



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**SISTEMA DE EXTRUSIÓN DE BIOPOLÍMEROS NATURALES PARA  
LA BIOIMPRESIÓN DE HIDROGELES USADOS EN APLICACIONES  
DE INGENIERÍA DE TEJIDOS**

---

Trabajo de titulación modalidad Artículo académico, presentado previo a la  
obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

**ÁREA:** Física y Electrónica

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Tecnología de la información y  
Sistemas de control

**AUTOR:** Bryan Gabriel Guáitara Martínez

**TUTOR:** Ing. Franklin Salazar Logroño.

**Ambato – Ecuador**

**Febrero - 2024**

## **APROBACION DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA DE EXTRUSIÓN DE BIOPOLÍMEROS NATURALES PARA LA BIOIMPRESIÓN DE HIDROGELES USADOS EN APLICACIONES DE INGENIERÍA DE TEJIDOS, desarrollado bajo la modalidad Artículo académico por el señor Bryan Gabriel Guáitara Martínez, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, febrero 2024.

-----  
Ing. Franklin Salazar Logroño.

**TUTOR**

## AUTORIA

El presente trabajo de Investigación titulado: SISTEMA DE EXTRUSIÓN DE BIOPOLÍMEROS NATURALES PARA LA BIOIMPRESIÓN DE HIDROGELES USADOS EN APLICACIONES DE INGENIERÍA DE TEJIDOS es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2024.

A handwritten signature in blue ink, reading "Bryan Guaitara", enclosed within a hand-drawn oval shape. The signature is positioned above a horizontal dashed line.

**Bryan Gabriel Guaitara Martínez**

C.C. 1804722617

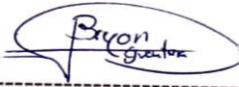
AUTOR

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, febrero 2024.



-----  
**Bryan Gabriel Guaitara Martínez**

C.C. 1804722617

AUTOR

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor **Bryan Gabriel Guáitara Martínez**, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica Y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Artículo Académico, titulado SISTEMA DE EXTRUSIÓN DE BIOPOLÍMEROS NATURALES PARA LA BIOIMPRESIÓN DE HIDROGELES USADOS EN APLICACIONES DE INGENIERÍA DE TEJIDOS, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, febrero 2024.

-----  
Ing. Pilar Urrutia Urrutia, Mg.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

-----  
Ing. Santiago Altamirano Meléndez.  
PROFESOR CALIFICADOR

-----  
PhD. Martha Sevilla Abarca  
PROFESOR CALIFICADOR

## DEDICATORIA

En las vastas llanuras del conocimiento, donde los sueños se entrelazan con las hebras del destino, dedico este modesto logro a mi amada familia, cuyas raíces son los pilares que sostienen mi viaje académico. En sus nombres, encuentro la fuerza para desafiar los vientos huracanados del desafío, y en sus risas, hallé la música que me guio en las noches oscuras del estudio.

A mis amigos, fieles compañeros de batalla en este viaje académico, les dedico un rincón especial en estas páginas. Sus consejos han sido como estandartes que ondean en el campo de la amistad, y sus palabras de aliento son antorchas que han iluminado los pasajes más oscuros de mi travesía.

A esa alma con sueños por cumplir, los invito a sumergirse en las líneas de este trabajo como aventureros en un reino desconocido. Que estas palabras sirvan como inspiración para perseguir sus propios sueños y desentrañar los misterios de sus propias búsquedas.

En la biblioteca de la vida, este trabajo es un modesto tomo dedicado a aquellos que han sido mi luz en la oscuridad y a todos los soñadores que buscan respuestas en las páginas de la sabiduría.

Que esta tesis sea un testamento de gratitud y perseverancia, un eco de las voces que me han llevado a través de las páginas de este capítulo en mi vida.

Con determinación eterna.

Bryan Guáitara.

## AGRADECIMIENTO

Mis primeras palabras de agradecimiento se elevan hacia lo más alto, hacia el Creador del Universo, guía de mis pasos y faro en la penumbra de la incertidumbre. Dios, cuya mano invisible ha trazado caminos y ha revelado destinos, te agradezco por ser la brújula que ha orientado mi travesía.

