

**Exploración morfológica de patrones  
aplicados a utensilios de cocina  
cerámicos para personas con artritis  
reumatoide.**

Maria Alejandra Gómez Sánchez  
Camila Torres Sierra  
Adrián Mejía Murillo

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL  
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
MEDELLÍN  
2024

**Exploración morfológica de patrones  
aplicados a utensilios de cocina  
cerámicos para personas con artritis  
reumatoide.**

Maria Alejandra Gómez Sánchez  
Camila Torres Sierra  
Adrián Mejía Murillo

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesores

*Esp.* ANA MARÍA LOTERO ARIAS  
Diseñadora Industrial

*PhD.* ALEJANDRO ALBERTO ZULETA GIL  
Ingeniero de Materiales

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL  
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
MEDELLÍN  
2024

## Resumen

En el presente artículo se realiza un análisis y experimentación morfológica de patrones extraídos de referentes naturales, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas de los utensilios de cocina cerámicos reduciendo su riesgo de fractura; este se encuentra enfocado a personas que presenten discapacidades en las extremidades superiores que limiten su movilidad, como lo es por ejemplo la artritis reumatoide, debido a esto, se pretende que a través de la morfología se pueda optimizar el agarre del objeto brindándole mayor seguridad al usuario, esto a partir de patrones bio inspirados que mejoren la resistencia mecánica de los objetos cerámicos. Para lograr estas morfologías se hace uso de la manufactura aditiva conocida como impresión 3D de arcilla puesto que permite un mayor nivel de detalle y precisión; por otro lado, para determinar el tipo de patrón se realizó una revisión documental de la cual se pudieron extraer tres morfologías principales, que posteriormente se redujeron a una sola opción para la realización de múltiples pruebas de impresión, las cuales permitieron identificar las variables más óptimas para aplicarlas en los prototipos a validar. En el marco de este proyecto se realizó un convenio con la empresa Sumicol S.A, que pertenece al Grupo Corona, quienes brindaron la maquinaria necesaria para la impresión de pruebas y prototipos.

## Abstract

In this article an analysis and morphological experimentation of patterns extracted from natural references is carried out in order to improve the mechanical properties of ceramic cookware, reducing the risk of fracture; This is focused on people who have disabilities in the upper limbs that limit their mobility, such as rheumatoid arthritis, for example, because of this, it is intended that through morphology can optimize the grip of the object providing greater security to the user, this from bio-inspired patterns that improve the mechanical strength of ceramic objects. To achieve these morphologies, use is made of additive manufacturing known as clay 3D printing since it allows a higher level of detail and precision; on the other hand, to determine the type of pattern, a documentary review was conducted from which three main morphologies could be extracted, which were subsequently reduced to a single option for multiple printing tests, which allowed identifying the most optimal variables to be applied in the prototypes to be validated. Within the framework of this project, an agreement was made with the company Sumicol S.A., which belongs to Grupo Corona, who provided the necessary machinery for printing tests and prototypes.

## Palabras Clave

Impresión 3D en arcilla, utensilios de cocina, diseño para personas con artritis, biomimética, códigos de Grasshopper, diseño paramétrico, diseño inclusivo, exploración morfológica.

## 1. Introducción

En Colombia el 8% de la población presenta discapacidades que le dificultan realizar actividades básicas diarias en el grado de severidad 1 conforme a la definición del grupo de Washington. Dentro de estas condiciones se encuentra la artritis reumatoide la cual es una enfermedad autoinmune crónica que afecta principalmente a las articulaciones, causando dolor, inflamación y rigidez, según un informe de la CAC en 2021 (Artritis Reumatoide En Colombia, 2021) la padecen 99.858 colombianos. Se ha observado que las mujeres mayores de 50 años son uno de los grupos demográficos más afectados por esta condición, pues enfrentan desafíos en su vida diaria, especialmente en actividades cotidianas como cocinar, en la que el uso de utensilios de cocina convencionales puede resultar difícil e incómodo debido a la rigidez y el dolor en las articulaciones.

