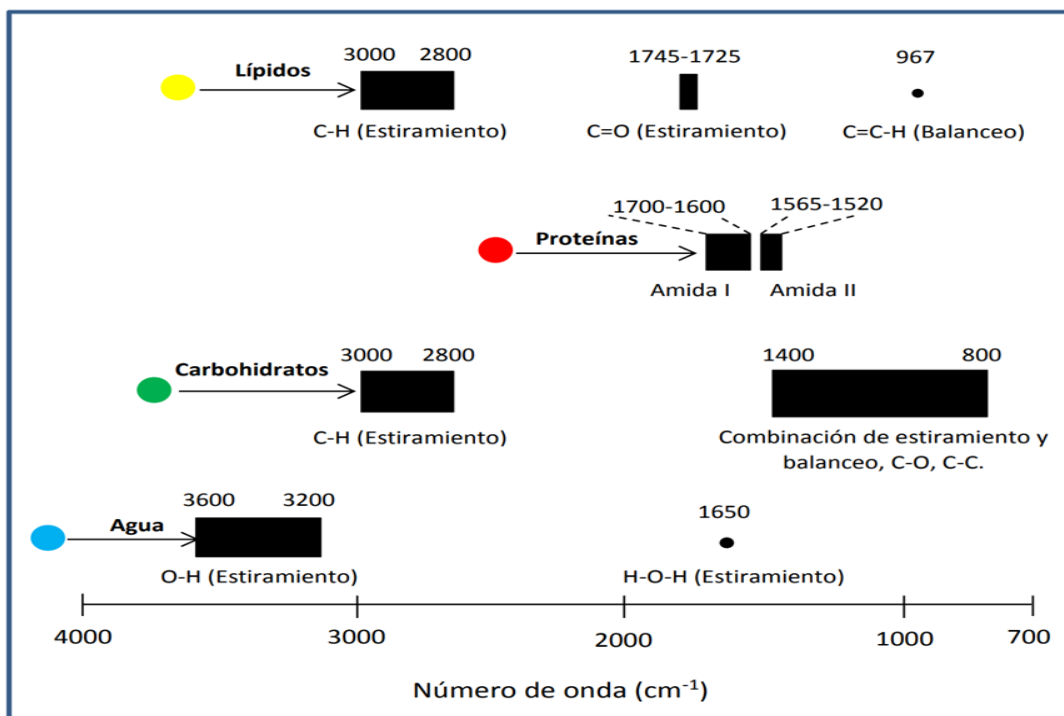


Figura 4 — Bandas y picos de absorción del FTIR

Nota: La imagen toma referencia de los grupos importantes encontradas en los alimentos. Tomada de Mondragón (2017), p. 72



3.2.23 Antioxidantes

Es una sustancia que tiene el poder de neutralizar la acción oxidativa de ciertos radicales libres, estos, al tener un electrón desapareado, vienen a ser muy reactivos ya que el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica captan un electrón de moléculas estables. también podemos definirlo como una sustancia que, al presentarse en bajas concentraciones comparadas con un sustrato oxidable, previene significativamente la oxidación de ese sustrato (Rojas, 2019).

3.2.23.1 Características y principales antioxidantes

Según Quiñonez (2017), las características más resaltantes de un componente o sistema antioxidante son, prevenir y detener la propagación de una cadena oxidativa, a través de la estabilización del radical generado y regenerando el antioxidante radicalario, previniendo o reduciendo el daño oxidativo en el cuerpo humano. Los antioxidantes más destacados hallados en los alimentos son: la vitamina C, los carotenoides, la vitamina E y los flavonoides en la actualidad (Rojas, 2019).

3.2.23.2 Efectos benéficos de los antioxidantes

Los antioxidantes poseen la capacidad impedir que otras moléculas se adhieran al oxígeno, al interactuar-reaccionar de manera rápida con las especies reactivas del oxígeno que, con el resto de las moléculas presentes, en un determinado microambiente- membrana plasmática, citosol, núcleo o líquido extracelular. Para evitar alteraciones de proteínas, lípidos, moléculas funcionalmente vitales, ADN, etc. Los antioxidantes sacrifican su propia integridad molecular (Rojas, 2019).

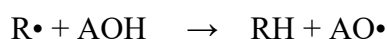
3.2.23.3 Fuentes naturales de los antioxidantes

Según Quiñonez (2017), las fuentes más importantes de antioxidantes se pueden encontrar en los vegetales y frutas los cuales se pueden utilizar para preservar del valor nutritivo previniendo el deterioro oxidativo de lípidos y para intereses medicinales. El poder antioxidante de los vegetales puede ser gracias a los polifenoles que poseen extensas características biológicas y principalmente, a su propiedad de secuestra radicales libres. La actividad

antioxidante de mayor interés es de los polifenoles, ya que viene siendo estudiada e investigada con mayor énfasis; este efecto es debido a que posee en su estructura química un número variable de grupos hidroxilo fenólicos, los cuales reaccionan con los radicales libres.

3.2.24 Polifenoles totales

Los polifenoles están constituidos por un grupo de metabolitos secundarios biosintetizados por el reino vegetal, estos se encuentran principalmente en alimentos de fuentes vegetales. Los compuestos polifenólicos poseen una gran cantidad de sustancias que tienen uno o más anillos aromáticos y con al menos un grupo hidroxilo, los cuales ejercen principalmente el papel de apturadores y estabilizadores de radicales libres, pueden quelar los metales, generalmente aquellos que en su estructura poseen grupos carboxílicos. También se le atribuye acción antioxidante debido a que inhibe las enzimas prooxidantes como la lipooxigenasa. Su mecanismo de protección de los polifenoles (representado por AOH) se genera en el estado inicial y aún más durante el estado de propagación de la oxidación, gracias a que captura los radicales libres (R•), de esta manera frena la reacción en cadena (Rojas, 2019).



Para que la función antioxidante sea efectiva la transmisión de electrones desde el radical libre (R•) establece que, el antioxidante debe convertirse en una molécula radical activa y este radical así formado debe ser estable lo suficientemente. A la par el radical formado es recuperado por otros antioxidantes reductoras, como el ascorbato (Guimet, 2012).

3.2.24.1 Clasificación de compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se dividen en dos grandes grupos:

a) Compuestos flavonoides

Son aquellos que están estructurados por dos ciclos bencénicos (A y B) adheridos gracias a un anillo heterocíclico oxigenado (C). En función a su grado de sustitución e instauración de su anillo central, se clasifican de la siguiente manera: flavan- 3-oles, flavonas (crisina, rutina), antocianinas (delfinidina, malvidina, cianidina), flavanonas (herperidina, naringenina), flavonoles (quercetina, miricetina),



catequinas (epicatequina, galato de epicatequina, epigallocatequina) y dihidroflavonoles (Quiñones, 2017).

b) Compuestos no flavonoides

En este grupo se encuentran los ácidos estilbenos hidroxicinámicos, hidroxibenzoico, etc. (Quiñones, 2017)

3.2.24.2 Principales polifenoles

Entre los que más destacan podemos mencionar a los flavonoides, isoflavonoides, antraquinonas, antocianidinas y xantonas, entre los ácidos tenemos fenólicos, fenoles simples, ácidos hidroxicinámicos, fenilpropenos, ligninas, entre otros (Guimet, 2012).

3.2.24.3 Cuantificación de compuestos fenólicos

El método de Folin-Ciocalteu, es el método por excelencia para la determinación del contenido total de fenoles, es una solución ácida de polímeros complejos de los ácidos fosfomolibdico y fosfowolfrámico más conocida como el reactivo de Folin-Ciocalteu. Este reactivo que posee color amarillo y que tiene la capacidad oxidar los fenolatos, para dar como resultado a un complejo azul de molibdeno- wolframio, cuya naturaleza aún es desconocido. Los fenoles se oxidan rápidamente en medios suficientemente alcalinos. Para su lectura del complejo azul se selecciona una longitud de onda de 740 nm en espectrofotometría UV-Vis (Quiñones, 2017).

3.3 Marco conceptual

- a) **Tomate de árbol:** Es un semi árbol con características de ser semi leñosa arbustiva de gran follaje que son de climas tropicales, sus tallos llegan a crecer una altura entre 2 a 3 metros, que son oriundas de las regiones altas tropicales.
- b) **Fibra dietaria:** Es aquella porción de los vegetales que resultan ser indigestibles y absorbidos en el intestino delgado también conocidos por las partes análogas, con un proceso de fermentación completa o parcial en el intestino grueso (García, 2003).
- c) **CRA:** Es la capacidad retener agua es una propiedad funcional de ciertas fibras dietéticas y se comprende como la capacidad de retener agua en gramos por cada gramo de partícula (Zúñiga, 2005).
- d) **CRAC:** La capacidad de retención de aceite y es una actividad funcional que solo algunas fibras dietéticas lo poseen y se denota como la capacidad que tiene un gramo de partícula en retener gramos de aceite (Zúñiga, 2005).
- e) **Actividad antioxidante:** Se define como una sustancia que, al presentarse en bajas concentraciones comparadas con un substrato oxidable, previene significativamente la oxidación de ese substrato.
- f) **Polifenoles totales:** Son compuestos polifenólicos que poseen el papel de capturadores y estabilizadores de radicales libres, pueden unirse firmemente a los iones de los metales, aquellos que en su estructura poseen grupos carboxílicos (Guimet, 2012).
- g) **Tamaño de partículas:** Es la granulometría de las partículas de polvos alimenticios, lo ideal para ser usado dentro de la industria alimentaria se encuentran entre el rango de 50 μm a 500 μm (Sánchez, 2005).
- h) **Fibra dietética insoluble (FDI):** Son insolubles en soluciones hídricas, se conforman de; hemicelulosas, gran parte de las celulosa y lignina (Centeno, 2014).
- i) **Fibra dietética soluble (FDS):** Son de fácil absorbancia en solventes acuosos, la conforman; las pectinas, polisacáridos de algas y celulosa modificada (Centeno, 2014).
- j) **Propiedades funcionales:** Se definen como aquella característica que posee un alimento o sustancia que la hace capaz de aceptar positivamente en alguna o varias funciones vitales del cuerpo humano.
- k) **Capacidad de hinchamiento:** Se entiende como la capacidad de humectarse y provocar el aumento del volumen del mismo.
- l) **Solubilidad:** Es la rapidez y la eficacia de un polvo en disiparse ante un agente hídrico.



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación, en función al tipo de variables es cuantitativo, en función a los factores en estudio es de tipo experimental y de acuerdo a la profundidad de la investigación es de nivel correlacional.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se realizó en dos bloques, primero a manera preliminar se determinó las propiedades fisicoquímicas y bioactivas donde se usó un diseño completamente aleatorizado (DCA) y segundo para la determinación de las propiedades funcionales se usó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (4x3 con tres repeticiones), en este diseño se observa el efecto causado por las variables independientes (ecotipos y el tamaño de partículas). El método que se aplicó en la presente investigación fue hipotético-deductivo, ya que durante la prueba experimental se pudo estimar el efecto de las variables independientes a través de la observación directa con la finalidad de verificar que dichos efectos cubran las expectativas a las hipótesis planteadas para esta investigación.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población que se utilizó para el presente estudio, fue el fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) que provenió de los distritos de Tamburco (Abancay), los ecotipos que se obtuvieron de esta ubicación fueron del color anaranjado y amarillo; mientras que del distrito de Huancarama (Andahuaylas), se obtuvo el ecotipo de color rojo. El muestreo se realizó de manera no probabilística o intencional, este procederá de algún lugar de los distritos mencionados.

4.3.2 Muestra

Las muestras tomadas provinieron del polvo obtenido del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) de las diferentes variedades que, previamente fue secado, molido, tamizado y empacado según los tamaños de partículas de interés para el presente estudio, de esta manera se obtendrá los datos en base a los análisis que se procedió a realizar, para la determinación de sus propiedades



fisicoquímicas, bioactivas y las propiedades funcionales. La cantidad de frutos fueron de 16 kg, 25 kg y 12.5 kg para cada variedad (rojo, amarillo y anaranjado) respectivamente.

4.4 Procedimiento

4.4.1 Flujograma para obtener las muestras a analizar.

En la Figura 5, se muestra el flujograma donde indica los pasos a seguir para la obtención del polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos.

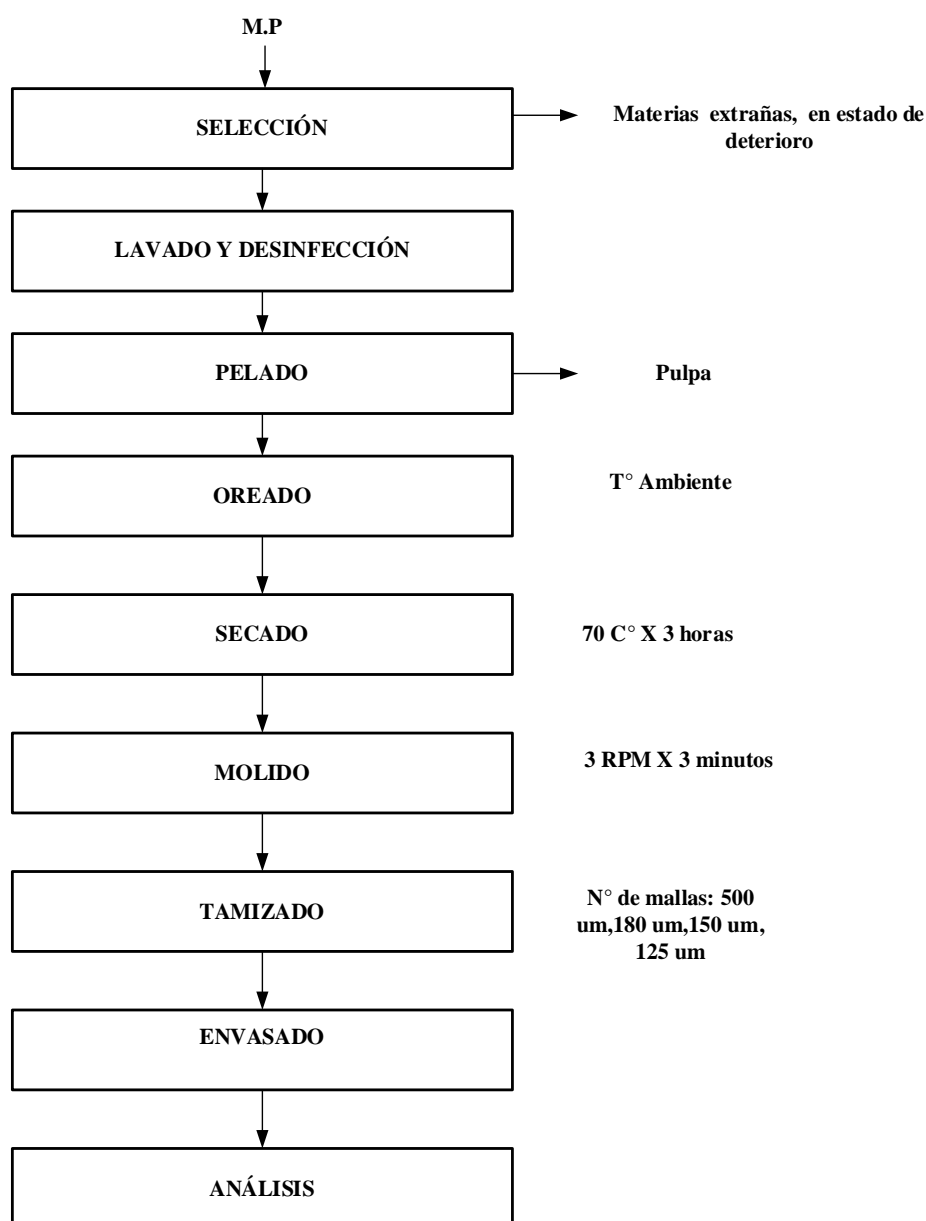


Figura 5 — Diagrama de flujo para obtener la muestra a analizar

A continuación, se describe cada operación para la obtención de las muestras en polvo a partir del epicarpio del fruto del tomate de árbol.

a) Recolección y selección del fruto Tomate de árbol:

Los frutos del Tomate de árbol provinieron de pequeños productores de los distritos de Tamburco (Abancay) y Huancarama (Andahuaylas), se recolectó los frutos en los diversos mercados de la ciudad de Abancay, en estado fresco y luego se seleccionó los frutos maduros de acuerdo a las variedades en estudio de las materias extrañas, tallos, frutos inmaduros.

b) Lavado y desinfección:

Se lavó los frutos del tomate de árbol en unos recipientes, donde se quitó cualquier tipo de materia adherida que afecte a nuestro análisis y seguidamente se desinfectó con 3 ml de hipoclorito de sodio al 50 ppm por cada litro de agua durante 30 minutos y posteriormente se enjuagó con agua.

c) Pelado:

Se descascaró el epicarpio del fruto, obteniendo de esta manera solo el epicarpio.

d) Oreado:

Se realizó un oreado a una temperatura ambiente sin exposición al sol por 3 a 5 horas, se observó el arrugamiento y la textura para proceder al siguiente proceso.

e) Secado:

Se secó el epicarpio en una estufa tipo verticel (MMM GROUP modelo 707 ECO) a 70 °C por un tiempo de 3 horas, con este equipo se quitó parte del agua presente en el epicarpio del fruto del tomate de árbol.

f) Molido:

Una vez secado se procedió a llevarlo al molino de cuchillas marca RETSCH (modelo GM200 programable), iniciamos primero con 1500 rpm por 1.5 minutos, luego con 2000 rpm por 1.5 minutos y finalmente con 3000 rpm por 2 minutos.

g) Tamizado:

Se tamizó con la ayuda de un tamizador electromagnética marca RETSCH (modelo AS200 programable), con las mallas de 500, 180, 150 y 125 micras, se programó por un tiempo de 15 minutos con... así tendremos los polvos para

ser analizados.

h) Envasado:

Se envasó en envases de polietileno con cierre hermético, de acuerdo al tamaño de las partículas de 500 micras, 180 micras, 150 micras y 125 micras y según el ecotipo correspondiente.

i) Análisis:

Se procedió a desarrollar los análisis en los laboratorios, primero se procedió a determinar sus propiedades fisicoquímicas (proteína, grasa, cenizas, humedad, carbohidratos totales, fibra dietaria, rendimiento y FTIR), seguidamente fueron las propiedades bioactivas (polifenoles totales, actividad antioxidante) y finalmente las propiedades funcionales (retención de agua, retención de aceite, solubilidad e hinchamiento)

4.5 Técnica e instrumentos

Los análisis desarrollados en el presente estudio se llevaron a cabo en los laboratorios de química general y análisis de productos agroindustriales de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por otro lado, para determinar el contenido de fibra dietaria total presente en el epicarpio del fruto del tomate de árbol se mandó a analizar en los laboratorios del Centro Peruano de la Conformidad S.A.C ubicado en la ciudad de Lima.

4.5.1 Técnica

a) Métodos usados para determinar de las propiedades fisicoquímicas

La composición proximal del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos se determinaron de acuerdo a los métodos oficiales de la AOAC de 1990 (Rybak, 2003). Los siguientes análisis fueron:

- 1. Humedad:** Se determinó con el método 925.09 del AOAC, después de pelar el epicarpio del fruto de los tres ecotipos del Tomate de árbol se procedió trocear 2x2 cm aproximadamente, luego se comenzó el a pesar en una balanza analítica cada muestra de cada variedad por triplicado en una placa Petri, anotando el peso inicial de la muestra se procedió a colocar en una estufa MEMMET a 70 °C, hasta que se obtuvo un peso constante.



$$\% H = \left(\frac{(P1-MH)-(P1-MS)}{(P1-MH)} \right) \times 100 \dots\dots (1)$$

Donde:

P1: Peso de placa Petri vacía.

MH: Peso de muestra húmeda más placa Petri.

MS: Peso de muestra seca más placa Petri.

2. Cenizas: El método aplicado fue el 923.03 AOAC, donde se pesó las muestras en unos crisoles tarando el peso del envase, después se comenzó a flamear estas muestras en un mechero Bunsen agarrando los crisoles con una pinza hasta que no haya rastros de humo, seguidamente los crisoles se colocaron a la mufla THERMOCONCEPT (modelo KLE 05/11) a 550 °C por 6 horas después de ello se enfrían en una campana de desecación y se pesó los crisoles.

$$\% \text{ cenizas} = \left(\frac{\text{peso de muestra calcinada}}{\text{peso de muestra}} \right) \times 100 \dots\dots (2)$$

3. Proteína cruda: Se utilizó el método 954.01 AOAC, se usará el habitual método Kjeldahl, usando 6.25 como factor de conversión de nitrógeno a proteína, se determinó mediante 2 fases.

Digestión

Primeramente, se preparó la muestra, el epicarpio de Tomate de árbol molido a 500µm, previamente se secó a 100°C en una estufa por 2 horas.

Luego se pesó en una balanza analítica 1.5g de muestra por triplicado usando un reloj de luna, también se pesó los reactivos: 15g de sulfato de potasio y 0.25g de sulfato cúprico anhidrido, todo ello se introdujo en un balón digestor y se añadió 20 ml de ácido sulfúrico seguidamente se tapó la boquilla con un algodón bañado en alcohol.

Procediendo la operación se colocó los balones al digestor de marca LABCONCO y se graduaron los calefactores desde el nivel 2 hasta el nivel 8 paulatinamente, esta operación duro aproximadamente 40 minutos,



finalizó al observar un cambio de color oscuro a un verde transparente.

Destilación

Ya enfriado a temperatura ambiente los balones se inició colocando a los balones perlas de vidrio y se agregó 50 ml de agua destilada transcurrido los 30 minutos se procedió en agregar 100 ml hidróxido de sodio al 45% en una campana extractora cuidadosamente. Después los balones se colocaron en la calentadora eléctrica acoplado al destilador marca LABCONCO, se tapó herméticamente con un tapón de jebe.

Se recogió el amoniaco producido en unos matraces de 500 ml el cual contenía 100 ml de ácido bórico al 3%, 0.3 ml de mezcla de azul de metilo y rojo de metilo , así se tornó a un rojo purpura , se puso en marcha los calentadores eléctricos desde un nivel 0 hasta la temperatura requerida, se finalizó la operación cuando el rojo purpura cambio de coloración a un color verde claro, por último se procedió a titula con ácido sulfúrico de 0.02 N, arrojando el resultado del contenido total del nitrógeno por ello se multiplicara con el factor 6.25 de conversión para obtener el contenido total de proteína cruda.

$$\%Nitrogeno = \left(\left(\frac{\text{gasto de titulacion} \times \text{normalidad}}{\text{peso de muestra}} \right) \times 0.014 \right) \times 100 \dots (3)$$

$$\% \text{ proteina cruda} = \% \text{ Nitrogeno} \times 6.25$$

4. Grasa cruda: El método aplicado fue el 920.39 AOAC, se determinó gracias al uso de lípidos libres extraídos con éter de petróleo a través de un sistema Soxhlet.

Se comenzó con el acondicionamiento de la muestra, el cual se llevó a secar en la estufa MEMMERT a 100 °C por 2 horas, colocando las partículas de 180 μm de tamaño en placas Petri. posterior a ello se pesó 3 g para cada ecotipo por triplicado, el cual se puso en unos cartuchos y seguidamente se colocó al soporte de cartuchos del extractor de grasa marca JP SELECTA. Luego se continuo con el agregado de 50 ml de solvente de éter de petróleo 35 – 60 °C en los vasos del extractor en la campana extractora.

El proceso de extracción de grasa constó de 3 fases:

Primera fase de ebullición (Boiling), en esta fase se programó el equipo a una temperatura de calefacción de 80°C por un tiempo de 35 minutos.

Segunda fase de Rising, en esta fase también se programó la temperatura de calefacción de 80°C por 45 minutos.

Tercera fase de secado (recuperación de solvente), por penúltimo en esta fase se programó la temperatura de calefacción a 80°C por 20 minutos.

