



Universidad de Chile

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas

Departamento de Ciencias de los Alimentos y Tecnología Química

Carrera de Ingeniería en Alimentos y Magister en Ciencia de Alimentos

Efecto de harina de alga cochayuyo (*Durvillaea antártica*) sobre la capacidad de impresión y propiedades termofísicas de un alimento impreso 3D a base de harina de arroz

Memoria para optar al Título de Ingeniero en Alimentos y
Tesis para optar al grado de Magister en Ciencia de los Alimentos

por

ALONSO EDUARDO VÁSQUEZ MONTAÑO

Director: Dr. Roberto Lemus Mondaca

Santiago, Chile

2023

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

INFORME DE APROBACIÓN DE TESIS DE MAGÍSTER

Se informa a la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas que la Tesis de Magíster presentada por el candidato

Alonso Eduardo Vasquez Montaña

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluadora de Tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias de los Alimentos, en el examen público rendido el día

Director de Tesis:

Roberto Lemus Mondaca

Comisión Evaluadora de Tesis:

Jaime Ortiz Viedma

Alicia Rodríguez Melis

Kong Shun AH-HEN

Dedicatoria

Dedicada a las personas y momentos que me llevaron a hacer la persona que soy el día de hoy, a los que están y a los que ya no están en mi vida. A las personas que no volverán, pero en mi espalda y en mi corazón siguen viviendo, no importa que haya en mi camino, lo atravesare y será mi victoria.

“No creas en el yo que cree en ti, ni en el tú que cree en mí, cree en el tú... que cree en ti mismo” (Kamina Jeeha).

Índice

1. Resumen.....	1
1.1 Abstract.....	2
2. Nomenclatura.....	3
3. Introducción.....	4
3.1 Situación de algas en Chile.....	4
3.2 Cochayuyo (<i>Durvillaea antártica</i>).....	5
3.3 Impresión 3D.....	6
3.4 Antecedentes de uso de alginato en impresión 3D.....	7
3.5 Características del arroz.....	9
3.6 Reología.....	10
3.6.1 Tipos de fluido.....	11
3.6.2 Fluidos Newtonianos.....	11
3.6.3 Fluidos no Newtonianos.....	11
3.7 Calorimetría de Diferencial Barrido (DSC).....	13
3.7.1 Fusión.....	13
3.7.2 Cristalización.....	14
3.7.3 Transición vítrea.....	15
3.8 Textura.....	15
3.8.1 Análisis del perfil de textura TPA.....	16
4. Hipótesis.....	18
5. Objetivos.....	18
5.1 Objetivo general.....	18
5.2 Objetivo específicos.....	18
6. Materiales y métodos.....	19
6.1 Selección de materia prima.....	19
6.2 Concentración de las muestras.....	20
6.3 Preparación de muestras.....	20
6.4 Impresión 3D.....	21
6.4.1 Precisión, calidad y rango de deformación de impresión 3D.....	22
6.5 Análisis reológico.....	24
6.5.1 Curva de flujo.....	24
6.5.2 Barrido de frecuencia.....	24
6.6 Análisis Calorimetría de barrido diferencial.....	24
6.7 Análisis de Textura.....	25

6.8 Mediciones de color	25
6.9 Análisis estadístico	26
6.10 Diagrama de flujo	27
6.10.1 Descripción diagrama de flujo	28
7. Resultados.....	29
7.1 Impresión 3D.....	29
7.1.1 Fidelidad de impresión	29
7.1.2 Calidad de impresión	31
7.1.3 Tasa de Deformación	33
7.2 Reología	34
7.2.1 Viscosidad aparente	34
7.2.2 Curvas de flujo	35
7.2.3 Barrido de frecuencia	38
7.3 Determinación de propiedades térmicas.....	41
7.4 Evaluación de análisis de Textura.....	44
7.5 Color.....	46
8. Conclusión	48
9. Bibliografía	49
10. Anexo.....	53
Anexo1	53
Anexo2	53
Anexo3	54
Anexo4	54
Anexo5	54
Anexo6	56
Anexo7	57
Anexo8	57
Anexo9	60
Anexo10	61
Anexo11	62
Anexo12	62
Anexo13	62
Anexo14	63
Anexo15	63
Anexo16	64
Anexo17	64

Anexo18	65
Anexo19	65
Anexo20	66
Anexo21	66
Anexo22	67
Anexo23	67
Anexo24	68
Anexo25	68
Anexo 26	69
Anexo 27	69

1. Resumen

Se estudio el uso de alga de Cochayuyo en las propiedades de impresión 3D debido a su alto contenido de alginato. La preparación de las muestras consistió en cuatro diferentes formulaciones entre harina de arroz y harina de Cochayuyo (100-0%, 70-30%, 50-50% y 30-70%), las cuales fueron mezcladas con agua previamente hervida (100°C) hasta una completa homogeneización. Las pastas obtenidas fueron impresas con la misma figura mediante una máquina de impresión 3D. Con las figuras ya impresas se comparó la fidelidad de la impresión, la calidad de la impresión y la deformación que sufren las muestras al cabo de 2 h de ser impresas, se pudo observar que la calidad de impresión aumentaba a medida que se aumentaba la cantidad de Cochayuyo en las muestras, mientras que la deformación disminuye a mayor concentración de Cochayuyo. Por otro lado, se les realizaron mediciones reológicas a las pastas utilizadas para la impresión 3D para observar el comportamiento reológico de estas, se determinó que todas las pastas poseían un comportamiento viscoelástico, adecuado para ser impresas, además se observó mediante los módulos G' y G'' que a medida que aumentaba la concentración de Cochayuyo las muestras presentaban un comportamiento más sólido. También se estudiaron los comportamientos térmicos que presentaban las muestras mediante la técnica de DSC en donde se pudo observar que todas las muestras presentaban un peak endotérmico que comenzaba entre los 100 - 104°C encontrando su altura máxima entre los 120 - 125°C, del mismo modo se pudo observar que la concentración de Cochayuyo provocaba una disminución en los valores de entalpía que presentan los termogramas, esto posiblemente debido a que el alginato dentro del Cochayuyo dificultaría la gelatinización del almidón de la harina de arroz. A las figuras impresas 3D se les realizó un análisis de perfil de textura (TPA) para observar cómo se comportan frente a una simulación de una mordedura, los parámetros de dureza, cohesión, gomosidad y masticabilidad presentaron un aumento en sus valores a medida que aumentaba la concentración de Cochayuyo, mientras que los valores de elasticidad, la resiliencia y adhesividad disminuyeron.

1.1 Abstract

The use of seaweed from Cochayuyo in 3D printing properties was studied due to its high alginate content. The preparation of the samples consisted of four different formulations between rice flour and Cochayuyo flour (100-0%, 70-30%, 50-50% and 30-70%), which were mixed with previously boiled water (100 °C) until complete homogenization. The pastes obtained were printed with the same figure using 3D printing. With the figures already printed, the fidelity of the print, the quality of the print and the deformation suffered by the samples after 2 hrs of being printed were compared, it was possible to observe that the print quality increased when amount of Cochayuyo in samples. while the deformation decreased with amount of Cochayuyo. On the other hand, rheological measurements were made to the pastes used for 3D printing to observe their rheological behavior. All the pastes presented a viscoelastic behavior, suitable for being printed, they were also developed using the modules G' and G'' that as the concentration of Cochayuyo increased, the samples presented a more solid behavior. The thermal behaviors presented by the samples were also studied using the DSC technique, where it was observed that all the samples presented an endothermic peak that began between 100 -104°C, finding its maximum height between 120 - 125°C. Also, it was possible to observe that the concentration of Cochayuyo caused a decrease in the enthalpy values presented by the thermograms, this possibly due to the fact that the alginate inside the Cochayuyo will hinder the gelatinization of the starch of the rice flour. The 3D printed figures underwent a texture profile analysis to observe how they behave when faced with a simulation of a bite, the parameters of hardness, cohesion, gumminess and chewiness presented an increase in their values as the concentration of Cochayuyo increased. while the values of elasticity, resilience and adhesiveness decreased.

2. Nomenclatura

τ	<i>Shear stress (Pa)</i> o estrés de corte
τ_0	<i>Yield stress (Pa)</i> esfuerzo cortante mínimo
$\dot{\gamma}$	<i>Shear rate (s⁻¹)</i> o velocidad de corte
G'	Storage modulus (Modulo de almacenamiento o elástico)
G''	Loss modulus (Modulo de Perdida o viscoso)
K	Consistency index (Pa sn) o índice de consistencia
n	Flow behavior index o índice de comportamiento de flujo
ΔH	Entalpía
To	Temperatura on set
Tp	Temperatura peak
Tf	Temperatura end set
ΔT	Diferencia entre temperatura onset y end set

3. Introducción

3.1 Situación de algas en Chile

En Chile existen aproximadamente 550 especies de algas bentónicas, aunque las más conocidas ampliamente por la población representan menos del 1% de ellas (Ortiz, 2011). La ingesta de algas de manera habitual, provocan efectos favorables en la salud, debido a los componentes químicos derivados de la biosíntesis de las células vegetales como son los polifenoles, ácidos grasos esenciales, pigmentos, fitoestrógenos, proteínas, vitaminas y minerales (Ortiz, 2011). Así mismo el consumo de algas siempre ha sido importante para la nutrición de las culturas que se han desarrollado a la orilla del mar. En su estado natural, las algas contienen un 80-90% de agua. En base seca, contienen aproximadamente 50% de hidratos de carbono, 1-3% de lípidos y 7-38% de minerales, mientras que el contenido de proteínas es altamente variable (10-47%), con una alta proporción de aminoácidos esenciales (Parra et al., 2021). Aun con lo anterior, las especies más comunes de algas son exportadas como materia prima, usadas internamente en las industrias de alginatos, agar, y en menor grado consumidas como alimentos (Chapman & Chapman, 1980). En Chile el cultivo y producción de algas bordea las 90.000 ton anuales, las cuales son destinadas principalmente a exportación u obtención de subproductos, ya que el consumo a nivel nacional es mínimo pese a ser un país con una costa bastante amplia (Allendes, 2012). El estudio más reciente sobre el consumo de algas en Chile fue realizado en 2014, donde se registraron desembarques por 11.355 t. de algas para consumo humano directo, equivalentes a un 2.6% del total de algas de ese año (Universidad Arturo Prat, 2015). Lo cual muestra que en Chile no existe una fuerte cultura a la hora de consumir algas, pese a ser un país rico en estas. El uso más general de las algas para consumo humano son algas deshidratadas que deben ponerse en remojo durante un tiempo, para su posterior uso en crudo para ensaladas o cocidas para distintas preparaciones (Universidad Arturo Prat, 2015).

A esto se suma que en la industria asociada a las algas para consumo humano en Chile no existe una agrupación, que aúne a productores, procesadores o a empresas de servicios ante el aparato público o ante otros actores del mercado. Las agrupaciones que existen corresponden, principalmente a organizaciones de pescadores artesanales con fines de acción más generales, que se escapan al sector específico de las algas para consumo humano (Parra et al., 2021).

3.2 Cochayuyo (*Durvillaea antártica*)

El Cochayuyo o *Durvillaea antártica*, corresponde al alga de mayor consumo en Chile, encontrándose en toda la costa chilena, estas algas pueden medir hasta 15 m de largo, son de color pardo verdoso oscuro o pardo amarillento. Esta alga se divide en Cochayuyo, que corresponde a las frondas de la planta, que suelen medir entre 3 y 12 cm de ancho y Hulte que representa al tallo; el cual, generalmente se consume sin previa deshidratación (Ortiz, 2011). Respecto a su aporte nutricional, el Cochayuyo posee un contenido alto de minerales especialmente yodo ($150 \mu\text{g}/100 \text{g}$ aprox.) superando al de la espinaca y otros vegetales, una alta cantidad de fibra dietaria la cual se encuentra entre 56.4-71.4% (m.s.), buen nivel de proteínas ($10\text{g}/100\text{g}$ aprox.) y bajo contenido de lípidos ($0.8\text{g}/100\text{g}$) (Ortiz, 2011). Además, posee todos los aminoácidos esenciales (y en altas cantidades histidina y valina), ácidos grasos poliinsaturados (ácidos omegas 3 como el ácido eicosapentanoico y docosahexanoico) y un alto nivel de tocoles, el cual supera al de aceites de origen vegetal (Allendes, 2012). Todo esto convierte al Cochayuyo en una fuente valiosa de nutrientes; por lo cual, es ideal que se le incorpore en la dieta habitual de las personas. La versatilidad de los alginatos constituye la base para la explotación de algas pardas en el hemisferio occidental, el contenido de alginato en Cochayuyo se encuentra entre los rangos de 30 a 55% en peso seco del alga, por lo que son una especie rica en alginato (Kelly, 2000).



Figura 1. A) *Durvillaea antártica* (Cochayuyo) silvestre, y B) Ensalada de Cochayuyo.

3.3 Impresión 3D

La impresión 3D es un proceso de construcción de objetos físicos 3D a partir de modelos digitales mediante la deposición sucesiva capa por capa de materiales como plástico, metal, cerámica o incluso células vivas (Liu et al., 2019). Dependiendo del método de impresión y la formulación de las tintas, los objetos se fabrican de manera sucesiva capa por capa mediante la dispensación del material con una extrusora. La impresión 3D es una tecnología en crecimiento que tiene un impacto revolucionario en la fabricación de productos para aplicaciones en áreas como la salud y la medicina, la aeronáutica, el espacio, la automoción y la industria alimentaria (Liu et al., 2019). Existen distintos métodos para la impresión en 3D, incluido el modelado por deposición fundida, la impresión por inyección de tinta y la sinterización selectiva por láser o aire caliente. El modelado de deposición fundida es el método más utilizado para aplicaciones alimentarias en las que se utilizan distintos materiales llamados “tintas alimentarias” las cuales son cargadas en las máquinas de impresión 3D en jeringas y luego se extruye a través de la fuerza generada por aire presurizado o pistón hidráulico para la producción de alimentos impresos (Wilm et al., 2021; Maniglia et al., 2022). La impresión 3D ofrece la posibilidad de crear estructuras complejas si se controlan ciertos parámetros claves de procesamiento, incluida la temperatura de la tinta de materia prima y del sistema de extrusión, la geometría de la boquilla y la altura desde el lecho de formación y el comportamiento reológico (Lipton et al., 2015). Los requisitos generales de materiales para la impresión de alimentos en 3D, incluyen la capacidad de impresión, la aplicabilidad y la viabilidad del posprocesamiento. Controlar las propiedades fisicoquímicas, reológicas, estructurales y mecánicas de los materiales es la clave para garantizar un proceso de impresión preciso, preciso y fluido (Liu et al., 2019). Una variedad de biopolímeros de origen natural como celulosa, hemicelulosa, pectina, almidón, alginato, agarosa y quitosano muestran potencial para ser utilizados en la impresión de alimentos (Dankar^c et al., 2018). Caso particular es el del alginato, que es uno de los polisacáridos aniónicos de algas pardas más ampliamente explorados en alimentos en 3D debido a su no toxicidad, comestibilidad y alta abundancia (Liu et al., 2019). Existe una demanda creciente para el desarrollo de alimentos personalizados para necesidades dietéticas especializadas, como productos para atletas para la recuperación después del entrenamiento o productos para mujeres embarazadas que varían los niveles de componentes de nutrientes al

reducir las cantidades de ingredientes indeseables y mejorar la presencia de saludables (por ejemplo, proteínas, vitaminas, fibra) (Chen et al., 2019). La impresión de alimentos basada en extrusión es el método más utilizado, que implica el suministro de ingredientes/materiales en forma de pasta o suspensión. El material alimenticio semisólido se extruye como un hilo fino a través de la boquilla de impresión que se puede mover en las direcciones X, Y y Z (Liu et al., 2018). Además, es imperativo monitorear las propiedades y la composición del material alimenticio en sí, lo que ayuda a predecir el comportamiento de impresión 3D de un alimento en particular y ensamblar una forma compleja (Liu et al., 2020).

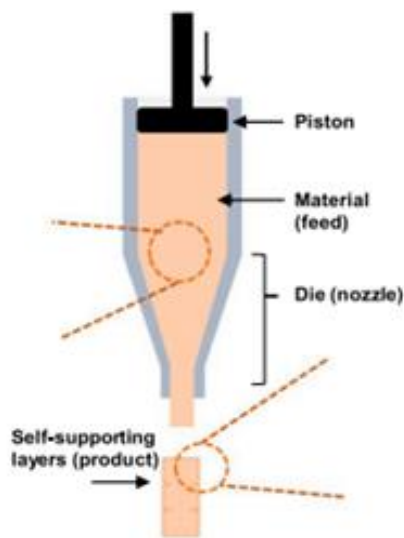


Figura 2. representación de pistón de extrusión (Wilm et al., 2021).

3.4 Antecedentes de uso de alginato en impresión 3D

Varios hidrocoloides tales como almidón, goma guar, goma xantana, goma de algarroba, alginato, pectina, inulina, son los que más se utilizan en la actualidad para la impresión 3D de alimentos (Sandhu & Singh, 2022). El almidón es un copolímero compuesto por dos complejos macromoleculares, la amilosa y la amilopectina, proveniente de distintas plantas (Maniglia et al., 2022). El almidón es el carbohidrato más importante de la dieta humana, es muy utilizado como espesante o gelificante. Cuando se calienta, el gránulo de almidón suspendido en agua absorbe una gran cantidad de agua y se hincha hasta romperse (Maniglia et al., 2022). Este proceso es llamado gelatinización, la estructura del gel de almidón proporciona la viscoelasticidad y el comportamiento de cizallamiento que le permite al almidón fluir durante extrusión y obtener estructura autosuficiente durante o después de una impresión 3D (Sandhu

& Singh, 2022). La fécula de patata y sus derivados, como el puré de patata se suelen utilizar en aplicación de impresión 3D de alimentos, sin embargo, se ha visto que los almidones nativos generalmente no poseen las propiedades ideales para la preparación de productos alimenticios, por lo que suelen mezclarse con diferentes hidrocoloides y aditivos alimentarios para que así la mezcla resultante mejore la funcionalidad, estabilidad y textura del producto y facilite su desempeño durante el procesamiento (Dankar^b et al., 2018). En el estudio de Dankar^c et al., (2018) se pudo observar que en la adición de distintos polisacáridos a una matriz de puré de papa en donde se utilizaron glicerol, lecitina, alginato y agar; el alginato y agar fueron los que proporcionaron más estabilidad a los productos impresos, lo cual podría deberse a la tendencia de los hidrocoloides (agar y alginato) a formar una red continua de entrelazamientos con moléculas de almidón.