Patologías como la artritis reumatoide afectan las articulaciones, causando dolor, inflamación y rigidez (Artritis Reumatoide En Colombia, 2021), además, afecta actividades cotidianas como lo es la preparación e ingesta de alimentos debido a que “La progresión de la enfermedad conlleva a la pérdida de la capacidad funcional, la independencia y la disminución de la calidad de vida” (Situación de La Artritis Reumatoide En Colombia 2022 CUENTA DE ALTO COSTO Fondo Colombiano de Enfermedades de Alto Costo, 2023)

En el presente proyecto se busca dar solución a las problemáticas planteadas mediante la biomimética, la cual se basa en la observación y abstracción de la naturaleza para buscar soluciones inspiradas en referentes naturales, que permitan mejorar la resistencia específica del material. Se tienen en cuenta tanto organismos, sistemas biológicos y fenómenos naturales; en el diseño de producto mediante la biomimética se busca aprovechar la eficiencia, la funcionalidad y la sostenibilidad de las soluciones que la naturaleza ha perfeccionado durante los millones de años de evolución. Para lograr las morfologías bio inspiradas se propone la impresión 3D, la cual ofrece la capacidad de crear estructuras y formas complejas que imitan las morfologías encontradas en organismos vivos. (Asiyanbola & Soboyejo, 2008)

Debido a que los materiales cerámicos son porosos poseen poca ductilidad y una altísima rigidez, gracias a esto suelen fracturarse fácilmente ante esfuerzos de tensión o flexión, sin embargo, posee otras características como la resistencia a altas temperaturas sin romperse o deformarse, es fácil de limpiar, tiene una alta durabilidad, buena resistencia química y versatilidad en el diseño, estas características hacen que este material sea comúnmente utilizado en utensilios de cocina. Teniendo en cuenta estas propiedades, se busca por medio de los referentes naturales encontrados mejorar la resistencia al impacto de este material, para brindarle mayor seguridad a los usuarios al momento de usar este tipo de elementos.

El propósito de esta investigación es definir características morfológicas para desarrollar utensilios de cocina que puedan fabricarse con impresión 3D de arcilla a partir de referentes de la naturaleza, que mejoren la resistencia mecánica específica del material. Y que a su vez sean coherentes con las necesidades de las personas con movilidad reducida en las extremidades superiores.

## 2. Materiales y Métodos

En primer lugar, se realizó un análisis del usuario mediante búsqueda documental en bases de datos tales como CAC, Mayo Clinic, Min Salud, y el DANE los cuales se basaban en análisis de los informes reportados por las EPS colombianas, mostrando datos y cifras reales que permitieron ampliar el panorama de esta enfermedad. Además, se realizaron entrevistas semi estructuradas, observaciones no participantes a través de videos por redes sociales como YouTube y TikTok y un modelo de empatía con un guante que simula algunas características de la enfermedad, con el fin

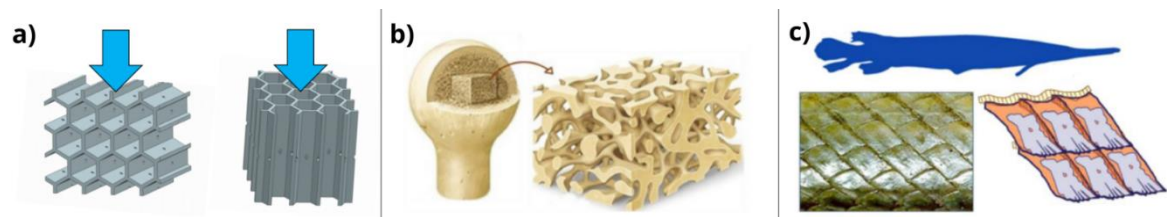
de identificar no solo las limitaciones y necesidades de los usuarios si no también las falencias, carencias y ausencias que presentan los utensilios de cocina convencionales.

Al mismo tiempo, se realizó una búsqueda de artículos en bases de datos tales como ScienceDirect, Researchgate y Google académico, basados en estudios e investigaciones que brindaron datos y cifras reales que ampliaron el panorama de cada uno de los temas. De estos se pudieron destacar los siguientes referentes naturales.