Transcurrido este tiempo se sacó los vasos conteniendo el extracto y se puso a la estufa a 105°C de temperatura durante 15 minutos, esta operación se realizó con la finalidad de volatilizar por completo el solvente y quedarnos con el extracto de grasa puro.

$$\% Grasa = \left(\frac{\text{peso de grasa de la muestra}}{\text{peso de muestra}} \right) \times 100 \dots\dots (4)$$

5. Carbohidratos totales: Se logró determinar por la diferencia de pesos o porcentajes, restando del 100% la suma de porcentajes de grasa, cenizas, humedad y proteína cruda antes analizadas.

$$CT = 100\% - (\%Grasa + \%Ceniza + \%Proteina\ cruda + \%Humedad)$$

6. Rendimiento: se determinó según a la diferencia de pesos que se obtuvo el fruto entero, versus en la cáscara y finalmente en el polvo.

$$\%Rendimiento = \left(\frac{\text{peso final de M.P}}{\text{peso inicial de M.P}} \right) \times 100 \dots\dots (5)$$

b) Métodos usados para determinar las propiedades funcionales

Prueba de solubilidad: Se realizó los ensayos según lo practicado por Cano et al. (2005), con ciertas variaciones que mencionamos: se inició agregando 50 ml de agua destilada a un tubo falcón, seguidamente se agregó 0,5 gr del polvo de epicarpio del tomate de árbol según el tamaño de partículas que se empleó, se rotuló los tubos con la finalidad de identificarlos bien, luego se agitó en una plancha agitador (Corning PC – 420, USA), por un tiempo de



5 min a 1150 rpm. Finalizado dicho proceso, se dispuso en un tubo tipo falcón la solución y luego se llevó a centrifugar por un tiempo aproximado de 5 minutos a 3000 RPM. Posterior al centrifugado, se usó una placa de Petri donde se dispuso el sobrenadante solo un 12,5 ml antes pesada, inmediatamente se introduce a una estufa a la temperatura de 105 °C por 5 h. La solubilidad se calculó en porcentaje por diferencia de peso según la ecuación a continuación.

$$\text{solubilidad en agua (\%)} = 100 \left(\frac{\text{peso sólidos en el sobrenadantes} \times 4}{\text{peso de la muestra}} \right) \dots\dots (6)$$

Prueba de capacidad de retención de agua y aceite (CRA, CRAC): El procedimiento se desarrolló de la siguiente manera. Primero, se agregó una cantidad de 250 mg de polvo de epicarpio del fruto del tomate de árbol en un tubo de 50 ml de capacidad, seguidamente se incluyó aceite de oliva (25 ml) para CRAC y la misma medida en el caso de agua destilada para CRA. Dichas soluciones se homogenizaron expuesto a una temperatura de 28°C por el periodo de 1 h en una estufa, terminado este proceso se procedió a centrifugar (Eppendorf centrifuge 5804R, Germany) a una revolución de 1500 RPM durante 10 min y finalmente se pesó el sedimentó presentes en los tubos de ensayos trabajados. Estas capacidades se hallaron como gr de agua o gr de aceite captado por gr de polvo de epicarpio del tomate de árbol, según el método mencionado por (Hassan et al., 2011) y se calculó con la ayuda de la siguiente ecuación.

$$\frac{CRA}{CRA} \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{\text{peso sedimento} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra seca}} \dots\dots\dots (7)$$

Capacidad de hinchamiento (CH): Se determinó según lo descrito por (Hincapié et al. 2014), se inició primero realizando el pesado de 0,25 gr de muestra del polvo del epicarpio del tomate de árbol en una probeta, posterior a ello se adicionó 10 ml de agua previamente destilada. Transcurridas unas 16 horas se midió el volumen que obtuvo la muestra, que llegó a exceder por el exceso de disolvente. Se calculó mediante la siguiente formula que



estará expresadas en las medidas de ml/gr:

$$CH = \frac{\text{Volumen final} - \text{Volumen inicial}}{\text{Peso Muestra}} \dots\dots\dots (8)$$

c) Descripción del método usados en la determinación de fibra dietaria

Determinación de fibra dietética (FD)

Se determinó mediante la aplicación del método AOAC 985.29.

- Se inició con el pesado de 1 gr de la muestra, se trabajó en vasos precipitados con una capacidad de 100 ml y por duplicado (M1 y M2). Conjuntamente se usaron dos blancos de muestras con reactivo durante cada prueba (B1 y B2).
- Se añadió en cada vaso la solución mezcla amortiguadora MES-TRIS, un volumen de 40 ml a un pH de 8.2 a 24°C.
- Seguidamente se incubó con α -amilasa estable a altas temperaturas. Esta incubación se realizó a baja velocidad y con agitación, luego se agregó a cada muestra y blanco, con 50 μ l de α -amilasa estable a temperatura alta. Con papel de aluminio se cubrió los vasos precipitados y luego se colocaron en un baño de agua a una temperatura 95°C con agitación y se incubó por un lapso de 35 minutos. La medición del volumen de las soluciones enzimáticas se realizó con la ayuda de una micropipeta.
- Se retiró los vasos del baño a temperatura alta y se enfriaron a una temperatura de 60°C. La temperatura del baño también se enfrió a 60°C.
- Ahora se procedió a incubar con la enzima proteasa. Se añadió 100 μ l de solución de proteasa a las muestras y blancos. Los vasos que siguen cubiertos se incubaron en baño de agua caliente a 60 \pm 1°C, siempre con agitación continua durante 30 minutos.
- Pasado el tiempo anterior se retiró del baño los vasos. Ajustando el potencial hidrogeno al intervalo de 4,1-4,8. Adicionando una solución de NaOH al 5% o solución de HCl al 5%.
- Se procedió ahora con la incubación de la amiloglucosidasa. Para ello se introdució a cada vaso un volumen de 200 μ l de amiloglucosidasa, los vasos seguían cubiertos, se incubaron a 60°C durante 30 minutos.



- Se precipitó con etanol, agregando metanol antes precalentado a 60°C un volumen de 225 ml al 95%, luego se dejó 30 minutos que se forme el precipitado a temperatura ambiente.
- Se procedió a filtra, utilizando cuatro crisoles filtrantes tipo Gooch con capacidad de 60ml y de poro grueso (N° 4). Se registró el peso de los crisoles secos y luego se agregó a cada uno de ellos 1,0 g de agente filtrante. Seguidamente se humedeció con agua destilada, se redistribuyó y aspiró formando una capa uniforme del agente filtrante.
- Se usó una bomba de vacío, se filtró el precipitado de cada digestión enzimática con la ayuda del crisol antes acondicionada, precipitándose de manera cuantitativa,
- Se lavó varias veces primero con alícuotas de etanol al 78%, luego la misma medida de etanol a 95% y finalmente con acetona con la misma medida.
- Se secaron los crisoles con el precipitado en un horno o mufla a una temperatura de 103°C durante toda la noche.
- Se retiraron del horno y se dejaron enfriar los crisoles con la ayuda de un desecador, seguidamente se pesó. Para determinar el peso de cada residuo, se restó del peso de tara (peso del crisol seco y celite).
- Para finalizar se llevó los residuos de M1 y B1, a una mufla para la determinación de cenizas y determinación del contenido de proteína. Finalmente se procedió a calcular el contenido de fibra dietaria con la siguiente formula.

$$\%FD = \frac{\frac{R1 + R2}{2} - C - P - B}{\frac{M1 + M2}{2}} \times 100 \dots \dots (9)$$

Donde:

M1: Muestra 1 (g)

M2: Muestra 2 (g)

R1: Residuo de M1 (g)

R2: Residuo de M2 (g)

C: Ceniza de R1

P: Proteína de R2

B: Blanco



d) Métodos usados en la determinación de compuestos bioactivos

Determinación de polifenoles totales

- Preparación del Folin Ciocalteu

Se preparó una solución de Folin Ciocalteu en una Fiola de 100 ml para ello, se utilizó 10 ml de Folin ciocalteu y se aforó con 100 ml de agua destilada (1:10, v/v).

- Preparación de carbonato de sodio

Se pesó 7.5 g de Na_2CO_3 y luego se aforó en una Fiola de 100 ml con agua destilada (7,5% p/v)

- Preparación para la curva patrón de ácido Gálico

Se pesó 0.025 g de ácido gálico y se completa con 100 ml de etanol hasta aforar una Fiola de 100 ml luego se cubrió con papel aluminio.

- Determinación de la curva estándar ácido gálico

Se diluyo las siguientes concentraciones de 250, 125, 62.5, 31.25, 15.62, 7.8, 3,9 g/ml. Para ello se procedió a retirar 5 ml de la dilución de 250 a un vaso precipitado y se añadió 5 ml de etanol para que sea la concentración de 125 y luego de esta nueva concentración se retiró la misma cantidad se solución y se aumentó 5 ml de etanol; de esa misma forma se siguió preparando las demás concentraciones, todos por triplicado.

Después cada concentración de ácido gálico se colocó 0.5 ml a tubos de ensayo por triplicado cada uno, procediendo con la inoculación de 2.5 ml de solución Folin Ciocalteu reposando durante 5 minutos, pasado los 5 minutos se añadió 2ml de carbonato de sodio y se dejó durante 60 minutos.

Se comenzó a pasar por el espectrofotómetro infrarrojo de 740 nm. Con los resultados obtenidos se hizo la gráfica concentración vs absorbancia, se procedió a determinar la ecuación y el coeficiente de correlación.

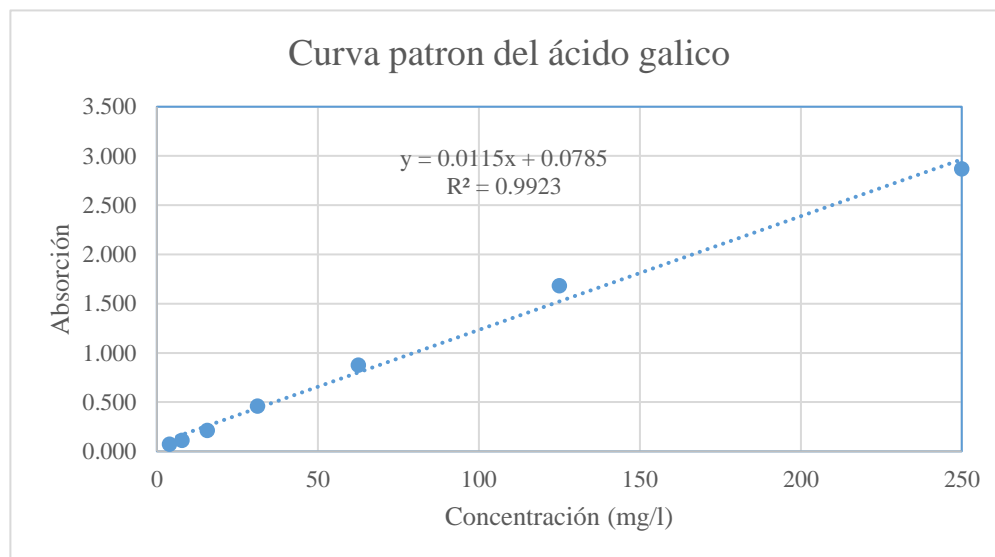


Figura 6 — Curva patrón para determinar polifenoles totales

- Preparación de la muestra blanca
primero se añadió en un tubo de ensayo 0.5 ml de etanol de 95%, segundo se inoculó 2.5 ml de Folin y se dejó durante 5 minutos y por último se añadió 2 ml de carbonato de sodio y se dejó reposando durante 60 minutos.

- Preparación de la muestra
Se inició colocando 1g de muestra del polvo del epicarpio de tomate de árbol en un frasco hermético y se añadió 10 ml de etanol de 95%, luego se llevó a incubar en un incubador por 24 horas, posteriormente pasado las horas se procede con el filtrado con un papel filtro en un matraz de Erlenmeyer forrado con papel aluminio para proteger de la luz.

La solución filtrada se sacó 0.5 ml en tubos de ensayo por triplicado, luego se añadió 2.5 ml de solución de Folin Ciocalteu y se dejó en reposo por 5 minutos, pasado el tiempo definido se le agregó 2 ml de la solución de carbonato de calcio y se deja durante 60 minutos.

Por último, se llevó al espectrofotómetro infrarrojo a 740 nm, cada tubo para su análisis respectivo.



e) **Determinación de capacidad de antioxidante**

- Se preparó la solución de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) al 0.004%. Se comenzó pesando 0.004g de DPPH y luego se aforó con agua destilada en una Fiola de 100 ml, debidamente agitado se cubrió con papel filtro para proteger de la luz solar.
- Preparación de la curva patrón ácido ascórbico (C₆H₈O₆) Se procedió pesando el ácido ascórbico de 0.0005g y se aforó en 100 ml de etanol de 95% y en seguida se diluyó en las siguientes concentraciones de: 50,30,15,10,8,4,2,1 ug/ml.

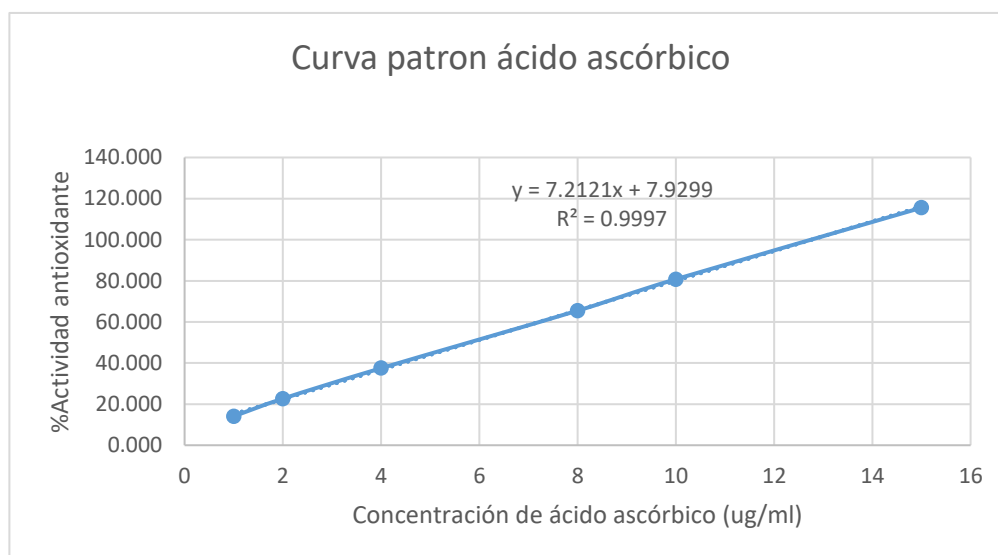


Figura 7 — Curva patrón de la determinación de actividad antioxidante

- Preparación de la muestra se inició pesando 1g de muestra molida y luego se mezcló en un frasco con 10 ml de etanol de 95% y en seguida se procedió a su incubación en una incubadora por 24 horas. Y posteriormente se filtró con un papel filtro.
Por último, se procedió en la lectura de los tubos de ensayo de las diluciones de la curva patrón en un espectrofotómetro infrarrojo a 517 nm. y de misma forma también se realizó para la muestra por triplicado, pero en este caso a cada tubo de le añadió 2 ml de DPPH Y 1 ml de muestra filtrada. con los resultados obtenidos se realizó la gráfica de concentración vs absorbancia, se procedió a determinar la ecuación y el coeficiente de correlación.
- Prueba blanca un tubo con 3 ml de etanol 95%



- Control negativo se preparó en un tubo con 1 ml de etanol más 2 ml de DPPH.
- Control positivo se preparó en un tubo 1 ml de ácido ascórbico más 2 ml de DPPH.

$$\%AA = \frac{100 - (\text{Absorbancia de muestra} - \text{absorbancia de banco} * 100)}{\text{absorbancia de control negativo} - \text{positivo}} \dots\dots (10)$$

f) Evaluación con espectroscopia infrarroja FTIR

Para un mejor análisis e identificación de los compuestos bioactivos mayoritarios presentes en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado). Se realizó una prueba de espectroscopía de infrarrojo medido por transformadas de Fourier (FTIR) en una frecuencia de 400 a 4000 cm^{-1} por medio del equipo Thermo Scientific (Modelo de Nicolet IS10 FTIR Spectrometer) en los laboratorios de química general de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Esta técnica se fundamenta en el análisis de materiales orgánicos mediante la irradiación de un haz de luz que produce una reacción de absorción de energía en mayor o menor cantidad en dependencia de la naturaleza de las cargas y estructura química de los enlaces del compuesto analizado, produciendo un espectro característico para cada tipo de material que es medido en términos de transmitancia (Vásquez et al. 2004). Se utilizó las muestras del polvo del epicarpio del fruto del tomate de árbol en sus tres ecotipos, colocando directamente en el equipo de medición.



4.5.2 Materiales

a) Materia prima:

Para la obtención de la muestra en estudio se utilizó el epicarpio del fruto de tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado) del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) previamente procesada hasta obtenerla en polvo y clasificada por tamaños de partículas.

b) Materiales de vidrio

- Vaso precipitado de 50 ml, 250 ml, 1000 ml
- Fiola de 50 ml y 100 ml
- Probeta de 50 ml y 100 ml
- Crisoles
- Placas Petri
- Pipeta de 5 ml, 10 ml
- Tubos falcon graduados de 15 ml
- Luna de reloj
- Varilla de vidrio
- Tubos de ensayo
- Embudo de vidrio
- Matras de Erlenmeyer
- Desecador
- Frascos de vidrio con tapa hermética

c) Equipos

- Molino de cuchillas marca RETSCH modelo GM200, serie 1214109121.
- Agitador magnético marca CAT serie 60266-00-0161.
- Digestor Kjeldhl y accesorios marca LABCONCO N° de serie 150204623.
- Destilador Kjeldhl y accesorios marca LABCONCO N° de serie 150204624T.
- Extractor de Grasa marca JP SELECTA modelo DET.GRAS N° de serie 611821.
- Estufa marca MEMMERT modelo UN30 N° serie B113.1463.
- Mufla marca THERMOCONCEPT modelo KLE 05/11 N° serie 1409506.

- Baño termoestación con agitador orbital marca TECHNOLOGY modelo GFL.
- Vortex marca VWR capacidad de 230 volt, modelo 945301 N° de serie 140521004.
- Balanza analítica marca SARTORIUS modelo ENTRIS 2241 1S.
- Estufa verticel marca MMM GROUP modelo 707 ECO.
- Mechero bunsen.
- Tamizador electromagnética marca RETSCH modelo AS200 con tamices N 500um, 250um, 180um y 125um, N° de serie 1215030206I.
- Espectrofotómetro Infrarrojo Medio marca THERMOCIENTIFIC modelo NICOLET IS10, NICOLET IZ10 serie AKY1500157.
- Micropipeta marca SANTORIOS modelo PROLINE PLUS capacidad de 100 a 1000 ml.
- Espectrofotómetro Genesys marca THERMOSPECTRONIC modelo E4001/4 N° de serie 3sjf288005.

d) Reactivos

- Hidróxido de sodio (NAOH) al 45% 1.3 N
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 95%
- Sulfato de potasio (K₂SO₄)
- Sulfato cúprico anhidro (CuSO₄)
- Ácido bórico (H₃BO₃) al 3%
- Rojo de metilo y azul de metileno (solución de etanol al 95%)
- 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) al 0.004%
- Ácido ascórbico al 0.005%
- Etanol al 95%
- Folin ciocalteu al 10%
- Carbonato de sodio (Na₂CO₃) al 7.5%
- Ácido gálico 0.025%
- Éter de petróleo B.R.35°-60°C.

4.6 Análisis estadístico

4.6.1 Técnicas estadísticas:

En el presente trabajo de investigación se usaron dos técnicas estadísticas, primero para los análisis preliminares de las propiedades fisicoquímicas y bioactivas se utilizó un DCA (diseño completamente aleatorizado). En el segundo bloque se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial para analizar las propiedades funcionales.

4.6.2 Factores y niveles:

- Factor A: Ecotipos del fruto del tomate de árbol, con sus 3 niveles (rojo, amarillo y anaranjado), este factor se usó tanto para la determinación de las propiedades fisicoquímicas, bioactivas y funcionales.
- Factor B: Tamaño de partícula, con sus 4 niveles (500, 180, 150 y 125 μm), este factor se usó solo en la determinación de las propiedades funcionales.

4.6.3 Tratamientos:

En la determinación de sus propiedades fisicoquímicas y bioactivos se presenta en la Tabla 7, donde se hace uso del factor A con sus tres niveles: Niveles del factor A (3) x 3 repeticiones = 9 tratamientos. En la determinación de las propiedades funcionales se detallan en la Tabla 8, donde se hace uso de los dos factores A y B con sus respectivos niveles (3 y 4) respectivamente. Nivel del factor A (3) x Niveles del factor B (4) x 3 repeticiones = 36 tratamientos

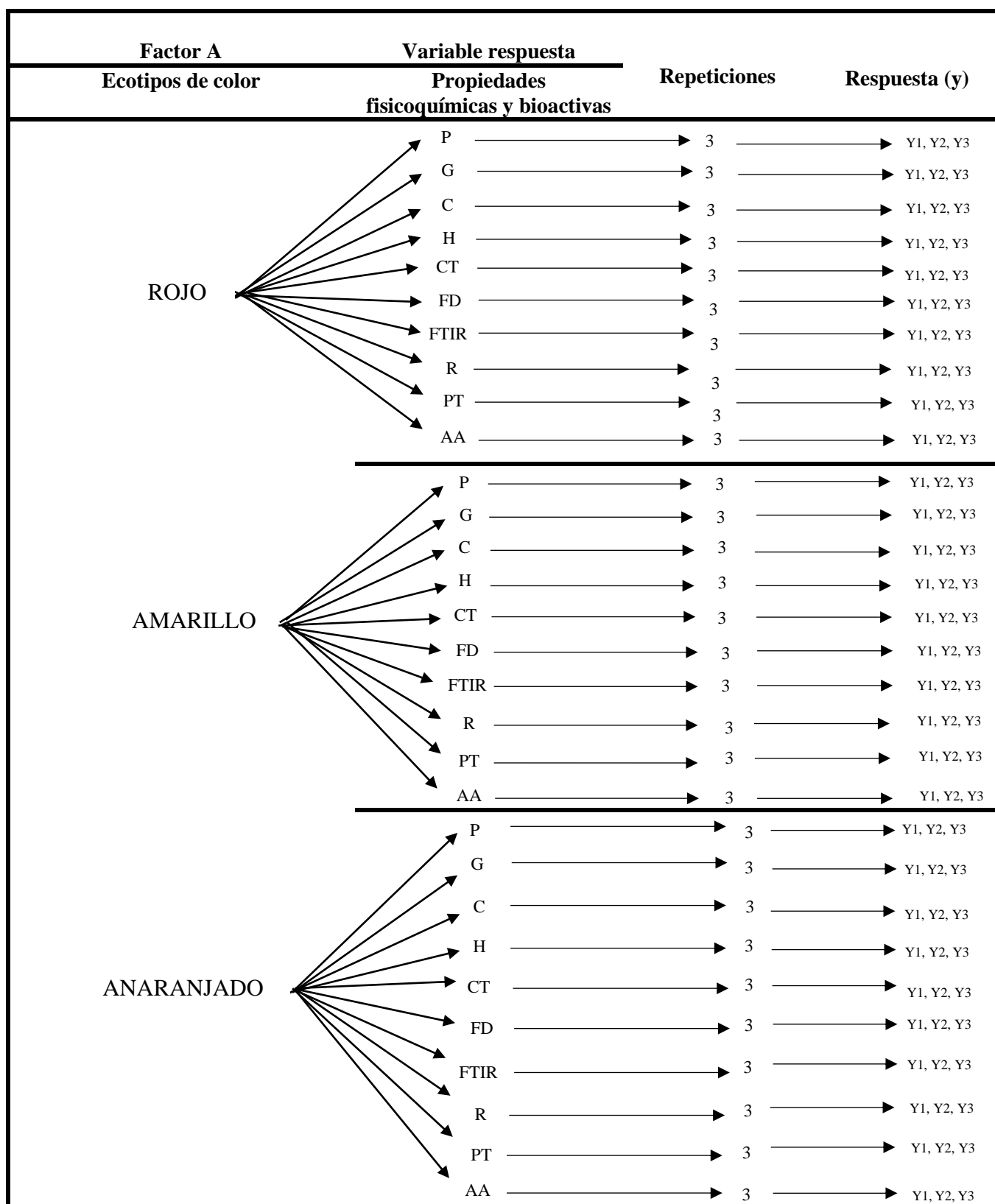
4.6.4 Variables respuestas:

- **Propiedades fisicoquímicas y bioactivas:** contenido de proteína (P), grasa (G), ceniza (C), humedad (H), carbohidratos totales (CT), fibra dietaria (FD), espectrofotómetro de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) y rendimiento (R). Polifenoles totales (PT) y actividad antioxidante (AA)
- **Propiedades funcionales:** capacidad de solubilidad (CS), capacidad de hinchamiento (CH), capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de retención de aceite (CRAC).