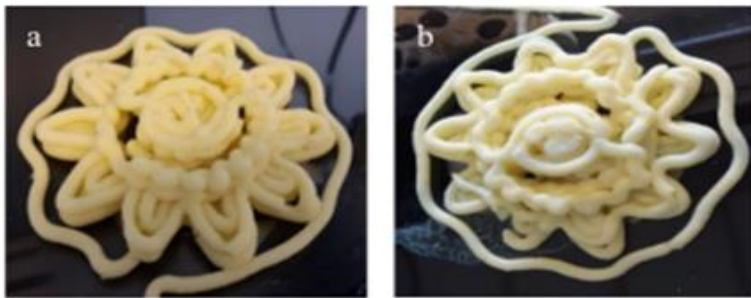


Figura 3. a) Impresión de puré de papa con adición de 0.5% alginato y b) Puré sin adición (Dankar^c et al., 2018).

Por otro lado, el arroz es un material alimenticio tradicional no imprimible representativo en la naturaleza debido a su bajo contenido de proteínas y gluten (Koh et al., 2009). Para procesar los materiales alimenticios en los materiales de tinta aplicables para la impresión 3D y mejorar la calidad del producto impreso, se han aprobado y utilizado activamente modificadores estructurales como gomas alimentarias, almidones o hidrocoloides en muchas fórmulas alimentarias. En un estudio reciente de Liu et al., (2020), se incorporó alginato de sodio en harina de arroz para poder preparar pastas de impresión 3D, en donde se observaron mejoras en la viscosidad, distribución del agua, propiedades de hidratación del agua, propiedades térmicas y resistencia mecánica de la pasta de arroz. Este comportamiento se debió al aumentar la adición de alginato de sodio, demostrando una vez más la eficacia que tiene el alginato a la hora de procesar alimentos de

impresión 3D. Finalmente, muchos investigadores se han centrado en los efectos de las variedades de hidrocoloides que mejoran las propiedades del almidón. Sin embargo, las interacciones entre alginato de sodio y almidón no han sido definidas (Yang et al., 2021).






Sample	Photograph	SA concentration	observation
3DIP1		0.00%	Spreads after printing
3DIP2		0.25%	Good shape but surface is not smooth
3DIP3		0.5%	Desired extrusion structure
3DIP4		0.75%	Desired extrusion structure
3DIP5		1.00%	Good shape but lines are uneven

Figura 4. Impresión pasta de arroz con distintas concentraciones de alginato de sodio adaptación (Liu et al., 2020).

3.5 Características del arroz

El arroz (*Oryza sativa*), es un alimento básico para aproximadamente la mitad del mundo, representa el 20% de la ingesta energética alimentaria mundial, a su vez es uno de los cereales más importantes, sin embargo, este es un material alimentario no imprimible por sí solo (Liu et al., 2020). El arroz tiene un contenido de proteínas por lo general más bajo que en el resto de los cereales, aunque su balance aminoacídico es relativamente bueno. Las proteínas del endospermo del arroz están constituidas por aproximadamente 3.8-8.8% de albúminas, 9.6-10.8% de globulinas, 2.6-3.3 % de prolaminas y 66-78% de glutelinas (Cagampang, 1966). Ha aumentado el uso de productos de arroz como ingredientes en geles, pudines, helados y fórmulas para bebés debido a sus propiedades nutricionales, hipoalergénicas, incoloras y de sabor suave (Ju et al., 2001). Para procesar los materiales alimentarios en los materiales de tinta aplicables para la impresión 3D y mejorar la calidad del producto impreso, se han aprobado y utilizado activamente modificadores estructurales como gomas alimentarias, almidones o hidrocoloides en muchas fórmulas alimentarias (Dankar^c et al., 2018). En el estudio de Liu et al., (2020), ellos utilizaron alginato de sodio como

aditivo para la mezcla de harina de arroz y agua, mejorando las propiedades reológicas y mecánicas de los geles que se formaron para utilizarlos posteriormente para la impresión 3D de alimentos.

3.6 Reología

La Reología es la "ciencia del flujo y la deformación", es decir, es parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir. Por lo tanto, el campo de la reología se extiende desde la mecánica de fluidos Newtonianos, por una parte, hasta la elasticidad de Hooke por otra parte, la región comprendida entre ellas (fluidos Newtonianos y elasticidad de Hooke) corresponde a la deformación y flujo de todos los tipos de materiales pastosos y las de suspensiones (Kenñe, 2010). Mientras que la Reometría se encarga de determinar en forma experimental el comportamiento de un fluido. Para ello hace uso de instrumentos llamados reómetros que nos permite medir las propiedades reológicas. Dependiendo del tipo de fluido, es que se emplean diferentes tipos de reómetros y métodos para la medición de las propiedades reológicas, por ello es importante reconocer y elegir bien el tipo de instrumental a usar (Megaña, 2019).

3.6.1 Tipos de fluido

La reología nos lleva a que debamos diferenciar los distintos tipos de fluidos que existen, los fluidos pueden ser clasificados de acuerdo con la variabilidad de su viscosidad al ser sometida el fluido a esfuerzos de corte (Kenñe, 2010).

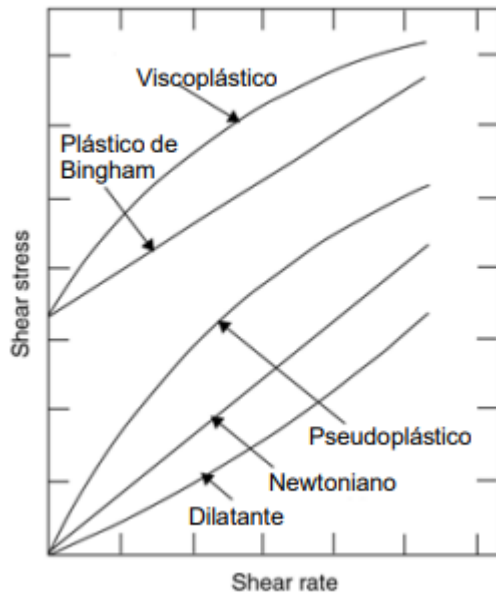


Figura 5. curva de flujo cualitativa para diferenciar tipos de fluidos (Megaña, 2019).

3.6.2 Fluidos Newtonianos

Este tipo de fluido se caracteriza por cumplir la ley de Newton para la viscosidad de acuerdo con la Ec. 1, lo que quiere decir que para el fluido existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte. su viscosidad no depende del tiempo de aplicación del esfuerzo (Chhabra R.P, 2012).

$$F/A = \tau = \mu \left(- \frac{dV_x}{dy} \right) = \mu^* \dot{\gamma} \quad (\text{Ec. 1})$$

3.6.3 Fluidos no Newtonianos

Estos fluidos suelen ser los más comunes, su comportamiento no está regido por la ecuación de fluidos Newtonianos Ec. 1. La relación de esfuerzo de corte y velocidad de corte de estos fluidos no es lineal y pueden ser dependientes o independientes del tiempo de aplicación del esfuerzo (Garate, 2014).

- *Pseudoplásticos*: estos fluidos se caracterizan por una disminución de su viscosidad a medida que aumenta el esfuerzo de corte. Es independiente del tiempo.
- *Dilatante*: estos fluidos a, se caracterizan por un aumento de su viscosidad a medida que aumenta el esfuerzo de corte. Es independiente del tiempo.
- *Plásticos*: este tipo de fluido se comporta como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante mínimo (Yield stress) y luego de superar dicho valor se comporta como un líquido. Es independiente del tiempo.
- *Tixotrópicos*: es dependiente del tiempo, la viscosidad disminuye al aumentar el tiempo de aplicación del esfuerzo de corte, recuperando su estado inicial después de un reposo prolongado.
- *Reopéticos*: dependiente del tiempo, su viscosidad aumenta al aumentar el tiempo de aplicación del esfuerzo de corte y vuelve a su estado anterior después de un tiempo de reposo.
- *Fluidos viscoelásticos*: se caracterizan por presentar a la vez tanto propiedades viscosas como elásticas. Esta mezcla de propiedades se debe a la existencia en el fluido de moléculas muy largas y flexibles en su estructura molecular. Estos materiales se caracterizan por la existencia de un yield stress, en donde una vez que el estrés aplicado excede el esfuerzo cortante mínimo, la curva de flujo puede ser lineal o no lineal (Kenñe, 2010; Megaña, 2019).

3.7 Calorimetría de Diferencial Barrido (DSC)

La calorimetría diferencial de barrido es una técnica que analiza el cambio de la Capacidad Calórica (C_p) de un material frente a un cambio en la temperatura (Venegas, 2017). En esta se mide la diferencia en el aporte de calor necesario para elevar la temperatura de una muestra y una referencia, para luego ser medida y expresada en términos de temperatura. La muestra y la referencia se mantienen más o menos a la misma temperatura durante todo el proceso, mientras el portamuestra aumenta o disminuye su temperatura generalmente de manera lineal (Alshareef, 2019). Si la muestra sufre una transformación física debido a la temperatura, como cambio de fase, se requerirá más o menos calor para que la muestra y la referencia se mantengan a la misma temperatura. Si la muestra experimenta una transición exotérmica (como una cristalización), se necesita menos calor para elevar la temperatura de la muestra, ya que la muestra estará liberando calor debido a transición, por lo tanto, la diferencia en el flujo de calor entre la muestra y la referencia es una medida de la cantidad de calor que es absorbido o liberado durante la transición (Alshareef, 2019). El resultado de una exploración DSC es un gráfico del flujo de calor frente a la temperatura (termograma). Se aplican dos convenciones diferentes a la presentación del gráfico: las reacciones exotérmicas en la muestra se muestran con un pico negativo o positivo según el instrumento. Es posible identificar temperaturas de cristalización, de fusión y transiciones vítreas. DSC también puede identificar la oxidación y otras reacciones químicas (Alshareef, 2019; Salvador, 2009).

3.7.1 Fusión

La fusión de una sustancia consiste en el cambio de estado sólido a líquido. Para que tenga lugar este cambio de estado es necesario transferir calor al sólido. La temperatura a la cual se produce el cambio de fase se denomina punto de fusión (Salvador, 2009). En general, cuando se transfiere calor a una sustancia, la temperatura de la sustancia aumenta al incrementarse la energía cinética media por molécula. Sin embargo, cuando el calor añadido sólo produce un cambio de fase, la temperatura de la sustancia no cambia debido a que la energía se emplea para producir dicho cambio. El aumento de la temperatura de la sustancia sólo ocurrirá hasta que se produzca el cambio total de estado (Salvador, 2009).

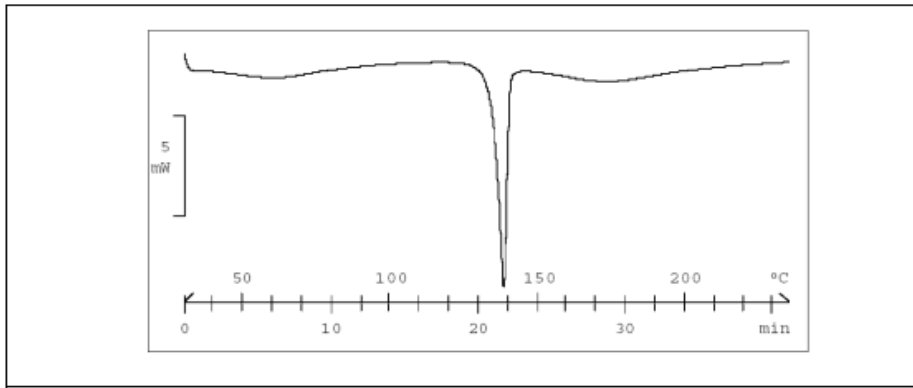


Figura 6. Fusión del ácido acetil salicílico. Fuente (Salvador, 2009).

3.7.2 Cristalización

En forma general el proceso de cristalización corresponde a una transformación de carácter exotérmico, en donde el sólido amorfo se vuelve menos viscoso a medida que las moléculas obtienen suficiente libertad de movimiento para organizarse en una red cristalina debido al cambio de temperatura (Sciarini, 2011). La observación de este fenómeno ha sido estudiada principalmente en polímeros. De acuerdo con observaciones experimentales se puede decir que la cristalización es un proceso relativamente lento a temperaturas suficientemente bajo el punto de fusión, da como resultado un pico en la señal DSC. (Salvador, 2009; Sciarini, 2011).

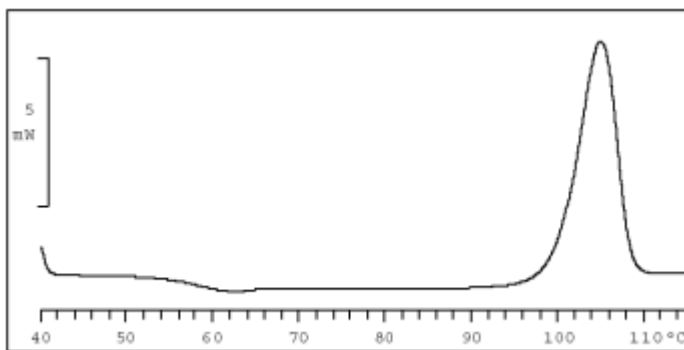


Figura 7. Cristalización sulfapiridina. Fuente (Salvador, 2009).

3.7.3 Transición vítrea

Los materiales amorfos o semicristalinos suelen presentar una característica en común, la cual se trataría de la transición vítrea, la cual consiste en que las regiones no cristalinas cambian a de estado vítreo (duro, rígido y frágil) a uno viscoelástico, teniendo una pérdida de rigidez. Se puede definir la transición vítrea como un cambio reversible en un material amorfo, desde un estado viscoso o gomoso hasta un estado rígido y relativamente frágil. Esta suele ocurrir en intervalos de temperatura relativamente cortos, es similar a la solidificación de un líquido a un estado vítreo (no es una transición de fase) (López, 2011).

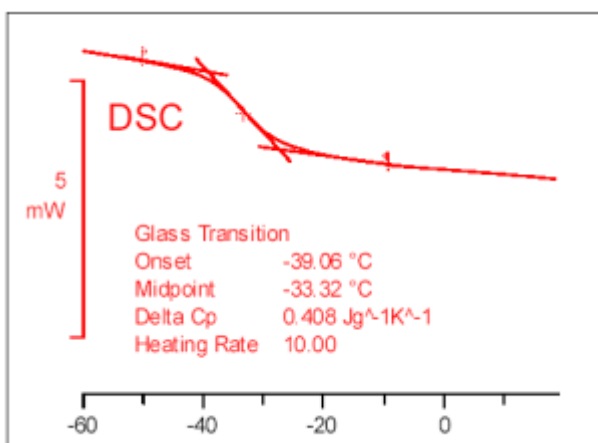


Figura 8. Transición vítrea de goma de poliuretano. Fuente (Salvador, 2009).

3.8 Textura

La textura es una característica importante de un alimento que se puede considerar como la manifestación de las propiedades reológicas que presenta el alimento, es también un importante atributo para la calidad de un alimento, esta puede influir tanto en la salud oral, preferencias del consumidor e incluso puede tomarse como indicador del deterioro de un alimento, casos como papas fritas o galletas, donde la crujencia tiene una gran importancia a la hora de la aceptabilidad (Castro et al., 2007). Es por esto, que es importante poder cuantificar la textura que posee un alimento. La medida instrumental de la textura fue propuesta como una alternativa a la evaluación sensorial con el fin de superar los principales inconvenientes que presentaba esta, debido a la gran variabilidad en los resultados, la dificultad de la ejecución de las pruebas y a las peculiaridades de la interpretación de los resultados (Torres et al., 2015). Sin embargo, es necesario que las medidas obtenidas con métodos instrumentales

puedan correlacionarse con las respuestas de jueces de análisis sensorial, con el fin de validar la técnica instrumental utilizada. La textura cumple una función primordial en la industria alimentaria. Se puede entender que de esta propiedad sensorial depende el gusto del consumidor, por esto es indispensable conocer a través de mediciones hechas por los equipos y pruebas, la textura de manera cuantitativa (Castro et al., 2007). El equipo que se utiliza para determinar los parámetros de la textura es conocido como texturómetro, el cual recopila distintas técnicas de simulación de mordedura de un alimento, este equipo es bastante utilizado en empresas productoras de alimentos y materias primas para la industria de alimentaria (Torres et al., 2015). Los texturómetros presentan múltiples opciones de celdas, para la realización de pruebas de tensión como en compresión, para tener éxito, todas las pruebas realizadas dependen de la selección de método correcto, la precisión del accesorio utilizado y la precisión del software analito para proporcionar los resultados de forma clara y concisa (Stable micro systems Ltd., 2022).

3.8.1 Análisis del perfil de textura TPA

El método más utilizado comúnmente es el análisis del perfil de textura (TPA), este método imita las condiciones a las que se somete un material durante el proceso de masticación (Torres et al., 2015). El análisis consiste en comprimir el producto por lo menos 2 veces y cuantificar los parámetros del mecanismo de las curvas de fuerza-deformación (Chen & Opara, 2013). De esta forma lo que se obtienen son curvas que registran los eventos característicos de una muestra al simular el esfuerzo de la mandíbula al morder, dando a conocer el comportamiento del alimento respecto a la fuerza aplicada (Torres et al., 2015).

Los parámetros básicos que se determinaran en el análisis del perfil de textura son los siguientes:

Resiliencia (resilience): capacidad tiene el alimento de volver a su forma original. La resiliencia se mide sobre la retirada de la primera penetración antes de que comience el período de espera (Chen et al., 2019).

Dureza (Hardness): Fuerza necesaria para lograr una deformación determinada Máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión (Torres et al., 2015).

Adhesividad (Adhesiveness): Trabajo necesario para vencer la fuerza de atracción entre la muestra y una superficie. Es el área negativa después del primer ciclo de compresión. Representa el trabajo necesario para separar la superficie del equipo y la muestra (Torres et al., 2015).

Cohesividad (Cohesión): Es la “Fuerza” de los enlaces internos que mantiene la estructura de la muestra. Representa la resistencia de un material a una segunda deformación con relación a como este se comportó en un primer ciclo de deformación. Es la medición del trabajo realizado en la segunda compresión dividido en trabajo realizado durante la primera compresión. Se excluye el área de trabajo durante la descompresión de la muestra (Torres et al., 2015).