Según el artículo titulado Selective laser melted Ti6Al4V split-P TPMS lattices for bone tissue engineering del año 2023, se expresa que “las redes basadas en TPMS pueden proporcionar el módulo elástico en el rango de los huesos trabeculares y corticales humanos y lograr la resistencia a la compresión, la absorción de energía y la resistencia a la fatiga requeridas, que no se obtienen fácilmente con estructuras basadas en puntales.” (Rezapourian et al., 2023)

En otra revisión bibliográfica, del año 2021 se explica como las escamas del pez sirven como medio de protección frente al entorno que los rodea. Los pescados pueden contar con 4 tipos principales de escamas que son: cicloide, ctenoide, ganoide y placoide, la que se utilizó para la presente investigación fue la ganoide y se puede observar en la figura 1 apartado C. Estas tipologías pueden tener variaciones en tamaño, flexibilidad y dureza, y es por esto que el artículo plantea que los objetos inspirados en las escamas de pescado pueden llegar a eliminar o minimizar limitaciones como lo puede ser la fragilidad, a los cuales están sometidos por el uso de materiales como vidrio y cerámica. (Rawat et al., 2021)

Finalmente, otro de los artículos encontrados se enfoca en analizar la estructura del panal de abeja la cual ha sido utilizada en distintas industrias gracias a sus propiedades físicas y mecánicas, que a su vez cuenta con una alta eficiencia en relación al peso y la resistencia. Se afirma en el artículo que “La mayoría de diseños artificiales sobre materiales porosos se han inspirado en la naturaleza o pueden encontrar sus prototipos en la naturaleza, siendo el panal el ejemplo más representativo” (Djumas et al., 2016). Los panales de abeja cuentan con una disposición hexagonal, la cual proporciona una distribución uniforme de las cargas, por ende, posee una alta resistencia a la compresión y a la flexión. Por otro lado, la geometría del panal de abeja brinda una ventaja puesto que minimiza la cantidad de material necesario para una determinada aplicación, lo que conlleva a estructuras ligeras y eficientes en términos de recursos.



**Figura 1.**Estructura panal de abeja (Sarah Saunders, 2020)

Hueso de voronoi (Rezapourian et al., 2023)

Escama de pez (Rawat et al., 2021)

Posteriormente se procedió a digitalizar las texturas para el desarrollo de los modelos 3D realizados en el software Grasshopper, los cuales una vez listos se transfirieron al software SolidWorks para realizar un análisis de elementos finitos (FEA), esto es una simulación virtual para verificar el rendimiento estructural de un producto. Con el fin de analizar y comparar cuál de las morfologías presentaba un mejor desempeño y aplicar la mejor al prototipo a imprimir.

Para el establecimiento de los parámetros de impresión tales como velocidad, tamaño de boquilla, altura de capa, material, porcentaje de humedad y multiplicador de extrusión, se utilizaron las impresoras 3D PotterBot 10 Micro suministrada por la empresa Sumicol y la Tron XY MOORE. Como resultado se obtuvieron los prototipos que posteriormente fueron utilizados en la validación.

Se realizaron pruebas de uso en el hogar geriátrico llamado “Días felices” ubicado en la ciudad de Medellín, con un grupo de 13 adultos mayores con edades entre 70 a 90 años, algunos de estos padecían de artritis u otras enfermedades que afectaban su fuerza física. Para esta prueba se llevaron 3 vasos con textura de diamante convexas, pero variando el tamaño de patrón, una vez realizadas las pruebas se hicieron encuestas de satisfacción y percepción de los usuarios sobre los prototipos.

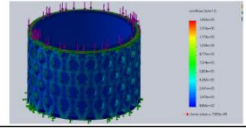
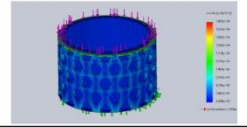
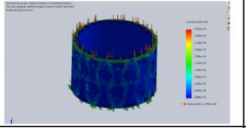
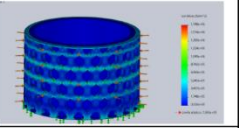
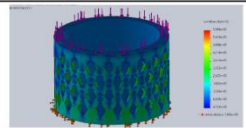
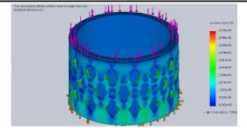
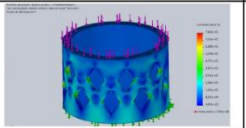
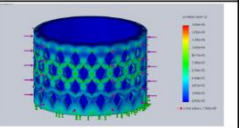
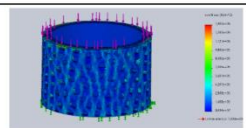
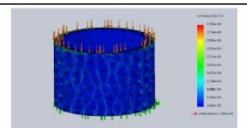
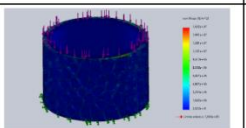
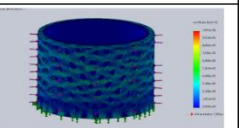
### 3. Resultados y Discusión