En la siguiente Tabla 7 detallamos el modo del diseño estadístico, para realizar el análisis de los datos en la determinación de las propiedades fisicoquímicas y bioactivas.



Tabla 7 — Diseño estadístico DCA de los análisis preliminares.



Factor A: Ecotipo de Tomate de árbol. Y: Respuestas obtenidas. La técnica estadística usada fue un DCA.



La Tabla 8, muestra el diseño empleado para el análisis de los datos obtenidos de la determinación de las propiedades funcionales, este modelo posee dos factores A es los ecotipos y B es los tamaños de partículas por tal razón se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial.

Tabla 8 — *Diseño completamente al azar con arreglo factorial.*

Factores		Variables respuesta	Repeticiones	Respuesta (y)
Ecotipo de color (A)	Tamaño de partículas (B)	Propiedades funcionales		
Rojo, amarillo y anaranjado	500,180,150 y 125 μm	T1 (CRA, CRAC, CH, CS)	1	Y1
			2	Y2
			3	Y3
		T2 (CRA, CRAC, CH, CS)	1	Y1
			2	Y2
			3	Y3
		T3 (CRA, CRAC, CH, CS)	1	Y1
			2	Y2
			3	Y3
		T4 (CRA, CRAC, CH, CS)	1	Y1
			2	Y2
			3	Y3
		T1 (CRA, CRAC, CH, CS)	1	Y1
			2	Y2
			3	Y3
		T2 (CRA, CRAC, CH, CS)	1	Y1
			2	Y2
			3	Y3
		T3 (CRA, CRAC, CH, CS)	1	Y1
			2	Y2
	3	Y3		
T4 (CRA, CRAC, CH, CS)	1	Y1		
	2	Y2		
	3	Y3		

Factor A: Ecotipo de Tomate de árbol. Factor B: Tamaño de partículas. Y: Respuestas.



En el diseño factorial aleatorizados con arreglo, se analizó las siguientes propiedades funcionales; capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite, capacidad de hinchamiento y capacidad de solubilidad, donde tendremos en cuenta los tamaños de partículas (125 μm , 150 μm , 180 μm , 500 μm) y los ecotipos del fruto del tomate de árbol (rojo, amarillo y anaranjado) con tres repeticiones en casa análisis, resultando en total 36 tratamiento por cada análisis.

4.6.5 Nivel de significancia

Se utilizó una probabilidad de margen de error del 0.05 (p) que es equivalente al 5%. Su región crítica o regla de decisión fue, si $P > 0.05$, no existe diferencia significativa sobre las medias de los tratamientos (se acepta la H_0) y si existe $P < 0.05$, si hay diferencia significativa sobre las medias de los tratamientos (se rechaza la H_0 y se acepta la H_a). Se trabajó con Minitab versión 19, para el análisis de varianza y si hubiera diferencias estadísticas entre los tratamientos se hará la comparación múltiple con Tukey con un nivel de significancia del 5%.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Análisis de resultados de las propiedades fisicoquímicas

Los resultados de la composición química proximal correspondiente a los tres ecotipos del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9 — Resultados de las propiedades fisicoquímicas en el epicarpio.

Propiedades fisicoquímicas	Ecotipos del fruto del tomate de árbol		
	Rojo	Amarillo	Anaranjado
Proteína (%)	6.25±0.284a	7.11±0.245b	6.64±0.046ab
Grasa (%)	0.59±0.016*	0.92±0.208*	0.67±0.028*
Cenizas (%)	6.15±0.015a	7.15±0.105b	7.05±0.098b
Humedad (%)	78.30±0.854ab	78.83±0.416b	76.76±1.150 ^a
Carbohidratos totales (%)	8.702±1.098b	5.975±0.754a	8.859±1.095b
Fibra dietaria (g/100g)	7.93±0.057c	7.18±0.055a	7.45±0.015b
Rendimiento (%)	3.1	2.0	4.0

Los valores dados son promedios de tres repeticiones con sus desviaciones estándar. Valores con diferente letra de superíndice indican diferencias estadísticamente ($p < 0.05$). (*): resultados no paramétricos.

a) Análisis de resultados del contenido de proteína cruda

Los resultados del contenido de proteína cruda fueron expresados en porcentaje (%), los tres ecotipos del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) resultaron tener alto contenido de compuestos nitrogenados, para mayor análisis de dichos resultados se detallan en la Figura 8.

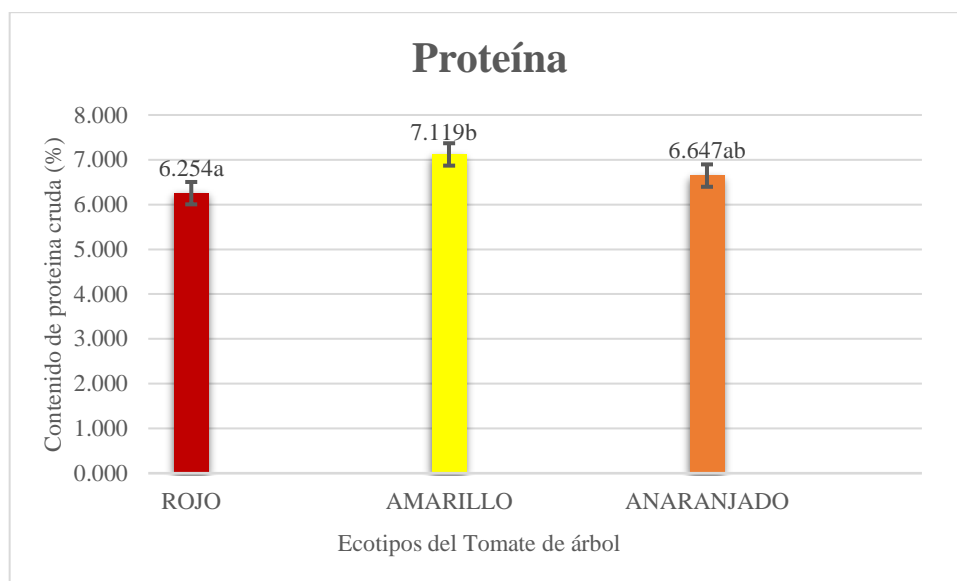


Figura 8 — *Análisis de los resultados de la determinación de proteína cruda*

El epicarpio del ecotipo amarillo reportó mayor porcentaje de proteína cruda, con 7.119%, seguido el ecotipo anaranjado con 6.647% y el ecotipo que registro menor contenido fue el rojo con 6.254%, existiendo diferencias significativas entre los ecotipos ($P < 0.05$). Al ser analizados estadísticamente, con la prueba de ANOVA unidireccional (Anexo 7), se obtuvo un P valor menor al nivel de significancia (0.05). Por ese motivo se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey donde se muestra que existe diferencias significativas entre los resultados. El factor variedad juega un papel importante debido a que, si influye en la determinación del contenido de proteína cruda. Este contenido considerable de proteína cruda está relacionado con la fibra dietaria cabe resaltar que la mayor parte de la fracción proteica, la cual se encuentran a medida del grado de madurez y la clase de fruta, está constituida por enzimas principalmente (Vargas et al. 2019).

b) Grasa

En la Figura 9 se presentan el contenido de extracto etéreo presente en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos, existiendo diferencias significativamente ($P < 0.05$), estos resultados fueron tratados no paramétricamente.

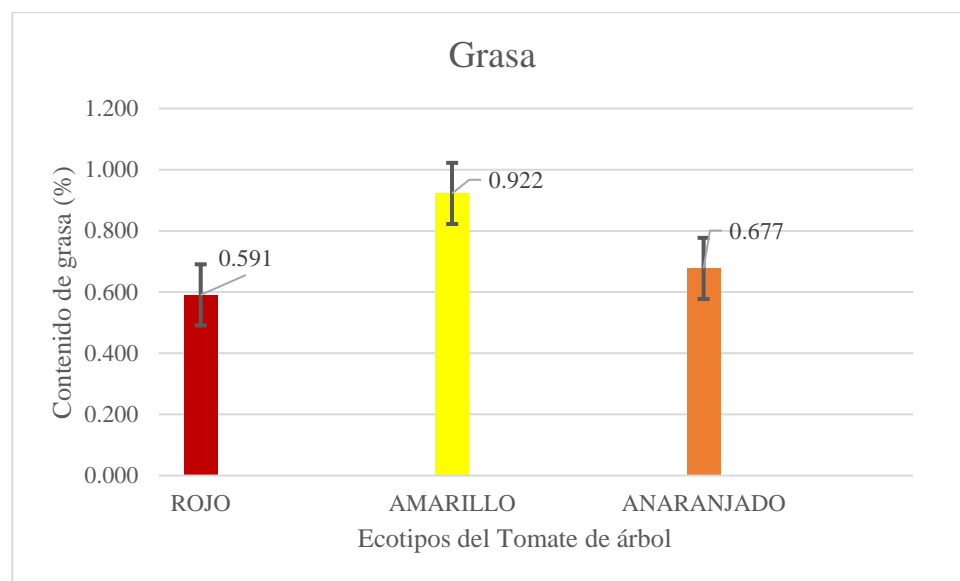


Figura 9 — Análisis de los resultados de la determinación de grasas

El ecotipo que reportó mayor contenido lipídico fue del epicarpio de color amarillo, sacando una diferencia de 0.33% al ecotipo de color rojo que reportó 0.59%, estos resultados se muestran en la Figura 9. Se realizó el análisis estadístico a los resultados, obteniéndose P valores menores al nivel de significancia (0.05%) en la prueba de homogeneidad de variedad y normalidad a los residuos de los resultados, rechazándose la hipótesis alterna, por esta razón se procedió a realizar el análisis estadístico no paramétrico donde se pudo obtener un P valor de 0.027 en la prueba de Kruskal-Wallis ver Anexo 9, siendo menor al nivel de significancia (0.05%). Por ello el factor del ecotipo del fruto del Tomate de árbol si afecta significativamente en la determinación del contenido de lípidos. La fracción lipídica en las cascara de frutas comprende compuestos como el acilgliceridos, glicolipidos, fosfolípidos, carotenoides, triterpenoides y ceras (Berlitz y Grosch, 1997).

c) Ceniza

Los valores del contenido de cenizas hallados en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol en los tres ecotipos se muestran en la Figura 10. Existiendo diferencias significativas entre variedades ($P < 0.005$).

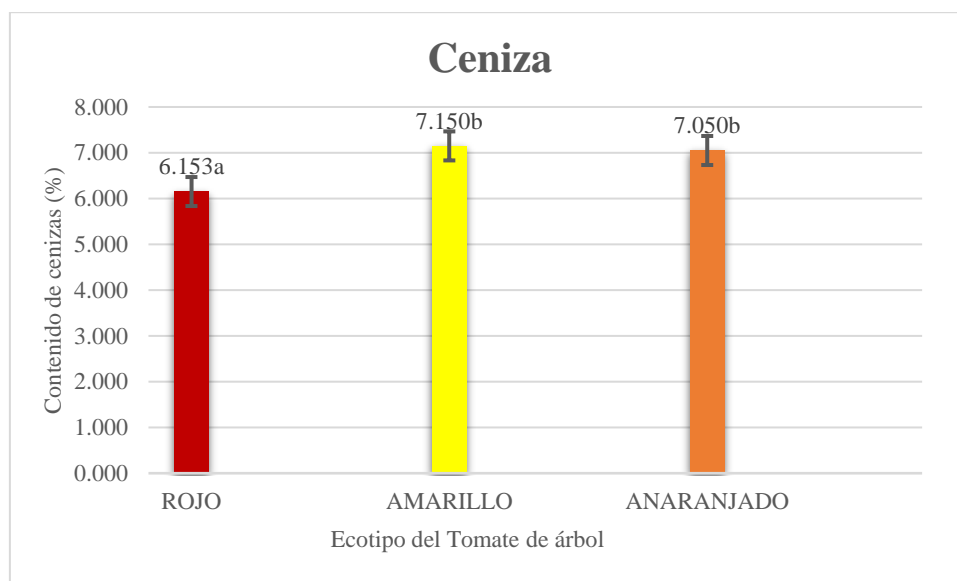


Figura 10 — Análisis de los resultados de la determinación de cenizas

Los valores están expresados en porcentaje como se muestran en la figura 10, el ecotipo amarillo reportó 7.15%, ecotipo anaranjado con 7.05% siendo estadísticamente similares estos dos ecotipos, a diferencia del ecotipo rojo que reportó el menor contenido de ceniza con 6.15%. En los análisis estadísticos realizada a los valores del contenido de ceniza se obtuvo un P valor menor del 0.05 de nivel de significancia en la prueba de ANOVA ver (Anexo 8), al existir diferencias significativas entre variedades y para lograr identificar la variedad que posee mayor contenido de ceniza, se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey, el factor variedad si influye significativamente en la determinación del contenido de ceniza. En la piel de las frutas, el contenido de minerales es variables y estos dependen en gran medida a al tipo fruto, estado de madurez, disponibilidad de agua, variedad y temporada de cosecha, así como por las condiciones de cultivo del mismo (Priego, 2007).

d) Humedad

Los resultados de la determinación del contenido de humedad, en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos, están expresados en (%), se puede ver en la Figura 11.

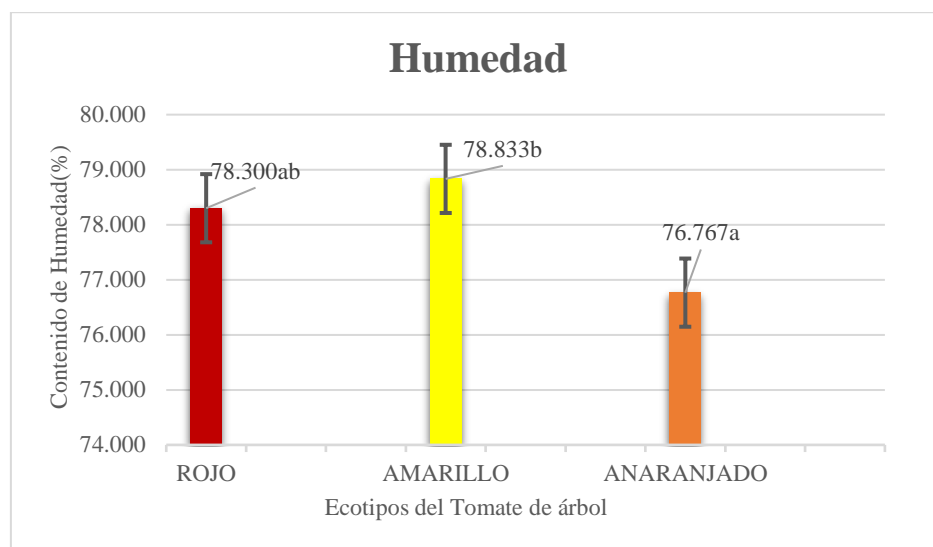


Figura 11 — Análisis de los resultados de la determinación de humedad

El ecotipo que reportó menor porcentaje de humedad fue el anaranjado con 76.767% y el ecotipo que reportó mayor porcentaje fue la amarilla con 78.833%, obteniendo una diferencia de 2.06% de diferencia, el ecotipo rojo reportó 78.3%, siendo similar al ecotipo amarillo. Los resultados analizados estadísticamente por la prueba de ANOVA obtuvieron un P valor menor al 5% de nivel de significancia (Anexo 10), se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple con Tukey, con la finalidad de identificar las diferencias estadísticamente entre ecotipos. El factor ecotipos si influyen significativamente en la determinación de este componente fisicoquímico. Las afecciones climatográficas son una de las causas por las cuales el epicarpio de los frutos tenga mayor o menor contenido de humedad, la alta necesidad en la disposición de agua en el suelo, afecta a los árboles frutales durante el periodo de maduración y engrosamiento de los frutos; necesidades que, de no verse satisfechas, pueden generar la reducción de tamaño, y en casos extremos, la deshidratación y arrugado del epicarpio de los frutos (Gil-Albert, 1989).

e) Carbohidratos totales

Los resultados del contenido de carbohidratos totales correspondientes a los tres ecotipos del epicarpio del fruto del Tomate de árbol se muestran en la Figura 12.

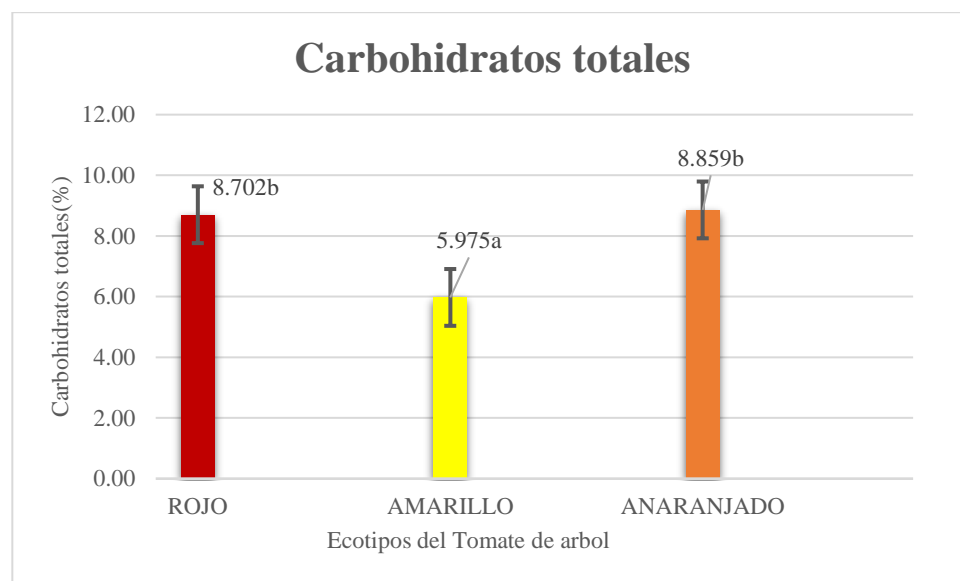


Figura 12 — Análisis de los resultados de la determinación de carbohidratos totales

Los ecotipos rojo y anaranjados poseen similitud estadísticamente entre sus resultados de 8.70% y 8.85% respectivamente, el ecotipo amarillo reportó menor contenido con un 5.97%. Se obtuvo un P valor menor al 5% de nivel de significancia en la prueba de ANOVA ver Anexo 11. se procedió a realizar la comparación múltiple con Tukey observándose que, si tienen diferencias significativas entre variedades, de esta manera se constata que, el factor variedad si influye significativamente en la determinación del contenido de carbohidratos totales. Uno de los factores que afectan en la disponibilidad del extracto libre de nitrógeno en las frutas es la luz este hecho favorece una mayor síntesis de compuestos carbónicos que la fruta demanda pudiendo encontrar compuestos en forma de monosacáridos, disacáridos, almidón y otros carbohidratos solubles dentro del fruto (Huaynate, 2015).

f) Fibra dietaria total

La determinación del contenido de fibra dietaria total (FD) se representa en la Figura 13, dichos resultados están expresados en (g/100g).

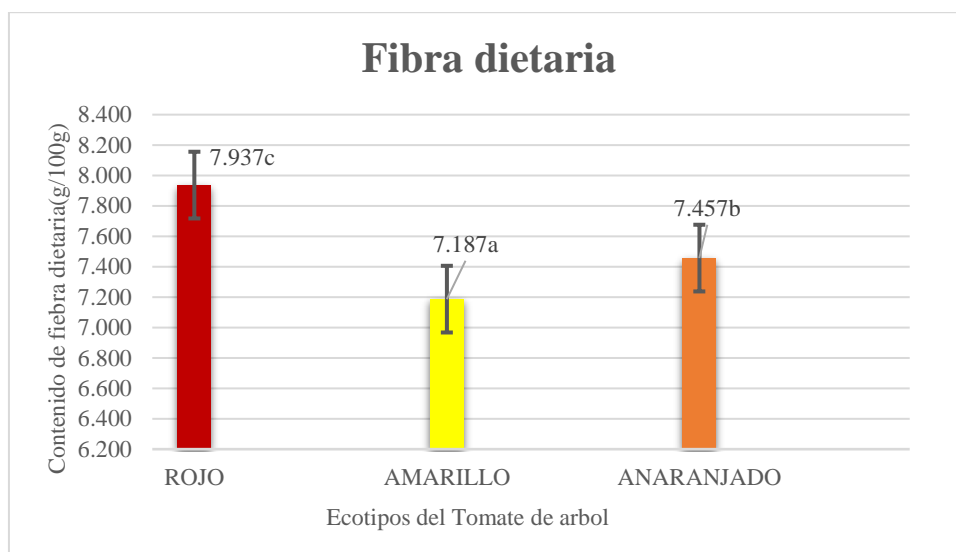


Figura 13 — *Análisis de los resultados del contenido de fibra dietaria total*

Los resultados del contenido de FD en el epicarpio del tomate de árbol en sus tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado), mostraron un comportamiento paramétrico al analizar los resultados estadísticamente por ANOVA donde se obtuvo un P valor de 0.000, siendo menor al 5% del nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna de los supuestos. De esa manera se procedió a realizar la comparación múltiple de las medias con Tukey con la finalidad de identificar que ecotipo posee mayor contenido de fibra dietaria, existiendo diferencias significativas en los resultados de cada ecotipo, el factor ecotipo si influye significativamente en la determinación del contenido de fibra dietaria total. El ecotipo que reporto mayor contenido fue del color rojo con 7.937 g/100g, le sigue el ecotipo anaranjado con 7.457 g/100g y el ecotipo amarillo reporto el menor contenido con 7.187 g/100g. Los resultados son similares esto puede deberse principalmente a que en el epicarpio del Tomate de árbol se concentra mayores cantidades de almidones Gutiérrez (2002). Así mismo, el contenido de proteína en la cáscara es fundamental ya que radica sobre todo en la fracción que pueda tasar como proteína indigerible principalmente si es resistente a la acción enzimática, se consideraría como parte de la fibra dietética (Priego, 2007).



g) Rendimiento

En la Tabla 10 se muestra los resultados sé que obtuvieron al determinar el rendimiento, estos se hallaron según a la diferencia de pesos al ser sometidos a secado.

Tabla 10 — Rendimiento determinada en las tres variedades

Ecotipos de tomate de árbol	Rendimiento (%)
Rojo	3.1±0.190b
Amarillo	2.0±0.061c
Anaranjado	4.0±0.173a

Nota: Los valores dados son promedios de tres repeticiones con sus desviaciones estándar. Valores con diferente letra de superíndice indican diferencias estadísticamente ($p < 0.05$). %: los resultados están expresados en porcentaje.

Los resultados muestran que el factor del ecotipo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) sí influye significativamente ($P < 0.05$) en la determinación del rendimiento, debido a que son distintos entre sí, el ecotipo anaranjado posee mayor rendimiento con 4% a comparación del ecotipo amarillo que solo posee un rendimiento de 2%. Estas diferencias se pueden entenderse a que la variedad anaranjada los frutos usados fueron de prominentes tamaños a diferencia al del color amarillo que fueron de tamaños pequeños y poseían mayor pedúnculo. Así podemos decir que, el ecotipo que posee mayor potencial para ser industrializada es la de color anaranjada.

5.1.2 Análisis de los resultados de las propiedades funcionales

En la Tabla 11, se expresan los resultados obtenidos de las propiedades funcionales o técnico-funcionales (capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite, capacidad de hinchamiento y capacidad de solubilidad) en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos y según al tamaño de partículas que se consideraron para la presente investigación.