Elasticidad (springiness): Capacidad que tiene una muestra deformada para recuperar su forma o longitud inicial después de que la fuerza ha impactado en ella (Torres et al., 2015).

Gomosidad (gumminess): Fuerza necesaria para desintegrar una muestra de alimento semisólido a un estado tal que facilite su ingesta. Es producto de la dureza y la Cohesividad (Torres et al., 2015).

Masticabilidad (Chewiness): Fuerza necesaria para masticar un alimento solido hasta un estado tal que permita su ingesta. Producto de la dureza, Cohesividad y elasticidad (Torres et al., 2015).

4. Hipótesis

La harina de alga de cochayuyo mejorara la capacidad de impresión y afectara al comportamiento termofísico de un alimento impreso 3D en base a harina de arroz.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de harina de alga Cochayuyo (*Durvillaea antártica*) sobre la capacidad de impresión y las propiedades termofísicas en un alimento impreso 3D a base de harina de arroz.

5.2 Objetivo específicos

- i. Obtener formulación para impresión 3D a partir de harina de Cochayuyo en combinación con harina de arroz.

- ii. Determinar la capacidad de impresión de un alimento impreso 3D mediante las técnicas de precisión, calidad impresión y rango de deformación.

- iii. Analizar las características térmicas, textura, reología y color superficial de un alimento impreso 3D a base de harina de arroz y harina de Cochayuyo.

- iv. Evaluar estadísticamente los resultados de las variables operativas mediante un análisis ANOVA.

6. Materiales y métodos

6.1 Selección de materia prima

Las muestras utilizadas, fueron adquiridas del retail (manteniendo el mismo local comercial). Para ello, se compró harina de arroz marca Tucapel y alga de Cochayuyo seca (*Durvillaea antártica*) marca AgroUno. En seguida, el alga Cochayuyo, cortada en pequeños trozos, fue procesada en un molino ultracentrífugo marca RETSCH ZM 200, a través de un tamiz de 0.5 mm de tamaño de partícula para la obtención de harina de Cochayuyo fina.



Figura 9. A) Alga Cochayuyo en bandeja marca agro uno, y B) Harina de arroz marca Tucapel.

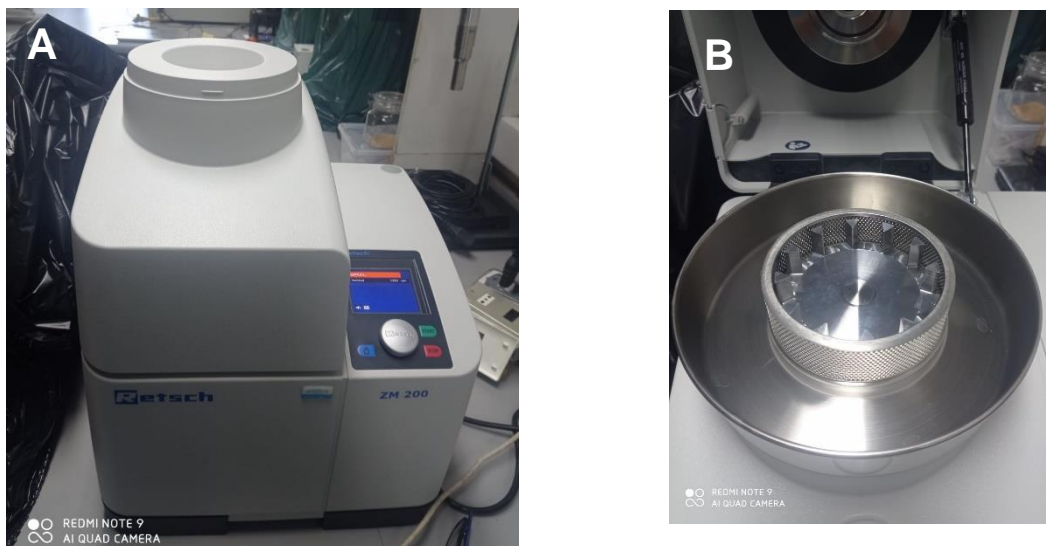


Figura 10. A) Molino ultracentrífugo RETSCH ZM 200. B) interior molino ultracentrífugo.

6.2 Concentración de las muestras

Las concentraciones utilizadas para la realización de las muestras fueron, escogidas a partir de los resultados de experimentos previos, en donde se utilizó como base la forma de preparación de puré de papa instantáneo (Anexo1) el cual consiste en una proporción de 1:4 de puré y agua respectivamente, esta proporción resultó no ser adecuada para la impresión 3D debido a que la mezcla resultaba ser demasiado líquida y no se lograba extruir de manera adecuada, por lo cual se redujo la cantidad de agua a añadir, resultando en una proporción 1:3 la cual fue la concentración máxima de agua para que la harina de arroz pudiese ser extruida a su vez pueda mantener una forma tridimensional, cabe mencionar que a concentraciones muy bajas de agua en la mezcla concluían con un gel muy sólido que no se lograra extruir.

Para las muestras que contenían Cochayuyo se tomaron concentraciones de manera aleatoria, buscando tener una concentración mínima, mediana y alta (no necesariamente máxima) para las algas, en las cuales se puedan apreciar diferencias entre las muestras impresas 3D.

6.3 Preparación de muestras

Las muestras de harina de arroz se prepararon de la siguiente forma: se tomaron 15 g de harina de arroz y se mezclaron con 45 mL de agua recién hervida, para obtener una mezcla cercana a los 60 mL que es la capacidad máxima de las jeringas utilizadas en la máquina de impresión 3D (anexo 9), luego las mezclas se homogeneizaron hasta conseguir una pasta de arroz. Para las muestras a las cuales se les incorporó Cochayuyo a la parte sólida de las muestras (15g) se les añadió harina de Cochayuyo en cantidad de 0% (control), 30%, 50% y 70% p/p. Para luego a todas añadirles los 45 mL de agua hervida. Obteniéndose 4 grupos de muestras AC0 AC30, AC50 y AC70.

Tabla 1. Formulación de muestras.

Muestra	Formulación
AC0	15g ha + 45 mL agua
AC30	10.5g ha + 4.5g hc + 45 mL agua
AC50	7.5g ha + 7.5g hc + 45 mL agua
AC70	4.5g ha + 10.5g hc + 45 mL agua

ha: Harina de arroz
hc: Harina de cochayuyo

6.4 Impresión 3D

Se utilizó una impresora Food Bot 3D food Printer, equipada con una jeringa de un volumen de 60 mL y usando una boquilla de 0.8 mm de diámetro para imprimir las pastas de harina de arroz con Cochayuyo, todas las muestras se imprimirán con el mismo modelo 3D escogido y los mismos parámetros.

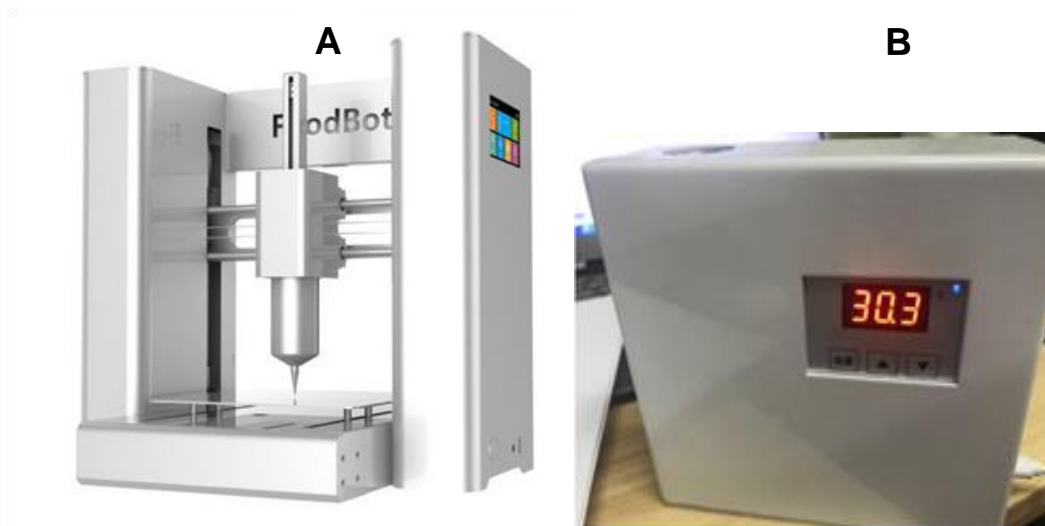


Figura 11. A) Impresora 3D de alimentos FoodBot3D y B) máquina de precalentamiento.

El modelo utilizado para la impresión 3D se encuentra en la biblioteca interna de la impresora 3D, el cual consiste en un cubo de dimensiones 20x20x20 mm, además los parámetros para la impresión son las siguientes: Layer height 0.8 mm, fill density 20%, travel speed 120 mm/s, bottom thickness 1.5. Además, se utilizaron 3 velocidades distintas de impresión para los modelos 3D, 60mm/s, 30mm/s y 15mm/s para así poder comparar cuál de las 3 velocidades es la más adecuada para la impresión.

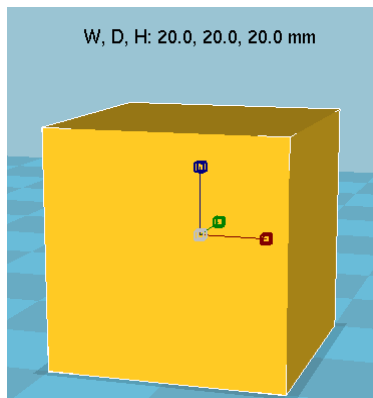


Figura 12. Modelo impresión 3D.

6.4.1 Precisión, calidad y rango de deformación de impresión 3D

La precisión de impresión muestra el nivel de coincidencia que existe entre el modelo digital 3D y la figura finalmente obtenida a partir de este (Chen et al., 2022). Se midieron las características dimensionales principales de las muestras impresas 3D, las cuales son la altura (A) y la longitud de los lados que será separada en superior (Ls) e inferior (Li), esto debido a que según las características de impresión antes mencionadas en el punto 7.4 el grosor inferior debería ser superior en 1.5 mm que el lado superior, esto para dar más estabilidad a la figura. Luego se calculó el porcentaje de cambio que hubo respecto con las medidas del modelo digital 3D (A0, Ls0, Li0). La longitud y la altura de los cubos impresos se midieron con un pie de metro digital.

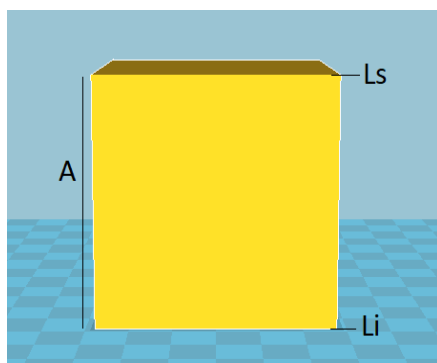


Figura 13. Medidas a utilizar de las figuras impresas 3D.

Se midió el rango o tasa de deformación de las muestras en donde se utilizó como base lo propuesto en Chen et al., (2022), se midieron las deformaciones ocurridas en las figuras impresas 3D luego de 2 h al estar a temperatura ambiente y se evaluaron mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rango de deformación (\%)}: \frac{2\Delta L_s + \Delta A}{2L_s + A} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde L_s (mm) y A (mm) son la longitud superior y el alto de la estructura impresa en 3D, respectivamente. ΔL_s (mm) y ΔA (mm) son la diferencia de longitud superior y altura que existe entre la estructura impresa y la estructura luego del tiempo a temperatura ambiente, respectivamente. Para esta medida solo se utilizó la longitud superior de los cubos al ser la más representativa debido al que es del mismo tamaño que en el modelo 3D y que debería presentar una mayor variación de tamaño luego de pasadas las 2 h a diferencia de L_i que será más grueso y estable al estar en la base de la estructura. Las mediciones se realizaron en duplicado, tomando las medidas para cada una de las muestras, todas medidas se realizaron en diferentes lugares.

Finalmente se evaluó la calidad de impresión de todas las muestras a distintas concentraciones y distintas velocidades para encontrar la que fuera visualmente más aceptable, La evaluación de calidad se realizó siguiendo el método utilizado en Liu et al., (2020) en donde la calidad de impresión se evaluó de manera visual en una escala del 1 al 5 en donde 1 es muy mala y 5 muy buena. Los productos con una calidad de impresión mayor a 3 se consideraron como excelentes y aceptables. La precisión de impresión y el rango de deformación de impresión se tuvieron en cuenta en la evaluación de la calidad de impresión.

6.5 Análisis reológico

Los análisis reológicos se realizaron a presión atmosférica y a una temperatura de 25°C. Las mediciones se realizaron en el equipo HAAKE RheoStress 1, utilizando el sensor plato-plato PP35 Ti con una separación de medición de 1mm. Todos los datos se tomaron en triplicado.

6.5.1 Curva de flujo

Se realizaron curvas de flujo considerando un rango de 0.01- 20 s⁻¹ para describir el comportamiento de la viscosidad aparente de las muestras y el comportamiento reológico de estas. Las curvas de cada una de las muestras se ajustarán al modelo reológico que mejor describa su comportamiento utilizando el software RheoWin 4 Data Manager propio del reómetro.

6.5.2 Barrido de frecuencia

El análisis de barrido de frecuencia se realizó en el rango de 0.1 a 100 Hz para determinar el comportamiento de las muestras, para apreciar si predomina un comportamiento viscoso o elástico mediante Módulo de almacenamiento G' (indicador del comportamiento elástico) y módulo de pérdida G'' (indicador del comportamiento de la viscosidad)

6.6 Análisis Calorimetría de barrido diferencial

Las propiedades térmicas de cada una de las muestras se determinaron utilizando el equipo Perkin Elmer STA 6000. Se prepararon las pastas de arroz con las distintas concentraciones de Cochayuyo y se dejaron reposar durante 30 min a temperatura ambiente. Se utilizó la metodología usada en Liu et al., (2020), en donde se pesaron aproximadamente 10 mg de muestra y se sellaron herméticamente en una cápsula de aluminio, luego se calentaron de 20°C a 250°C con una velocidad de calentamiento de 10°C/min, a un flujo de gas nitrógeno de 20 mL/min. Como referencia para el equipo se utilizó una cápsula de aluminio vacía. El programa le entregará los termogramas obtenidos del equipo para poder comparar el comportamiento térmico de las distintas muestras. Se determinaron las temperaturas de on set (To), end set (Tf), peak (Tp) y la entalpía (ΔH) de cada muestra. Cada muestra se analizó por duplicado y los resultados se expresan como la media \pm desviación estándar.

6.7 Análisis de Textura

Se realizó el análisis de perfil de textura a los productos impresos utilizando el equipo TA.XTplusC (Stable Micro System Ltd. con una sonda cilíndrica TA-30 aluminio (30 mm de radio y 10 mm de alto), se configuró para dos ciclos de compresión. Las muestras se imprimieron en forma de cubos e inmediatamente fueron congeladas durante una noche, para luego ser transportadas debido a la ubicación física del texturómetro que se encontraba en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, las muestras se dejaron descongelar por 30 min para posteriormente ser medidas en el equipo. Las condiciones de la prueba fueron las mencionadas en (Liu et al., 2018) las cuales son las siguientes: velocidad de la prueba y velocidad posterior de la prueba 1 mm/s, fuerza de activación 5g y compresión de 50% de la altura original. Se determinaron los parámetros de dureza, adhesividad, elasticidad, cohesión, gomosidad, resiliencia y la masticabilidad. Cada muestra se analizó por triplicado y los resultados se expresan como la media \pm desviación estándar.

6.8 Mediciones de color

Para evaluar el color de las muestras impresas se utilizó una cámara cerrada con luces (elaborada por el departamento del laboratorio de procesos) figura 14, para poder obtener fotos lo más similares posibles para todas las muestras. Luego las fotos fueron procesadas en adobe Photoshop para medir los parámetros L^* , a^* y b^* . Los cambios de color entre las muestras control AC0 y las muestras con Cochayuyo AC30, AC50 y AC70 se calcularon como ΔE (Ec. 3) (Anukiruthika et al., 2019).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})} \quad (\text{Ec. 3})$$

1. Plataforma para muestra
2. Luces led
3. Cables de electricidad
4. Plataforma para cámara
5. Muestra impresa 3D

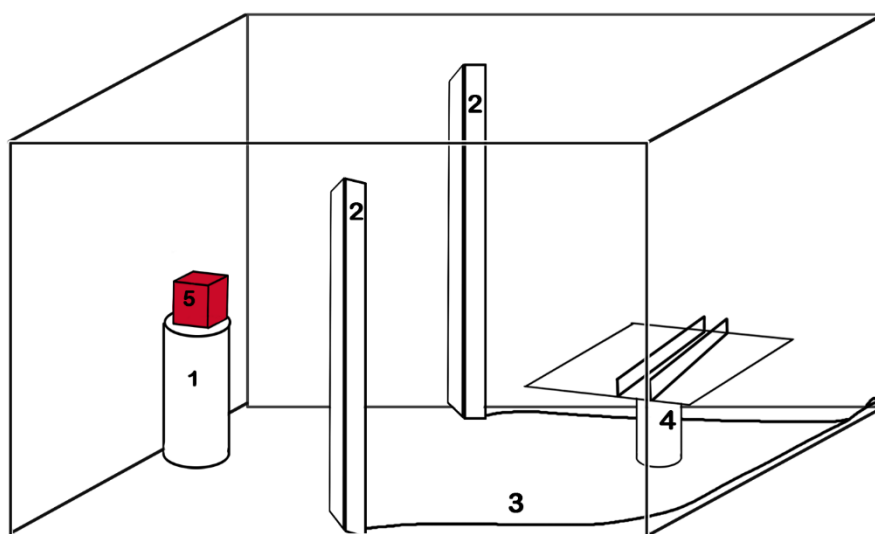


Figura 14. Esquema de cámara para tomar fotografía.

6.9 Análisis estadístico

Los análisis estadísticos de los datos se realizaron en Statgraphics versión Centurión. Se analizaron los datos relacionados con DSC, características de textura y la evaluación de color en busca de diferencias significativas ($p < 0.05$) mediante el análisis de varianza ANOVA y Test Rangos Múltiples (MRT).