A mis padres, Geovanny y Janeth, así como a mi hermano Daniel, les dedico un agradecimiento sincero. Su apoyo incondicional no solo ha sido un pilar fundamental durante mi carrera, sino también un faro en los momentos más oscuros de mi vida. Su amor ha sido la fuerza que me impulsa hacia adelante.

A Luis, Gabriela, y Diego, integrantes valiosos de mi grupo de estudio, les agradezco por su colaboración y amistad, elementos cruciales en mi éxito académico.

Mayte, Daniela, y Ángeles, les reconozco su apoyo emocional, esa luz que iluminó mis días más oscuros. Vuestra amistad ha sido un regalo invaluable

A Edwin, el amigo que se convirtió en un hermano de corazón, tus alas fueron mi refugio en las tormentas, tu aliento mi espada en la batalla. Eternamente agradecido, por ir más allá de las expectativas de la amistad.

Que estos versos sean testigos de mi gratitud, como hojas que caen en el otoño de esta etapa académica, y que cada nombre mencionado resuene en los pasillos de la memoria con el eco de la camaradería y el triunfo compartido.

Muchas gracias a todos.

Atentamente,

Bryan Guáitara

## ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACION DEL TUTOR.....	ii
AUTORIA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
RESUMEN EJECUTIVO .....	x
ABSTRACT .....	xi
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO .....	1
1.1    Antecedentes investigativos .....	1
1.2    Objetivos .....	2
1.2.1    Objetivo general .....	2
1.2.2    Objetivos específicos .....	2
CAPÍTULO II.- ARTÍCULO ACEPTADO PARA PUBLICACIÓN.....	4
2.1    Materiales .....	4
CAPÍTULO III.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	22
3.1    Conclusiones .....	22
3.2    Recomendaciones .....	23
Referencias Bibliográficas .....	24
Anexos.....	26



Fig. 1 Funcionamiento de la Impresora.....	12
Fig. 2 Ventana del Terminal.....	13
Fig. 3 Ventana de Terminal.....	14
Fig. 4 Impresora 3D .....	14
Fig. 5 Dispositivo rediseñado montado en el banco de pruebas. ....	15
Fig. 6 Mensajes de la impresora en Telegram.....	18

## RESUMEN EJECUTIVO

La bioimpresión, a través del sistema de extrusión de biopolímeros naturales para la fabricación de hidrogeles, representa una frontera avanzada en la ingeniería de tejidos. Este proceso revolucionario amalgama la precisión de la fabricación aditiva con la singularidad de los biopolímeros derivados de fuentes naturales, tales como almidón y celulosa. La esencia biocompatible de estos materiales ofrece ventajas cruciales en términos de interacción con células vivas y su degradabilidad, aspectos esenciales para la sostenibilidad y la biocompatibilidad en aplicaciones médicas.

El sistema de extrusión se convierte en un componente clave al permitir la deposición precisa de estos biopolímeros, creando estructuras tridimensionales con una fidelidad y detalle extraordinarios. Este método se destaca por su capacidad para generar arquitecturas complejas, imitando la microestructura de tejidos naturales.

Este enfoque innovador no solo cumple con los requisitos fundamentales de biocompatibilidad y precisión estructural, sino que también allana el camino para aplicaciones médicas transformadoras. La posibilidad de imprimir tejidos y órganos funcionales abre nuevas perspectivas en la medicina regenerativa y la investigación farmacéutica. Además, la naturaleza biodegradable de los biopolímeros utilizados respalda la búsqueda de soluciones más sostenibles en la ingeniería de tejidos.

**Palabras clave:** bioimpresión, sistema de extrusión, biopolímeros naturales, hidrogeles, ingeniería de tejidos, estructuras tridimensionales, ingeniería de tejidos.

## ABSTRACT

Bioprinting, through the extrusion system of natural biopolymers for the manufacture of hydrogels, represents an advanced frontier in tissue engineering. This revolutionary process amalgamates the precision of additive manufacturing with the uniqueness of biopolymers derived from natural sources, such as starch and cellulose. The biocompatible essence of these materials offers crucial advantages in terms of interaction with living cells and their degradability, essential aspects for sustainability and biocompatibility in medical applications.

The extrusion system becomes a key component by allowing the precise deposition of these biopolymers, creating three-dimensional structures with extraordinary fidelity and detail. This method stands out for its ability to generate complex architectures, imitating the microstructure of natural tissues.