Tabla 11 — Resultados de las propiedades funcionales

Ecotipos del Tomate de árbol	Tamaño de partículas (µm)	Capacidad de retención de agua (g/g)	Capacidad de retención de aceite (g/g)	Capacidad de hinchamiento (ml/g)	Capacidad de solubilidad (%)
Rojo	125	2.825±0.187a	2.606±0.131*	5.801±0.487a	72.349±2.476e
	150	6.607±1.115bcd	2.738±0.157*	11.251±0.196e	69.360±1.330de
	180	6.252±2.687bcd	2.692±0.175*	9.551±0.022cd	98.522±0.660g
	500	7.754±0.160cde	1.998±0.058*	7.773±0.203b	37.062±3.003a
Amarillo	125	5.466±1.870bc	2.507±0.748*	6.017±0.579a	135.825±1.291i
	150	7.133±0.345cde	2.021±0.169*	11.618±0.417e	96.688±1.980g
	180	9.297±0.594e	2.225±0.059*	10.708±0.683de	65.185±2.802cd
	500	7.229±0.435cde	1.613±0.175*	7.873±0.979b	31.477±2.681a
Anaranjado	125	4.424±0.484ab	2.823±0.476*	4.627±0.608a	111.685±0.623h
	150	5.698±1.025bc	2.486±0.344*	7.707±0.242b	85.739±0.134f
	180	8.591±1.201de	2.432±0.333*	10.030±0.871cde	61.790±1.488c
	500	9.318±0.520e	1.981±0.091*	8.704±1.317bc	47.264±0.718b

Nota: *: Resultados no paramétricos. Los valores dados son promedios de tres repeticiones con sus desviaciones estándar. Valores con diferente letra de superíndice (con columnas) difieren estadísticamente (P<0.05). µm: Tamaño de partículas en micras.

a) Capacidad de retención de agua

En la Figura 14, se presenta la capacidad de retención de agua para los tratamientos en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y según al tamaño de sus partículas.

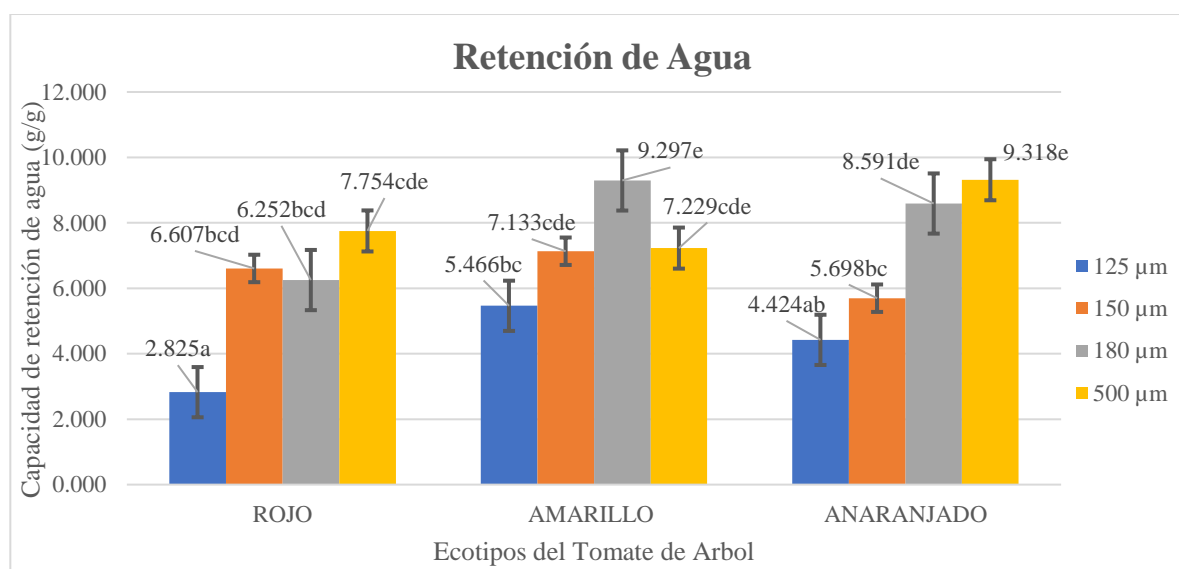


Figura 14 — Análisis de los resultados de la capacidad de retención de agua



Se puede observar en la Figura 14, el comportamiento de los tamaños de partículas del polvo y los ecotipos del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en la determinación de la capacidad de retención de agua, debido a que, en la prueba estadística de análisis de varianza con modelo general lineal (Anexo 12), se obtuvo P valores de 0.000 para el factor A, 0.009 para el factor B y 0.008 para la interacción entre ambos factores, al tener p valores menores al nivel de significancia 5%, se cumple con el supuesto de la hipótesis alterna. Por ello, se procedió a realizar la comparación múltiple con Tukey, con la finalidad de identificar qué variedad y tamaño de partículas presenta mayores CRA. Existiendo diferencias significativas y que los factores A, B y la interacción entre estas, influyendo significativamente en la determinación de la CRA. El ecotipo rojo con el tamaño de partículas de 500 μm y 150 μm reportaron CRA de 7.754g/g y 6.607g/g respectivamente, siendo sus reportes mayores, el tamaño de 125 μm reportó menor CRA con 2.825g/g, indicando que a menor tamaño de partículas menor es la CRA. El ecotipo amarillo reportó CRA de 9.297g/g en el tamaño de partículas de 180 μm , seguido se encuentran los tamaños de 500 μm y 150 μm con 7.229g/g y 7.133g/g respectivamente. En el ecotipo anaranjado reportó la mayor CRA con 9.31g/g con el tamaño de partícula de 500 μm , seguido de 8.59g/g en 180 μm como tamaño de partícula, 5.698g/g en 150 μm y 4.424g/g con 125 μm respectivamente. Notándose que a mayor tamaño de partículas la CRA es superior. La capacidad de retención de agua está estrechamente relacionada con los factores del pH, el tamaño de partícula, la fuerza iónica y la fuente de la cual proviene la muestra (Parrott y Thrall, 1978). Siendo el tamaño de partículas y procedencia los factores los que mayor influencia presentan. Borroto et al. (1995) menciona que, en el caso de diferentes fuentes de fibra de residuos alimenticios, independientemente de si la fibra soluble o insoluble es mayoritaria. El ecotipo anaranjado posee cualidades para ser usado en la industria de salsas, yogures y jugos ya que, puede conferir calidad viscosa a estos productos ayudando o convirtiéndolo más manejable su tratamiento. También, esta cualidad puede brindar suavidad y frescura a los productos de panificación (Cruz, 2002).



b) Capacidad de retención de aceite

Los resultados de la capacidad de retención de aceite realizada en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado) y según al tamaño de partículas, se muestran en la Figura 15.

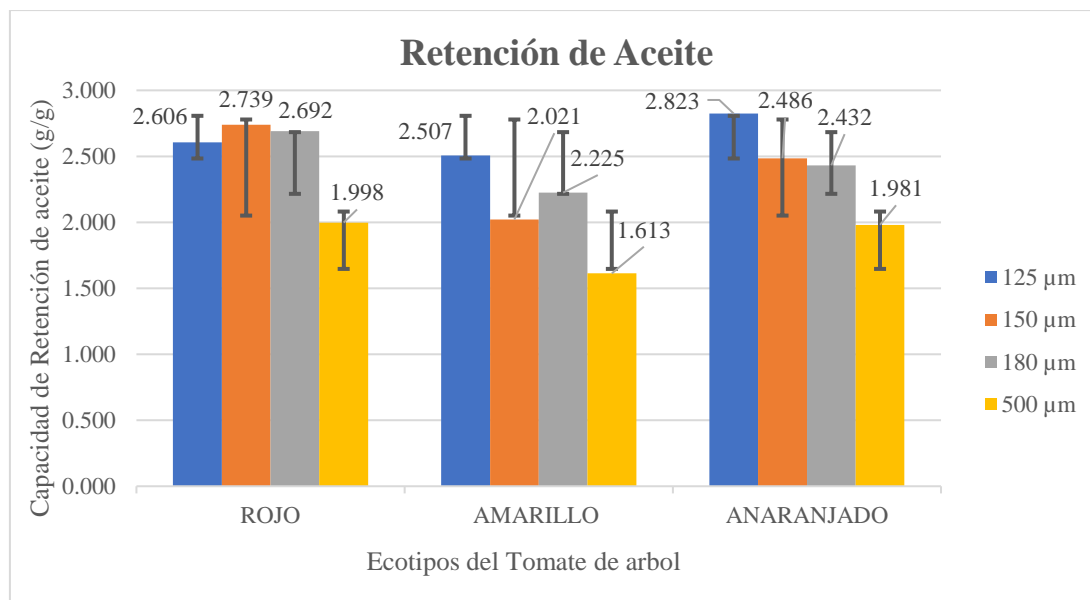


Figura 15 — Análisis de los resultados de la capacidad de retención de aceite

Los factores de ecotipos y tamaño de partículas del polvo del epicarpio del fruto del tomate de árbol sí influyen significativamente en la determinación de la CRAC debido a que, en las pruebas estadísticas no paramétricas a los resultados, a través de la prueba de Kruskal – Wallis ver Anexo 13, se obtuvieron P valores de 0.001 y 0.046 para el Factor A y el Factor B respectivamente, siendo menores al nivel significancia (0.05), mostrando que si existen diferencias significativas entre variedades y tamaños de partículas. El ecotipo rojo reportó considerables valores de CRAC con 2.606, 2.739 y 2.692 g/g en los tamaños de partículas de 125, 150 y 180 μm , respectivamente y el tamaño de 500 μm reportó menor CRAC con 1.998 g/g, se puede entender que, a menor tamaño de partículas mayor es la CRAC. El ecotipo amarillo reportó la misma tendencia del color rojo, con valores de 2.507, 2.021, 2.225 y 1.613 g/g en los tamaños de partículas de 125, 150, 180 y 500 μm respectivamente. El ecotipo anaranjado reportó mayor CRAC con 2.823 g/g con 125 μm en tamaño de partículas, el tamaño de partícula de 500 μm reportó menor CRAC con 1.981 g/g. Estos resultados muestran que, a mayor diámetro



de partículas menor es poder de retener agentes lipídicos. Robertson y Eastwood, (1984) mencionan que la facilidad con la que un sustrato puede retener aceite en su estructura depende del método utilizado para analizar dicha capacidad, de la composición química del sustrato, del método de preparación de la muestra, del tamaño y diámetro de partícula y del método de extracción de la fibra, de manera que se deben considerarse estos factores cuando se determina esta propiedad técnico-funcional. El ecotipo anaranjado posee la mayor CRAC esto lo convierte en un ingrediente potencial en el uso para formulaciones y sustituciones en productos cárnicos ya que puede impartir jugosidad y mejorar ciertos productos a base de carne como los embutidos (Peraza, 2000).

c) Capacidad de solubilidad

La capacidad de solubilidad es una de las propiedades funcionales muy apreciadas en la industria alimentaria debido a que según a dicha capacidad se puede usar en la formulación en ciertos productos alimenticios, en la Figura 16 se detallan los resultados de la CS realizada en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos y según a sus tamaños de partículas.

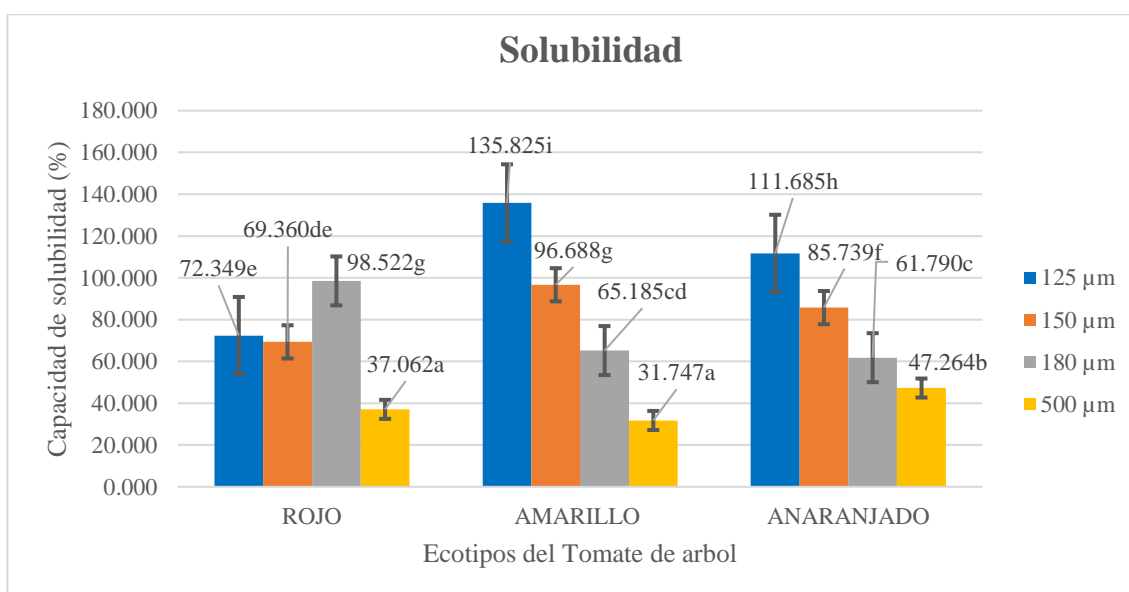


Figura 16 — Análisis de los resultados de la capacidad de solubilidad



El factor A (tamaño de partículas) y el factor B (ecotipo del tomate de árbol) influyeron significativamente al determinar la capacidad de solubilidad (CS), ya que, en el análisis estadísticos realizadas a los resultados por la prueba de varianza con modelo general lineal ver (Anexo 15), se obtuvieron P valores de 0.000 para el factor A, factor B y la interacción entre ambas respectivamente, siendo estos valores menor al 5% de nivel de significancia, rechazando la hipótesis nula y aceptando los supuestos de la investigación presente, por ello se procedió a realizar la comparación múltiple de las medias con Tukey donde resultó tener diferencias significativas entre ecotipos y tamaño de partículas. El ecotipo rojo con el tamaño de partícula de 180 μm reportó un 98.522%, seguidos por los tamaños de 150 y 125 μm con 69.360% y 72.349% respectivamente. El ecotipo amarillo reportó la mayor CS con 135.825% en el tamaño de partículas de 125 μm , seguidos de manera descendente con 96.688%, 65.185% y 31.747% con los tamaños de partículas de 150, 180 y 500 μm respectivamente. Notándose qué, a menor tamaño de partícula mayor es la capacidad de solubilidad. El ecotipo anaranjado reportó la misma tendencia de los reportados en el ecotipo amarillo, siendo 125 μm con mayor CS 111.685% y 500 μm con 47.264%. Según Fennema (1993) una de las básicas e importantes propiedades físicas es la atracción de agua por los carbohidratos presentes en la muestra. Esta propiedad es debido a los grupos hidroxilo presentes en grandes cantidades. Quienes conducen a la solventación y/o solubilización de los azúcares, carbohidratos y muchos de sus polímeros, son los grupos hidroxilos que interaccionan con las moléculas de agua a través de la formación de puentes de hidrógeno. El ecotipo amarillo con 125 μm de tamaño de partículas posee alto CS, esto le confiere características para ser usado en productos donde se deben controlar la sinéresis, mejorar la viscosidad y como agentes gelificantes.

d) Capacidad de hinchamiento

La capacidad de hinchamiento realizada al polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos y según al tamaño de partículas, son expresados en la Figura 17.



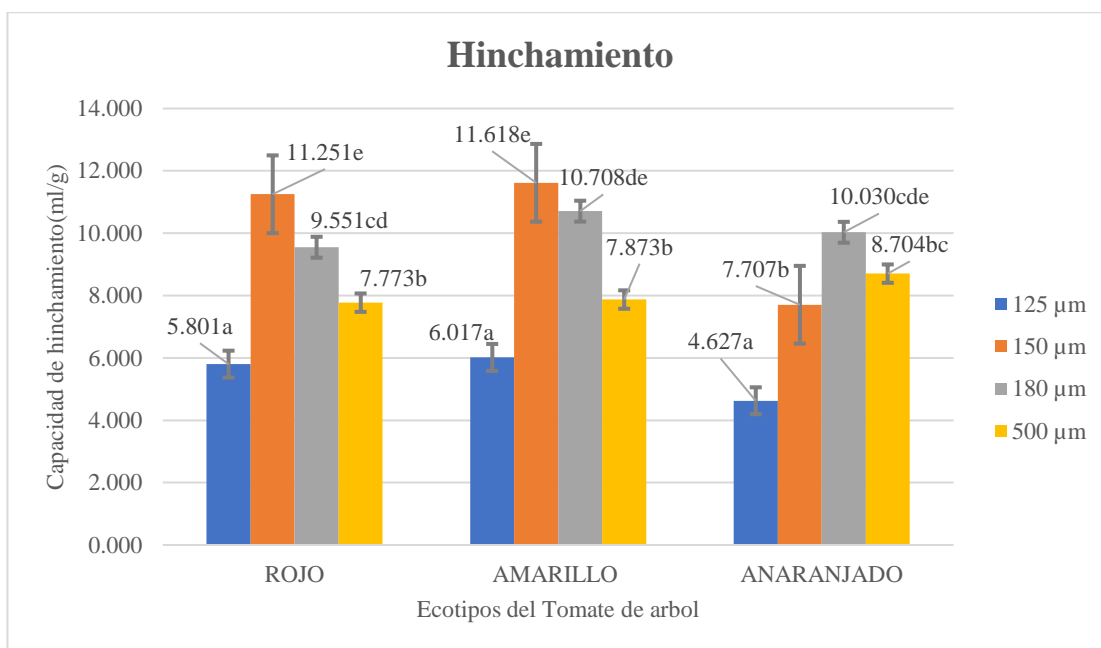


Figura 17 — Análisis de los resultados de la capacidad de hinchamiento

El tamaño de partículas y el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol si influyeron significativamente al determinar la capacidad de hinchamiento (CH), al analizar los resultados estadísticamente por la prueba de varianza con modelo lineal general ver (Anexo 14), se obtuvo P valores de 0.000 para el factor A, factor B y la interacción entre ambos factores, siendo menor al 0.05 del nivel de significancia. Aceptando el supuesto de la hipótesis alterna, por esta razón se procedió a realizar la comparación múltiple de medias con Tukey, existiendo diferencias significativas entre ecotipos y tamaño de partículas. El ecotipo rojo reportó 11.251 ml/g de CH con el tamaño de partícula de 150 μm, seguido por los tamaños de 180 y 500 μm con 9.551 ml/g y 7.773 ml/g respectivamente. En el ecotipo amarillo la tendencia es similar a la del color rojo, la mayor CH se presentó en el tamaño de partículas de 150, 180 y 500 μm con 11.618, 10.708 y 7.873 ml/g respectivamente y el de 125 μm reporto menor CH con 6.017ml/g. el ecotipo anaranjado mostró una tendencia diferente a los otros ecotipos, reportando la mayor capacidad de hinchamiento en el tamaño de 180 μm con 10.030 ml/g y el tamaño de 125 μm reportó menor capacidad con 4.62 ml/g. Mostrando que, los tamaños de partículas que posee mayor capacidad de hinchamiento se hallan en los tamaños de 150 y 180 μm. El ecotipo amarillo tiene gran potencial a ser usado como ingrediente en la

formulación de productos farmacéuticos al tener importante capacidad de hinchamiento puede conferir efectos de reducción del colesterol, anticarcinógeno, evitando que estas sustancias entren en contacto con la mucosa intestinal y favorecer su eliminación por las heces.

5.1.3 Resultados del contenido de las propiedades bioactivas

La determinación del contenido de las propiedades bioactivas se presenta en la Tabla 12 donde se observa la capacidad de antioxidante y el contenido de los polifenoles totales presentes en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol.

Tabla 12 — Resultados de las propiedades bioactivas

Ecotipos del Tomate de árbol	Capacidad antioxidante (mg AAC/100g)	Polifenoles totales (mg AG/100g)
Rojo	24.938±0.124ab	376.107±1.482a
Amarillo	24.296±0.103a	365.760±13.987a
Anaranjado	25.480±0.532b	348.457±14.507a

Nota: Los valores dados son promedios de tres repeticiones con sus desviaciones estándar. Valores con diferente letra de superíndice (con columnas) difieren estadísticamente ($P < 0.05$). mg AAC/100g: Miligramos de ácido ascórbico por 100 gramos de muestra. mg AG/100g: Miligramos de ácido gálico por 100 gramos de muestra.

a) Capacidad antioxidante

Los resultados obtenidos de la determinación de la capacidad de antioxidante se muestran en la Figura 18, donde se muestra de manera detallada la cantidad hallada en el epicarpio del fruto del tomate de árbol.

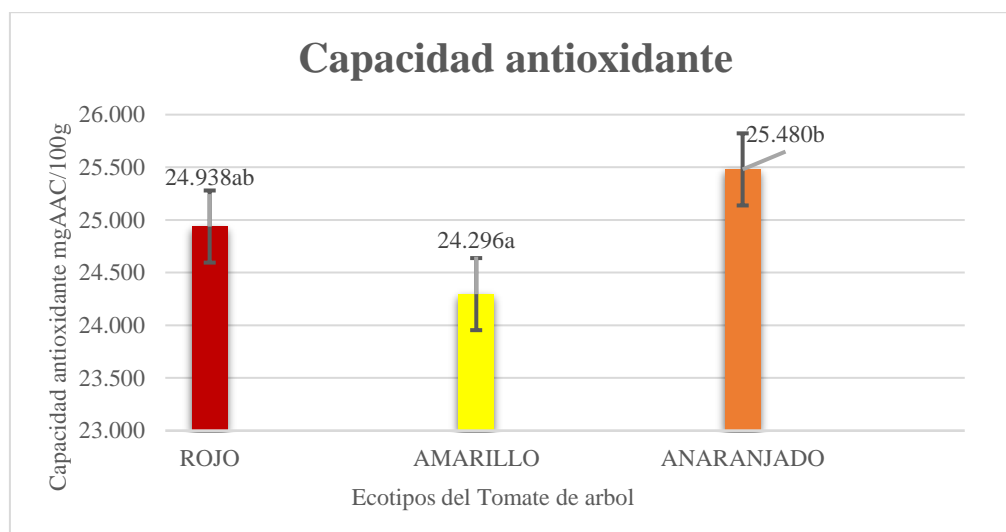


Figura 18 — Análisis de los resultados de la capacidad de antioxidante

Al determinar la capacidad de antioxidantes tanto el ecotipo de color rojo y anaranjado del epicarpio del Tomate de árbol mostraron contenidos relativamente altos con 24.938 y 25.480 mgAAC/100g, respectivamente. El ecotipo amarillo obtuvo el menor contenido de actividad antioxidante con 24.296 mgAAC/100g, mostrando que existe diferencias significativas entre variedades ($P < 0.005$). Al analizar los resultados estadísticamente con ANOVA ver (Anexo 16), se obtuvo un P valor de 0.008 siendo menor al 5% del nivel de significancia, rechazando la hipótesis nula y aceptando el supuesto de la investigación, por ello se procedió a realizar la comparación múltiple con Tukey. Mostrando que el factor de los ecotipos del epicarpio del fruto del Tomate de árbol si influye significativamente en la determinación de la capacidad antioxidante. El alto contenido de CA en los ecotipos rojo y anaranjado, puede deberse a que contienen mayor concentración de componentes polares como la vitamina C y antocianinas además de compuestos no polares como carotenoides (licopenos, carotenos) y vitamina E (Ordóñez et al. 2005).

b) Polifenoles Totales

La Figura 19 se muestra los resultados de la determinación de polifenoles totales realizada en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado).

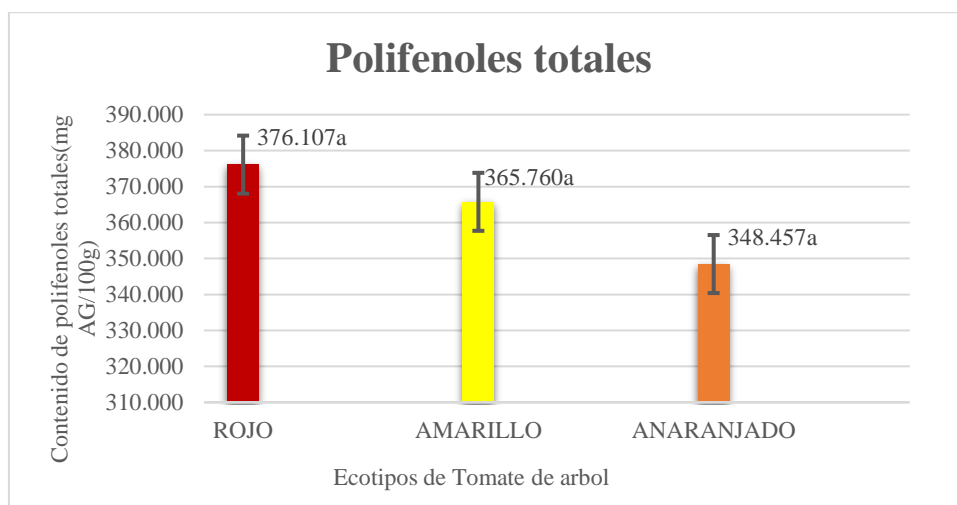


Figura 19 — Análisis de los resultados de polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales fue expresado en miligramos de ácido gálico equivalente/100mg (mgAG/100mg) hallados en los epicarpios de los tres ecotipos del fruto del Tomate de árbol. Tal como se muestra en la Figura19; el ecotipo rojo y amarillo reportaron mayores contenidos de fenoles totales con 376.107 y 365.760 mg AG/100g respectivamente. El ecotipo anaranjado reportó menor contenido con 348.457 mg AG/100g, siendo iguales estadísticamente los tres ecotipos, en el análisis estadístico por la prueba de ANOVA ver (Anexo17), se obtuvo un P valor de 0.069 siendo mayor al nivel de significancia de 0.05, aceptando la hipótesis nula y rechazando la hipótesis alterna, para mayor claridad se realizó la comparación múltiple por Tukey donde de igual manera se demostró que los resultados no tienen diferencias significativas $P > 0.05$. El factor variedad no influye significativamente en la determinación de PT. El contenido mayor de actividad antioxidante en el Tomate de árbol se debe al incremento de la concentración de metabolitos como antocianinas y leucoantocianinas que aparecen con la madurez del vegetal (Re et al. 1999).