6.10 Diagrama de flujo

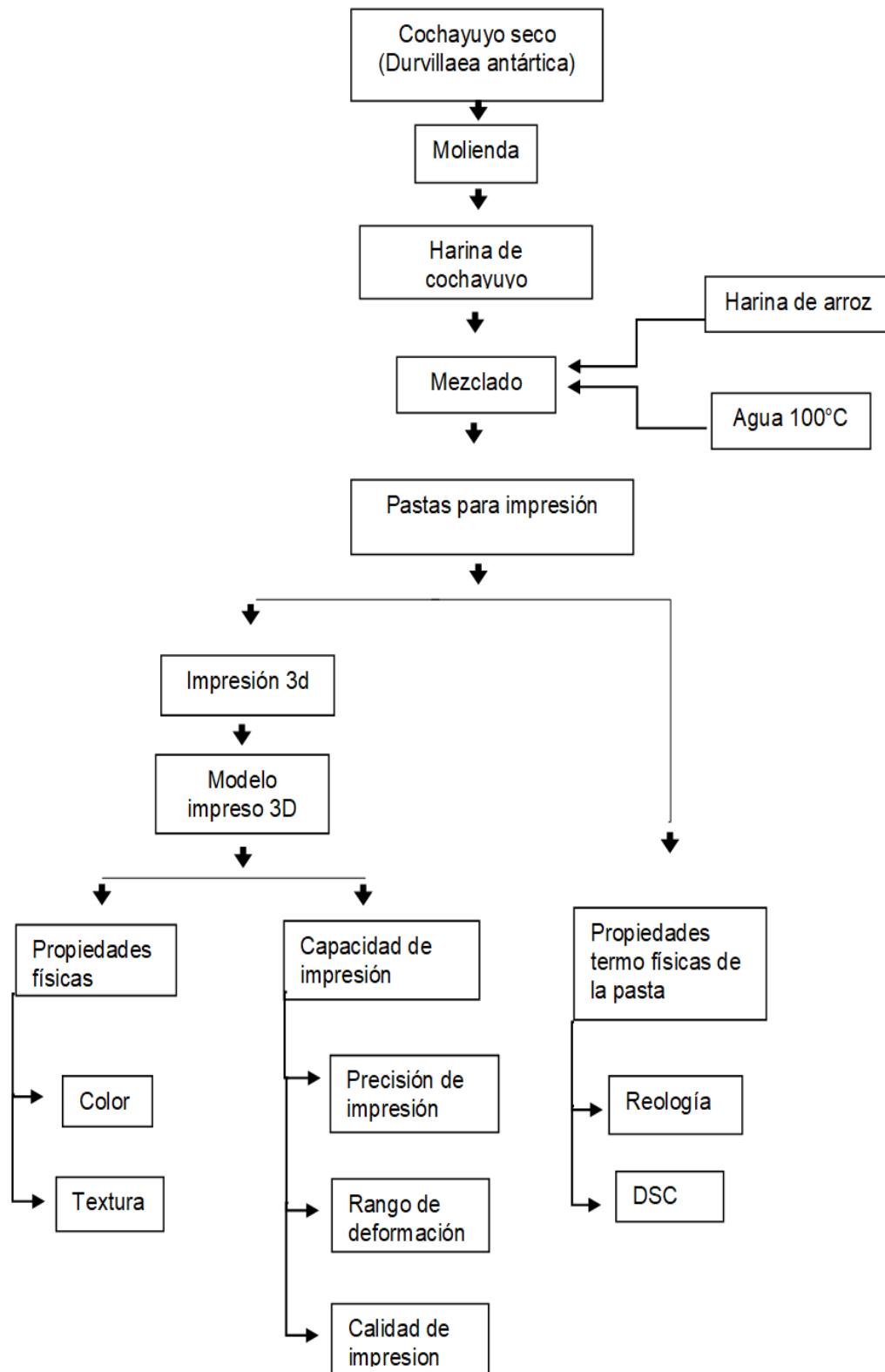


Figura 15. Diagrama de flujo de los experimentos a realizar.

6.10.1 Descripción diagrama de flujo

Primero se toman los trozos cortados de las bandejas de Cochayuyo y son llevados al molino centrífugo, este se es utilizado a unas 1000rpm hasta dar una harina de alga de Cochayuyo fina. Luego en un vaso precipitado de 200 mL se mezcla harina de alga de Cochayuyo con la harina de arroz y agua previamente calentada a 100°C en las proporciones descritas en Tabla 1. Se mezclan los ingredientes hasta tener una pasta uniforme. A esta pasta se le realizaran los estudios de reometría y de calorimetría. Por otro lado, las pastas serán cargadas dentro de las jeringas plásticas utilizadas en la impresión 3D y serán puestas dentro de la impresora Food Bot 3D food Printer, ya en la impresora, se imprimirá la figura de un cubo de 20x20x20mm. A los cubos ya impresos se les someterá a las pruebas de precisión de impresión, deformación, calidad de impresión, color y textura.

7. Resultados

7.1 Impresión 3D

7.1.1 Fidelidad de impresión














La fidelidad de la impresión de las muestras 3D fue evaluado según la precisión que presentaban estas respecto del modelo digital (figura 12) (Chen et al., 2022). Se observó cómo variaba esta según la cantidad de Cochayuyo en las muestras y según la velocidad de impresión que se utilizó para imprimir. Las medidas fueron tomadas de las figuras recién impresas. Se determinó que existía una alta precisión de impresión en las muestras. La tabla 2 muestra cuánto porcentaje se desvían las impresiones 3D del modelo digital, en donde se puede observar que ninguna de las muestras se desvió más de un 5% del largo superior estimado siendo la más alta AC30 a 60mm/s, y en relación con la altura la desviación más alta fue de 10% en el caso de AC0 a 15 mm/s, en cuanto al largo inferior la variación con respecto del modelo inicial fue muy baja, sin llegar a superar el 1.5%. Estos resultados tan bajos demuestran que existe una alta precisión de impresión (Chen et al., 2022). Se realizó un análisis de anova en donde se pudo apreciar que las dimensiones medidas de los cubos (Ls, Li y A), no tenían diferencias significativas ($p < 0.05$) cuando se variaba la cantidad de Cochayuyo en las muestras, lo cual nos indicaría que la adición de Cochayuyo no necesariamente mejora la fidelidad de las impresiones 3D. Por otro lado, se encontró que existían diferencias significativas en la altura de las muestras cuando se variaba la velocidad de impresión de las figuras, encontrándose así 2 grupos homogéneos en donde las velocidades 60 mm/s y 30 mm/s pertenecían a uno y las velocidades 15 mm/s el otro, con lo cual los cubos impresos 3D a 15 mm/s eran los que presentaban una altura más baja llegando a una desviación de 10% en la muestra AC0. Estos resultados son similares a los vistos en Derossi et al., 2018 en donde al imprimir un cubo de dimensiones similares (18x18x18mm) a distintas velocidades, aunque se encontraron ligeras variaciones estas no llegaban a ser significativas en ninguna de ellas esto según los autores debido a que las dimensiones de los modelos impresos eran demasiado pequeñas para que se apreciaran.

Tabla 2. Mediciones de las principales dimensiones de objetos impresos 3D.

Muestra	Velocidad (mm/s)	Largo superior (mm)	Largo inferior (mm)	Altura (mm)	$\Delta L_s/L_o$ (%)	$\Delta L_i/L_o$ (%)	$\Delta A/A_o$ (%)
AC0	60	20.65 ± 1.2	20.65±0.49	20.4±0.14a	3.25±6.01	0.95±3.46	2±0.71
	30	19.3 ± 0.42	21.1±0.14	18.8±0.28a	3.5±2.12	0.1±0	6±1.41
	15	20 ± 0.14	20.1±0.14	18±0b	0±0.71	1.55±0.35	10±0
AC30	60	21 ± 1.13	21.1±0.14	19.25±1.061a	5±5.65	1.15±0.21	3.75±5.3
	30	20.15±0.63	21.15±1.1	20.35±0.35a	0.75±3.18	1.25±0.5	1.75±1.77
	15	20.55±0.77	21.7±0.7	19.35±0.49b	2.75±3.89	0.75±0.07	3.25±2.47
AC50	60	20.15±0.35	20.6±0.14	19.3±0.56a	0.75±1.77	0.7±0.42	3.5±2.83
	30	20.4±0.28	20.45±0.35	19.9±0.14a	2±1.41	0.3±0.28	0.5±0.71
	15	19.9±0.14	21.3±0.42	18.45 ± 0.63b	0.5±0.71	0.5±0.71	7.75±3.18
AC70	60	20±0	21.2±1.55	19 ± 0.707a	0±0	0.8±0.99	2.25±0.35
	30	20.05±0.071	20.3±0.141	19.85 ± 0.071a	0.25±0.35	0.55±0.64	0.75±0.35
	15	19.65±0.071	20.8±0.424	18.25 ± 0.35b	1.75±0.35	1.5±0.71	8.75±1.77














7.1.2 Calidad de impresión

Tabla 3. Imágenes del alimento impreso 3D a distintas concentraciones y velocidades recién impresos.

Muestra	Concentración cochayuyo (%)	Velocidad (mm/s)	Fotografía	Largo superior	Largo inferior	Altura	Calidad de impresión	Observación
-	-	todas		20	20	20	5	Perfecto
AC0	0	60		20.65±1.202	20.65±0.495	20.4±0.141	1	Líneas desordenadas y forma colapsada
AC0	0	30		19.3±0.424	21.1±0.141	18.8±0.283	3	Buena forma pero se aprecian líneas discontinuas y no se ve firme
AC0	0	15		20±0.141	20.1±0.141	18±0	3	Irregularidades en la forma y la estructura no se ve firme
AC30	30	60		21±1.131	22.1±0.141	19.25±1.061	2	Líneas desordenadas y forma a punto de colapsar
AC30	30	30		20.15±0.636	21.8±0.849	20.35±0.354	3	Buena forma pero se aprecian líneas discontinuas y desordenadas
AC30	30	15		20.55±0.778	21.7±0.707	19.35±0.495	4	Buena forma pero la estructura no se ve firme
AC50	50	60		20.15±0.354	20.6±0.141	19.3±0.566	4	Buena forma, pero se aprecian pequeñas irregularidades, presencia de grumos grandes
AC50	50	30		20.4±0.283	20.45±0.354	19.9±0.141	5	Buena forma y la estructura se ve firme
AC50	50	15		19.9±0.141	21.3±0.424	18.45±0.636	5	Buena forma y la estructura se ve firme
AC70	70	60		20±0	21.15±1.626	19±0.707	5	Buena forma y la estructura se ve firme
AC70	70	30		20.05±0.071	20.3±0.141	19.85±0.071	5	Buena forma y la estructura se ve firme
AC70	70	15		19.65±0.071	20.8±0.424	18.25±0.354	5	Buena forma y la estructura se ve firme

* Las fotografías de las muestras AC0 fueron tomadas en las mismas condiciones que las demás muestras pero con un fondo verde para apreciar de mejor manera los cambios en la muestra

Tabla 4. Imágenes del alimento impreso 3D a distintas concentraciones y velocidades luego de 2h a temperatura ambiente.

Muestra	Concentración cochayuyo (%)	Velocidad (mm/s)	Fotografía	Largo superior	Largo inferior	Altura	Calidad de impresión	Observación
-	-	todas		20	20	20	5	Perfecto
AC0	0	60		17.3±0.849	21.6±2.97	17±0.424	1	Gran reducción en su tamaño y pérdida de forma
AC0	0	30		18.4±0.283	21±0.141	17.55±0.212	3	Buena forma conservación de la forma
AC0	0	15		16.65±0.071	18.55±0.495	15.15±0.212	2	Gran reducción en su tamaño y comienza a perder forma
AC30	30	60		17.45±0.354	20.95±0.071	17.85±0.071	1	Forma colapsada
AC30	30	30		18.9±1.697	21.8±1.414	18.55±0.212	3	Reducción de tamaño, aun se mantiene la forma
AC30	30	15		18.35±1.061	20.95±0.636	17.3±0.849	3	Gran pérdida de tamaño, pero se conserva la forma
AC50	50	60		19.05±0.071	19.9±0.283	18.5±0.707	4	Variación mínima en su forma, pero conservando sus irregularidades y grumos
AC50	50	30		19.9±0.141	18,85±0,071	19.35±0.212	5	Variación mínima en su forma
AC50	50	15		18.9±0.141	20.8±1.131	17.85±0.495	5	Variación mínima en su forma
AC70	70	60		18.35±0.495	20.45±0.495	17.75±1.909	4	Gran pérdida de tamaño, la forma comienza a contraerse
AC70	70	30		17.9±0.141	19.75±0.495	18.45±1.202	5	Reducción de tamaño en la parte superior, aun se mantiene la forma
AC70	70	15		18.9±0.141	19.3±0.283	17.5±0.99	5	Variación mínima en su forma

* Las fotografías de las muestras AC0 fueron tomadas en las mismas condiciones que las demás muestras pero con un fondo verde para apreciar de mejor manera los cambios en la muestra

En la Tabla 3 y 4 se muestran las imágenes de las figuras impresas 3D con una evaluación de calidad de impresión. Las muestras a las que no se les adicionó Cochayuyo presentaron una calidad de impresión más baja que las demás, mostrando una estructura más colapsada y desordenada que las otras, además de ser las que presentaron una mayor reducción en sus dimensiones al cabo de 2 h a temperatura ambiente, cabe mencionar que las muestras AC0 impresas a una velocidad de 15 mm/s y 30 mm/s presentaron una forma más definida y menos colapsada que las muestras a 60mm/s. Las muestras de AC30 fueron las segundas con peor calidad de impresión, de forma similar a las muestras AC0 presentaron una forma no muy definida ni firme sobre todo en las impresiones a 60 mm/s. en las muestras con una concentración de Cochayuyo de 50 y 70% (AC50 y AC70) se encontró una calidad de impresión ideal en donde las muestras presentaron una figura bien definida y firme, siendo la AC70 un poco más firme que AC50, de manera similar a lo ocurrido con las demás muestras, se encontró que a una velocidad de impresión de 60 mm/s las muestras pese a su concentración de Cochayuyo presentaban la peor forma que a su vez empeoraba con el paso de tiempo, esto puede deberse a que a una velocidad de impresión muy rápida las capas de deposición no logran adherirse las unas a las otras de manera óptima debido a que el la maquina se mueve muy rápido, el valor ideal de velocidad de impresión siempre variará según el material con que se busque imprimir debido a que todos tienen viscosidades y comportamientos distintos (Dankar^b et al., 2018; Pérez et al., 2019). Los resultados de calidad de impresión fueron similares a los encontrados en Liu et al., (2020) en donde la adición de alginato de sodio a mezclas de harina de arroz mejoró la calidad de impresión de estas, este fenómeno podría deberse a la tendencia del alginato a formar una red de enredos con moléculas de almidón en la pasta de arroz, lo que conduce a una mayor resistencia y dureza lo que proporciona la mayor firmeza observada en las muestras con mucho Cochayuyo.

7.1.3 Tasa de Deformación

Para la tasa de deformación se midieron los lados superiores de los cubos impresos (Ls) en el instante de haber sido impresos y luego de 2 h. La figura 16 muestra las tasas de deformación de las muestras luego de haber sido dejadas a temperatura ambiente durante 2 h. Se aprecia que las muestras AC0 presentan mayores valores para la tasa de deformación junto con las muestras AC30, es decir que son las muestras que más han alterado su forma al haberlas dejado a temperatura ambiente, mientras que las muestras AC50 y AC70 son las que presentan una tasa de deformación más baja. Esto podría deberse a que a mayor cantidad de harina de alga Cochayuyo aumentaría la cantidad de alginato en las muestras lo cual estaría ayudando a mantener la estructura y aumentar la estabilidad de las muestras impresas 3D debido a la unión del alginato con el almidón de la harina de arroz después de la impresión. Liu et al., (2020), observaron similar comportamiento, donde la adición de alginato de sodio como aditivo mejoró las características estructurales de objetos impresos en 3D. De esta forma se aprecia una tendencia en la cual a medida que se aumentaba la cantidad de Cochayuyo entre las muestras la tasa de deformación comienza a disminuir en las figuras que fueron impresas, esto se puede observar en las impresiones a una velocidad de 15 mm/s y 60mm/s, mientras que a 30 mm/s la tendencia no es igual de apreciable. Se encontraron que existían diferencias significativas entre las tasas de deformación respecto de las concentraciones de Cochayuyos utilizadas ($p \leq 0.05$) encontrándose 4 grupos homogéneos representados con las letras minúsculas en la figura 16. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en la tasa de deformación para las muestras impresas a distintas velocidades de impresión en $p \leq 0.05$ por lo cual, podríamos concluir que este parámetro no influye en los valores de la tasa de deformación.

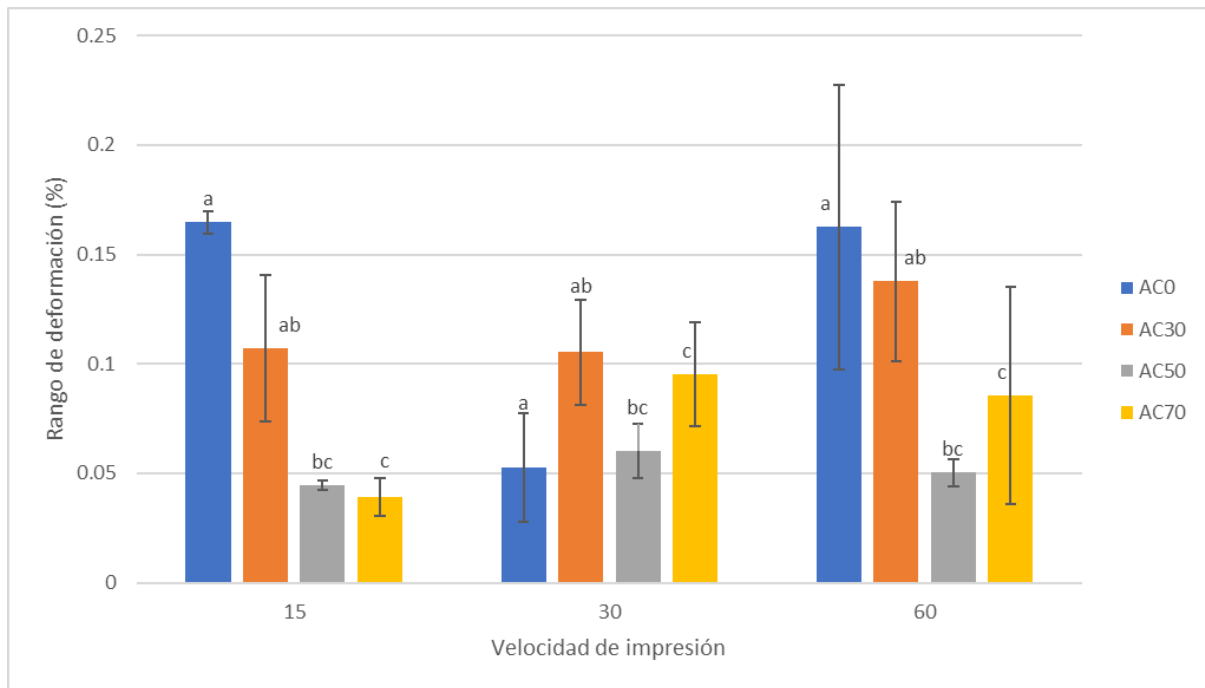


Figura 16. Gráfico de tasa de deformación de muestras dejadas a temperatura ambiente por 2 h con diferentes concentraciones de Cochayuyo y diferentes velocidades de impresión.