This innovative approach not only meets the fundamental requirements of biocompatibility and structural precision, but also paves the way for transformative medical applications. The possibility of printing functional tissues and organs opens new perspectives in regenerative medicine and pharmaceutical research. Furthermore, the biodegradable nature of the biopolymers used supports the search for more sustainable solutions in tissue engineering.

**Keywords:** bioprinting, extrusion system, natural biopolymers, hydrogels, tissue engineering, three-dimensional structures, tissue engineering.

# CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

## 1.1 Antecedentes investigativos

Recientemente, la impresión tridimensional (3D) ha recibido gran atención en el área de la ingeniería de tejidos, debido a su rápida producción con alta fidelidad de forma. Desafortunadamente, las impresoras 3D industriales con una resolución extremadamente alta tienen capacidades limitadas para aplicaciones biomédicas. Hoy en día, los avances en la bioimpresión 3D, incluida la impresión tridimensional (3DP) se logran principalmente a partir de productos caseros. Por ello, se requiere amplios conocimientos de ingeniería para fabricar y procesar materiales que sean adecuados para el desarrollo de tejidos [1].

La bioimpresión 3D es usada en diversos campos de la medicina, esta tecnología ha dejado de ser una promesa para convertirse en una herramienta para los profesionales de la salud. Esta tecnología ha sido usada en la fabricación de modelos de piel humana complejos, injertos para el tratamiento de enfermedades de la piel, especialmente en pacientes con quemaduras en diferentes grados, como se puede apreciar en el trabajo de [2].

Asimismo, [3] en su obra titulada “los beneficios de las impresoras 3d como herramienta de innovación en la medicina” investigan la aplicación de este tipo de equipos en el área de la odontología. Se han realizado implantes de prótesis, que sustituyen a cualquier pieza dental original que, por diversos motivos, ha sido extraída. También se podrían enumerar múltiples usos, pero todos contribuyen al avance tecnológico de los tratamientos convencionales

El proyecto de titulación realizado por Prado y Ovalle, en la Universidad Autónoma de Bucaramanga en 2018, realiza el diseño y construcción de una bioimpresora a través de un sistema CNC para regeneración ósea. Los biomateriales convergen en una sola pieza para su posterior extrusión, además, posee un sistema de enfriamiento a través de dos ventiladores [7].

En el 2020, Paola Andrea Bustamante y María Carolina Anessi utilizando tecnología 3D para la impresión de andamios que fueron tratados con radiación gamma en un

rango de dosis de 15 kGy a 25 kGy. Estos andamios fueron sometidos a pruebas biológicas y de degradación cuyos resultados demostraron que estos materiales no son citotóxicos y que además tienen buena adhesión celular. Aquí se demostró que el biomaterial desarrollado tiene potencial para ser utilizado como andamiaje para el reemplazo de tejido óseo trabecular [8].

La investigación de biomateriales ha desarrollado nuevos sistemas de administración de fármacos y andamios mejorados. Para la fabricación de andamios biológicos generalmente se usan polímeros naturales, como el colágeno, el ácido hialurónico (HA), el quitosano y el alginato, pueden mantener la forma de la estructura 3D después de la impresión a través de enlaces cruzados, que se usan comúnmente como biotinta. En el estudio de Wang, para mejorar la resolución de impresión y la propiedad de adhesión, se combinaron dos materiales: el agar sensible a la temperatura y el alginato sensible a los iones para preparar la biotinta mixta. El agar aumentó la viscosidad de la tinta, por lo que mejoró aún más las propiedades reológicas, haciéndolo adecuado para la impresión de precisión [9].

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Desarrollar un sistema de extrusión de biopolímeros naturales para la bioimpresión de hidrogeles usados en aplicaciones de ingeniería de tejidos.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Identificar los dispositivos que permitan la impresión con biopolímeros enfocados en el área de la ingeniería en tejidos.
- Caracterizar las distintas técnicas utilizadas en el diseño y construcción de bioimpresoras.
- Diseñar la tarjeta de control electrónico para sistema de extrusión.

- Implementar un servidor local para el monitoreo de las condiciones térmicas del espacio de trabajo del sistema.
- Examinar el desempeño del sistema de extrusión con las pruebas experimentales respectivas.