5.1.4 Análisis de resultados del análisis por FTIR

1. Ecotipo amarillo

En la Figura 20, se puede observar los picos de absorbancia que se lograron determinar a través del FTIR.

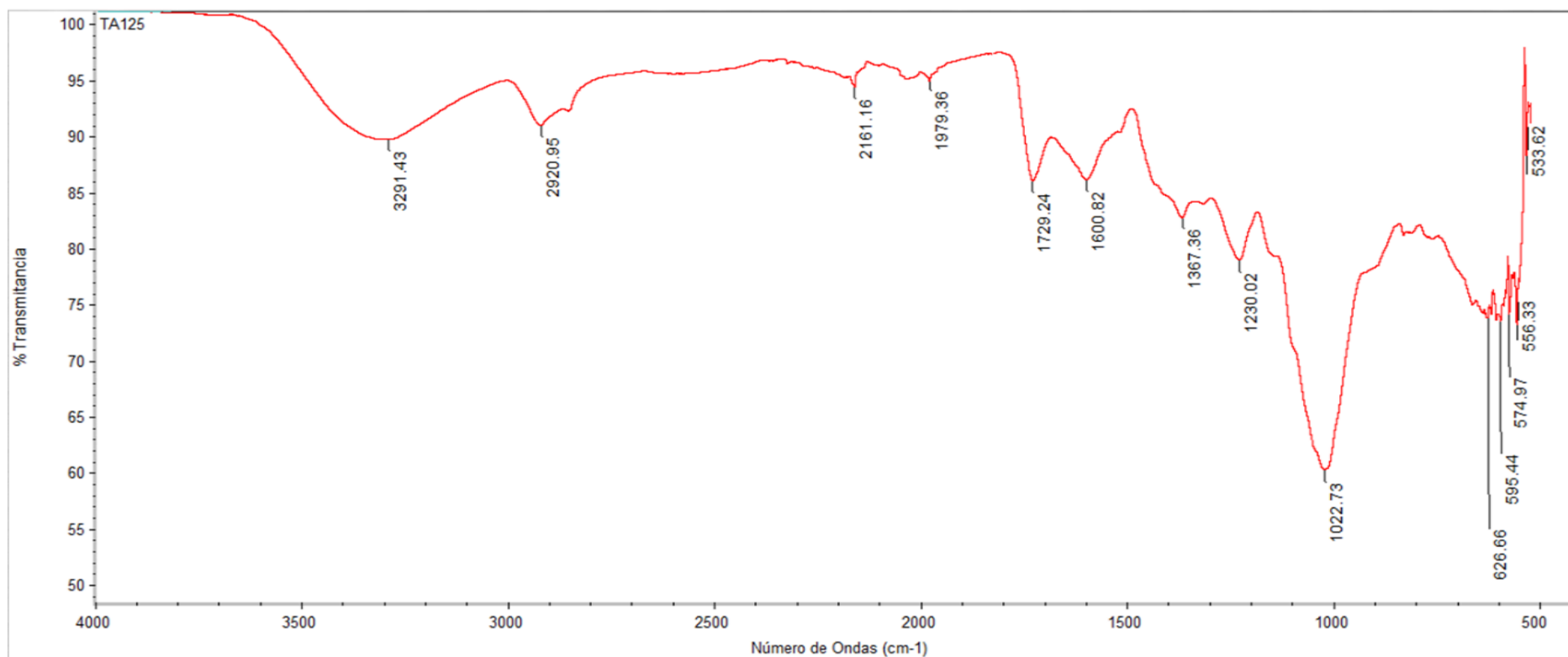


Figura 20 — *Análisis de los picos hallados en el FTIR variedad amarilla*

Los picos que más destacan dentro del ecotipo amarillo son; 3291 cm^{-1} y 1600 cm^{-1} , en estos picos se encuentran grupos amino tipo I o proteínas, entre picos de ondas de 2920 cm^{-1} y 1367 cm^{-1} se hallan los grupos de los lípidos o grasas y en la categoría de compuestos conformado por carbohidratos tenemos los picos de 1022 cm^{-1} y 1230 cm^{-1} (Mondragón, 2017).

2. Ecotipo anaranjado

Los picos hallados en la identificación de los grupos funcionales presentes en el epicarpio del Tomate de árbol en el ecotipo anaranjado por FTIR, se presenta en la Figura 21.

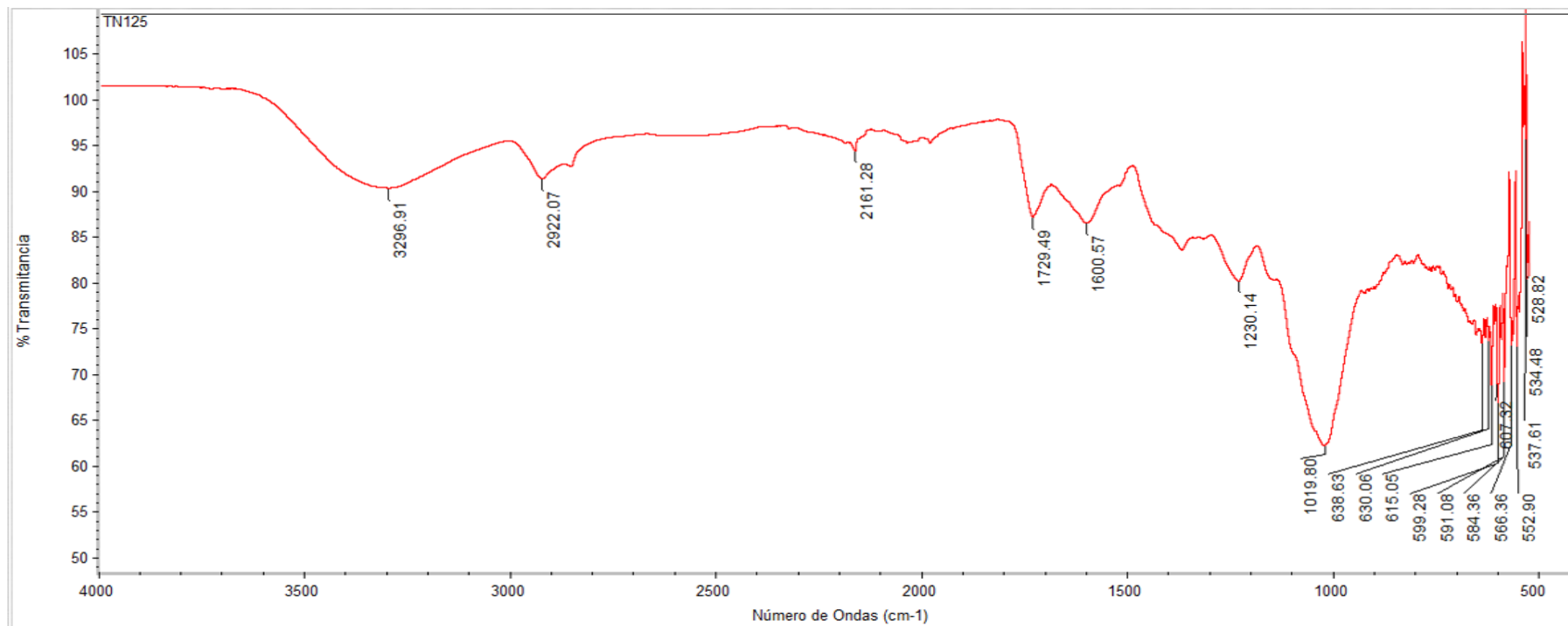


Figura 21 — Análisis de los picos hallados en el FTIR variedad anaranjada

Los picos más importantes halladas en el epicarpio del color anaranjado son: 3296 cm⁻¹ y 1600 cm⁻¹ donde se hallan grupos funcionales de aminas de tipo I con estiramiento, 2922 cm⁻¹ donde se encuentras grupos de compuestos tipo antocianinas, 1729 cm⁻¹ este pico también

se hallan los grupos de grasas y 1019 cm^{-1} en este pico que es el más representativo se encuentran los grupos C-O de carbohidratos (Mondragón, 2017).

3. Ecotipo Rojo

El espectro de infrarrojo encontradas en el epicarpio del fruto Tomate de árbol del ecotipo rojo, se muestran en la Figura 22.

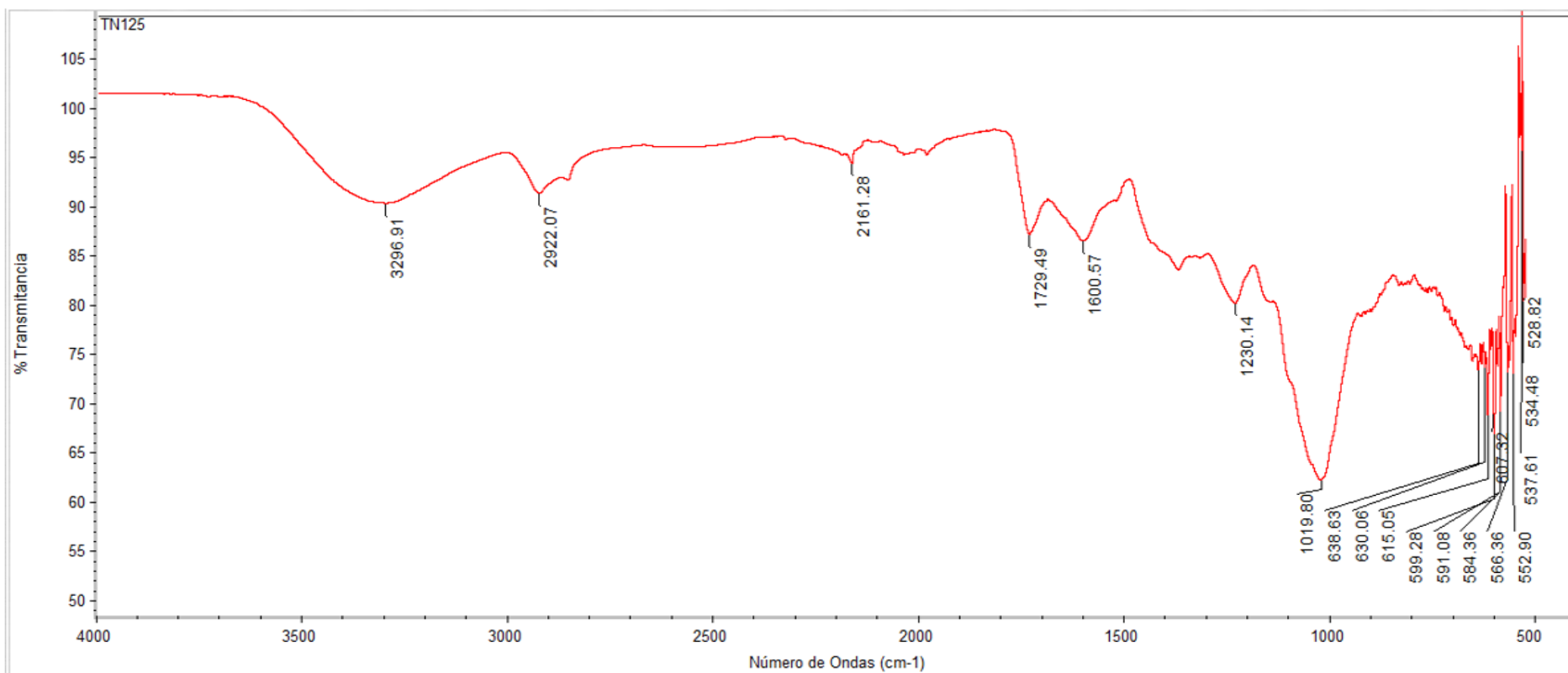


Figura 22 — Análisis de los picos hallados en el FTIR variedad roja

Las muestras analizadas con la ayuda del equipo del espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier, indican contenido de proteína en su composición del epicarpio del fruto del Tomate del árbol, también presentó indicios de contener otros tipos de compuestos mayoritarios como; carbohidratos y lípidos los cuales pueden reflejarse con los picos identificados de 1019 cm^{-1} 1230 cm^{-1} y 1729 cm^{-1} . Los picos que indican poseer grupos aminos de tipo I con estiramiento se hallan en 1600 cm^{-1} y 3.296 cm^{-1} (Mondragón, 2017).

5.2 Contratación de hipótesis (si corresponde)

5.2.1 Análisis de las hipótesis de las propiedades fisicoquímicas

Se presentan las contrataciones de los supuestos de la investigación.

a) Contenido de proteína cruda

En la determinación del contenido de proteína cruda, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor superior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianzas a los residuos en donde se determinó un P valor mayor al 0.05 nivel de significancia (se cumplió con los supuestos de normalidad y homogeneidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contratación respectiva:

H₀: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influye significativamente en la determinación del contenido de proteína cruda.

H_a: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influye significativamente en la determinación del contenido de proteína cruda.

Se concluye, que el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol si influye significativamente en la determinación del contenido de proteína cruda; para esto se realizó el análisis de varianzas (ANOVA), donde se obtuvo un P valor menor al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

b) Contenido de ceniza

En la determinación del contenido de ceniza, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor superior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianza a los residuos en donde se determinó un P valor mayor al 0.05 nivel de significancia (se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:

H₀: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influye significativamente en la determinación del contenido de ceniza.

H_a: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influye significativamente en la determinación del contenido de ceniza.

Se concluye, que el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol si influye significativamente en la determinación del contenido de ceniza; para esto se realizó el análisis de varianza (ANOVA), donde se obtuvo un P valor menor al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

c) Contenido de grasa

En la determinación del contenido de grasa, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor inferior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianza a los residuos en donde se determinó un P valor menor al 0.05 nivel de significancia (no se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis no paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:

H₀: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influye significativamente en la determinación del contenido de proteína grasa.



H_a: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influye significativamente en la determinación del contenido de grasa.

Se concluye, que el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol si influye significativamente en la determinación del contenido de grasa; para esto se realizó la prueba de Kruskal-Walli donde se obtuvo un P valor menor al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

d) Contenido de humedad

En la determinación del contenido de humedad, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor superior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianza a los residuos en donde se determinó un P valor mayor al 0.05 nivel de significancia (se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:

H₀: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influye significativamente en la determinación del contenido de humedad.

H_a: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influye significativamente en la determinación del contenido de humedad.

Se concluye, que el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol si influye significativamente en la determinación del contenido de humedad; para esto se realizó el análisis de varianza (ANOVA), donde se obtuvo un P valor menor al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

e) Contenido de carbohidratos totales

En la determinación del contenido de carbohidratos totales, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor superior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de

varianza a los residuos en donde se determinó un P valor mayor al 0.05 nivel de significancia (se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:

H₀: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influye significativamente en la determinación del contenido de carbohidratos totales.

H_a: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influye significativamente en la determinación del contenido de carbohidratos totales.

Se concluye, que el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol si influye significativamente en la determinación del contenido de carbohidratos totales; para esto se realizó el análisis de varianza (ANOVA), donde se obtuvo un P valor menor al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

f) Contenido de fibra dietaria total

En la determinación del contenido de fibra dietaria total, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor superior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianza a los residuos en donde se determinó un P valor mayor al 0.05 nivel de significancia (se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:

H₀: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influye significativamente en la determinación del contenido de fibra dietaria total.

H_a: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influye significativamente en la determinación del contenido de fibra dietaria total.



Se concluye, que el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol si influye significativamente en la determinación del contenido de fibra dietaria total; para esto se realizó el análisis de varianza (ANOVA), donde se obtuvo un P valor menor al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

5.2.2 Análisis de las hipótesis de las propiedades funcionales

1) Capacidad de retención de agua

En la determinación de la capacidad de retención de agua, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor de 0.086 superior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianza a los residuos en donde se determinó un P valor de 0.123 mayor al 0.05 nivel de significancia (se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:

H_a: El tamaño de partículas del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de agua.

H_o: El tamaño de partículas del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de agua.

H_a: Los tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de agua.

H_o: Los tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de agua.



H_a: La interacción del tamaño de partículas y los tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de agua.

H_o: La interacción del tamaño de partículas y los tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de agua

Se concluye, que el tamaño de partículas, el ecotipo de la cáscara del Tomate de árbol y la interacción entre ambos factores, si influye significativamente en la determinación de la capacidad de retención de agua; para esto se realizó el análisis de varianza (ANOVA), donde se obtuvo un P valores de 0.000, 0.009 y 0.008 menores al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

2) Capacidad de retención de aceite

En la determinación de la capacidad de retención de aceite, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor de 0.000 inferior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianza a los residuos en donde se determinó un P valor de <0.005 mayor al 0.05 nivel de significancia (no se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis no paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:

H_a: El tamaño de partículas del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de aceite.

H_o: El tamaño de partículas del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de aceite.

H_a: Los tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de aceite.



H₀: Los tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de aceite.

H_a: La interacción del tamaño de partículas y sus tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de aceite.

H₀: La interacción del tamaño de partículas y sus tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de retención de aceite.

Se concluye, que el tamaño de partículas del epicarpio, los ecotipos del Tomate de árbol si influye significativamente en la determinación de la capacidad de retención de aceite; para esto se realizó el test de Kruskal-Wallis a cada factor donde se obtuvo unos P valores de 0.062, 0.003. El P valor del factor variedad fue mayor al 5% de nivel de significancia y el P valor del factor tamaño de partículas resulto con menos del 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

3) Capacidad de solubilidad

En la determinación de la capacidad de solubilidad, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor superior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianzas a los residuos en donde se determinó un P valor mayor al 0.05 nivel de significancia (se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:

H_a: El tamaño de partículas del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de solubilidad.

H₀: El tamaño de partículas del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de solubilidad.

H_a: Los tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de solubilidad.

H₀: Los tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de solubilidad.

H_a: La interacción del tamaño de partículas y sus tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de solubilidad.

H₀: La interacción del tamaño de partículas y sus tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de solubilidad.

Se concluye, que el tamaño de partículas, el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol y la interacción entre ambos factores, si influye significativamente en la determinación de la capacidad de solubilidad; para esto se realizó el análisis de varianza (ANOVA), donde se obtuvo unos P valores menores al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna para los 3 casos.

4) Capacidad de hinchamiento

En la determinación de la capacidad de hinchamiento, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor superior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianza a los residuos en donde se determinó un P valor de mayor al 0.05 nivel de significancia (se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:



H_a: El tamaño de partículas del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de hinchamiento.

H₀: El tamaño de partículas del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de hinchamiento.

H_a: Los tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de hinchamiento.

H₀: Los tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de hinchamiento.

H_a: La interacción del tamaño de partículas y sus tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influyen significativamente en la determinación de la capacidad de hinchamiento.

H₀: La interacción del tamaño de partículas y sus tres ecotipos del epicarpio de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influyen significativamente en la determinación de la capacidad de hinchamiento.

Se concluye, que el tamaño de partículas, el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol y la interacción entre ambos factores, si influye significativamente en la determinación de la capacidad de hinchamiento; para verificarlo se realizó el análisis de varianza (ANOVA), donde se obtuvo unos P valores menores al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

5.2.3 Análisis de las hipótesis de la de determinación de compuestos bioactivos

a) Actividad antioxidante

En la determinación del contenido de la actividad antioxidante, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor de 0.305 superior al 5% del



nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianza a los residuos en donde se determinó un P valor de 0.087 mayor al 0.05 nivel de significancia (se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:

H₀: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influye significativamente en la determinación del contenido de la actividad antioxidante.

H_a: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influye significativamente en la determinación del contenido de la actividad antioxidante.

Se concluye, que el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol si influye significativamente en la determinación del contenido de la actividad antioxidante; para esto se realizó el análisis de varianza (ANOVA), donde se obtuvo un P valor de 0.008 siendo menor al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

b) Polifenoles totales

En la determinación del contenido de polifenoles totales, se analizó estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, en la prueba de normalidad de los residuos se obtuvo un P valor superior al 5% del nivel de significancia; de igual forma, al realizar la prueba de homogeneidad de varianza a los residuos en donde se determinó un P valor mayor al 0.05 nivel de significancia (se cumplió con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las varianzas de los residuos). Por esta razón, se procedió a realizar un análisis paramétrico de los resultados, teniendo las siguientes hipótesis para la contrastación respectiva:

H₀: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no influye significativamente en la determinación del contenido de polifenoles totales.

Ha: El ecotipo del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) si influye significativamente en la determinación del contenido de polifenoles totales.

Se concluye, que el ecotipo del epicarpio del Tomate de árbol si influye significativamente en la determinación del contenido de polifenoles totales; para esto se realizó el análisis de varianza (ANOVA), donde se obtuvo un P valor menor al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alterna.