7.2 Reología

7.2.1 Viscosidad aparente

En la figura 17 se puede ver las curvas de flujo obtenidas respecto a la viscosidad aparente de las pastas de arroz y arroz con Cochayuyo, se puede apreciar que la viscosidad aparente de las pastas de arroz disminuida gradualmente al aumentar la velocidad de cizallamiento hasta llegar a un valor límite constante, lo que corresponde a un comportamiento de adelgazamiento por cizalla (shear-thinning) lo que sugiere que las pastas de arroz presentaban un comportamiento no Newtoniano, lo cual es necesario para asegurar una buena coincidencia para la impresión 3D (Liu et al., 2020; Chhabra, 2012). También se logró observar que a medida que aumentaba la cantidad de Cochayuyo entre muestras la viscosidad aparente también aumentaba, siendo en orden creciente: AC0, AC30, AC50 y finalmente AC70 la con una mayor viscosidad. Esto coincide con los resultados observados en Liu et al., (2020) en donde la adición de alginato de sodio como aditivo aumentó la viscosidad de figuras impresas 3D, esto debido a que el alginato es propenso a formar enlaces de hidrógeno con las

moléculas de agua presente en las muestras y así formar una red más densa lo que resulta en una viscosidad más alta (Dankar^a, Pujolà, et al., 2018; Liu et al., 2020).

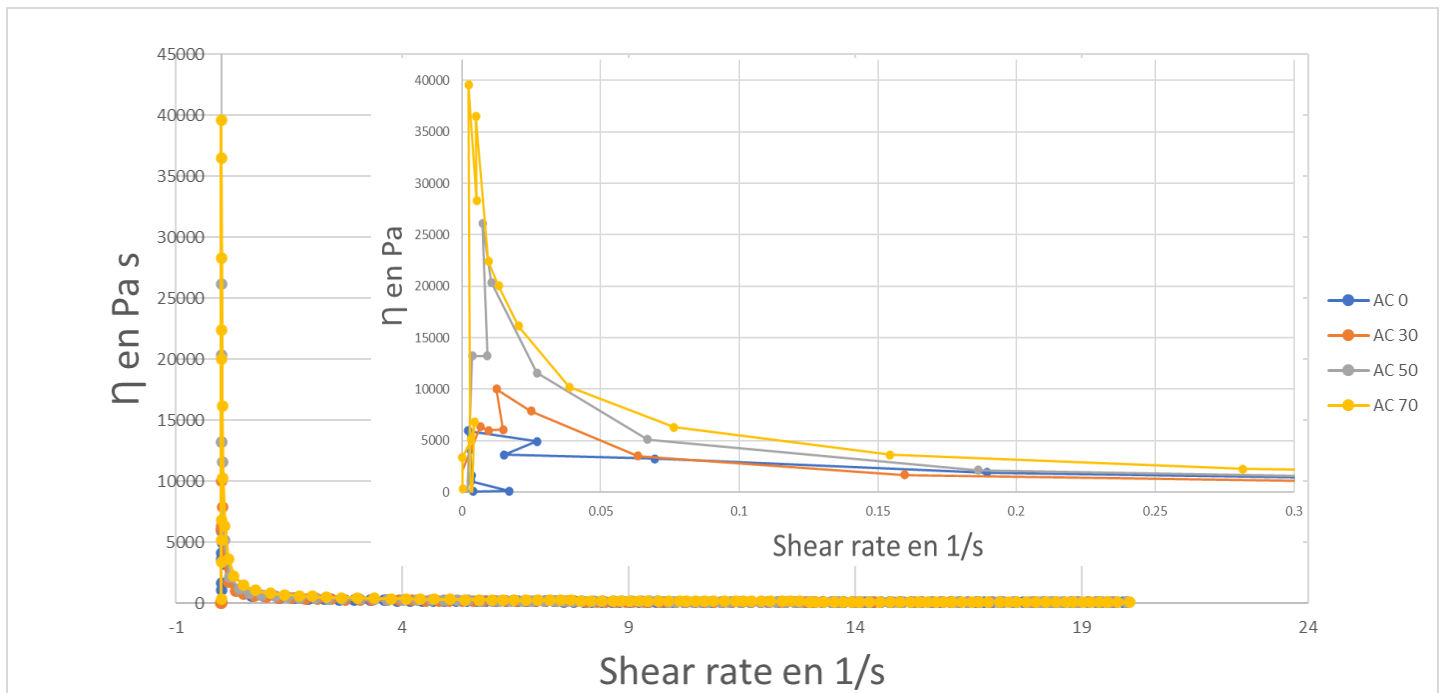


Figura 17. Gráfico de viscosidad aparente de las pastas de impresión 3D.

7.2.2 Curvas de flujo

En la figura 18 se pueden apreciar las curvas de flujo que se realizaron para las muestras de impresión 3D, en las cuales se puede ver que todas presentan una curva muy similar, además se puede ver que a medida que aumentaba la cantidad de Cochayuyo entre las muestras, aumentaba el esfuerzo de corte (shear stress) de las curvas. El aumento de esfuerzo de corte y de viscosidad aparente podría deberse al aumento en la proporción de alginato en las muestras, ya que, la adición de este ayudará a formar una estructura de red más densa con el almidón (Liu, 2017).

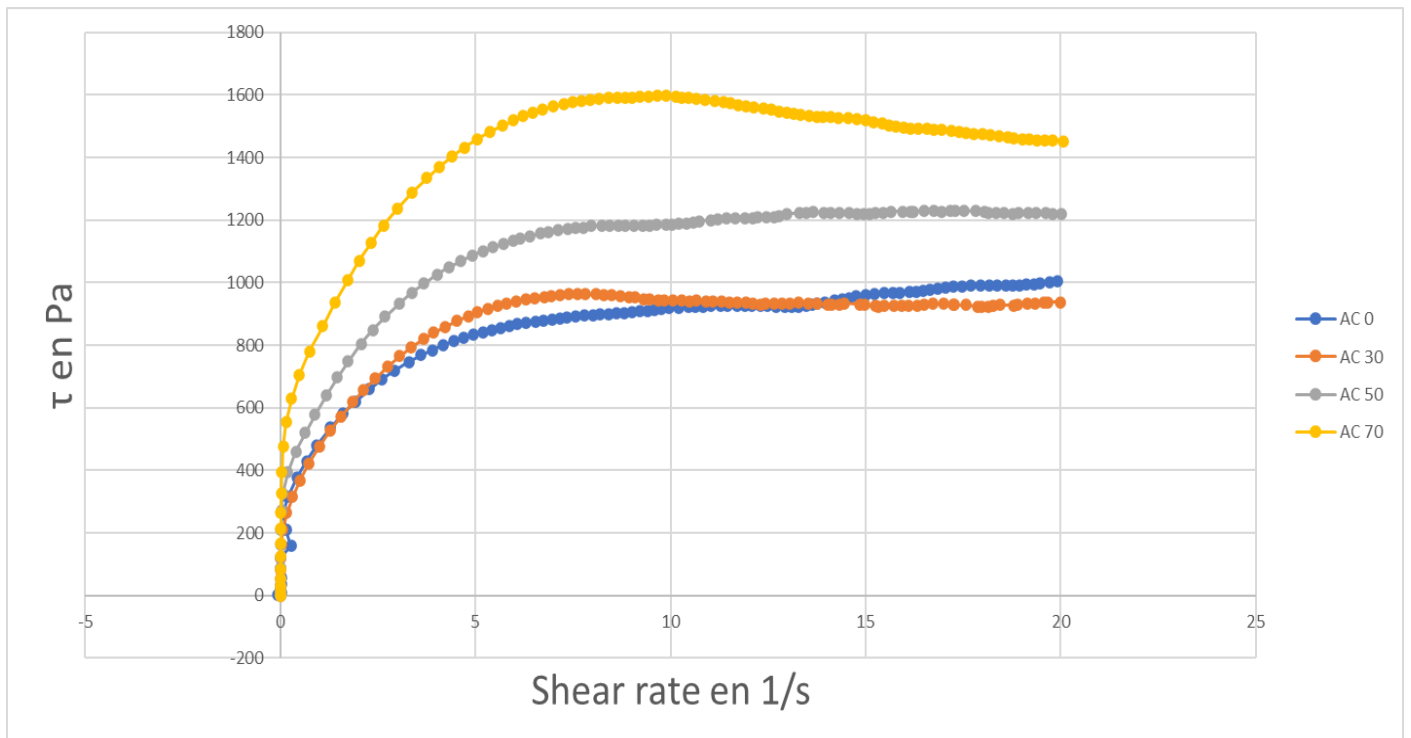


Figura 18. Curva de flujo de las pastas de impresión 3D.

Se ajustaron las curvas obtenidas de esfuerzo de cizalla por velocidad de cizalla de las distintas muestras de arroz a distintos modelos de flujo no Newtonianos, en la tabla 5 se puede apreciar los valores R^2 obtenidos para los modelos de Herschel-Buckley, Power law, y Ostwald de Waele. De los tres modelos el que mejor ajustaba a todas las muestras fue el de Herschel-Bulkley con un R^2 de 0.98, 0.93, 0.95, 0.96 para AC0, AC30, AC50 y AC70 respectivamente.

Tabla 5. Valores de R² de los distintos modelos reológicos comparados.

	R ²		
	Ostwald de Waele	Herschel-Bulkley	Power Law
AC0	0.9798 ± 0.001732	0.98125±0.002899	0.8941±0.01703
AC30	0.9188 ±0.01749	0.9321±0.02505	0.84513±0.04283
AC50	0.949 ±0.0529	0.9538±0.04745	0.9116±0.049044
AC70	0.952± 0.01447	0.9626±0.01132	0.9069±0.0232

El modelo Herschel-Bulkley es un modelo para describir el comportamiento de materiales viscoelásticos, este modelo se utiliza para describir materiales similares a los sólidos en reposo y que solo comienzan a fluir después de que la tensión aplicada supera la tensión de fluencia τ_0 . El modelo de Herschel-Bulkley corresponde a la Ec. 4 (Sandhu & Singh, 2022).

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n \quad (\text{Ec. 4})$$

en donde:

- τ : Shear stress (Pa),
- τ_0 : Yield stress (Pa),
- $\dot{\gamma}$: Shear rate (s^{-1})
- K: Consistency index (Pa sⁿ),
- n: Flow behavior index.

De la misma forma que se calcularon los R² para la ecuación Herschel-Bulkley, con el programa Reo win datamanager se pudieron calcular las demás variables de la ecuación τ_0 , K y n, presentados en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetros del modelo Herschel-Bulkley para las curvas de flujo de las distintas pastas de harina de arroz con Cochayuyo.

	AC0	AC30	AC50	AC70
τ_0 (Pa)	96.81 ± 71.64	156.18 ± 85.03	164.7 ± 141.2	768.06 ± 833.06
K (Pa s ⁿ)	611.46 ± 74.48	730.93 ± 103.42	878.5 ± 151.35	1228 ± 53.74
n	0.21 ± 0.024	0.17 ± 0.03	0.17 ± 0.043	0.13 ± 0.053
R ²	0.98 ± 0.014	0.93 ± 0.03	0.95 ± 0.047	0.96 ± 0.011

En la tabla 6 se observan los valores de τ_0 , K y n obtenidos para las distintas muestras de pasta de arroz con Cochayuyo en triplicado. No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las variables presentadas por lo cual se podría decir que la concentración de cochayuyo no tiene una influencia en estos parámetros, sin embargo, se puede apreciar una tendencia en cada una de las variables al aumentar la cantidad de Cochayuyo en las muestras. Se puede observar que todos los valores de n son inferiores a 1 lo que corrobora que, todas las muestras son mezclas no Newtonianas (Liu, 2017). A medida que aumentó la cantidad de Cochayuyo en las mezclas el valor n comenzaba a disminuir mientras que τ_0 comenzó a aumentar lo que indicaría que a mayor concentración de Cochayuyo las pastas presentarían una mayor resistencia mecánica al necesitar más fuerza para alcanzar su esfuerzo cortante mínimo (Liu et al., 2020). K refleja la viscosidad de las pastas y está también aumentó a medida que se aumentaba la cantidad de Cochayuyo, lo cual se vería reflejado de mejor manera en las impresiones que se realizaron con las pastas (Liu et al., 2020). La presencia de un Yield stress, un flujo no lineal además de un buen ajuste al modelo Herschel-Bulkley darían cuenta que las muestras presentan un comportamiento viscoelástico (Liu et al., 2020) (Megaña, 2019).

7.2.3 Barrido de frecuencia

La figura 19 muestra las propiedades viscoelásticas de las distintas pastas de arroz con Cochayuyo, donde G' refleja el comportamiento elástico de tipo sólido, es decir, la resistencia de la sustancia a deformarse elásticamente, mientras que G'' está relacionado con la característica de viscoso o líquido (Liu et al., 2020; Liu et al., 2017). El material con mayor G' y τ_0 generalmente posee una mayor resistencia a la

deformación por compresión y un mejor comportamiento de autoaporte para las piezas impresas (Liu et al., 2020).

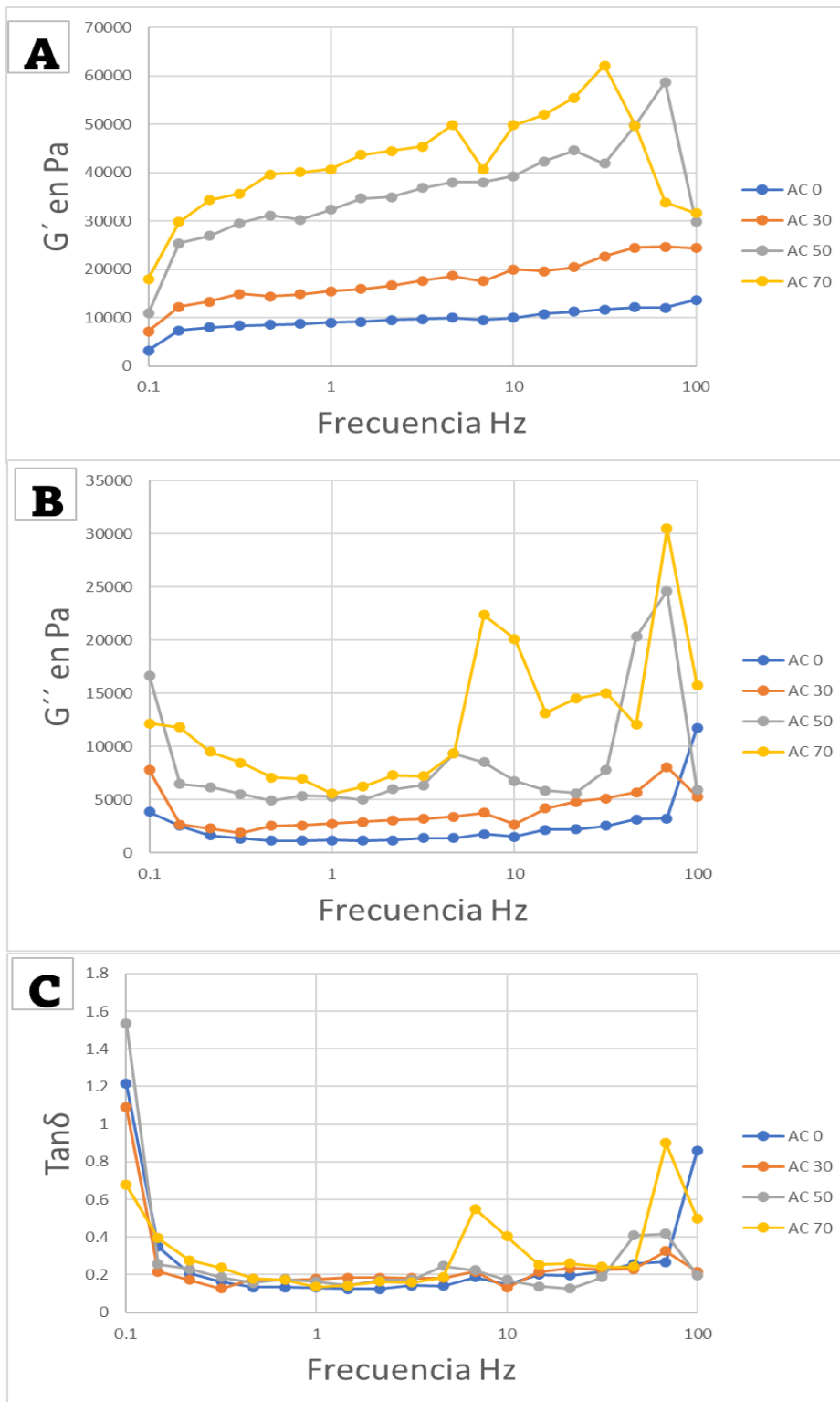


Figura 19. Características reológicas en función de la frecuencia de las pastas de arroz con diferentes concentraciones de Cochayuyo. A Módulo de almacenamiento (G'); B Módulo de pérdida (G''); C Tangente de pérdida ($\tan\delta$).