## **CAPÍTULO II.- ARTÍCULO ACEPTADO PARA PUBLICACIÓN.**

### **2.1 Materiales**

#### **UN SISTEMA DE EXTRUSIÓN BASADO EN BIOPOLÍMEROS NATURALES PARA HIDROGEL BIOIMPRESIÓN EN INGENIERÍA TEJIDA**

##### **Abstract.**

Este artículo se centra en la implementación de un sistema basado en extrusión de biopolímeros naturales para la bioimpresión de hidrogeles utilizados en la campo de la ingeniería de tejidos. Este trabajo tiene como objetivo proporcionar al usuario información precisa control sobre la forma de las estructuras, basándose en una visión tridimensional Modelo generado por un software de diseño 3D. La bioimpresión es una innovación técnica que utiliza impresoras 3D para depositar materiales biocompatibles y células vivas en capas sucesivas, permitiendo así la producción de tejidos y estructuras biológicas. Este artículo presenta un sistema de extrusión de Biopolímeros naturales para hidrogeles de bioimpresión. El sistema se basa en un Bomba de engranajes con control de temperatura en bomba, boquilla y recipiente. Incluye un controlador PID separado para cada componente a monitorear las condiciones térmicas del espacio de trabajo del sistema a través de una tarjeta de control implementada electrónicamente en un servidor local. La capacidad del sistema para imprimir cuerpos sólidos y semisólidos utilizando chocolate y biopolímeros fue demostrado mediante pruebas experimentales. Inspección microscópica de los objetos impresos confirma la correcta adhesión de las capas, mostrando avances en

bioimpresión a través de una prometedora plataforma para ingeniería de tejidos, con potencial para generar mejoras significativas en este campo.

**Palabras clave:** Automatización· Internet de las Cosas· PLC 1200, bandeja de plástico tiempos de respuesta de lavado.

## 1. Introducción

La bioimpresión utiliza impresoras 3D para depositar materiales biocompatibles y células vivas en capas sucesivas, surgiendo como un enfoque prometedor para crear tejidos y estructuras biológicas [3]. Este artículo presenta un proyecto de investigación aplicada centrado en el diseño e implementación de un sistema basado en extrusión de biopolímeros naturales para bioimpresión de hidrogeles, con el objetivo de contribuir al progreso de la ingeniería de tejidos [7].

El enfoque metodológico adoptado para este proyecto se basa principalmente en la experimentación, ya que implica realizar modificaciones en una impresora 3D convencional y contrastar los resultados con la teoría existente [16]. Se utilizará una técnica exploratoria de prueba y error debido a la naturaleza variable de los resultados, lo que conducirá a ajustes y validaciones en el proceso de bioimpresión [14]. Este estudio aborda la actual falta de materias primas que cumplan con los estándares necesarios para el desarrollo de la ingeniería de tejidos, especialmente en el contexto científico ecuatoriano [6].

En cuanto al procesamiento y análisis de datos, se realizará una revisión detallada de las características y funcionamiento de las bioimpresoras existentes. Además, se realizará un análisis de los sistemas de control y seguimiento utilizados en



investigaciones anteriores. Los resultados obtenidos se presentarán según los objetivos planteados al inicio de la investigación. El estudio propone la implementación de un sistema basado en extrusión de biopolímeros naturales para bioimpresión de hidrogeles que permita al usuario tener un control preciso sobre la forma de las bioestructuras utilizando un modelo tridimensional generado por un software de diseño 3D [5].

Para alcanzar los objetivos establecidos se seguirán las siguientes etapas:

- recopilar la información existente sobre la impresión con biopolímeros,
- describir el funcionamiento de los dispositivos utilizados en la impresión con hidrogel, - comprobar la disponibilidad de los materiales necesarios,
- seleccionar un sistema adecuado,
- desarrollar el diseño y esquema del circuito de control,
- construcción de la estructura de la impresora,
- implementación de un servidor local para el monitoreo del sistema,
- desarrollo de una interfaz de monitoreo,
- y finalmente, realización de las pruebas y calibraciones necesarias para garantizar la buen funcionamiento del sistema [10].