5.3 Discusión

5.3.1 Discusión de las propiedades fisicoquímicas

Los resultados de las propiedades fisicoquímicas se pueden ver en la tabla 9, con la finalidad de discutir y comparar con otros trabajos de investigación. Se citó autores que investigaron la fruta del Tomate de árbol y cascaras de frutas que son familiares a este fruto, debido a que aún no se tiene estudios sobre el epicarpio del fruto del tomate de árbol en sus tres ecotipos.

a) Proteínas

Los resultados del contenido de proteína cruda se muestran en la Tabla 9, el ecotipo amarillo reportó mayor contenido con 7.119% en base húmeda, siendo este valor superior al reportado por Marina Baena (2012), donde el contenido de proteína en fibra insoluble (FI) fue de 0.0064g y en fibra soluble (FS) fue de 0.0016g en la cáscara del cacao (*Theobroma cacao L*); así mismo Torres (2012), reportó contenido de proteína de 1.78% en la pulpa madura del fruto del Tomate de árbol. De igual manera Huaynates (2015), reportó contenido de proteína cruda con valores promedios de 2,27 % en el sachatomate proveniente de Celendín y 1,78 % en el Sachatomate proveniente de Huayrapongo realizadas en la pulpa de este fruto (*Solanum betaceum*), también Dias, Sajiwanie y Rathnayaka (2020) reportaron contenido de proteína de 0.25, 0.17, 0.17 y 0.28% en cascaras de frutas de (palta, piña, maracuyá y naranja). Por otro lado, Rincón et al. (2005) reportó contenidos similares de proteína en cascaras de naranja, mandarina y toronja (5,07, 7,55, 4,22%) respectivamente. Los resultados reportados en la presente investigación se pueden deberse a la parte utilizada del fruto, la principal fuente de proteínas es el epicarpio de los



frutos, debido a que, el contenido de las glicoproteínas está presentes en gran parte en la pared celular primaria donde forman una red de microfibrillas junto a la celulosa. El contenido de estos componentes nitrogenados puede variar dependiendo del grado de maduración de la fruta o verdura, las condiciones en que se cultivaron y la naturaleza del fruto (García, 2003).

b) Ceniza

Respecto al contenido de cenizas halladas en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos los valores promedios se muestran en la Tabla 9, estos resultados son distintos a los reportados en la pulpa del tomate de árbol provenientes de dos comunidades de la región de Cajamarca (Huaynates, 2015), donde se hallaron promedios de 1.03 % para Celendín y 1.02 % para Huayrapongo. De igual forma Torres (2012), reportó 0.88% en la pulpa madura del tomate de árbol. Asimismo, en una investigación realizada sobre la harina de berenjena se obtuvo valores de ceniza similares de 7.14% (Rodríguez-Jiménez et al. 2017), este dato tiene similitud con el ecotipo amarillo del tomate de árbol analizada en la presente investigación. También en la investigación realizada en la cáscara de un fruto que es familia del Tomate de árbol, la berenjena (*Solanum melongena*) y a otro residuo de fruta de mayor consumo, la papaya (*Carica papaya*) reportaron altas concentraciones de cenizas (10.45% y 9.2%) respectivamente (Vargas et al. 2019), también Dias, Sajiwanie y Rathnayaka (2020) reportaron promedios de 2.94, 4.56, 6.32 y 4.92% en cascaras de frutas como; palta, piña, maracuyá y naranja respectivamente. El contenido de cenizas indica la cantidad de minerales que se encuentran en su estructura y este puede variar según el tipo fruto, estado de madurez, variedad y temporada de cosecha, así como por las condiciones de cultivo (Priego, 2007). En nuestro caso el tomate de árbol recolectado fue en tiempo húmedo, tendiendo a tener mayor disponibilidad de agua en el suelo, esto permitió mayor facilidad de la disponibilidad de minerales por la absorción radicular.



c) Grasa

Los resultados del contenido de extracto etéreo en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres variedades se muestran en la Tabla 9, estos resultados son superiores a los reportado por Huaynates (2015), que analizó la pulpa del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) reportando 0,07% procedente de Celendín y 0,06% procedente de Huayrapongo en la región de Cajamarca. En el mismo sentido Torres (2012), reportó resultados inferiores en contenido de extracto etéreo con 0.16%, en la pulpa madura del tomate de árbol. Por otra parte Vargas et al. (2019) en su investigación realizada en cáscaras de frutas reportó valores de; 4.239% en lima, 1.21% en berenjena, 1.88% en zanahoria y 3.09% en papaya, de la misma manera Dias, Sajiwanie y Rathnayaka (2020) reportaron contenido lipídico en cascaras de frutas de palta, piña, maracuyá y naranja con promedios de 35.22, 0.99, 0.47 y 16.20% respectivamente, estos son inferiores a los determinados. Notándose que el tipo de fruto así mismo el grosor y proporción del epicarpio influye mucho en la cantidad obtenida del contenido lipídico, los compuestos acilgliceridos, glicolipidos, fosfolípidos, carotenoides, triterpe-noides y ceras conforman la fracción lipídica de las frutas (Badui y Valdés 2006). Por otra parte Rodriguez-Jiménez et al. (2017), reportó resultados superiores en la investigación realizada al fruto de la berenjena (*Solanum melongena*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) con resultados de 1.66% y 6.26% respectivamente, estas diferencias de resultados se pueden deberse al origen y tipo de fruto investigado.

d) Humedad

En el contenido de humedad los resultados fueron similares, estos resultados se muestran en la Tabla 9. Estos resultados son inferiores a los reportados en la investigación realizada por Huaynates (2015), realizada en la pulpa del Tomate de árbol donde reportó un 84.67% de humedad, esto se debe a que en la pulpa del fruto se hallan mayor concentración de agua. Asimismo, Bendezu (2019) reportó 81.83%, en la investigación realizada a la pulpa de aguaymanto, este dato es superior al reportado en esta investigación siendo el mayor contenido de 78.83% en el ecotipo amarillo. Así mismo, estos datos son superiores a los

reportados por Vargas et al. (2019) en las harinas de los residuos de berenjena, lima, zanahoria y papaya donde los resultados fueron de 13.55%, 16.66%, 23% y 21.27% respectivamente. Así también Dias, Sajiwanie y Rathnayaka (2020) reportaron promedios de 37.79, 82.93, 85.21 y 49.61% en cascaras de frutas de palta, piña, maracuyá y naranja. Núñez (2014) plantea que el porcentaje de humedad de las muestras analizadas depende en gran medida del tipo de fruto y grosor de su epicarpio, también como de la temperatura a la que estuvo sometida y tiempo de secado durante su procesamiento.

e) Carbohidratos totales

Los resultados concernientes al contenido de carbohidratos totales se muestran en la Tabla 9, donde también se detallan este contenido es en la Figura 11. Estos datos son diferentes a los reportado por Chumo y Rodríguez (2018) donde investigó las propiedades fisicoquímicas de residuos de la piña y naranja obteniendo porcentajes de contenido de extracto libre de nitrógeno de 67% y 70.02% respectivamente, de la misma forma Llanes (2018) en su investigación realizada en el bagazo y cogollo de la caña de azúcar reportó cantidades significativas de 92.5% y 88.88% respectivamente. También Vargas et al. (2019) reportó datos interesantes sobre el contenido de carbohidratos totales en cáscara de berenjena con un promedio de 63.62% y en la cáscara de lima con un promedio de 72.61%. Así mismo Dias, Sajiwanie y Rathnayaka (2020) reportaron promedios de 7.98, 82.61, 59.01 y 58.62% en cascaras de frutas de palta, piña, maracuyá y naranja respectivamente. El valor del extracto libre de nitrógeno se define como la medida indirecta de los carbohidratos digeribles o solubles (Vasco, 2008). El contenido de este componente es reflejado según el grosor del epicarpio y el tipo de fruto, también puede entenderse que los carbohidratos de las frutas son azúcares y en frutas cítricas o ligeramente acidas están son formados por oligosacáridos (sacarosa), monosacáridos (glucosa y fructosa), polisacáridos (celulosa, almidón, hemicelulosa y pectinas) (Quezada, 2005). Debido al relativo alto contenido de carbohidratos de la cáscara del tomate de árbol que se obtuvo (ecotipo rojo) en esta investigación es posible tener en cuenta estos datos para su futuro aprovechamiento en la industria alimentaria.



f) Fibra dietaria total

La fibra dietaria total determinada en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos, obtuvieron valores similares de FDT con un promedio de 7.18 g/100g a 7.93 g/100g, los resultados se muestran en la Figura 18. Estos resultados son menores a los reportados por Núñez (2014), valores en un rango entre 62.21 - 65.78 g/100g para FDT en residuos de maracuyá, asimismo, Gutiérrez et al. (2002) reportó volares de fibra dietética en residuos provenientes de mandarina, naranja, limón, piña y maracuyá con valores de 60, 62.2, 54.9, 55.9 y 66.9 g/100g respectivamente. De igual manera Priego (2007) reportó resultados mayores en residuos de naranja con promedios de 80.50 % a 82.92%. También Hincapié et al. (2014) reportó alto contenido de fibra dietaria en cáscara de mango variedad Hilacha con 14.98%. Por otra parte, Vargas et al. (2019) reportaron contenido de fibra en cáscaras de lima, berenjena, zanahoria y papaya con resultados de 0.439, 1.88, 0.409 y 0.643%. Siendo inferiores a los que se reportó en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol, también Perilla Ortiz (2010) reportó FDT en la cáscara tostada de cacao con 4.027%. De igual manera en una investigación realizada a diferentes cultivos andinos, de determinó su FDT con resultados de 1,586 g/100g para el capulí, 0,373 g/100g para el taxo, 4,653 g-/100g para el fruto del tomate de árbol, 3,548 g/100g para la uvilla, 0,577 g/100g para el babaco, 0,805 g/100g para el pepino dulce, 5,319 g/100g en mora, 5,768 g/100g en mortiño, 3,683 g/100g en tuna y 16,538 g/100g en sangorache (Zambrano, 2013). Así mismo Dias, Sajiwanie y Rathnayaka (2020) reportaron promedios de 53.14, 11.66, 32.85 y 20.14% en cascaras de frutas de palta, piña, maracuyá y naranja respectivamente, de la misma manera Padayachee et al. (2017) reportaron fibra dietaria total en frutas y verduras con 2.4 g/100g para manzana, 0.9 g/100g en uva, 2.2 g/100g en limón, 1.8 g/100g en mango, 2.9 g/100g en durazno, 1.5 g/100g en piña y 2 g/100g en fresas. En verduras los más resaltante fueron el tomate con 1.2 g/100g, la lechuga con 12.3 g/100g y la beterraga con 7.8 g/100g. Se puede decir que el epicarpio del fruto del Tomate de árbol posee mayor contenido de fibra dietaria que los frutos antes mencionados. La importancia de la relación fibra-proteína en la cáscara de las frutas es que, radica en la fracción que logra ser cuantificable como proteína indigerible



debido a que, de ser resistente a la acción enzimática, vendría a formar parte de la fibra dietética (Priego, 2007).

f) Rendimiento

El rendimiento en cada ecotipo del fruto del Tomate de árbol fue significativo, debido a que, el ecotipo anaranjado presentó rendimiento de 4% y el ecotipo roja reportó un 3% de rendimiento, estos resultados son diferentes a los reportados por Zambrano (2013), quien realizó una investigación en frutos ancestrales andinos con sus concentrados de fibra dietética, en dicha investigación incluye el Tomate de árbol que reportó un rendimiento del 5.10%, este dato se asemeja al ecotipo anaranjado. De igual manera Calderón y Noriega (2017), reportó rendimientos en harinas de cáscara de plátano con 6.2%, sáculo de maracuyá con 5% y cáscara de cacao con 65% de rendimiento. Así mismo Dias, Sajiwanie y Rathnayaka (2020) reportaron promedios de 62.21, 17.07, 14.70 y 50.39% en cáscaras de frutas de palta, piña, maracuyá y naranja respectivamente, estos últimos tienen el mayor porcentaje de rendimiento reportado. La determinación del rendimiento es influenciado por el tipo de fruto y el grosor de su epicarpio.

5.3.2 Discusión de las propiedades funcionales

a) Capacidad de retención de agua

Los valores resultantes de la determinación de la capacidad de retención de agua se pueden visualizar en la Tabla 11, donde los promedios de dicha capacidad están de 9.297 ± 0.594 en el ecotipo amarillo con el tamaño de partículas de $180 \mu\text{m}$ a 2.825 ± 0.187 en el ecotipo rojo en el tamaño de partículas de $125 \mu\text{m}$, dichos datos son inferiores a los reportados por Muñoz (2010), que investigó fibra dietaria en la cáscara, pulpa y residuos de la extracción de gel de penca de tuna en sus variedades amarilla y blanca, las capacidades de retención de agua fueron de (54,8 g/g, 54,9 g/g y 54,9 g/g) respectivamente en la variedad amarilla y (65,4 g/g, 63,6 g/g y 61,7 g/g) respectivamente para la variedad blanca. Asimismo, Hincapie et al. (2014), en su investigación sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria proveniente de la cáscara de mango variedad hilacha (*Mangifera indica L.*) y su efecto que tiene al ser



secados por convección sobre las mismas, se hallaron capacidades de retención de agua de 6,46 g/g, 4,76 g/g, 6,08 g/g, 4,95 g/g y 6,42 g/g en temperaturas de (40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C) respectivamente, estos resultados se asemejan en las variedad roja y anaranjada en los tamaños de partículas de 125µm, 150µm, 180µm. De la misma forma los resultados son menores a los reportados por Vergara (2005), donde reportó 15.60 g/g en la cascara de mango. De igual manera Serna-cock (2015) reportó datos similares con 6.02 g/g a 8.25 g/g en la cáscara de mango en dos tipos de tamaño de partículas (250 µm y 180 µm), notándose que a mayor tamaño de partículas es mayor la capacidad de retención de agua. Así mismo Dias, Sajiwanie y Rathnayaka (2020) reportaron datos interesantes en la cascara de frutas de palta, piña, maracuyá y naranja con promedio de 6.33, 4.30, 9.63 y 6.33 ml/g respectivamente, de la misma manera Gupta y Premavalli (2011) reportaron datos similares hallados en las semillas de calabaza, rábano, cascara de guisante y cascara de cardamomo con promedio de 11.44, 10.56, 10.23, 12.13 g/g respectivamente en tamaños de partículas de 250 a 500 µm. Boulos, Greenfield and Wills (2000) encontraron que la capacidad de una sustancia (fibra dietaria) para retener agua, es relacionado con la fuente de fibra, las condiciones en las que se procesan o determinan y método de medición. Otro factor a tener en cuenta es la estructura de la fibra, que influye más que la misma composición química. Entre la microestructura de la fibra que se influyen son: la longitud de la fibra, el tamaño de partículas y la porosidad. Conocer que cantidad de agua puede retener la fibra es importante debido a que, le conferirá funciones específicas en el organismo o bien pasa conocer que cantidad se debe adicionar fibra dietaria en la formulación de un producto alimenticio. En la industria de panificación es importante conocer esta capacidad, ya que al ser usado como un aditivo que absorbe cantidades significativas de agua, cambia la composición de la masa para pan, por ejemplo. Por otro lado, si la fibra fuese usada para adicionar en una bebida, debido a su capacidad de capturar moléculas de agua, este tendrá un impacto directo en su viscosidad o también puede ser utilizada como agente espesante afectando la textura de la bebida.

a) Capacidad de retención de aceite

Los resultados de detallas en la Figura 15 donde se detallan los resultados de la capacidad de retención de aceite (CRAC), existió diferencias significativas en el factor de tamaño de partículas mas no entre los ecotipos, estos resultados muestran que a menor tamaño de partículas se obtiene mayores resultados. La CRAC halladas en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos son similares a los reportado por Vergara (2005), en la fibra de la cáscara de mango con 1.6 g/g. Así mismos, Hincapie et al. (2014) reportó 1.92 g/g en la fibra dietária obtenida de la cáscara de mango variedad hilacha a diferentes temperaturas. También mencionar que estos resultados son inferiores los reportados por Serna, Torres y Ayala (2015), en los polvos de la cáscara de tres variedades de mango con valores de 2.89 g/g a 4.5 g/g, sus mayores valores se obtuvieron en el tamaño de partículas de 250 µm. Por otro lado Manzur (2017) reportó CRAC superiores con 6.93 y 8.42 g/g hallados en la fibra de la cáscara de tuna purpura (*Opuntia ficus-indica*), De igual forma Rodriguez-Jiménez et al. (2017) reportaron índices de capacidad de retención de aceite de 3.16 g/g en la harina de berenjena y 1.24 g/g en la harina de quinua, así mismo Dias, Sajiwanie y Rathnayaka (2020) reportaron datos similares en cascaras de frutas de palta, piña, maracuyá y naranja con promedios de 3.10, 1.90, 2.85 y 2.40 ml/g respectivamente. En base a los resultados los polvos de las tres variedades de Tomate de árbol obtenidos de su epicarpio, este posee gran potencialidad para ser usada en la industria alimentaria, por CRAC que es superior a los reportados en cereales comerciales (Falade et al. 2014), de igual forma pueden utilizarse como aditivos en emulsiones para productos cárnicos y de productos de panadería. Según Vergara et al. (2007), los valores de CRA y CRAC aumentan al incrementar la temperatura, es de interés este tipo de comportamiento ya que, para su transformación se requiere productos que requieran propiedades emulsionantes propias de las fibras vegetales. Por otro lado, estas características de retención de aceites de los polvos sería útil usarlas en la formulación de alimentos funcionales con benéficos en la salud del consumidor, debido a que se sabe que reducen el colesterol sérico (Elleuch et al. 2011).

b) Capacidad de hinchamiento

La capacidad de hinchamiento halladas en el polvo del epicarpio de las tres ecotipos del fruto del Tomate de árbol, fueron promedios de 11.618 ml/g a 4.627 ml/g siendo el tamaño de partículas de 150 μm donde se hallaron mayor CH, estos datos son inferiores a los reportado por Muñoz (2010), en la cáscara, pulpa y residuos de la penca de tuna (16.8 ml/g, 15.7 ml/g y 15.5 ml/g) respectivamente, así mismo, Vegas, Zavaleta y Vegas (2017), reportaron de 6.39 ml/g a 3.87 ml/g en las semillas de tarwi (*Lupinus mutabilis*). Así mismo Dias, Sajiwanie y Rathnayaka (2020) reportaron datos similares hallados en cascaras de frutas de palta, piña, maracuyá y naranja con promedios de 4.36, 7.57, 16.94, 8.98 ml/g respectivamente, siendo estos resultados similares o inferiores en algunos ecotipos y tamaños de partículas hallados en esta investigación. Los resultados obtenidos muestran que contiene fibra dietética soluble apreciable se sabe que las propiedades estructurales y propiedades químicas de la fibra (su afinidad por el agua en sus componentes), tienen un rol muy importante en la manera en que interactúa con el agua tomada por las muestras, las moléculas de agua es retenida gracias a la interacción del pH, fuerza iónica, temperatura y formación de la proteína influye significativamente en la capacidad de ligar agua de las proteínas (Badui y Valdés, 2006). La menor capacidad de hidratación se da cuando el punto isoeléctrico, donde predominan las interacciones proteína-proteína. Yusuf et al. (2008) Menciona que el poder de hinchamiento de harinas es por la presencia de aminoácidos polares en las proteínas.

c) Capacidad de solubilidad

Se observa el comportamiento de la capacidad de solubilidad determinadas en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol, en la cual se muestra que, a menor tamaño de partículas, mayor es la CS, por el tamaño de partículas de 125 μm reportó un 135.825% en el ecotipo amarillo; estos datos son superiores a los reportados Serna, Torres y Ayala. (2015), quienes analizaron tres variedades de cáscara de mango y en dos tamaños de partículas 250 μm y 180 μm , estos resultados fueron para la variedad Criolla (70.356% y 58.674%), para la variedad Keitt (68.717% y 56.249%) y para la variedad Tommy Atkins



(61.009% y 50.213%) respectivamente en sus tamaños de partículas. Asimismo, Centeno (2014) reportó valores inferiores en la harina obtenida de la cáscara de papa con 7.89%, de igual forma Ramírez (2012) reportó 11.057% en la harina obtenida del bagazo del brócoli. Se puede indicar que la capacidad de solubilidad obtenida en el presente proyecto es significativa y puede ser aprovechado en la formulación de productos funcionales. Según Fennema (1993) menciona que la atracción de agua por parte de los carbohidratos es una de las más útiles y básicas de las propiedades tecno-funcionales. Esta hidrófila se debe a la presencia de grandes cantidades de grupos hidroxilo. Lo que conduce a la solventación y/o solubilización de los azúcares y de varios de sus polímeros, son sus grupos hidroxilos que interaccionan con las moléculas de agua a través de la formación de puentes de hidrógeno. Otra posible explicación puede deberse a las microestructuras, según el tipo de superficie de la partícula es cristalina o amorfa, si el estado amorfo predomina mayor será la solubilidad de la partícula en sustancias acuosas (Gombas et al. 2003). Para evaluar el comportamiento la calidad de un polvo industrialmente, la solubilidad es un criterio confiable para una solución acuosa (O'Shea et al. 2012).

5.3.3 Discusión de compuestos bioactivos

a) Actividad antioxidante

En la Tabla 12 se muestra los resultados obtenidos de la determinación de la capacidad antioxidante en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado), el ecotipo anaranjado reportó el mayor contenido de antioxidante con 25.480 mgAAC/100g. Estos resultados son similares con lo reportado por Quiñonez (2017), hallados en el fruto del sanke con 28.01 ET/100g. Por otro lado, Vargas et al. (2019), reportaron resultados superiores con 99.85% en la cáscara de lima, 97.90% en la cáscara de berenjena, 99.70% en la cáscara de la zanahoria y 99.63% en la cáscara de la papaya. Asimismo, Manzur (2017), reportó altos contenido de capacidad antioxidante en la cáscara de tuna purpura con 788.00 μ mET/100g, de igual forma, Carvajal de Pabón et al. (2011), reportó resultados mayores hallados en frutas del género passiflora con 58,626 mgAA/100g para la badea, 65.985 mgAA/100g para la cholupa, 145,692 mgAA/100g para la granadilla, 103,84



mgAA/100g para la granadilla silvestre, 408, 943 mgAA/100g para la gulupa y 177,608 mgAA/100g para la maracuyá, así mismo Nguyen et al. (2019) reporto contenidos inferior en las cascaras de frutos tropicales como; mango 5.39, maracuyá 0.63 y logan 3.78, gTE/100 g respectivamente. Esto refleja que, las frutas de color morados o purpuras contienen cantidades significativas de antioxidante. Por otro lado Juarez (2018) y Torres (2018), reportaron contenidos de actividad antioxidante inferiores de 15.22 mM Trolox eq/g muestra seca en el fruto de jugua y 6.220 mM Eq. Trolox/mL, en orujo de residuos vinícolas. Finalmente Márquez et al. (2014), reporto valores de 7,94 y 9,62 μ moles de Equivalentes Trolox/g de fruta fresca respectivamente. La cantidad que se reporta en esta investigación posiciona al epicarpio del fruto del Tomate de árbol como gran potencial en el aspecto de capacidad antioxidante, esto posiblemente es influenciado por el modo de cultivar, condiciones fenotípicas y a la presencia de compuestos polares como de la vitamina C, antioxidantes, carotenoides (carotenos y licopenos) y vitamina E (Ordóñez et al. 2005).

b) Polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol oscila entre 376.107 mg ac gálico/100g a 348.457 mg ac gálico/100g, el ecotipo rojo reportó mayor cantidad de PFT, estos datos son superiores a los reportados por Carvajal de Pabón et al. (2011), investigadas en extracto de frutos de la familia *Fassilora* con resultados de 125.211 mg de ácido gálico/100 g para la fruta de badea, 162,604 mg de ácido gálico/100 g para el fruto de cholupa, 204,542 mg de ácido gálico/100 g para la fruta de la granadilla, 229,199 mg de ácido gálico/100 g para la fruta de granadilla silvestre, 136.684 mg de ácido gálico/100 g para la fruta de gulupa y 282.169 mg de ácido gálico/100 g para la fruta de la maracuyá, contrariamente, Quiñonez (2017) reportó cantidades menores de PFT en el fruto de sanke con 0.217 mg de ácido gálico/100g . Asimismo, Juarez (2018) reportó contenido de polifenoles totales en la fruta de juguar con 1.62 a 7.04 mg de ácido gálico/100 g. Por otra parte Manzur (2017), reportó cantidades superiores con 619.13 a 811.23 mg EAG/100g en la tuna purpura. Mencionar también qué Repo de



Carrasco y Encina (2008), reportaron resultados de polifenoles totales de 154 en aguaymanto, 167 en la papaya de monte, 130 en el fruto del Tomate de árbol y 52 mg EAG / 100 g en la tuna roja respectivamente. A diferencia de Vargas et al. (2019) hallaron datos superiores en cáscara de la lima, berenjena, zanahoria y papaya con valores de polifenoles de 4500.86, 10289.72, 4960.18 y 4798.93 mg/100g respectivamente, de esta manera podemos decir que, en la cáscara de las frutas y verduras se hallan grandes cantidades de compuestos bioactivos como es el de los polifenoles totales. Así mismo Nguyen et al. (2019) reportó contenidos inferiores en las cascara de frutos tropicales como; mango 1.74, maracuyá 0.39, logan 1.62, rambutan 12.68 g GAE/100 g respectivamente. También, Gonzabay y Lindao (2019) reportaron promedios de 21,118 mg/g Expresado en ácido gálico en la cáscara de sandia, el mismo autor menciona que, los factores que influyen en la determinación de PFT son; el método de determinación, el estado de madurez y el tipo de solvente utilizado. Es importante destacar que los compuestos fenólicos que se hallan en las frutas y verduras, poseen un rol importante en la salud; que influyen en mitigar y prevenir dolencias crónicas, como enfermedades cardiovasculares o cáncer (Boyer y Liu, 2004).