Se observó que a una baja frecuencia en las muestras AC0, AC30, AC50 como se muestra en la figura 19, G' era menor a G'' lo cual correspondería a un comportamiento más líquido como lo sería a un gel débil, mientras que al aumentar las frecuencias G' era mayor a G'' lo cual corresponde a un comportamiento más sólido (Liu et al., 2018). Lo anterior podría deberse a que existen desenredos tanto del almidón con del alginato durante el periodo de oscilación a bajas frecuencias, por lo cual G'' presenta dominancia en esta etapa, mientras que al aumentar la frecuencia el tiempo para el reordenamiento molecular es más larga, debería armarse un mayor número de entrelazamientos entre el almidón y el alginato lo que daría un comportamiento más sólido a la muestra y haciendo que prevalezca el G' (Liu et al., 2018). Esto también se puede ver reflejado en los valores de $\text{Tan}\delta$ (tangente de pérdida) en donde a una frecuencia baja $\text{Tan}\delta$ es mayor a uno lo cual sería un comportamiento más viscoso o líquido y al aumentar la frecuencia $\text{Tan}\delta$ tomaría un valor menor a 1 lo cual indicaría un comportamiento más sólido (Liu et al., 2020). Ambos módulos aumentaban al aumentar la frecuencia por lo que es correcto afirmar que ambos módulos dependen de la frecuencia (Liu et al., 2017). Del mismo modo un aumento de Cochayuyo en las muestras mostró un aumento en los valores de G' y G'' siendo la muestra AC70 la que poseía un valor más alto y AC0 la con el valor más bajo, lo que señalaría la formación de una resistencia mecánica más fuerte al aumentar la concentración de Cochayuyo en la muestra. Esto coincidiría con los experimentos Liu et al., 2020 en donde la adición de alginato a mezclas con pastas de arroz se volvía más sólidas y de menor fluidez al aumentar la concentración de alginato. Este resultado podría atribuirse a la formación de complejos alginato-almidón que ayudarían a formar una estructura más consistente y firme (Dankar^a et al., 2018).

7.3 Determinación de propiedades térmicas

En la figura 20 se puede apreciar los termogramas obtenidos para las pastas de harina de arroz sola y harina de arroz con las distintas concentraciones de Cochayuyo y en la tabla 7 se pueden ver los valores obtenidos de los termogramas. No se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores mostrados en la tabla 7, de la misma forma, se puede observar que todas las muestras presentaron un solo peak endotérmico que comienza entre los 100-103°C °C y termina entre los rangos de 138.3°C -157.63°C. La muestra AC0 presenta un peak endotérmico a una temperatura máxima 120,41°C y muestra el valor de ΔT más bajo de todas las muestras, según los experimentos realizados en Ju et al., (2001) la calorimetría de la harina de arroz debería presentar un solo peak endotérmico, con una temperatura máxima cercana a los 80°C, esto debido a las interacciones entre las proteínas del arroz las cuales presentaban temperaturas máximas de 73.3, 78.9 y 82.2 °C para la desnaturalización de albúmina, globulina y glutenina respectivamente y el almidón del arroz que presentaba una temperatura máxima de 84.7 para la gelatinización de este, dando como resultado un peak a una temperatura máxima en medio de estos valores. Sin embargo, estos datos fueron realizados para muestras de harina de arroz secas, debido a que las muestras de este experimento se hicieron con un 75% de agua aproximadamente (para el total de la pasta) es difícil apreciar los peak anteriormente mencionados. El peak endotérmico de estas muestras entonces, se ve fuertemente influenciado por el peak de evaporación de agua el cual debería verse entre los rangos de temperatura de 100 hasta los 110°C (Samuele, 2014), por lo cual el peak que se puede apreciar es la combinación de la evaporación del agua, la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas de la harina de arroz lo cual podría explicar la usencia de diferencias significativas entre las muestras.

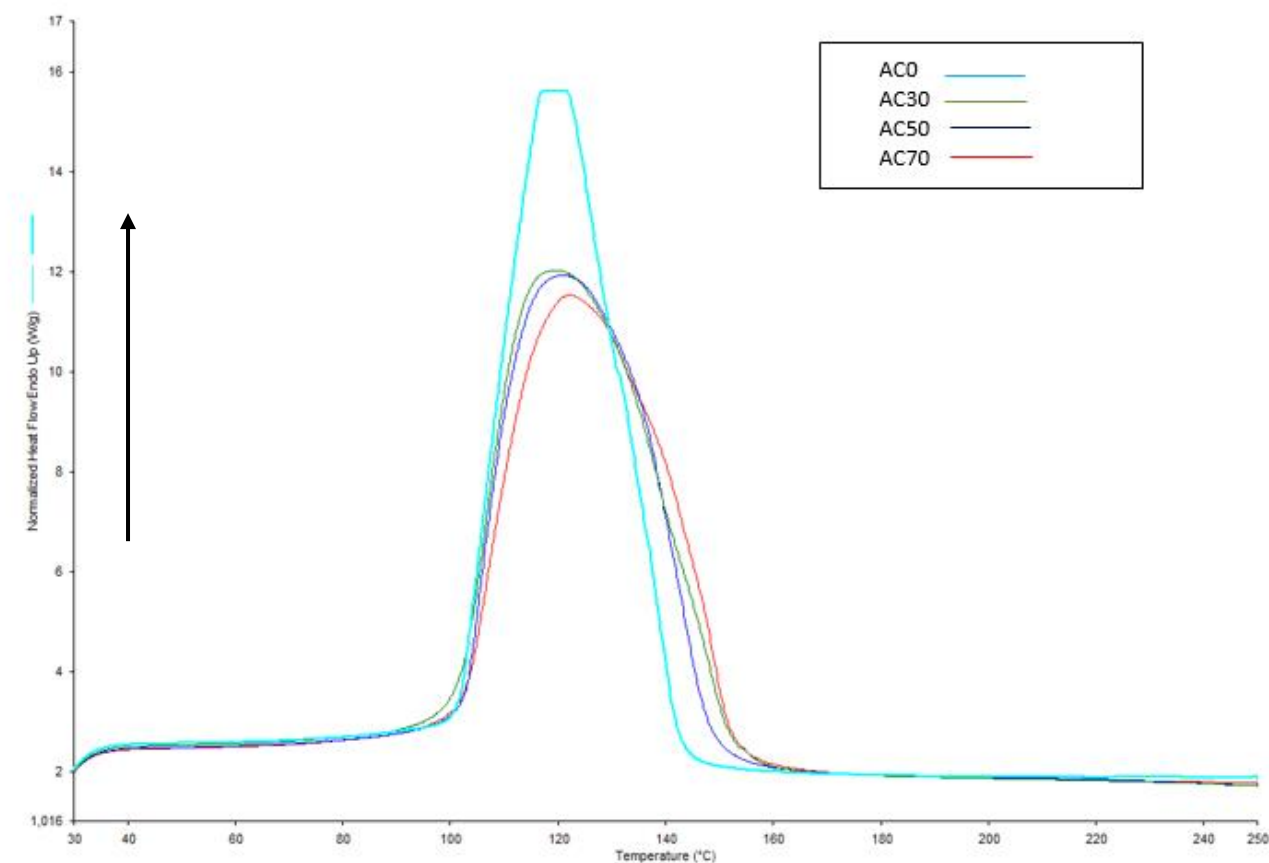


Figura 20. Termograma muestras de Harina de arroz con Cochayuyo.

Por otro lado, las muestras que poseían Cochayuyo en su composición se pueden apreciar que de la misma forma presentan un solo peak endotérmico con temperaturas máximas de 125.57, 121.92, 121.98 para las muestras AC30, AC50 y AC70 respectivamente, valor similar al de la muestra AC0 120.41, sin embargo, estas muestras presentan un ligero aumento en ΔT respecto de la muestra control AC0, Siendo la de la muestra AC70 la más grande 46.65°C. Esto podría deberse principalmente a que la adición de un nuevo soluto en este caso el Cochayuyo podría estar aumentando la temperatura de gelatinización del almidón, debido a la reducción en la actividad de agua en el sistema, y a una interacción almidón-soluto (Sciarini, 2011). Complementario a lo anterior en una investigación de Cassani et al., 2022 se estudió las características térmicas de distintas macro algas mediante DSC, donde se pudo observar que en algas de color pardo similares al Cochayuyo como *Saccharina latissima*, *laminaria ochroleuca* y *Undaria pinnatifid* entre los rangos de 20-150°C

tenían un peak endotérmico que correspondía a la etapa de deshidratación y evaporación de materia altamente volátil de las algas, lo que reforzaría la razón del aumento en ΔT de las muestras con contenido de Cochayuyo. En cuanto a la entalpía (ΔH) las muestras AC0 y AC30 fueron las que presentaron una mayor entalpía siendo esta de 1835.43 y 1884.67 respectivamente, seguidos de 1751.6 AC50 y 1769.36 AC70. Estos resultados muestran similitud a los encontrados en Yang et al., 2021 en donde la adición de bajos niveles de alginato a almidón de arroz hacia disminuir los valores ΔH , esto debido a que las partículas de alginato rodeaban los gránulos de almidón inhibiendo la expansión y gelatinización de este último durante el calentamiento, mientras que a concentraciones más altas de alginato este facilitaría la gelatinización del almidón, debido a que las moléculas de alginato podrían conectar al almidón con cadenas hidrófilas mediante enlaces de hidrogeno facilitando así la absorción de agua y aumentando ΔH . Sin embargo, estos resultados no se pudieron apreciar debido al posible enmascaramiento producido por la alta presencia de agua y materia altamente volátil que presentaban las muestras.

Tabla 7. Temperaturas obtenidas de termogramas de las distintas muestras de harina de arroz con Cochayuyo.

Muestra	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔT (Tf-To)	ΔH (j/g)
AC0	100.96 ± 0.48	120.41 ± 1.61	138.33 ± 5.14	37.37 ± 4.66	1835.43 ± 127.4
AC30	103.065 ± 2.5	125.575 ± 7.66	157.67 ± 7.74	54.605 ± 5.25	1884.67 ± 4.12
AC50	102.64 ± 0.52	121.925 ± 0.7	148.63 ± 1.93	45.99 ± 2.46	1751.6 ± 30.93
AC70	102.9 ± 0.93	121.98 ± 0.74	149.55 ± 2.1	46.65 ± 1.17	1769.36 ± 3.12

7.4 Evaluación de análisis de Textura

El perfil de textura muestra las distintas características que presentan las muestras impresas 3D al simular su comportamiento en una mordida. En la figura 21 se puede apreciar que la dureza, gomosidad y la cohesión de las figuras no presentaban diferencias significativas ($p < 0.05$) pero si una tendencia a aumentar a medida que aumentaba la concentración de Cochayuyo al menos en dureza y cohesión. De forma similar la masticabilidad presento un aumento significativo ($p < 0.05$) alcanzando sus valores más altos en la muestra AC70. Por otro lado, la elasticidad, la resiliencia y adhesividad fueron disminuyendo de manera significativa ($p < 0.05$) a medida que aumentaba la concentración de Cochayuyo en las muestras. Los resultados obtenidos fueron similares a los de Liu et al., (2020) en donde la adición de alginato de sodio a pastas arroz para la impresión 3D dieron como resultado un aumento en la dureza, en la elasticidad y en la masticabilidad mientras que presentaba una disminución en la gomosidad.

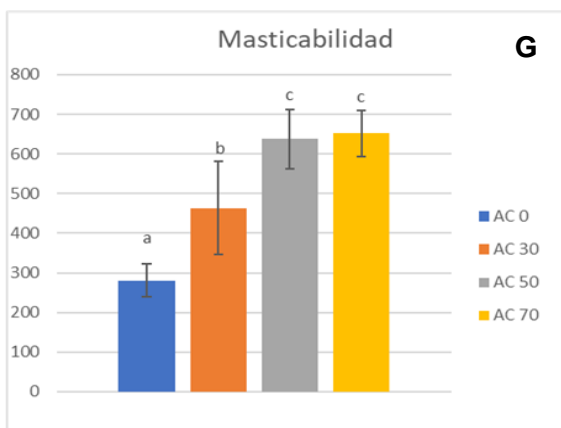
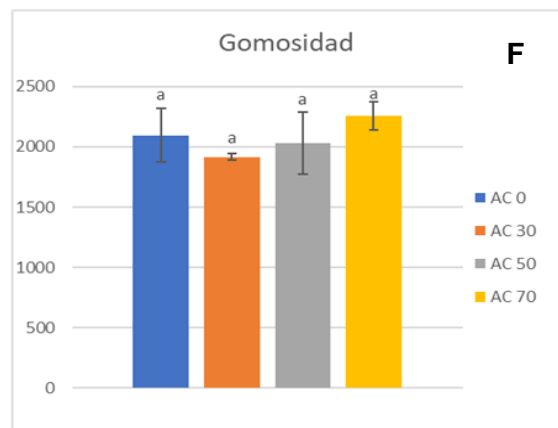
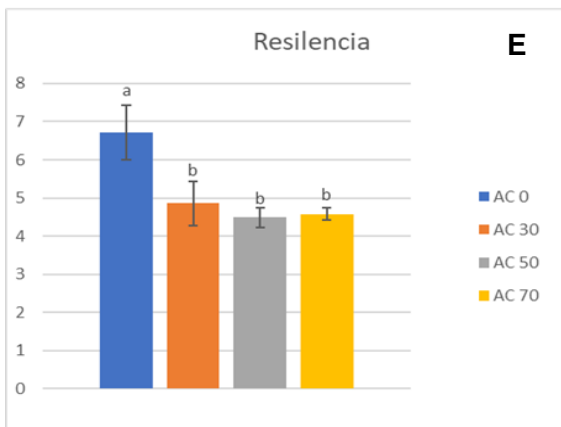
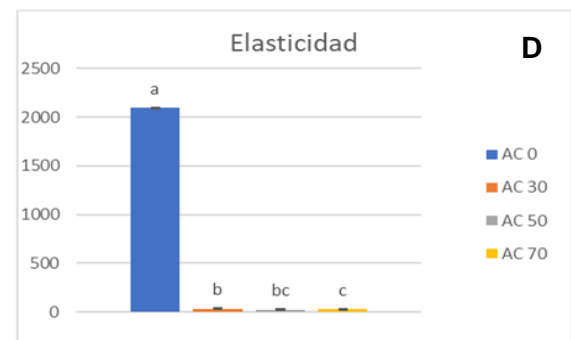
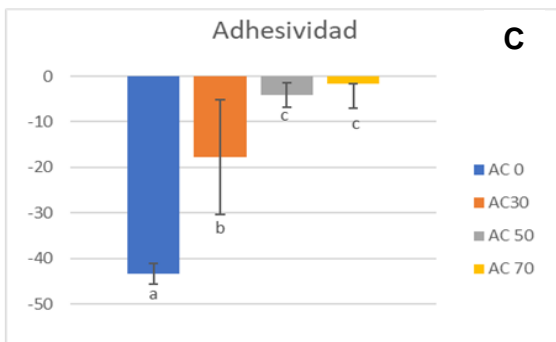
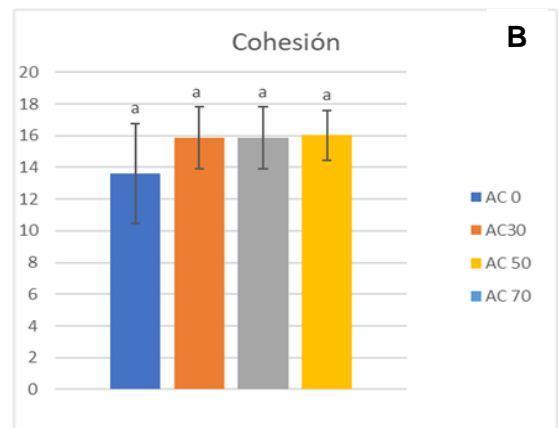
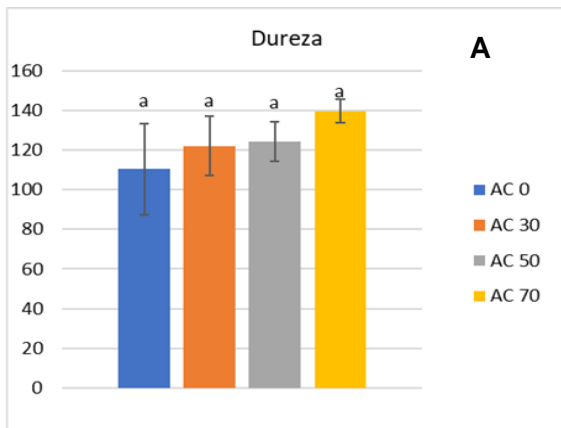


Figura 21. Resultados de perfil de textura de figuras impresas 3D. A dureza, B cohesión, C adhesividad, D elasticidad, E resiliencia, F gomosidad, G masticabilidad.

7.5 Color

Los resultados de las mediciones con colores se pueden apreciar en la tabla 8, las muestras presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los parámetros L^* , a^* , b^* . El valor L^* correspondiente a la luminosidad presentó una disminución a medida que se adicionaba una mayor concentración de Cochayuyo, siendo AC0 la muestra con un valor más alto de 80 ± 2 al no presentar Cochayuyo y la muestra AC70 la con un valor más bajo presentando la mayor concentración de Cochayuyo de las muestras 65.33 ± 5.5 . Mediante el test de rangos múltiples se encontró que no existían diferencias significativas entre las muestras AC30, AC50 y AC70, mientras que la muestra AC0 presentaba diferencias significativas con cada una de las muestras anteriormente mencionadas. Para el valor a^* correspondiente a la diferencia entre rojo y verde, se encontró que este aumentaba a medida que aumentaba la concentración de Cochayuyo entre muestras, siendo la muestra AC0 la con un menor valor (0 ± 0) y AC70 la con el valor más alto (5.66 ± 0.577). Se observó que no existían diferencias significativas entre las muestras AC0 y AC30, pero estas si presentaban diferencias significativas con las muestras AC50 y AC70 (tabla 8). Para el valor b^* correspondiente a diferencia entre amarillo y azul se aprecia que existe un aumento en su valor a medida que se aumente la concentración de Cochayuyo en las muestras siendo AC0 la muestra con un valor más bajo (10.33 ± 0.577) y AC70 la muestra con el valor más alto (35.66 ± 2.3). de la misma manera se pudo apreciar que no existen diferencias significativas entre las muestras que presentan harina de Cochayuyo, pero la muestra AC0 presenta diferencias significativas con todas las demás muestras. Estos cambios se pueden apreciar por ΔE cuyos valores son bastante similares entre las muestras que contenían Cochayuyo. Se puede concluir que los cambios en los valores de color de todas las muestras variaron a medida que se adicionaba Cochayuyo a las muestras, siendo en su mayoría todas distintas a la muestra control (Anukiruthika et al., 2019).