Este proyecto de investigación representa un paso significativo hacia el progreso en los campos de la bioimpresión y la ingeniería de tejidos. La implementación de un sistema basado en extrusión de biopolímeros naturales para la bioimpresión de hidrogel traerá resultados más precisos y controlados, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida de los pacientes. La impresión tridimensional (3D) ha llamado la atención en la ingeniería de tejidos debido a su capacidad para crear estructuras complejas con alta precisión. Sin embargo, las limitaciones de las impresoras 3D

industriales para aplicaciones biomédicas han impulsado el desarrollo de sistemas de extrusión de biopolímeros naturales para la bioimpresión de hidrogeles [15]. En este contexto, la implementación del sistema propuesto se centra en un proyecto de investigación aplicada que busca contribuir a la mejora de la ingeniería de tejidos. El estudio se basa en una revisión en profundidad de la literatura existente y avances previos sobre la extrusión de biopolímeros naturales, proporcionando una base sólida para la investigación sobre la bioimpresión de hidrogel. Se ha puesto énfasis en la evaluación de biomateriales y sus composiciones, así como en el desarrollo de sistemas de control motorizados para lograr precisión en la etapa de bioimpresión [4]. En el campo de la impresión 3D, diferentes tecnologías y procesos son usados. La impresión 3D se realiza añadiendo material capa a capa, utilizando filamentos que se funden y se depositan en una bandeja de impresión [1]. Antes de imprimir, Se realiza un proceso de laminación para dividir la estructura en capas delgadas [2].

Este artículo destaca las ventajas de la impresión 3D, como la libertad y complejidad en el diseño, la personalización y la reducción de residuos [8]. En el contexto del campo de la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa, los biomateriales se utilizan para crear matrices e hidrogeles que imitan la matriz extracelular proporcionando soporte para la regeneración de tejidos [9] [13]. El quitosano y el colágeno son dos biomateriales ampliamente utilizados debido a sus propiedades biocompatibles y biodegradables [12].

La implementación del sistema de extrusión propuesto para la bioimpresión de hidrogeles utilizando biopolímeros naturales presenta una solución prometedora en ingeniería de tejidos [11]. Este estudio pretende contribuir a la mejora y progreso de ambos campos.

Su objetivo es proporcionar un conocimiento más profundo y no sólo una base teórica sólida sino También es una implementación práctica para futuras investigaciones [11].

## **2. Metodología y Materiales**

### **2.1. Modalidad de investigación**

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema de bioimpresión basado en extrusión utilizando materiales naturales.

Biopolímeros para bioimpresión de hidrogeles. Para lograrlo, se cuenta con una extensa bibliografía. Se han realizado investigaciones consultando diversas fuentes académicas. El enfoque metodológico se basa en realizar modificaciones a una impresora 3D convencional y contrastar los resultados experimentales con la teoría existente. El estudio busca abordar el déficit de materias primas en la ingeniería de tejidos y brindar una propuesta tecnológica que integre la teoría y la práctica en el mundo científico ecuatoriano. Se espera que este proyecto contribuya al avance de ingeniería de tejidos y promover el desarrollo científico en Ecuador y otros países [11].

### **2.2. Recopilación de información**

El objetivo principal es recopilar información general relevante sobre las impresoras 3D, comprender su funcionamiento y conocer los requisitos necesarios para su funcionamiento. Además, se investigarán los fundamentos de la medicina regenerativa y los materiales utilizados en la producción de hidrogeles tridimensionales. Durante el estudio se obtendrán los datos requeridos mediante pruebas experimentales. Estas pruebas se realizarán para perfeccionar el prototipo desarrollado, asegurando su funcionalidad y eficacia en la bioimpresión de tejidos [11].

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

En el campo del procesamiento y análisis de datos se deben considerar varios aspectos clave para seleccionar el hardware y software adecuados que optimicen el desarrollo del sistema. Estos puntos importantes son:

- Realización de un análisis exhaustivo del funcionamiento y características de las bioimpresoras. Esto permitirá una comprensión profunda de las capacidades y limitaciones de estas tecnologías, facilitando la selección del equipo más adecuado para el proyecto.
- Realizar un estudio exhaustivo de otros sistemas de control y seguimiento utilizados en proyectos anteriores similares. Este análisis ayudó a identificar las mejores prácticas y soluciones tecnológicas utilizadas en proyectos anteriores, proporcionando una base sólida para diseñar el sistema de control y monitoreo en el estudio actual.
- Presentar los resultados de forma coherente y acorde con los objetivos marcados. La presentación de los resultados será clara y detallada, permitiendo una comprensión precisa de los logros y su relación con las metas trazadas [11].