En las entrevistas y observaciones realizadas, se encontró que las personas que padecen de artritis reumatoide presentan dificultades en actividades cotidianas, lo cual conlleva a una pérdida o disminución de su independencia. Además, se evidenció una falencia en los utensilios de cocina convencionales, puesto que les dan un uso “incorrecto” para adaptarlo a su condición, tienen que recurrir a comprar utensilios especializados o requieren la ayuda de alguien más para realizar una acción. En la figura 2 se pueden observar algunas de las interacciones identificadas en las observaciones no participantes.



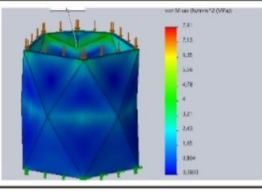
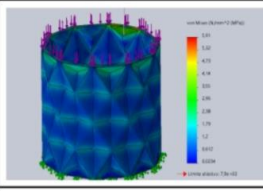
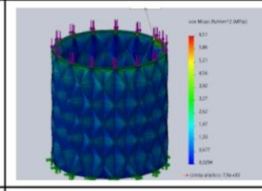
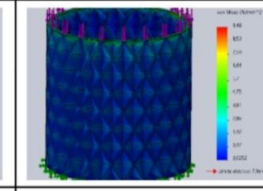
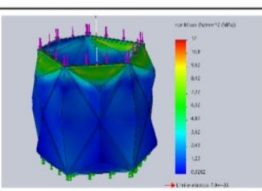
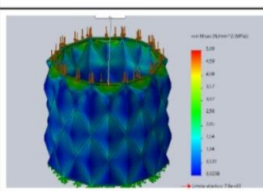
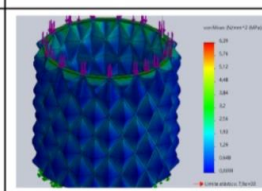
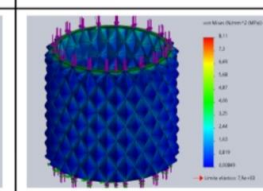
**Figura 2.** Fotografías extraídas de las observaciones no participantes

Para el análisis de elementos finitos se seleccionaron modelos donde se aplican referentes naturales como los panales de abejas, la escama de pez y el hueso esponjoso voronoi, en estos tres patrones se realizaron variaciones en la cantidad de divisiones en U y V disminuyéndolas de manera proporcional y afectando así el tamaño del patrón. A cada una de estas alternativas se les realizó una simulación de compresión en la cual se les aplicó 300N de fuerza, en la figura 3 se pueden observar los resultados de este análisis.

Divisiones	20 - 5	15 - 3.75	10 - 2.5	Mejor resultado
Panal de abejas				
	Tensión max: 1,462 MPa	Tensión max: 1,863 MPa	Tensión max: 2,660 MPa	Tensión max: 1,748 MPa
Escama de pez				
	Tensión max: 0,599 MPa	Tensión max: 0,666 MPa	Tensión max: 0,785 MPa	Tensión max: 1,436 MPa
Huesos voronoi				
	Tensión max: 1,400 MPa	Tensión max: 4,193 MPa	Tensión max: 1,602 MPa	Tensión max: 1,436 MPa

**Figura 3.** Resultados análisis FEA, panal de abeja, escamas de pez y hueso de voronoi

Tras realizar el análisis de elementos finitos en las distintas morfologías, se pudo observar que la que tuvo un mejor desempeño fue la de diamante inspirada en la escama de pescado. Consecuentemente, se realizaron otras variaciones ya no de patrón, sino de tamaño de patrón y dirección de la curvatura con el objetivo de encontrar la división del área superficial en diamantes con mejores propiedades mecánicas. Entonces, se modelaron cilindros de ensayo con diferentes divisiones en U y V manteniendo siempre una relación de 1:5 entre U y V. Así mismo, para cada una de estas relaciones se modeló una versión de cóncava y otra convexa las cuales fueron puestas a prueba bajo una simulación de compresión con una fuerza de 500 N. En la figura 4 se pueden observar los resultados del análisis de elementos finitos.