La tabla 9 presenta algunas de las fotografías utilizadas para la realización de la medición de color.

Tabla 8. Valores LAB obtenidos de las figuras impresas 3D.

	L*	a*	b*	ΔE
AC0	80 ± 2a	0 ± 0a	10.33 ± 0.57a	-
AC30	68.33 ± 3b	1 ± 1a	33.33 ± 5.13b	25.91
AC50	64 ± 4.58b	4.33 ± 1.52b	31.66 ± 3.51b	27.26
AC70	65.33 ± 5.5b	5.66 ± 0.577b	35.66 ± 2.3b	30.07

Valor medio ± desviación estándar, diferentes letras en la misma columna representan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Tabla 9. Muestra de fotos utilizadas para la medición de color.



8. Conclusión

En conclusión, se comprueba que el uso de harina de alga Cochayuyo en la elaboración de pastas de impresión 3D a base de harina de arroz, mejoró la capacidad de impresión de las pastas mejorando la calidad de las figuras impresas 3D y disminuyendo la tasa de deformación de estas observándose que a una mayor concentración de cochayuyo y a una menor velocidad de impresión las muestras obtenían una figura más aceptable y más estables en el tiempo que a las muestras control, siendo así las muestras de mejor calidad AC50 y AC70 a 30 y 15 mm/s. Se logró caracterizar el comportamiento reológico que tienen las pastas de impresión 3D, observándose que estas presentan un comportamiento viscoelástico, además que la adicción de cochayuyo a las muestras aumento los valores estrés de corte mínimo (τ_0) y viscosidad (K) demostrando que la adición de Cochayuyo aumentaba la solides de las pastas siendo AC50 y AC70 las con mayores valores afectando así las propiedades físicas de estas. En cuanto al comportamiento térmico de las pastas se observó que la presencia de Cochayuyo redujo el valor de entalpia en las muestras de manera similar a como actúa el alginato de sodio a bajas concentraciones, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) a la hora de comparar entre las distintas muestras posiblemente debido a la presencia de agua y componentes volátiles perteneciente a las muestras. Por medio del análisis de perfil de textura se logró observar que a medida que se aumenta la concentración de Cochayuyo las variables de dureza, la cohesión, gomosidad, y masticabilidad aumentaban mientras que las variables de elasticidad, la resiliencia y adhesividad disminuían, demostrando así el cambio que supone la adición de cochayuyo dentro de las muestras estos datos será importantes a la hora de proyectar el uso de Cochayuyo para la elaboración de futuros alimentos contruidos a partir de impresión 3D. Finalmente se observó cómo se ve afectado el color de las muestras frente a la adición de harina de Cochayuyo, en donde se pudo apreciar que la muestra control AC0 presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) con todas las demás muestras, en los valores L^* , a^* , b^* , exceptuando la muestra AC30 con la presenta similitudes con el valor de a^* . Se espera que estos resultados ayuden a la hora de idear nuevos alimentos impresos 3D y así ayudar en un futuro a aumentar el consumo de cochayuyo en las personas.

9. Bibliografía

- Allendes, A. (2012). *Universidad De Chile Facultad De Ciencias Agronómicas Escuela De Pregrado Elaboration Of A Hamburger-Type Product Based On "Cochayuyo" (Durvillaea Antarctica)*.
- Alshareef, S. A. (2022). *Alginate from brown seaweeds: extraction , characterisation , modification and the studies on its applications for hydrogels* *Alginate From Brown Seaweeds : Extraction , Charac- Terisation , Modification And The Studies On Its Appli- Cations For Hydrogels*.
- Anukiruthika, T., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2019). *3D printing of egg yolk and white with rice flour blends*.
- Cagampang, G. (1966). *Studies on the Extraction and Composition of Rice Proteins*.
https://www.researchgate.net/publication/275843564_Studies_on_the_Extraction_and_Composition_of_Rice_Proteins
- Cassani, L., Lourenço-Lopes, C., Barral-Martinez, M., Chamorro, F., Garcia-Perez, P., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2022). Thermochemical Characterization of Eight Seaweed Species and Evaluation of Their Potential Use as an Alternative for Biofuel Production and Source of Bioactive Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4).
<https://doi.org/10.3390/ijms23042355>
- Castro, E., Profesor, M., De Hombre, R. A., Profesor, M., & En Química, L. (2007). *Parámetros Mecánicos Y Textura De Los Alimentos*.
- Chapman, V. J., & Chapman, D. J. (1980). *Seaweeds and their Uses. Seaweeds and Their Uses*.
- Chen, J., Mu, T., Goffin, D., Blecker, C., Richard, G., Richel, A., & Haubruge, E. (2019). *Application of soy protein isolate and hydrocolloids based mixtures as promising food material in 3D food printing*.
- Chen, L., & Opara, U. L. (2013). Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods – A review. *Journal of Food Engineering*, 119(3), 497–507.
- Chen, X., Zhang, M., Teng, X., & Mujumdar, A. S. (2022). Internal structure design for improved shape fidelity and crispness of 3D printed pumpkin-based snacks after freeze-drying. *Food Research International*, 157, 111220.

- Chhabra, R. . (2012). *Bubbles, Drops, and Particles in Non-Newtonian Fluids*, CRC Press, Second Edition.
- Dankar ^a, I., Haddarah, A., El Omar, F., Sepulcre, F., & Pujolà, M. (2018). Assessing the microstructural and rheological changes induced by food additives on potato puree. *Food Chemistry*, 240(April 2017), 304–313.
- Dankar ^b, I., Haddarah, A., Omar, E. L., Sepulcre, F., & Pujolà, M. (2018). *3D printing technology: The new era for food customization and elaboration*.
- Dankar ^c, I., Pujolà, M., El Omar, F., Sepulcre, F., & Haddarah, A. (2018). Impact of Mechanical and Microstructural Properties of Potato Puree-Food Additive Complexes on Extrusion-Based 3D Printing. *Food and Bioprocess Technology*, 11(11), 2021–2031.
- Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., & Severini, C. (2018). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering*, 220, 65–75. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.05.015>
- Garate, R. (2014). Cambios en las propiedades Reológicas y en el rendimiento de extracción de materia grasa de la palta Hass (Persea Americana Mill) durante su maduración en condiciones de refrigeración y ambiente.
- Ju, Z. Y., Hettiarachchy, N. S., & Rath, N. (2001). Extraction, denaturation and hydrophobic Properties of Rice Flour Proteins. *Journal of Food Science*, 66(2), 229–232.
- Kelly, B. J., & Brown, M. T. (2000). Variations in the alginate content and composition of *Durvillaea antarctica* and *D. willana* from southern New Zealand. *Journal of Applied Phycology*, 12(3–5), 317–324.
- KENÑE, B. (2010). *Determinación De Parámetros Reológicos De Flujos Hiperconcentrados Aplicados A Relaves Mineros*.
- Koh, L. W., Kasapis, S., Lim, K. M., & Foo, C. W. (2009). Structural enhancement leading to retardation of in vitro digestion of rice dough in the presence of alginate. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1458–1464.
- Lipton, J. I., Cutler, M., Nigl, F., Cohen, D., & Lipson, H. (2015). *Additive manufacturing for the food industry*.
- Liu, J., Sun, L., Xu, W., Wang, Q., Yu, S., & Sun, J. (2019). Current advances and future perspectives of 3D printing natural-derived biopolymers. *Carbohydrate Polymers*, 207 (November 2018), 297–316.

- Liu, Yaowei, Yu, Y., Liu, C., Regenstein, J. M., Liu, X., & Zhou, P. (2018). *Rheological and mechanical behavior of milk protein composite gel for extrusion-based 3D food printing*.
- Liu, Yuntao, Tang, T., Duan, S., Qin, Z., Li, C., Zhang, Z., Liu, A., Wu, D., Chen, H., Han, G., Lin, B., He, J., & Wu, W. (2020). *Effects of sodium alginate and rice variety on the physicochemical characteristics and 3D printing feasibility of rice paste*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109360>
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Yang, C. (2017). *Impact of rheological properties of mashed potatoes on 3D printing*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.017>
- López, J. J., directores, B., Ramón, :, Artiaga, P., Salvador, D., & Fernández, N. (2011). *Modelización De La Transición Vítrea Con Relajación Entálpica A Partir De Datos Térmicos*.
- Maniglia, B. C., Fahmy, A. R., Jekle, M., Le-Bail, P., & Le-Bail, A. (2022). Three-Dimensional (3D) Food Printing Based on Starch-Based Inks: Crucial Factors for Printing Precision. *Food Printing: 3D Printing in Food Industry*, 101–140. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8121-9_7
- Megaña, F. (2019). *Propiedades de flujo de las algas chilenas Durvillaea antártica , Gigartina skottsbergii y Gracilaria chilensis*.
- Ortiz, J. V. (2011). *Monografía Composición Nutricional y Funcional de Algas Pardas Chilenas : Macrocystis pyrifira y Durvillaea antarctica*.
- Parra, N. C., Pavez Velásquez, H., Paula, A., Schultski, N., Álvarez, C., & Profesionales, R. (2021). *Evaluación de la viabilidad de apertura del mercado de la unión europea para productos derivados de macroalgas extraídas en Chile destinados al consumo humano, considerando las barreras impuestas por la UE para consumo*.
- Pérez, B., Nykvist, H., Brøgger, A. F., Larsen, M. B., & Falkeborg, M. F. (2019). Impact of macronutrients printability and 3D-printer parameters on 3D-food printing: A review. *Food Chemistry*, 287, 249–257.
- Salvador, L. (2009). *Determinación de la fracción de agua no congelada en la murta (Ugni molinae Turcz) mediante termoanálisis con calorímetro diferencial de barrido*. 1–143. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/fag633d/doc/fag633d.pdf>
- Samuele, G. (2014). *Measurement of vapor pressure curves and the enthalpy of vaporization of liquids by High Pressure DSC / UserCom Thermal Analysis No. 39*. https://www.researchgate.net/publication/304540445_Measurement_of_vapor_press

ure_curves_and_the_enthalpy_of_vaporization_of_liquids_by_High_Pressure_DSC_UserCom_Thermal_Analysis_No_39

- Sandhu, K., & Singh, S. (2022). Food Printing: 3D Printing in Food Industry. In *Food Printing: 3D Printing in Food Industry*. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-8121-9>
- Sciarini, L. S. (2011). *Estudio Del Efecto De Diferentes Aditivos Sobre La Calidad Y La Conservación De Panes Libres De Gluten*.
- Stable Micro Systems Ltd. (2022). *Introduction to texture analysis principles. Exponent aplicación guide*.
- Torres, J., González, K., & Acevedo, D. (2015). *Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos*.
- Universidad Arturo Prat. (2015). *INFORME FINAL: "Incorporación de la Industria Alimentaria de Consumo Humano Directo como Fuente de Agregación de Valor para Las Macroalgas Nacionales."*
- Venegas, D. (2017). *CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO*.
- Wilms, P., Daffner, K., Kern, C., Gras, S. L., Schutyser, M. A. I., & Kohlus, R. (2021). Formulation engineering of food systems for 3D-printing applications – A review. *Food Research International*, 148, 963–9969.
- Yang, K., Luo, X., Zhai, Y., Liu, J., Chen, K., Shao, X., Wu, X., Li, Y., & Chen, Z. (2021). Influence of sodium alginate on the gelatinization, rheological, and retrogradation properties of rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, 708–715.

10. Anexo

Anexo1

Instrucciones de preparación de puré de papas instantáneo.



Anexo2

Tabla nutricional arroz Tucapel.

INFORMACIÓN NUTRICIONAL		
Porción: ¼ Taza (50 g)		
Porciones por envase: 10		
	100 g	1 porción
Energía (kcal)	350	175
Proteínas (g)	5,6	2,8
Grasa Total (g)	1,0	0,5
H. de C. isp.. (g)	79,7	39,9
Azúcares totales (g)	1,6	0,8
Sodio (mg)	5,3	2,7

Anexo3

Tabla nutricional Cochayuyo .

Información Nutricional		
Porción: 1 taza (25g)		
Porciones por envase: 3 aprox.		
	100 g.	1 Porción
Energía (Kcal)	242	60,5
Proteínas (g)	8,5	2,13
Grasa total (g)	0,4	0,1
Hidratos de Carbonos disp (g)	51	12,8
Azúcares totales (g)	3,4	0,85
Sodio (mg)	4001	1000

Envasado y Distribuido

Anexo4

Piezas de molino ultracentrífugo RETSCH ZM 200 A) tapa de bandeja, B) bandeja receptora, C) base para cuchillas, D) cuchillas, E) tamiz 0,5mm



Anexo5

Anova simple para las variables de DSC onset, end set, peak de temperatura y entalpía.

Análisis de Varianza para onset - Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:concentracion cochayuyo	5.64624	3	1.88208	0.99	0.4825
RESIDUOS	7.60665	4	1.90166		
TOTAL (CORREGIDO)	13.2529	7			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de onset en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0.05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre onset con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla ANOVA para endset por concentracion

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	377.258	3	125.753	5.31	0.0703
Intra grupos	94.754	4	23.6885		
Total (Corr.)	472.012	7			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de endset en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 5.3086, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de endset entre un nivel de concentracion y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla ANOVA para peak por C.concentracion

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	28.8435	3	9.61448	0.62	0.6393
Intra grupos	62.2745	4	15.5686		
Total (Corr.)	91.118	7			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de peak en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.617555, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de peak entre un nivel de C.concentracion y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla ANOVA para entalpia por B.concentracion

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.32107E6	3	440356.	0.62	0.6360
Intra grupos	2.82213E6	4	705532.		
Total (Corr.)	4.1432E6	7			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de entalpia en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.624148, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de entalpia entre un nivel de B.concentracion y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Anexo6

Análisis estadístico de resultados de reómetro

no se encontraron diferencias significativas entre los valores de T_o , k , n .

Tabla ANOVA para T_o por muestras

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	897848.	3	299283.	1.65	0.2541
Intra grupos	1.45253E6	8	181567.		
Total (Corr.)	2.35038E6	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de T_o en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1.64833, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de T_o entre un nivel de muestras y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla ANOVA para n por muestras

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0105408	3	0.0035136	2.32	0.1519
Intra grupos	0.0121198	8	0.00151498		
Total (Corr.)	0.0226606	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de n en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2.31924, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de n entre un nivel de muestras y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla ANOVA para K por muestras

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.2979E6	3	765968.	3.89	0.0552
Intra grupos	1.5752E6	8	196900.		
Total (Corr.)	3.8731E6	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de K en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 3.89014, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de K entre un nivel de muestras y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Anexo7

Análisis estadístico de impresión 3D.

se hayo que la deformación varia significativamente dependiendo del tipo de muestra, pero la velocidad de impresión no influye en la deformación

Análisis de Varianza para deformacion - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:velocidad	0.00389315	2	0.00194657	1.22	0.3198
B:muestra	0.022745	3	0.00758166	4.73	0.0132
RESIDUOS	0.0288309	18	0.00160172		
TOTAL (CORREGIDO)	0.055469	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de deformacion en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre deformacion con un 95.0% de nivel de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos para deformacion por muestra

Método: 95.0 porcentaje LSD

muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	6	0.0516627	X
4	6	0.0732728	XX
2	6	0.116708	XX
1	6	0.126678	X

Anexo8

análisis estadístico de textura

anova simple para las variables de perfil de textura.

Tabla ANOVA para Dureza por muestra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1295.9	3	431.968	1.94	0.2023
Intra grupos	1784.77	8	223.096		
Total (Corr.)	3080.67	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Dureza en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1.93624, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Dureza entre un nivel de muestra y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla ANOVA para cohesion por muestra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	27.1472	3	9.04908	2.10	0.1790
Intra grupos	34.5253	8	4.31567		
Total (Corr.)	61.6726	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de cohesion en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2.0968, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de cohesion entre un nivel de muestra y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla ANOVA para gomosidad por muestra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	182879.	3	60959.7	1.87	0.2136
Intra grupos	261259.	8	32657.4		
Total (Corr.)	444138.	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de gomosidad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1.86664, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de gomosidad entre un nivel de muestra y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla ANOVA para adhesividad por muestra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3279.33	3	1093.11	21.77	0.0003
Intra grupos	401.651	8	50.2064		
Total (Corr.)	3680.98	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de adhesividad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 21.7723, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de adhesividad entre un nivel de muestra y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para adhesividad por muestra

Método: 95.0 porcentaje LSD

muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	-43.2973	X
2	3	-17.7293	X
3	3	-4.13467	X
4	3	-1.642	X

Tabla ANOVA para Masticabilidad por muestra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	273386.	3	91128.5	14.84	0.0012
Intra grupos	49117.6	8	6139.71		
Total (Corr.)	322503.	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Masticabilidad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 14.8425, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Masticabilidad entre un nivel de muestra y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para Masticabilidad por muestra

Método: 95.0 porcentaje LSD

muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	280.571	X
2	3	463.65	X
3	3	637.717	X
4	3	651.569	X

Tabla ANOVA para reciliencia por muestra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9.85959	3	3.28653	14.04	0.0015
Intra grupos	1.87249	8	0.234061		
Total (Corr.)	11.7321	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de reciliencia en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 14.0413, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de reciliencia entre un nivel de muestra y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para reciliencia por muestra

Método: 95.0 porcentaje LSD

muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	3	4.48433	X
4	3	4.581	X
2	3	4.85967	X
1	3	6.71067	X

Tabla ANOVA para Elasticidad por muestra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	632.905	3	210.968	28.83	0.0001
Intra grupos	58.5505	8	7.31881		
Total (Corr.)	691.455	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Elasticidad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 28.8255, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Elasticidad entre un nivel de muestra y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para Elasticidad por muestra

Método: 95.0 porcentaje LSD

muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	13.614	X
3	3	23.807	X
4	3	28.4657	XX
2	3	33.251	X

Anexo9

Análisis de anova de las variables de color L*, a*, b*.