Estos puntos son fundamentales para asegurar un enfoque eficiente y eficaz en el procesamiento y análisis de datos, garantizando así el desarrollo exitoso del sistema en estudio [11].

### **2.4. Solución de la propuesta**

Proponemos la implementación de un sistema de bioimpresión utilizando la tecnología de extrusión de biopolímeros naturales para la creación de hidrogeles. Este sistema

ofrecerá al usuario un control preciso sobre la forma de la estructura a través de un modelo tridimensional generado por un software de diseño 3D.

Para garantizar un seguimiento constante de los parámetros de los biopolímeros, se utilizará una interfaz gráfica para mostrar los valores capturados por sensores ubicados en el área de trabajo del sistema. Esto permitirá al usuario visualizar y realizar ajustes menores mientras el sistema sigue funcionando, brindando mayor control y precisión durante el proceso de bioimpresión.

La implementación de esta interfaz gráfica y la integración de sensores en el sistema de bioimpresión son elementos fundamentales para asegurar el monitoreo continuo de los parámetros críticos del biopolímero y realizar ajustes en tiempo real. Esto contribuirá a mejorar la calidad y eficiencia del proceso de bioimpresión, asegurando resultados más precisos y controlados en la creación de estructuras tridimensionales [11].

## **2.5. Desarrollo del proyecto**

Con el objetivo de alcanzar los objetivos planteados, el presente estudio se estructura en una serie de pasos fundamentales. Estos pasos incluyen:

- una revisión exhaustiva de la literatura científica existente sobre la impresión de biopolímeros,
- una descripción detallada de cómo funcionan los dispositivos utilizados en la impresión de hidrogel,
- una revisión de la disponibilidad de los biomateriales necesarios,
- selección de un sistema adecuado,
- desarrollar el diseño y esquema del circuito de control,
- fabricar la estructura de la impresora,

- -implementar un servidor local para el monitoreo del sistema,
- el desarrollo de una interfaz de monitoreo, pruebas iniciales de hardware y software,
- calibración de parámetros de control,
- y Pruebas de extrusión de hidrogel.

### **3. Implementación**

#### **3.1. Diagrama de operación**

La bioimpresión de hidrogeles en aplicaciones de ingeniería de tejidos se ha visto mejorada mediante una solución innovadora que permite un control preciso del sistema de extrusión de biopolímeros naturales. Esta solución, que combina streaming de vídeo en tiempo real y comunicación con Telegram, ha sido desarrollada para garantizar un rendimiento óptimo en el proceso.

El sistema está alojado en un servidor Raspberry Pi que ejecuta el sistema operativo OctoPrint. A partir de este punto, se coordina cada paso del proceso de bioimpresión, asegurando una sincronización adecuada para obtener estructuras de tejido de alta calidad.

Una característica relevante del sistema es el uso de materiales biocompatibles y sostenibles para la bioimpresión de tejidos, contribuyendo a la seguridad y eficacia del proceso. Además, la función de transmisión de video en tiempo real brinda a los investigadores y profesionales de la medicina regenerativa la capacidad de visualizar cada etapa del proceso de bioimpresión de forma clara y detallada. Esta vista en tiempo real proporciona información valiosa y facilita la comprensión de todo el proceso. La Figura 1 muestra el desarrollo y funcionamiento de la impresora, incluidas las conexiones con el servidor y el usuario.

### 3.2. Prueba de función del sistema

En las siguientes imágenes podrá visualizar la interfaz gráfica de la impresora 3D para la implementación de un sistema basado en extrusión de biopolímeros naturales para la bioimpresión de hidrogeles, así como los parámetros utilizados para su seguimiento. En la Figura 2.a), se muestra la ventana de la aplicación Impresora 3D UTA BIO, donde se muestra la ventana de Control junto con muchas opciones para configurar y ejecutar el proceso de impresión. En la Figura 2.b), se presenta la ventana Terminal, que muestra las

líneas de código "recv" utilizadas para leer datos de entrada en sockets, ya sea con o sin conexión.