c) FTIR

Los espectros de FT-IR del epicarpio del fruto del Tomate de árbol en sus tres ecotipos, estos picos se muestran en la Figura 20, 21 y 22 para los ecotipos investigados (amarillo, naranjado y rojo) respectivamente, los picos más representativos se hallan el 3291 cm^{-1} y 1600 cm^{-1} con respecto al compuestos bioactivos, debido a que Barragan (2017), en su investigación al fruto mio mio (*Coriaria ruscifolia L*) obtuvo picos similares y menciona que, los compuestos fenólicos se hallan en picos de bandas anchas y fuertes de 3291 cm^{-1} característicos de los grupo carboxilo (-OH), otro indicio es que los picos de 1600 cm^{-1} con alargamiento de doble enlace C=C de las estructuras aromáticas que poseen antocianinas. Otros picos importantes que se obtuvieron fueron 2920 cm^{-1} , 1367 cm^{-1} y 1600 cm^{-1} donde Jurado (2012), menciona en su investigación realizada sobre el estado de madures y conservación del fruto del tomate (*Lycopersicum Esculentum Mill*), que entre los picos antes



mencionados se hallan los compuestos bioactivos de α tocoferol con (tensiones de C-H), β -Caroteno con (flexiones asimétricas δ as CH) y la Quercetina con (tensiones C=O) respectivamente para cada pico. Así mismo en la investigación realizada al fruto de míspero de sierra (*Nespilus sp*) y granadilla (*Pasiflora ligularis*) se obtuvieron picos importantes y similares de 1630 y 1745 cm^{-1} , las cuales indican la ab-sorbancia fuerte de grupos carboxilos libres y esterificados (Chasquibol, 2010). También Calero (2019) en su investigación sobre la pulpa del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) menciona que los picos de 1019 cm^{-1} muestran la presencia de solución patrón de β -caroteno. Finalmente Mondragón (2020), menciona que, en la región de la huella digital de la espectroscopia infrarrojo, abarca los picos desde 1500 a 600 cm^{-1} y que en los picos altos de 1100 cm^{-1} a 1000 cm^{-1} se hallan importantes grupos familiares de carbohidratos que cambian en función de su posición al tipo específico de carbohidratos ensayado.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se concluye con lo siguiente:

- Se determinó las propiedades fisicoquímicas al epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), hallándose que el ecotipo que posee mayores contenidos de proteína, grasa, ceniza y humedad es la de color amarillo con 7.11%, 0.92%, 7.15% y 78.83% respectivamente; por otra parte, el ecotipo anaranjado resultó poseer mayor contenido de carbohidratos totales con 8.85% y rendimiento con 4%, así mismo el ecotipo rojo reportó alto contenido de polifenoles totales (376.107 mg ac gálico/100g). Estos resultados muestran que, el epicarpio de los ecotipos amarillo y anaranjado del fruto del tomate de árbol poseen propiedades nutritivas que lo convierten en un subproducto de alto valor nutritivo, que puede ser aprovechados en la formulación de alimentos que suplan carencias nutritivas en ciertos productos de consumo habitual.
- Se identificó las propiedades bioactivas mayoritarios presentes en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos con el FTIR, identificándose los picos resaltantes de 3291 cm^{-1} y 1600 cm^{-1} , en estos picos se hallan grupos de fenoles y sustancias de antocianinas. Así mismo se identificaron picos de 1729 cm^{-1} y 1019 cm^{-1} , donde se hallan grupos de grasas y carbohidratos respectivamente. Estos resultados indican que el epicarpio de este fruto es altamente funcional y posee componentes que pueden ser utilizadas en la innovación de productos con beneficios para la salud humana.
- El efecto del tamaño de partículas en la determinación de las propiedades funcionales en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos, sí influyen significativamente en la determinación de estas propiedades mostrando que a mayor es el diámetro de partículas mayor es la capacidad de retención de agua, siendo el ecotipo anaranjado que reportó mayor CRA con 9.318 g/g en el tamaño de partículas de 500 μm . Contrariamente, en la capacidad de retención de aceite muestra que, a menor tamaño de partícula, mayor es la CRAC, donde el ecotipo rojo reportó el mayor contenido con 2.738 g/g en el tamaño de partícula de 150 μm . El ecotipo amarillo posee mayor capacidad de hinchamiento (CH) con 11.618 ml/g en 150 μm de tamaño de partícula. Finalmente, en la capacidad de solubilidad el ecotipo



amarillo reportó 135.825% con 125 μm , estos resultados muestran que, a menor tamaño de partículas mayor es la CS. En base a los resultados se puede afirmar que, en el epicarpio del fruto del tomate de árbol se encuentran cantidades apreciable de fibra soluble e insoluble que provoca aceleración o la relentización de la deposición gastrointestinal, así mismo lo convierte en más eficiente a la hora de digerir y metabolizar los alimentos, mejorando así un mejor estado de saciedad, mejorando la salud gastrointestinal de los consumidores, también este epicarpio posee cantidades apreciables de propiedades tecno-funcionales, que pueden ser usados en la elaboración de productos como las de panificación donde las propiedad de CRA generaría una mejor manejabilidad de la masa y características organolépticas apreciables por los consumidores, también en productos como yogures, salsas, néctares y mermeladas donde se busca estabilizar los sólidos y evitar la sinéresis, todo ello por poseer cantidades apreciables de pectina y fibra soluble.

- Se determinó el contenido de fibra dietaria total en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos (rojo, amarillo y anaranjado), mostrando promedios de 7.18 g/100g a 7.93 g/100g, donde el ecotipo rojo reportó el mayor contenido. Estos valores muestran que el epicarpio de este fruto contiene excelente cantidad de fibra dietaria, pudiendo ser usados en la industria alimentaria como ingrediente barato y funcional o sustitución en la formulación de productos agroindustriales y en la industria farmacéutica.
- Se determinó las propiedades bioactivas presentes en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres variedades, siendo el ecotipo anaranjado que reportó mayor contenido de capacidad antioxidante con 25.480 mgAAC/100g. Además, se logró determinar el contenido de polifenoles totales, donde el ecotipo que reportó mayor contenido fue de color rojo con 376.107 mg ac gálico/100g. Mostrando qué, no influye significativamente el ecotipo en la determinación de PT. El epicarpio de este fruto tiene cualidades para ser utilizada en la innovación de productos funcionales que generen bienestar y promueva buena salud a los consumidores que buscan alternativas saludables.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda continuar con el estudio de este sub producto de la fruta del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) a nivel de formulación o procesamiento en alimentos o productos funcionales, para que se impulse su comercialización y producción, de esta manera favorecería a las familias del departamento de Apurímac que producen estos frutos altoandinos.
- Incentivar la investigación en frutos y sus cáscaras (residuos) que nuestra región posee, y usarlas como fuentes de compuestos bioactivos, al tener diversidad de flora nuestra región de Apurímac, lo convierte potencial en investigación e innovación en el rubro de la agroalimentación funcional.
- Investigar el tipo específico de fibra dietaria (soluble e insolubles), también investigar los tipos de fenoles y antioxidantes que se pudiesen hallarse en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*).
- Usar como ingrediente el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en la formulación de productos alimenticios funcionales para consumo y que puedan generar bienestar y fortalecer la salud humana, debido a que, en el presente estudio se muestran datos sobre el tamaño de partículas y las variedades que influyen significativamente en las propiedades funcionales que son de gran interés en las industrias alimenticias y de la salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BADUI, D.S ALVADOR. y VALDÉS, M.S. ESTHER., 2006.** *Química de los alimentos*. S.l.: Pearson Education. ISBN 9702606705.
- BARRAGAN, C.M., 2017.** *Evaluación y caracterización de compuestos bioactivos del mio – mio (Coriaria ruscifolia L) por espectroscopia FTIR y HPLC*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- BENDEZU, V.G.A., 2019.** Obtención y caracterización fisicoquímica nutricional y sensorial del gel de aguaymanto (*Physalis peruviana*) edulcorada con Stevia (*stevia rebaudiana*). . Tarma:
- BOULOS, N.N., GREENFIELD, H. y WILLS, R.B.H., 2000.** Water holding capacity of selected soluble and insoluble dietary fibre. *International Journal of Food Properties*, vol. 3, no. 2, pp. 217-231. ISSN 10942912. DOI 10.1080/10942910009524629.
- CALDERON, Y.V.G. y NORIEGA, R.V.E., 2017.** *Obtención de harina de los residuos de frutas con mayor poder antioxidante y antimicrobiano. (maracuyá, cacao y plátano)*. Guayaquil- Ecuador: Universidad Estatal de Guayaquil.
- CALERO, U.R.W., 2019.** *Obtención de un extracto rico en carotenoides con capacidad antioxidante a escala de banco a partir de residuos agroindustriales del tomate de árbol (Solanum betaceum)*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- CARVAJAL DE PABÓN, L.M., TURBAY, S., ROJANO, B., MARELLY ÁLVAREZ, L., SARA, I., RESTREPO, L., JULIE, I., ÁLVAREZ, M., KARLA, I., BONILLA, C. y OCHOA, C., 2011.** Algunas especies de Passiflora y su capacidad antioxidante Some Passiflora species and their antioxidant capacity. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://scielo.sld.cu>.
- CENTENO, Q.J.G., 2014.** Obtencion y caracterización de la fibra dietética a partir de los residuos de papa (*Solanum tuberosum*). , no. 25265, pp. 27.
- CHASQUIBOL, N., 2010.** FT-IR spectroscopy for identification of polysaccharides isolated from «Níspero de la sierra» and «granadilla» fruits. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím.* Lima, 2010. pp. 12-21.
- CHUMO, C.N.E. y RODRÍGUEZ, G.J.L., 2018.** *Influencia de la sustitución parcial de harinas de cáscara de frutas en perfil de textura y calidad nutricional de una*



galleta. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuario de Manabí Manuel Félix López.

DE LAS MERCEDES SALAS, M.M. y HAROS, M., 2016. Evaluación de la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de productos de panadería por sustitución de harina de trigo por harina integral de arroz. *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 19, pp. 1-9. ISSN 19816723. DOI 10.1590/1981-6723.0216.

DIAS, P.G.I., SAJIWANIE, J.W.A. y RATHNAYAKA, R.M.U.S.K., 2020. Chemical Composition, Physicochemical and Technological Properties of Selected Fruit Peels as a Potential Food Source. *International Journal of Fruit Science*, vol. 20, no. S2, pp. S240-S251. ISSN 15538621. DOI 10.1080/15538362.2020.1717402.

GARCÍA, L.I.N., 2003. *Caracterización fisicoquímica y funcional de los residuos de mango criollo (Mangifera indica L) y su incorporación en galletas*. Huajuapán de León: Universidad Tecnológica de la Mixteca.

GUPTA, P. y PREMAVALLI, K.S., 2011. In-vitro studies on functional properties of selected natural dietary fibers. *International Journal of Food Properties*, vol. 14, no. 2, pp. 397-410. ISSN 10942912. DOI 10.1080/10942910903207736.

GUTIÉRREZ, E.L.M.G.B.R.M.O.F.O.A.; M.O.L., 2002. Obtención y cuantificación de fibra dietaria a partir de residuos de algunas frutas comunes en Colombia. *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmaceutica*, vol. 9, no. ISSN 0121-4004, pp. 6-10.

HINCAPIE, L.G.A., VÁZQUES, O.D.C., GALICIA, M.V.S. y HINCAPIE, L.C.A., 2014. Propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria de cáscaras de mango variedad hilacha (*mangifera indica l.*): efecto del secado por convección. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, vol. 12, no. 1, pp. 6-8.

HUAYNATES, N.A.A., 2015. *Evaluación físico-química del fruto de solanum betaceum procedente de Celendín y de Huayrapongo, región Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional Agraria de la Molina.

JUAREZ, A.A.L., 2018. *Actividad antioxidante y contenido de polifenoles totales del extracto del fruto de la Genipa americana L «jugua»*. Chimbote: Universidad Católica de los Ángeles de Chimbote.



- JURADO, C.L., 2012.** *Estudio del grado de madurez y/o conservación de tomates empleando técnicas espectroscópicas moleculares.* Oviedo: Universidad de Oviedo.
- LEÓN, N., 2019.** Distribución eco geográfica, caracterización morfológica y determinación de los ecotipos de sachá tomate (*Solanum betaceum cav*) en la cuenca yanatile-calca. , pp. 116.
- LLANES, G.L.D.I., 2018.** *Caracterización físico-química y nutrimental de residuos agroindustriales tratados, para el consumo humano en el marco de un desarrollo sustentable.* Altamira: Centro de investigación en ciencias aplicadas y tecnología avanzadas Unidad Altamira.
- MANZUR, V. SALVADOR, 2017.** *Capacidad antioxidante y propiedad funcional de la fibra de cáscara de tuna púrpura (opuntia ficus-indica) ultrasonicada para el desarrollo de una gelatina.* San Agustín: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- MARINA BAENA, L.G.C.N.A., 2012.** *Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir cascarilla de las semillas tostadas de Theobroma cacao l. de la industria chocolatera colombiana.* Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Tecnologías Escuela de Química.
- MÁRQUEZ, C.J., OTERO, C.M., ROJANO, B.A. y OSORIO, J.A., 2014.** Actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea S.*) en postcosecha. *TEMAS AGRARIOS*, vol. 19, no. 2, pp. 173-184.
- MARTÍNEZ, N.N., DEL MAR CAMACHO, V.M. y MARTÍNEZ, L.J., 2008.** Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética*, vol. 12, no. 2, pp. 64-68. ISSN 11380322. DOI 10.1016/S1138-0322(08)75623-2.
- MONDRAGÓN, C.P., 2017.** *Espectroscopia de infrarrojo para todos y 51 espectros de alimentos consumidos en México.* Primera Edición. Jalisco, México: s.n. ISBN 978-607-97548-4-6.
- MONDRAGÓN, C.P., 2020.** *Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas.* primera edición. México: s.n.
- MUÑOZ, G.J.J., 2010.** *Identificación de fibra dietaria en la cascara, pulpa y en el residuo de la extracción de gel de penca de tuna (opuntia ficus indica), variedades amarilla y blanca.* Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.

- NANCY, C.S., C, L.L., DELMÁS, I., C, D.R., M, R.A. y A, M.B., 2003. Alimentos funcionales y fisicoquímicos, clasificación e importancia. , vol. 5, pp. 9-20.
- NGUYEN, N.M.P., LE, T.T., VISSENAEEKENS, H., GONZALES, G.B., VAN CAMP, J., SMAGGHE, G. y RAES, K., 2019. In vitro antioxidant activity and phenolic profiles of tropical fruit by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 54, no. 4, pp. 1169-1178. ISSN 13652621. DOI 10.1111/ijfs.14093.
- NÚÑEZ, S.J.C., 2014. Extracción, cuantificación, caracterización fisicoquímica y funcional defibra dietaria obtenida a partir de residuos de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa Deg*). . Quito:
- PADAYACHEE, A., DAY, L., HOWELL, K. y GIDLEY, M.J., 2017. Complexity and health functionality of plant cell wall fibers from fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 57, no. 1, pp. 59-81. ISSN 15497852. DOI 10.1080/10408398.2013.850652.
- PRIEGO, M.N., 2007. Obtención de Fibra Dietética a Partir de Sáculos de naranja aplicando un Tratamiento con Vapor. . Mexico:
- QUEZADA, F., 2005. *Biotecnología para el uso sostenible de la biodiversidad: capacidades locales y mercados potenciales*. S.l.: Corporación Andina de Fomento. ISBN 9806810031.
- QUIÑONEZ, Q.S., 2017. *Caracterización determinación del contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del fruto de sanke (Corryocactus brevistylus)*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- RAMÍREZ, O.M.E., 2017. *Propiedades Funcionales de hoy*. Mexico: s.n. ISBN 9788494560347.
- REPO DE CARRASCO, R. y ENCINA, Z., R.C., 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Rev Soc Quim Perú*, vol. 2, no. 74, pp. 5-10.
- RINCÓN, ALICIA M., ET AL., 2005. Composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*), Nandarina (*Citrus reticulata*) y Toronja (*Citrus paradisi*) cultivadas en Venezuela. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, vol. 55, no 3, p. 305-310.
- RODRIGUEZ-JIMÉNEZ, J., AMAYA-GUERRA, C., NÚÑEZ-GONZÁLEZ, A., BÁEZ-GONZÁLEZ, J.G., AGUILERA-GONZÁLEZ, C.J. y



- MONTEMAYOR-LEAL, J., 2017.** Caracterización bromatológica y tecnofuncional de la harina de Berenjena (*Solanum melongena*) y Quínoa (*Chenopodium quinoa*). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, vol. 2, pp. 417-421.
- ROJAS, C.M., 2019.** Evaluación de la actividad antioxidante y polifenoles totales en extractos de las hojas de tres especies de plantas medicinales de Campo Verde, Ucayali-2018. . PERÚ:
- RYBAK, CHMIELEWSKA.H., 2003.** Honey. *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*, vol. 1, no. Volume 1, pp. 73-80. ISSN 00035769. DOI 10.7312/seir17116-004.
- SCHWEIZER, T.F., C.A.E., 2019.** *Dietary Fibre - A Component of Food Nutritional Function in Health and Disease*. S.l.: s.n. ISBN 9781447119302.
- SERNA, COCK, LILIANA, TORRES, L.C. y AYALA, A.A., 2015.** Evaluación de polvos alimentarios obtenidos de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) como fuente de ingredientes funcionales. *Informacion Tecnologica*, vol. 26, no. 2, pp. 41-50. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642015000200006.
- SIR ELKHATIM, K.A., ELAGIB, R.A.A. y HASSAN, A.B., 2018.** Content of phenolic compounds and vitamin C and antioxidant activity in wasted parts of Sudanese citrus fruits. *Food Science and Nutrition*, vol. 6, no. 5, pp. 1214-1219. ISSN 20487177. DOI 10.1002/fsn3.660.
- TORRES, A., 2012.** Caracterización física, química y compuestos bioactivos de la pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceum*) (Cav.) Sendtn. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, vol. 62, no. 4, pp. 2-4.
- TORRES, E.A., 2018.** *Determinación de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante de extractos de orujo (epicarpo) de Vitis vinifera L. var. Italia y Negra criolla de residuos vitivinícolas como fuente de principios bioactivos aprovechables*. AREQUIPA: Universidad Nacional de San Agustín.
- URBINA, C.R.W., 2019.** Obtención de un extracto rico en carotenoides con capacidad antioxidante a escala de banco a partir de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*). . ECUADOR:
- VARGAS Y VARGAS, M. de L., FIGUEROA BRITO, H., TAMAYO CORTEZ, J.A., TOLEDO LÓPEZ, V.M. y MOO HUCHIN, V.M., 2019.**



Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA ergo sum*, vol. 26, no. 2, pp. 1-11. ISSN 14050269. DOI 10.30878/ces.v26n2a6.

VASCO, B.V.C., 2008. *Determinación de parámetros físico-químicos de zanahoria amarilla (daucus carota) como base para el establecimiento de la norma de requisito.* Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

VEGAS, R., ZAVALA, A. y VEGAS, C., 2017. Effect of the pH and sodium chloride on the functional properties of flour of lupinus mutabilis “tarwi” seeds variety criolla. *Agroindustrial science*, vol. 7, no. 1, pp. 49-55. DOI 10.17268/agroind.sci.2017.01.05.

VERGARA, V.N., 2005. *Obtención de fibra dietética antioxidante a partir de mango y su aplicación en productos de panificación.* Yautepec: Instituto Politécnico Nacional.

WANG, S. y ZHU, F., 2020. Tamarillo (*Solanum betaceum*): Chemical composition, biological properties, and product innovation. *Trends in Food Science and Technology*. 1 enero 2020. pp. 45-58. ISSN 09242244.

ZAMBRANO, M., L.F., 2013. Comparación de la capacidad antioxidante de 10 cultivos ancestrales andinos con sus respectivos concentrados de fibra dietética total para su uso como aditivo funcional en la Industria de Alimentos. . Ecuador:



ANEXOS

Anexo 1. Fotografías de los frutos del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*)



Fruto de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) variedad roja



Fruto de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) ecotipo amarillo



Fruto de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) ecotipo anaranjado

Anexo 2. Fotografías de obtención de polvo del Tomate de árbol (*Solanum bteaceum*)



Pelado del fruto



Oreado de la cascara



Secado del epicarpio en la estufa



Reducción de tamaño de la cascara



Molienda en el molino de kutter



Tamizado del polvo en el tamizador electromagnético



Clasificación por tamaños



Almacenado según el tamaño de partículas

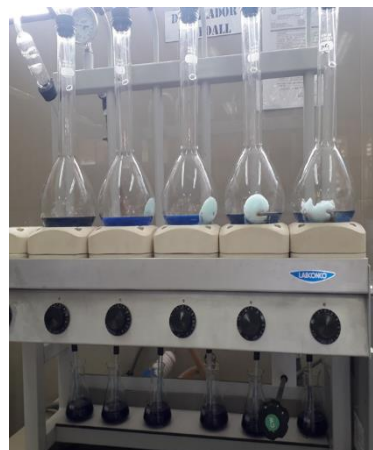
Anexo 3. Fotografías del proceso experimental de la determinación de las propiedades fisicoquímicas



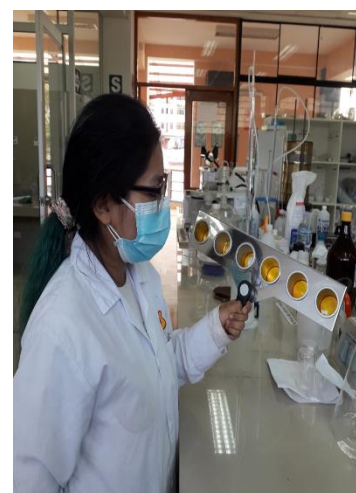
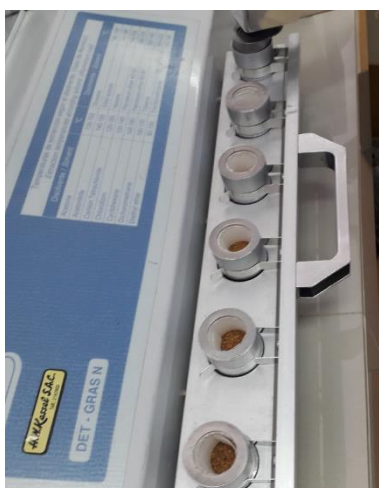
Determinación de humedad en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol



Determinación de cenizas en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol



Determinación de proteína en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol

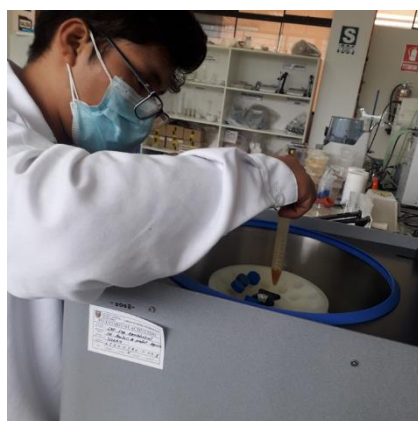


Determinación de extracto etéreo en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol



Muestras empacadas para ser enviadas a ser analizadas el contenido de fibra dietaria total en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol

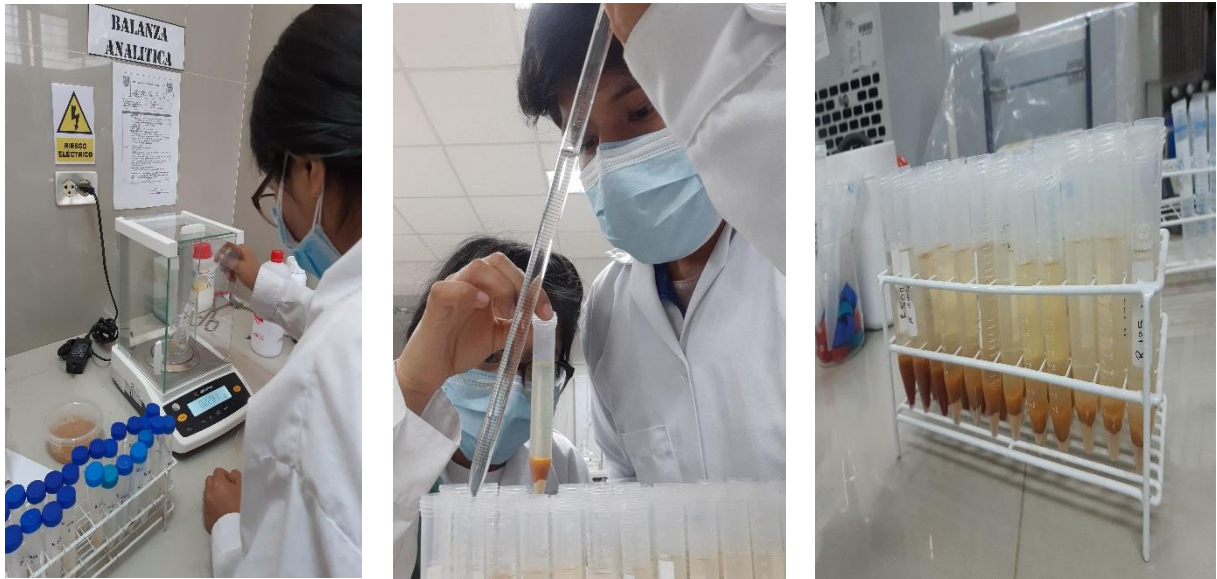
Anexo 4. Fotografías del proceso experimental de la determinación de las propiedades funcionales



Determinación de la capacidad de retención de agua y aceite en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol



Determinación de la capacidad de solubilidad en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol

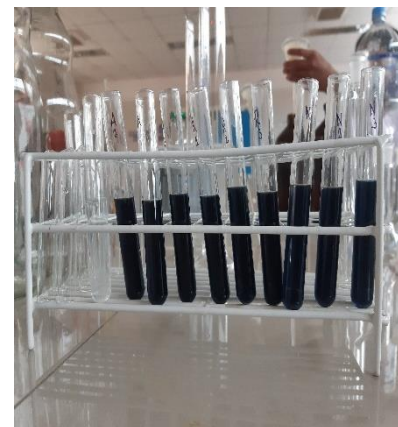


Determinación de la capacidad de hinchamiento en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol

Anexo 5. Fotografías del proceso experimental de la determinación de los compuestos bioactivos



Determinación de polifenoles totales en el polvo del epicarpio del Tomate de árbol




Determinación de actividad antioxidante en el polvo del epicarpio del Tomate de árbol



Determinación de compuestos bioactivos por FTIR en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol


Anexo 6. Documentos originales de resultados de la determinación de fibra dietaria total



INFORME DE ANÁLISIS DE PRODUCTO
IE-211217.04

Callao, 17 de diciembre de 2021

Código de trazabilidad:
211210.05



I. DATOS GENERALES:

Solicitante del servicio / RUC : NAYDA KAREN HUAMANI CAHUANA
 Dirección del solicitante : --

II. DATOS DEL PRODUCTO:

Denominación del producto : HARINA DE TOMATE DE ARBOL COLOR AMARILLO
 Nombre declarado del producto : HARINA DE TOMATE DE ARBOL COLOR AMARILLO
 Marca : --
 Tipo de envase / empaque : Frasco de Polietileno de alta densidad
 Cantidad y presentación de la muestra : M01 (LQ01-LQ03): 03 vias de 01 muestra (01 unidad de 250 g)
 Fecha de entrega al laboratorio : 10-12-2021
 Condiciones de entrega al laboratorio : TEMPERATURA AMBIENTE

III. RESULTADOS DEL ANÁLISIS:

RESULTADOS QUÍMICOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS (QM)		
		LQ01	LQ02	LQ03
Fibra dietaria total	g/100g	7.13	7.24	7.19

IV. NORMAS DE ENSAYO:

PARÁMETRO	NORMA O REFERENCIA
Fibra dietaria total	: AOAC 985.29 Total Dietary Fiber in Foods/ Enzymatic - Gravimetric Method. 21ST Ed. 2019.