Tabla ANOVA para L por muestra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	477,583	3	159,194	9,85	0,0046
Intra grupos	129,333	8	16,1667		
Total (Corr.)	606,917	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de L en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. En este caso es igual a 9,84708, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de 1 menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de L entre un nivel de muestra y otro, con un nivel de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para L por muestra

Método: 95,0 porcentaje LSD

muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
50	3	64,0	X
70	3	65,33333	X
30	3	68,33333	X
0	3	80,0	X

Tabla ANOVA para a por muestra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	64,9167	3	21,6389	23,61	0,0003
Intra grupos	7,33333	8	0,916667		
Total (Corr.)	72,25	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de a en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 23,6061, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de a entre un nivel de muestra y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para a por muestra

Método: 95,0 porcentaje LSD

muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	0	X
30	3	1,0	X
50	3	4,33333	X
70	3	5,66667	X

Tabla ANOVA para b por muestra

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	64,9167	3	21,6389	23,61	0,0003
Intra grupos	7,33333	8	0,916667		
Total (Corr.)	72,25	11			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de b en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 23,6061, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de b entre un nivel de muestra y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Pruebas de Múltiple Rangos para b por muestra

Método: 95,0 porcentaje LSD

muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	0	X
30	3	1,0	X
50	3	4,33333	X
70	3	5,66667	X

Anexo10

Análisis de anova para variables de fidelidad de impresión.

Análisis de Varianza para DL/Lo - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Velocidad	6.25	2	3.125	0.55	0.5845
B:Muestra	28.0833	3	9.36111	1.66	0.2117
RESIDUOS	101.667	18	5.64815		
TOTAL (CORREGIDO)	136.0	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de DL/Lo en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0.05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre DL/Lo con un 95.0% de nivel de confianza.

Análisis de Varianza para DA/Ao - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Muestra	30.2813	3	10.0938	1.43	0.2677
B:Velocidad	128.313	2	64.1563	9.07	0.0019
RESIDUOS	127.313	18	7.07292		
TOTAL (CORREGIDO)	285.906	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de DA/Ao en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre DA/Ao con un 95.0% de nivel de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos para DA/Ao por Muestra

Método: 95.0 porcentaje LSD

Muestra	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	2.91667	1.08573	X
4	6	3.91667	1.08573	X
3	6	3.91667	1.08573	X
1	6	6.0	1.08573	X

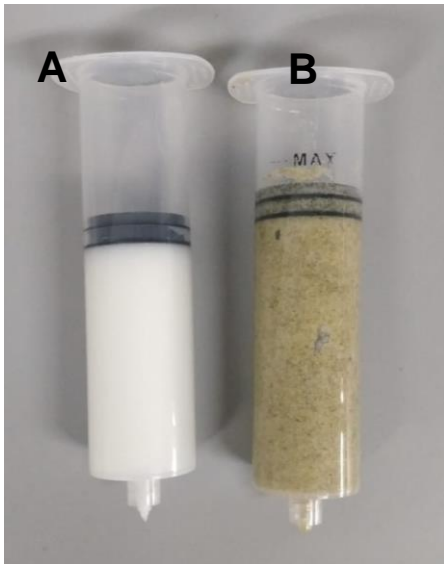
Pruebas de Múltiple Rangos para DA/Ao por Velocidad

Método: 95.0 porcentaje LSD

Velocidad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	8	2.25	0.940274	X
60	8	2.875	0.940274	X
15	8	7.4375	0.940274	X

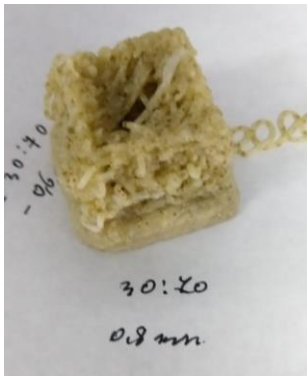
Anexo11

Jeringas de impresora 3D cargadas con las muestras A) jeringa con harina de arroz (AC0), B) Jeringa con harina de arroz y harina de Cochayuyo (AC30).



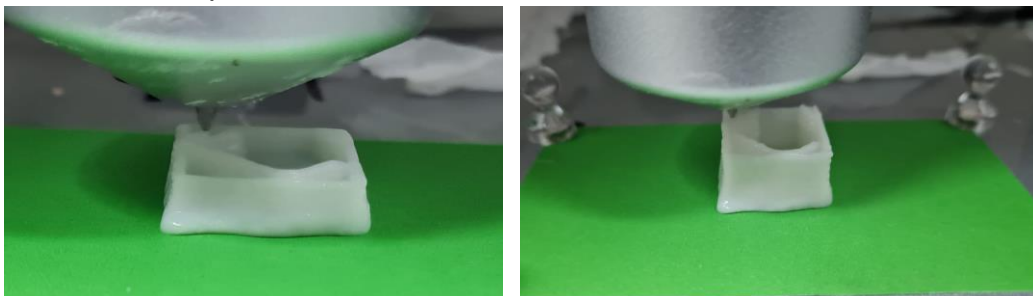
Anexo12

Impresión fallida cubo con Cochayuyo.



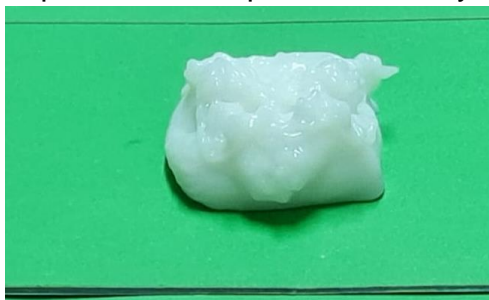
Anexo13

Proceso de impresión.



Anexo14

Impresión fallida por mezcla muy líquida.



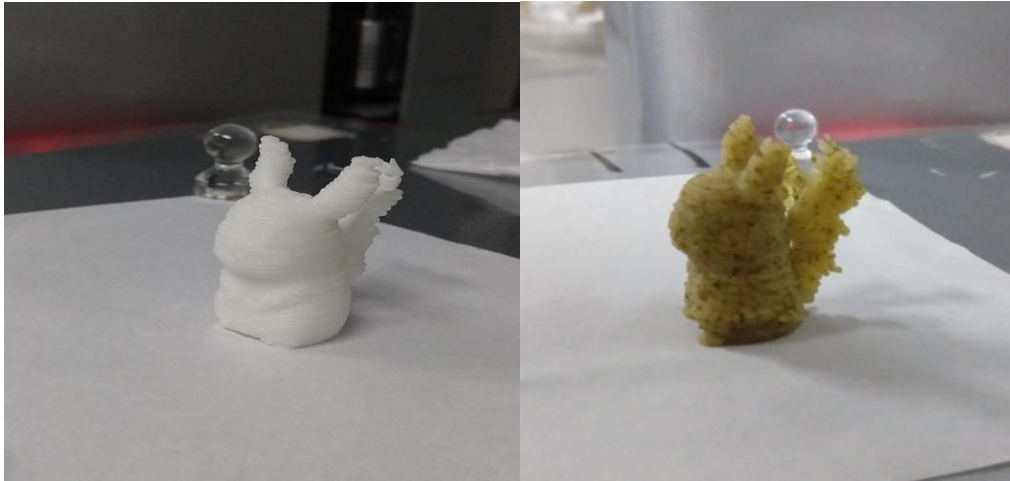
Anexo15

Comparación figura "digglet" en base a harina de arroz vs harina de arroz con Cochayuyo AC70.



Anexo16

Comparación figura "pikachu", en base a harina de arroz vs harina de arroz con Cochayuyo AC30.



Anexo17

Equipo Perkin Elmer STA 6000.



Anexo18

Cápsulas utilizadas para el equipo Perkin Elmer STA 6000.



Anexo19

Termocupla utilizada para verificar la temperatura de las muestras.



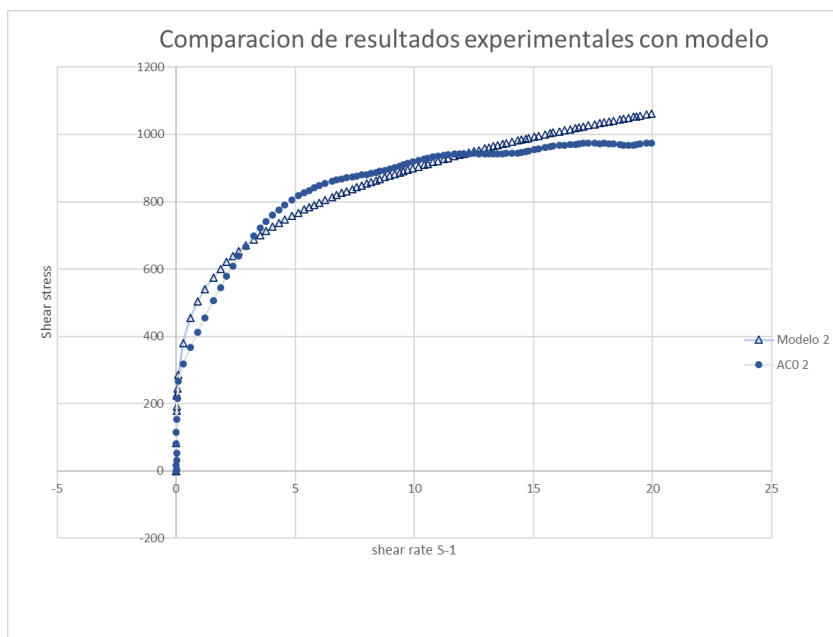
Anexo20

Uso de Máquina de precalentamiento, para mantener la muestra a temperatura constante.



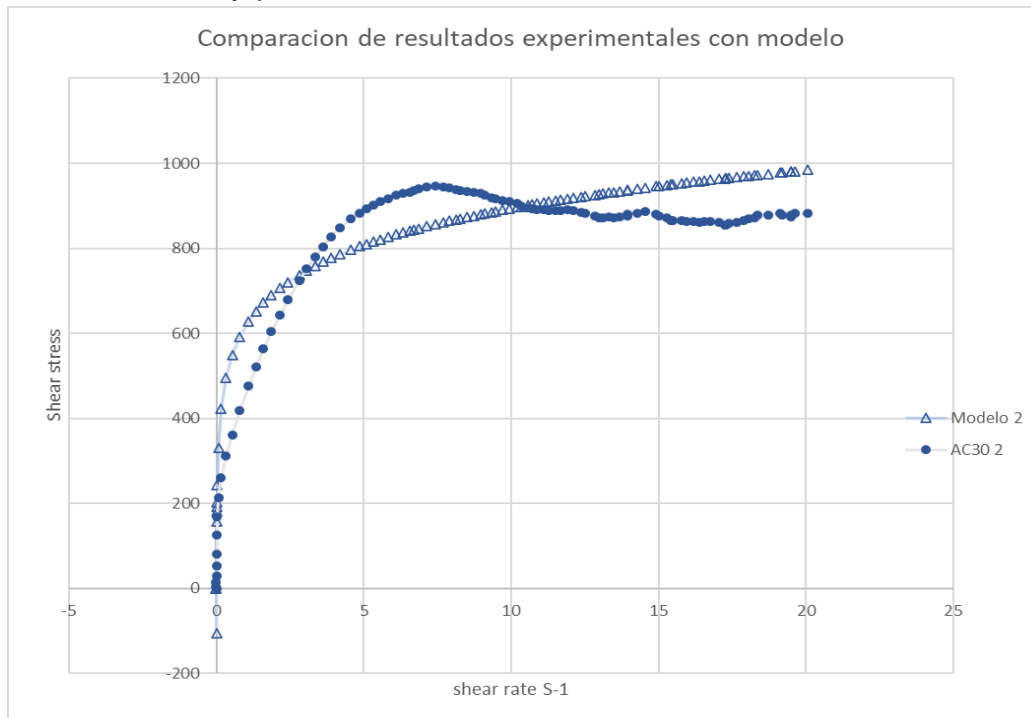
Anexo21

Comparación, curva de flujo experimental y la curva de flujo obtenida con el modelo Herschel-Bulkley para la muestra AC0.



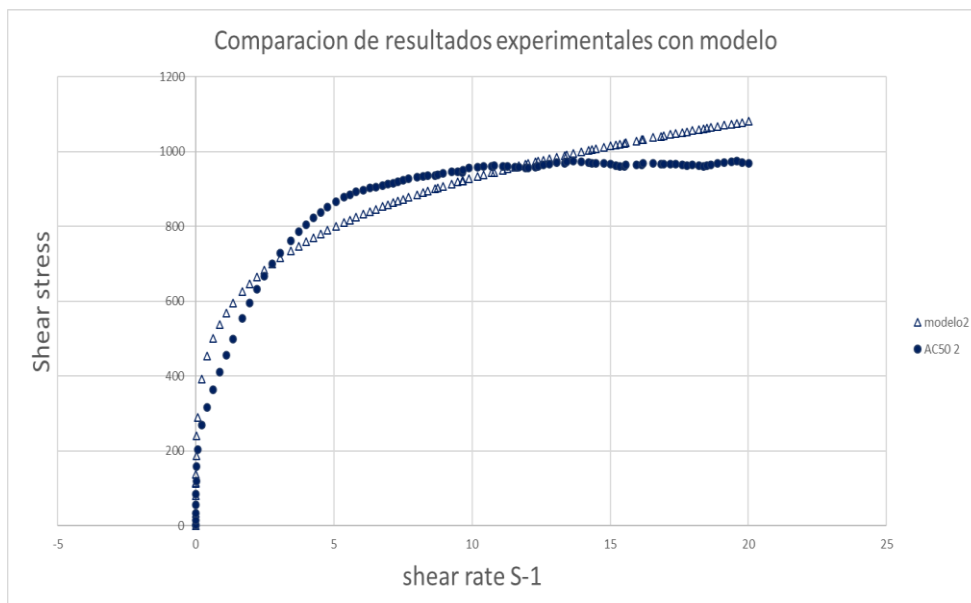
Anexo22

Comparación, curva de flujo experimental y la curva de flujo obtenida con el modelo Herschel-Bulkley para la muestra AC30.



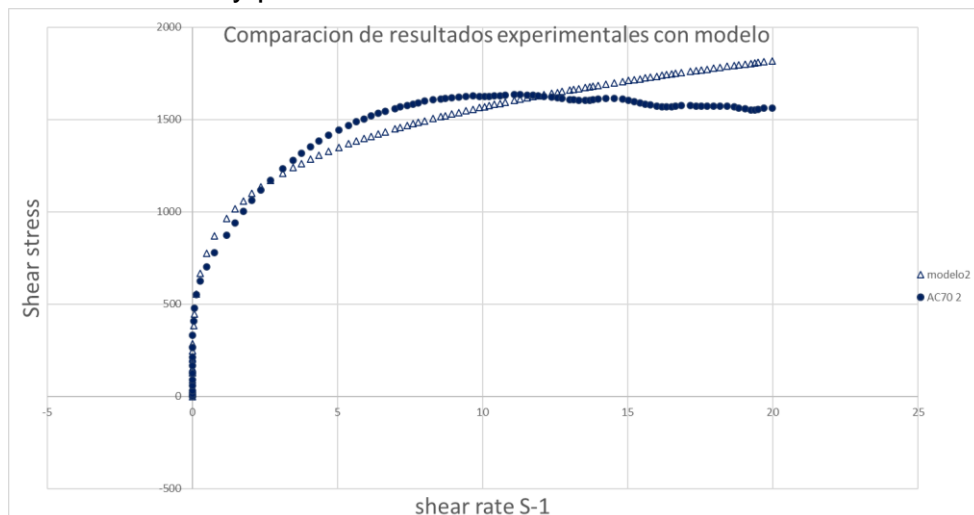
Anexo23

Comparación, curva de flujo experimental y la curva de flujo obtenida con el modelo Herschel-Bulkley para la muestra AC50.



Anexo24

Comparación, curva de flujo experimental y la curva de flujo obtenida con el modelo Herschel-Bulkley para la muestra AC70.



Anexo25

Tabla de resultados de Textura.

Muestra	Dureza g	adhesividad g.sec	reciliencia %	cohesion %	Elasticidad %	gomosidad	Masticabilidad
AC 0	115.065	-41.997	6.083	17.164	15.347	1975.002	303.094
AC 0	130.756	-45.9	6.559	18.005	9.901	2354.248	233.094
AC 0	85.2	-41.995	7.49	22.996	15.594	1959.243	305.526
Promedio	110.3403333	-43.29733333	6.710666667	19.3883333	13.614	2096.164333	280.5713333
desviación	23.14258284	2.253975673	0.715656575	3.15250128	3.217923088	223.6458602	41.1345541
AC 30	120.978	-24.232	4.672	15.572	30.198	1883.891	400.988
AC 30	137.427	-3.22	4.396	14.042	37.129	1929.714	389.914
AC 30	107.713	-25.736	5.511	17.974	32.426	1936.037	600.048
Promedio	122.0393333	-17.72933333	4.859666667	15.8626667	33.251	1916.547333	463.65
desviación	14.88540461	12.58793348	0.580706753	1.98204978	3.538383671	28.45737448	118.2538336
AC50	117.873	-2.693	4.521	15.862	23.153	2028.462	568.898
AC 50	118.931	-2.38	4.218	14.882	22.03	1769.946	716.478
AC 50	135.683	-7.331	4.714	16.855	26.238	2286.976	627.774
Promedio	124.1623333	-4.134666667	4.484333333	15.8663333	23.807	2028.461333	637.7166667
desviación	9.991204198	2.772526345	0.250024665	0.98650714	2.178899493	258.515	74.29068963
AC 70	139.6	4.569	4.577	15.587	27.724	2257.32	650.302
AC 70	145.461	-3.929	4.427	14.735	27.723	2143.419	594.215
AC 70	133.561	-5.566	4.739	17.754	29.95	2371.21	710.189
Promedio	139.5406667	-1.642	4.581	16.0253333	28.46566667	2257.316333	651.5686667
desviación	5.950221873	5.440802606	0.156038457	1.55650003	1.285470472	113.8955	57.99737496

Anexo 26

Tabla de resultados de deformación.

Muestra	Velocidad de impresión	de Deformación
AC0	60	0.163 ± 0.065^a
	30	0.053 ± 0.025^a
	15	0.165 ± 0.005^a
AC30	60	0.138 ± 0.036^{ab}
	30	0.105 ± 0.024^{ab}
	15	0.107 ± 0.033^{ab}
AC50	60	0.05 ± 0.006^{bc}
	30	0.06 ± 0.012^{bc}
	15	0.045 ± 0.002^{bc}
AC70	60	0.086 ± 0.05^c
	30	0.095 ± 0.023^c
	15	0.039 ± 0.009^c

Anexo 27

Modelo 3D de cubo en el menú de máquina de impresión 3D.