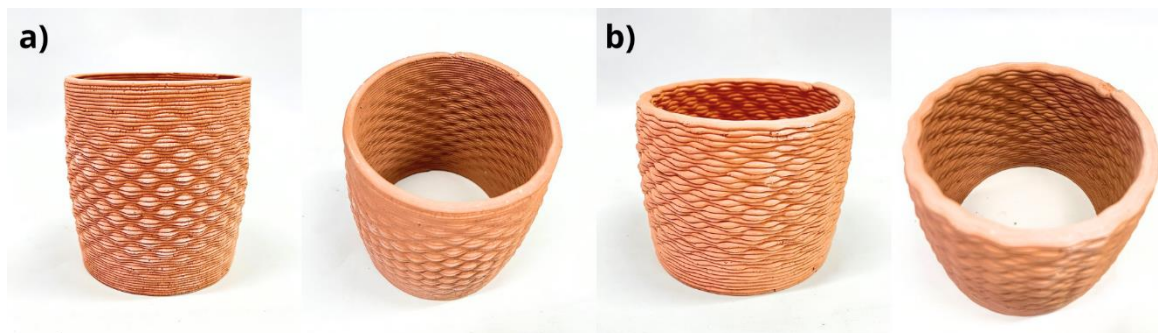
Divisiones	10 - 2	20 - 4	30 - 6	40 - 8
Cóncavo				
	Tensión max: 7,91 MPa	Tensión max: 5,91 MPa	Tensión max: 6,51 MPa	Tensión max: 9,48 MPa
Convexo				
	Tensión max: 12 MPa	Tensión max: 5,09 MPa	Tensión max: 6,39 MPa	Tensión max: 8,11 MPa



**Figura 5.** Porcentajes de humedad en las piezas impresas

Posterior a los resultados de los análisis de elementos finitos se realizaron 52 pruebas de impresión en las que se fueron modificando ciertas de las variables que comprenden la impresión 3D cerámica como lo son: la velocidad de extrusión, la altura de capa, la humedad de la arcilla, el tamaño de la boquilla, el tipo de arcilla y el multiplicador de extrusión, de estas pruebas se obtuvieron las siguientes conclusiones preliminares. En la figura 5 en el apartado A Se muestra cómo la relación entre 'arena' y agua afecta la deposición del material. Inicialmente, se trabajó con una proporción de agua equivalente al 20% del peso de la arena. Esta cantidad no fue óptima, ya que la mezcla presentó grietas durante la impresión debido al bajo nivel de humedad. Posteriormente, se incrementó la proporción de agua al 25% del peso de la arena y tampoco resultó óptima, ya que el exceso de humedad debilitó estructuralmente la pieza durante la impresión, provocando que se deformara y colapsara. Se encontró que una proporción del 22% permitía imprimir una pieza estructuralmente estable sin que aparecieran grietas.

Se encontró que el método, que hasta entonces se había utilizado para obtener el recorrido de impresión (gcode) no era el más adecuado. Se encontró que este recorrido puede generarse de dos formas: mediante "slicers", que dividen la geometría en capas y crean automáticamente el trayecto como se puede ver en la figura 6 apartado B, o diseñando manualmente el recorrido con herramientas como Rhinoceros 3D y Grasshopper y obtener resultados como en la figura 6 apartado A. Aunque los slicers son más rápidos y accesibles, el segundo método ofrece un control mucho mayor sobre el trayecto, la distribución del material y otras variables clave, lo que permite optimizar la calidad y precisión del resultado final, como se puede apreciar al comparar ambas figuras.