CONDICIONES DE EMISIÓN:

- El código de trazabilidad descrito en el encabezado de cada hoja permite el rastreo adecuado de los documentos que sustentan los resultados del presente servicio.
- El informe es válido únicamente para los parámetros analizados en este documento y no puede estar relacionado implícita o explícitamente a otras características que no estén indicadas en él.
- El informe es válido únicamente para el producto indicado, sus resultados no pueden extenderse a cualquier otro ítem que no ha sido considerada en el documento.
- El informe es válido únicamente para el producto analizado, no pudiendo extenderse a otros y en la hora y fecha de su análisis, no pudiendo ser vinculado en otras fechas diferentes a las indicadas en el presente documento.

Dirección: Calle Los Tucanes 125 Oficina 205 Urb. San José - Bellavista - Callao
 E-mail: comercial@cevocosac.com / Teléfono: 01-704 7027

Formato: F07-I01-P01-GI. Ver. 01 Página 1 de 2





CENTRO PERUANO EVALUADOR DE LA CONFORMIDAD S.A.C.

INFORME DE ANÁLISIS DE PRODUCTO IE-211217.04

Callao, 17 de diciembre de 2021

Código de trazabilidad:
211210.05

CONDICIONES DE EMISIÓN:

- El presente documento tiene un periodo de validez de **180 días** a partir de la fecha de emisión.
- Este documento no podrá ser reproducido parcial o totalmente sin la autorización escrita de CEVCO S.A.C.



Ing. Victor Ángel Díaz Gaspar
C.I.P. 193535

Dirección: Calle Los Tucanes 125 Oficina 205 Urb. San José - Bellavista - Callao
E-mail: comercial@cevcosac.com / Teléfono: 01-704 7027

Formato: F07-I01-P01-GI. Ver. 01

Página 2 de 2

Resultado de la determinación de fibra dietaria total en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol ecotipo amarillo





INFORME DE ANÁLISIS DE PRODUCTO
IE-211217.06

Código de trazabilidad:
211210.05

Callao, 17 de diciembre de 2021



I. DATOS GENERALES:

Solicitante del servicio / RUC : NAYDA KAREN HUAMANI CAHUANA
Dirección del solicitante : --

II. DATOS DEL PRODUCTO:

Denominación del producto : HARINA DE TOMATE DE ARBOL COLOR ANARANJADO
Nombre declarado del producto : HARINA DE TOMATE DE ARBOL COLOR ANARANJADO
Marca : --
Tipo de envase / empaque : Frasco de Polietileno de alta densidad
Cantidad y presentación de la muestra : M01 (LQ01-LQ03): 03 vías de 01 muestra (01 unidad de 250 g)
Fecha de entrega al laboratorio : 10-12-2021
Condiciones de entrega al laboratorio : TEMPERATURA AMBIENTE

III. RESULTADOS DEL ANÁLISIS:

RESULTADOS QUÍMICOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS (QM)		
		LQ01	LQ02	LQ03
Fibra dietaria total	g/100g	7.46	7.44	7.47

IV. NORMAS DE ENSAYO:

PARÁMETRO	NORMA O REFERENCIA
Fibra dietaria total	: AOAC 985.29 Total Dietary Fiber in Foods/ Enzymatic - Gravimetric Method. 21ST Ed. 2019.

CONDICIONES DE EMISIÓN:

- El código de trazabilidad descrito en el encabezado de cada hoja permite el rastreo adecuado de los documentos que sustentan los resultados del presente servicio.
- El informe es válido únicamente para los parámetros analizados en este documento y no puede estar relacionado implícita o explícitamente a otras características que no estén indicadas en él.
- El informe es válido únicamente para el producto indicado, sus resultados no pueden extenderse a cualquier otro ítem que no ha sido considerada en el documento.
- El informe es válido únicamente para el producto analizado, no pudiendo extenderse a otros y en la hora y fecha de su análisis, no pudiendo ser vinculado en otras fechas diferentes a las indicadas en el presente documento.

Dirección: Calle Los Tucanes 125 Oficina 205 Urb. San José - Bellavista - Callao
E-mail: comercial@cevcosac.com / Teléfono: 01-704 7027

Formato: F07-I01-P01-GI. Ver. 01

Página 1 de 2





INFORME DE ANÁLISIS DE PRODUCTO
IE-211217.06

Callao, 17 de diciembre de 2021

Código de trazabilidad:
211210.05

CONDICIONES DE EMISIÓN:

- El presente documento tiene un periodo de validez de **180 días** a partir de la fecha de emisión.
- Este documento no podrá ser reproducido parcial o totalmente sin la autorización escrita de CEVCO S.A.C.



Ing. Víctor Ángel Díaz Gaspar
C.I.P. 193535

Dirección: Calle Los Tucanes 125 Oficina 205 Urb. San José - Bellavista - Callao
E-mail: comercial@cevcosac.com / Teléfono: 01-704 7027

Formato: F07-I01-P01-GI. Ver. 01

Página 2 de 2

Resultado de la determinación de fibra dietaria total en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol ecotipo anaranjado





INFORME DE ANÁLISIS DE PRODUCTO
IE-211217.05

Callao, 17 de diciembre de 2021

Código de trazabilidad:
211210.05



I. DATOS GENERALES:

Solicitante del servicio / RUC : NAYDA KAREN HUAMANI CAHUANA
Dirección del solicitante : --

II. DATOS DEL PRODUCTO:

Denominación del producto : HARINA DE TOMATE DE ARBOL COLOR ROJO
Nombre declarado del producto : HARINA DE TOMATE DE ARBOL COLOR ROJO
Marca : --
Tipo de envase / empaque : Frasco de Polietileno de alta densidad
Cantidad y presentación de la muestra : M01 (LQ01-LQ03): 03 vias de 01 muestra (01 unidad de 250 g)
Fecha de entrega al laboratorio : 10-12-2021
Condiciones de entrega al laboratorio : TEMPERATURA AMBIENTE



III. RESULTADOS DEL ANÁLISIS:

RESULTADOS QUÍMICOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS (QM)		
		LQ01	LQ02	LQ03
Fibra dietaria total	g/100g	7.89	7.92	8.00

IV. NORMAS DE ENSAYO:

PARÁMETRO	NORMA O REFERENCIA
Fibra dietaria total	: AOAC 985.29 Total Dietary Fiber in Foods/ Enzymatic - Gravimetric Method. 21ST Ed. 2019.

CONDICIONES DE EMISIÓN:

- El código de trazabilidad descrito en el encabezado de cada hoja permite el rastreo adecuado de los documentos que sustentan los resultados del presente servicio.
- El informe es válido únicamente para los parámetros analizados en este documento y no puede estar relacionado implícita o explícitamente a otras características que no estén indicadas en él.
- El informe es válido únicamente para el producto indicado, sus resultados no pueden extenderse a cualquier otro ítem que no ha sido considerada en el documento.
- El informe es válido únicamente para el producto analizado, no pudiendo extenderse a otros y en la hora y fecha de su análisis, no pudiendo ser vinculado en otras fechas diferentes a las indicadas en el presente documento.

Dirección: Calle Los Tucanes 125 Oficina 205 Urb. San José - Bellavista - Callao
E-mail: comercial@cevcosac.com / Teléfono: 01-704 7027

Formato: F07-I01-P01-GI. Ver. 01

Página 1 de 2





CENTRO PERUANO EVALUADOR DE LA CONFORMIDAD S.A.C

INFORME DE ANÁLISIS DE PRODUCTO IE-211217.05

Callao, 17 de diciembre de 2021

Código de trazabilidad:
211210.05

CONDICIONES DE EMISIÓN:

- El presente documento tiene un periodo de validez de **180 días** a partir de la fecha de emisión.
- Este documento no podrá ser reproducido parcial o totalmente sin la autorización escrita de CEVCO S.A.C.



Ing. Victor Angel Diaz Gaspar
C.I.P. 193535



Dirección: Calle Los Tucanes 125 Oficina 205 Urb. San José - Bellavista - Callao
E-mail: comercial@cevcosac.com / Teléfono: 01-704 7027

Formato: F07-I01-P01-GI. Ver. 01

Página 2 de 2

Resultado de la determinación de fibra dietaria total en el polvo del epicarpio del fruto del Tomate de árbol ecotipo rojo.

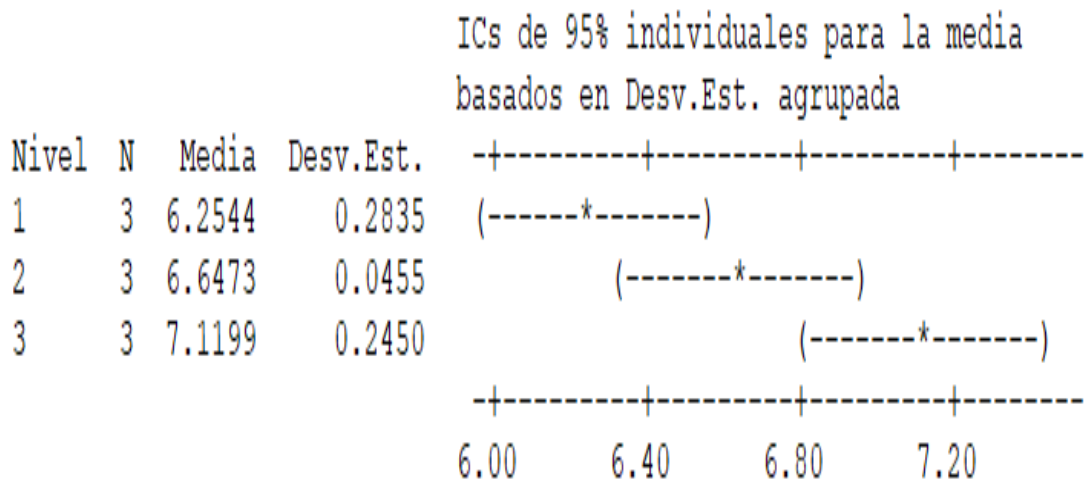


Anexo 7. Análisis de varianza con ANOVA para los valores del contenido de proteína en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

ANOVA unidireccional: DETERMINACION DE PROTEINA vs. TRATAMIENTOS

Fuente	GL	SC	MC	F	P
TRATAMIENTOS	2	1.1268	0.5634	11.86	0.008
Error	6	0.2850	0.0475		
Total	8	1.4118			

S = 0.2179 R-cuad. = 79.82% R-cuad.(ajustado) = 73.09%



Desv.Est. agrupada = 0.2179

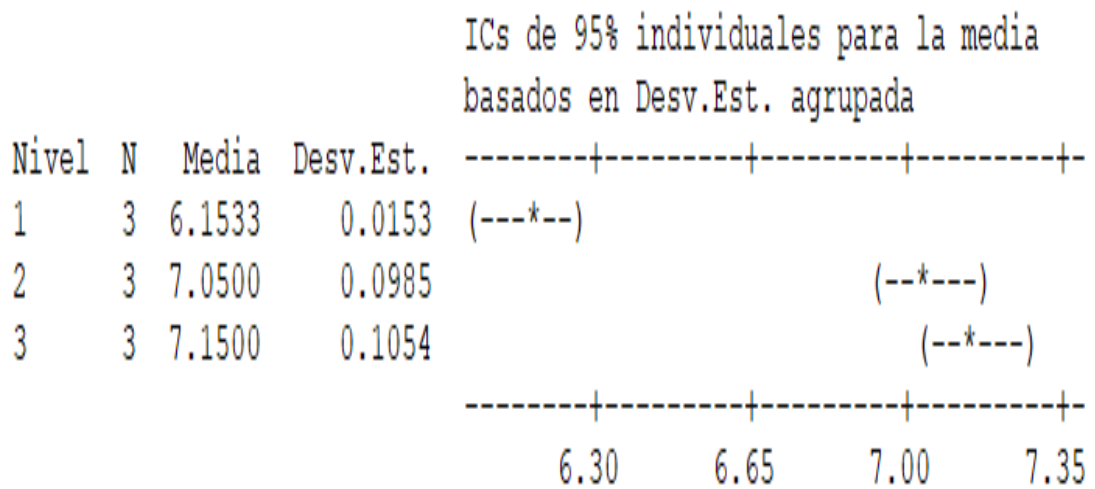


Anexo 8. Análisis de varianza con ANOVA para los valores del contenido de ceniza en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

ANOVA unidireccional: % DE CENIZAS vs. TRATAMIENTOS

Fuente	GL	SC	MC	F	P
TRATAMIENTOS	2	1.80736	0.90368	128.89	0.000
Error	6	0.04207	0.00701		
Total	8	1.84942			

S = 0.08373 R-cuad. = 97.73% R-cuad.(ajustado) = 96.97%



Desv.Est. agrupada = 0.0837



Anexo 9. Análisis no paramétrico con Kruskal - Wallis para los valores del contenido de grasa en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

Kruskal-Wallis Test: % DE GRASAS versus TRATAMIENTOS

Kruskal-Wallis Test on % DE GRASAS

TRATAMIENTOS	N	Median	Rank	Ave	Z
1	3	0.5963	2.0		-2.32
2	3	0.6864	5.0		0.00
3	3	0.9289	8.0		2.32
Overall	9		5.0		

H = 7.20 DF = 2 P = 0.027

* NOTE * One or more small samples

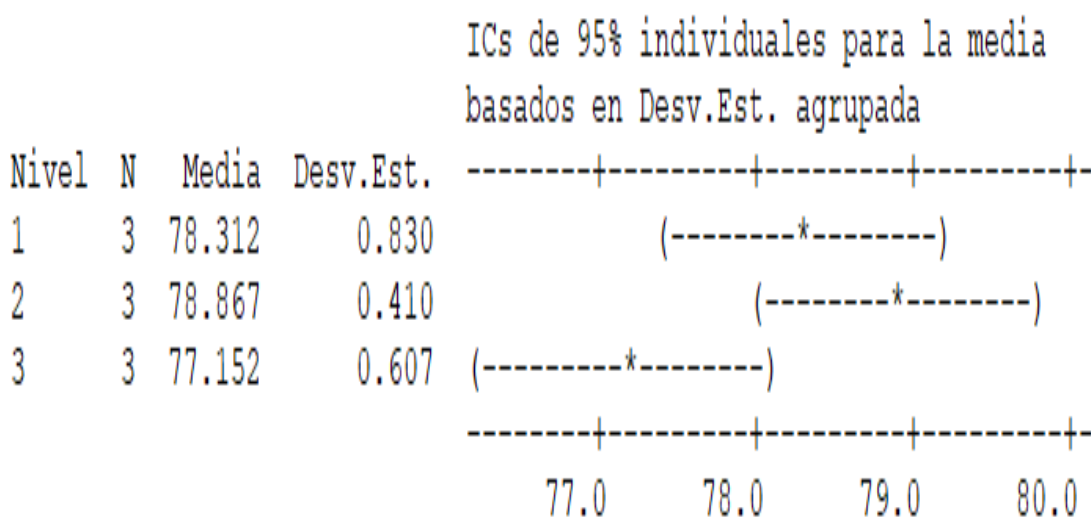


Anexo 10. Análisis de varianza con ANOVA para los valores del contenido de humedad en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos.

ANOVA unidireccional: % DE HUMEDAD vs. TRATAMIENTOS

Fuente	GL	SC	MC	F	P
TRATAMIENTOS	2	4.598	2.299	5.63	0.042
Error	6	2.451	0.408		
Total	8	7.048			

S = 0.6391 R-cuad. = 65.23% R-cuad.(ajustado) = 53.64%



Desv.Est. agrupada = 0.639



Anexo 11. Análisis de varianza con ANOVA para los valores del contenido de carbohidratos totales en la cáscara del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres variedades.

ANOVA unidireccional: % DE CARB. TOTALES vs. TRATAMIENTOS

Fuente	GL	SC	MC	F	P
TRATAMIENTOS	2	15.779	7.889	7.96	0.021
Error	6	5.950	0.992		
Total	8	21.729			

S = 0.9958 R-cuad. = 72.62% R-cuad.(ajustado) = 63.49%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95%
1	3	8.701	1.098	(-----*-----)
2	3	5.975	0.754	(-----*-----)
3	3	8.859	1.096	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----+
4.5 6.0 7.5 9.0

Desv.Est. agrupada = 0.996



Anexo 12. Análisis de varianza con modelo lineal general para los valores de la capacidad de retención de agua en el epicarpio del furto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos y tamaños de partículas

Modelo lineal general: VARIABLE RESPUESTA vs. FACTOR A; FACTOR B

Factor	Tipo	Niveles	Valores
FACTOR A	fijo	4	A1; A2; A3; A4
FACTOR B	fijo	3	B1; B2; B3

Análisis de varianza para VARIABLE RESPUESTA, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
FACTOR A	3	97.704	97.704	32.568	41.17	0.000
FACTOR B	2	9.010	9.010	4.505	5.69	0.009
FACTOR A*FACTOR B	6	18.247	18.247	3.041	3.84	0.008
Error	24	18.986	18.986	0.791		
Total	35	143.948				

Anexo 13. Análisis no paramétrico con Kruskal - Wallis para los valores de la capacidad de retención de aceite en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos y tamaños de partículas

Prueba de Kruskal-Wallis: VARIABLE RESPUESTA vs. FACTOR A

Prueba de Kruskal-Wallis en VARIABLE RESPUESTA

FACTOR A	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
A1	9	2.586	24.8	2.06
A2	9	2.327	20.7	0.71
A3	9	2.471	21.9	1.11
A4	9	1.935	6.7	-3.89
General	36		18.5	

H = 15.86 GL = 3 P = 0.001

Prueba de Kruskal-Wallis: VARIABLE RESPUESTA vs. FACTOR B

Prueba de Kruskal-Wallis en VARIABLE RESPUESTA

FACTOR B	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
B1	12	2.612	22.8	1.71
B2	12	2.098	12.5	-2.42
B3	12	2.399	20.3	0.70
General	36		18.5	

H = 6.18 GL = 2 P = 0.046



Anexo 14. Análisis de varianza con modelo lineal general para los valores de la capacidad de hinchamiento en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (Solanum betaceum) en sus tres ecotipos y tamaños de partículas

Modelo lineal general: VARIABLE RESPUESTA vs. FACTOR A; FACTOR B

Factor	Tipo	Niveles	Valores
FACTOR A	fijo	4	A1; A2; A3; A4
FACTOR B	fijo	3	B1; B2; B3

Análisis de varianza para VARIABLE RESPUESTA, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
FACTOR A	3	129.960	129.960	43.320	138.89	0.000
FACTOR B	2	7.301	7.301	3.650	11.70	0.000
FACTOR A*FACTOR B	6	30.534	30.534	5.089	16.32	0.000
Error	24	7.486	7.486	0.312		
Total	35	175.280				

S = 0.558483 R-cuad. = 95.73% R-cuad. (ajustado) = 93.77%



Anexo 15. Análisis de varianza con modelo lineal general para los valores de la capacidad de solubilidad en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos y tamaños de partículas

Modelo lineal general: VARIABLE RESPUESTA vs. FACTOR A; FACTOR B

Factor	Tipo	Niveles	Valores
FACTOR A	fijo	4	A1; A2; A3; A4
FACTOR B	fijo	3	B1; B2; B3

Análisis de varianza para VARIABLE RESPUESTA, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
FACTOR A	3	21720.4	21720.4	7240.1	2111.86	0.000
FACTOR B	2	1062.7	1062.7	531.3	154.99	0.000
FACTOR A*FACTOR B	6	9254.0	9254.0	1542.3	449.88	0.000
Error	24	82.3	82.3	3.4		
Total	35	32119.4				

S = 1.85158 R-cuad. = 99.74% R-cuad.(ajustado) = 99.63%



Anexo 16. Análisis de varianza con ANOVA para los valores de la capacidad antioxidante en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos

ANOVA unidireccional: % CA (mgAAC/100g) vs. TRATAMIENTOS

Fuente	GL	SC	MC	F	P
TRATAMIENTOS	2	2.2024	1.1012	11.75	0.008
Error	6	0.5623	0.0937		
Total	8	2.7647			

S = 0.3061 R-cuad. = 79.66% R-cuad.(ajustado) = 72.88%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
1	3	24.938	0.124	(-----*-----)
2	3	25.507	0.505	(-----*-----)
3	3	24.296	0.103	(-----*-----)

24.00 24.60 25.20 25.80

Desv.Est. agrupada = 0.306



Anexo 17. Análisis de varianza con ANOVA para los valores del contenido de polifenoles totales en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos

ANOVA unidireccional: POLIFENOLES (mg ac galico/100g) vs. TRATAMIENTOS

Fuente	GL	SC	MC	F	P
TRATAMIENTOS	2	1171	585	4.30	0.069
Error	6	817	136		
Total	8	1988			

S = 11.67 R-cuad. = 58.91% R-cuad.(ajustado) = 45.22%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95%
1	3	376.11	1.48	(-----*-----)
2	3	348.46	14.51	(-----*-----)
3	3	365.76	13.99	(-----*-----)

---+-----+-----+-----+-----
 336 352 368 384

Desv.Est. agrupada = 11.67



Anexo 18. Análisis de varianza con ANOVA para los valores del contenido de fibra dietaria total en el epicarpio del fruto del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en sus tres ecotipos

ANOVA unidireccional: Cont Fibra vs. TRATAMIENTOS

Fuente	GL	SC	MC	F	P
TRATAMIENTOS	2	0.86580	0.43290	199.80	0.000
Error	6	0.01300	0.00217		
Total	8	0.87880			

S = 0.04655 R-cuad. = 98.52% R-cuad. (ajustado) = 98.03%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95%
1	3	7.9367	0.0569	(- * --)
2	3	7.1867	0.0551	(- * --)
3	3	7.4567	0.0153	(- * --)

-----+-----+-----+-----+-----
7.25 7.50 7.75 8.00

Desv.Est. agrupada = 0.0465