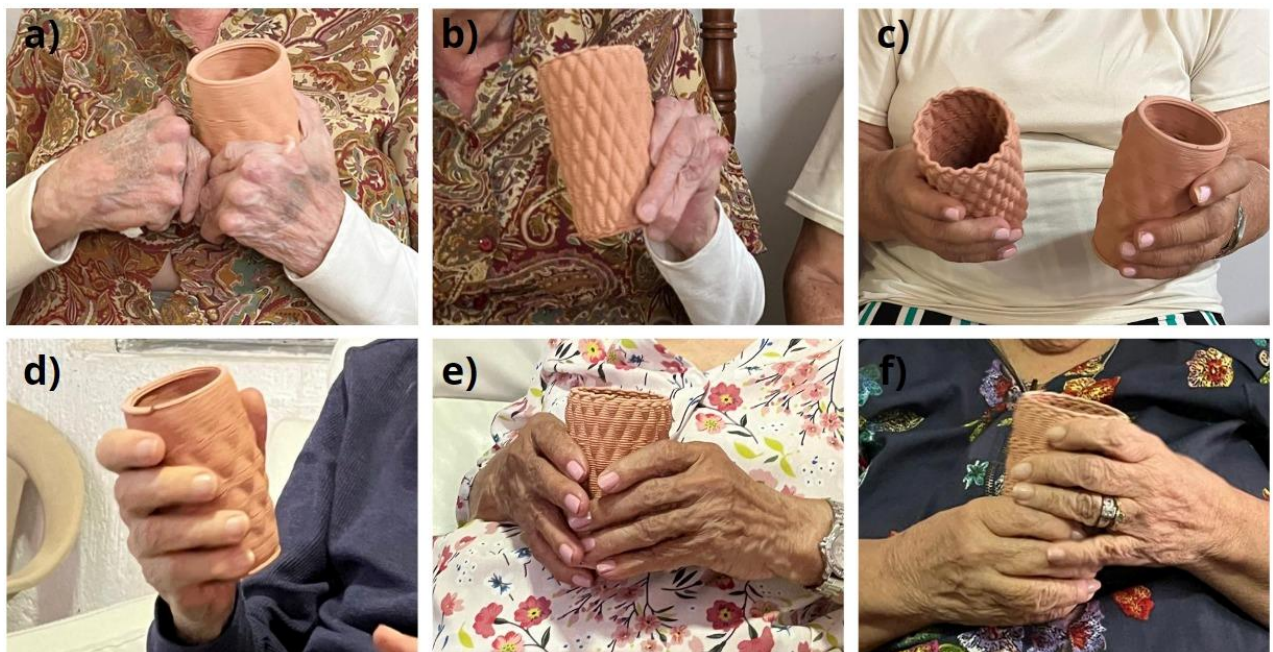
**Figura 6.** Comparación del recorrido de impresión en Simplify

Teniendo en cuenta los resultados del análisis FEA se decidió imprimir tres variaciones de escama de pez convexas, debido a que fueron las que obtuvieron un mejor desempeño. Las medidas de estos prototipos se hicieron con base a un vaso de 7Oz con un diámetro en la base de 55 mm, una altura de 110 mm y un diámetro superior de 65 mm, esto puesto que esos son los vasos utilizados generalmente en los hogares geriátricos.



**Figura 7.** Prototipos para validación en el hogar geriátrico

Se realizó una visita a un hogar geriátrico ubicado en la ciudad de Medellín, con la intención de validar las percepciones de los adultos mayores con respecto a las diferentes texturas. Se seleccionó una muestra de 13 adultos mayores, de los cuales algunos padecían de alguna enfermedad que afecta las extremidades superiores; en la figura 6 se pueden observar algunas de las interacciones y formas de agarre que se dieron en esta visita.



**Figura 8.** Interacciones en el hogar geriátrico.

Una vez los adultos mayores tocaron las texturas se les realizaron preguntas que permitieran identificar aspectos positivos y a mejorar de los prototipos realizados. De esto se pudo concluir que: las texturas les invitan agarrar el vaso de la manera adecuada, además aporta una sensación de seguridad al estar en contacto con estas; por otro lado, se evidenció una opinión dividida entre los participantes sobre la preferencia del asa para un mejor agarre, debido a que para los individuos el uso del pocillo y el vaso está relacionado al tipo de bebida que se consuma, teniendo en cuenta esto es importante realiza una variación con asa para permitir estas dos posibilidades de uso.

Durante la validación surgieron dos preocupaciones principales. En primer lugar, para algunos de los usuarios el peso de los vasos era considerable, lo cual representaba un esfuerzo mayor para ellos, sin embargo, esto es una condición del material la cual no puede disminuirse. Por otro lado, algunos expresaron la inquietud con respecto a la limpieza de estos, porque al no estar esmaltado daba la sensación de una alta dificultad de limpieza debido a acumulación de mugre o polvo.

#### **4. Conclusiones**

Al analizar los resultados obtenidos durante la revisión bibliográfica, realización de entrevistas, observaciones y modelo de empatía, se pudo concluir que los usuarios con discapacidades o limitaciones en las extremidades superiores, como lo es la artritis reumatoide requieren de utensilios que no sean pesados, para facilitar su agarre y uso. Además, que los utensilios que poseen áreas de agarre muy pequeñas también representan retos significativos debido a la rigidez de las articulaciones y a la poca motricidad que poseen, por lo tanto, se concluyó que era necesario realizar utensilios que presentaran un área de agarre mas amplia. Con respecto al análisis del usuario también se evidenció que debido a las características ya mencionadas de la artritis reumatoide presentan dificultades de agarre, lo cual aumenta el riesgo de caída de los utensilios.

De los patrones extraídos de referentes naturales se pudo concluir que el de la escama de pez, morfología de diamante fue la que presentó mejores propiedades mecánicas, permitiendo distribuir mejor las tensiones alrededor de toda la superficie, reduciendo a su vez el riesgo de fractura en caso de caída del utensilio.

En el proceso de impresión se concluyó que era necesario estandarizar ciertas variables para obtener mejores resultados. Tales como, el tipo de arcilla utilizada, en este caso la Sofía debido a que brindó los resultados más óptimos, en la 3D PotterBot 10 Micro requería un porcentaje de humedad de 20%, un multiplicador de extrusión de 1.2, una altura de capa de 1.6 mm, una velocidad de 1250 mm/min y una boquilla de 3.5 mm de diámetro, mientras que en la impresora Tron XY MOORE se necesitaba un 23% de humedad, boquilla de 1.3mm, una velocidad de 1200, altura de capa de 1 mm, de 1.5 mm y hasta de 2mm.

Teniendo en cuenta los resultados de las validaciones realizadas se pudo llegar a la conclusión de que las texturas con el patrón de la escama de pescado permiten un agarre más firme para el usuario, brindándole mayor seguridad al momento de utilizarlo. Además, este tipo de patrones son una solución que se puede aplicar a diferentes superficies, permitiendo ampliar su uso a otro tipo de utensilios de cocina para mejorar su resistencia mecánica y seguridad de agarre, ampliando a su vez el tipo de usuarios que pueden hacer uso de este tipo de objetos

#### **5. Agradecimientos**

A la empresa Sumicol por brindar la impresora y el material utilizado en las experimentaciones morfológicas.

A los profesores Alejandro Alberto Zuleta Gil y Ana María Lotero Arias cuyo acompañamiento, dedicación y sabiduría fueron fundamentales para la realización de este trabajo de grado, en las áreas de morfología, impresión 3D y ergonomía.

## 6. Bibliografía

- Artritis reumatoide en Colombia. (2021). <https://cuentadealtocosto.org/artritis/que-dice-el-registro-mas-grande-en-el-mundo-de-pacientes-con-artritis-reumatoide/#>
- Asiyanbola, B., & Soboyejo, W. (2008). For the Surgeon: An Introduction to Nanotechnology. *Journal of Surgical Education*, 65(2), 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2007.11.006>
- Djumas, L., Molotnikov, A., Simon, G. P., & Estrin, Y. (2016). Enhanced Mechanical Performance of Bio-Inspired Hybrid Structures Utilising Topological Interlocking Geometry. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep26706>
- Rawat, P., Zhu, D., Rahman, M. Z., & Barthelat, F. (2021). Structural and mechanical properties of fish scales for the bio-inspired design of flexible body armors: A review. In *Acta Biomaterialia* (Vol. 121, pp. 41–67). *Acta Materialia Inc.* <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.003>
- Rezapourian, M., Jasiuk, I., Saarna, M., & Hussainova, I. (2023). Selective laser melted Ti6Al4V split-P TPMS lattices for bone tissue engineering. *International Journal of Mechanical Sciences*, 251, 108353. <https://doi.org/10.1016/J.IJMECSCI.2023.108353>
- Sarah Saunders. (2020, May 19). University of Maryland: 3D Printing Honeycomb Structures with Buckling Initiators for Crash Mitigation - 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing. <https://3dprint.com/267485/university-of-maryland-3d-printing-honeycomb-structures-with-buckling-initiators-for-crash-mitigation/>
- Situación de la artritis reumatoide en Colombia 2022 CUENTA DE ALTO COSTO Fondo Colombiano de Enfermedades de Alto Costo. (2023).