En la Figura 3.a se muestra el monitor de variables ESP32, el cual pertenece a la interfaz gráfica de la impresora. Permite al usuario ingresar diferentes parámetros correspondientes a los setpoints de los sistemas 1, 2 y 3, así como el temporizador. Además, en la Figura 3.b, se muestran los parámetros necesarios para la impresora.

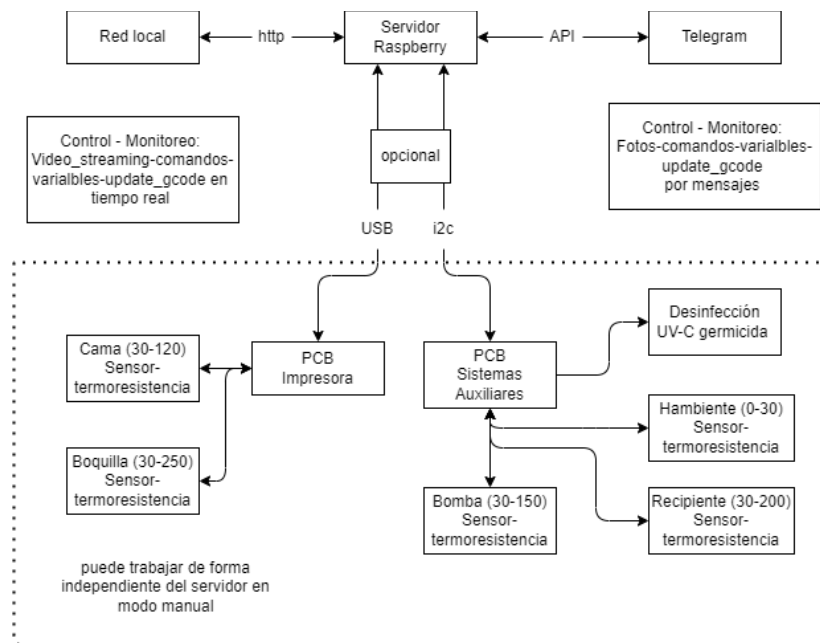
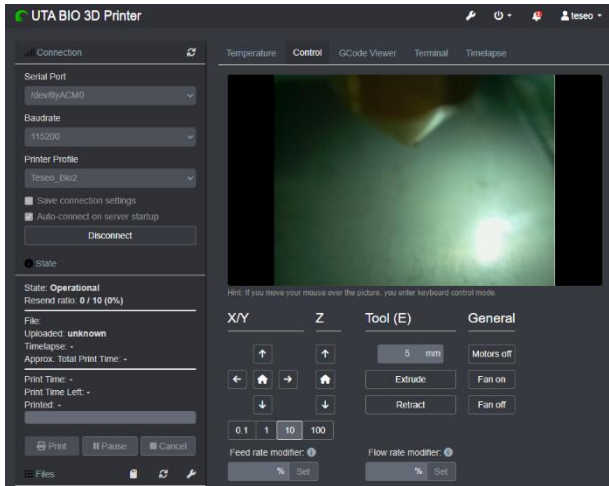
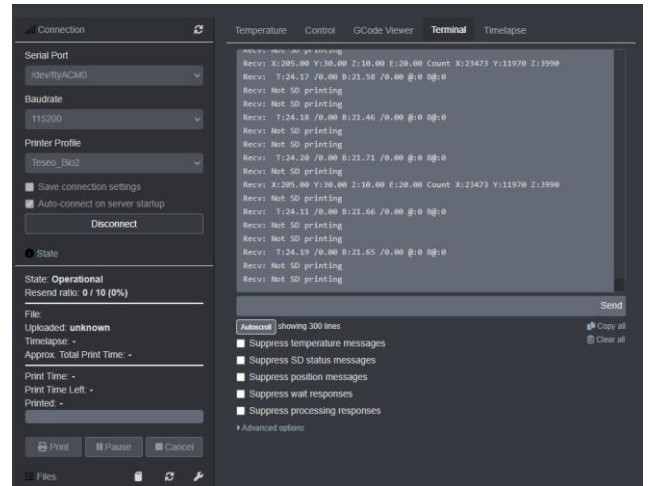


Fig. 1 Funcionamiento de la Impresora



(a) Sistema de control



(b) Ventana sistema de control

Fig. 2 Ventana del Terminal

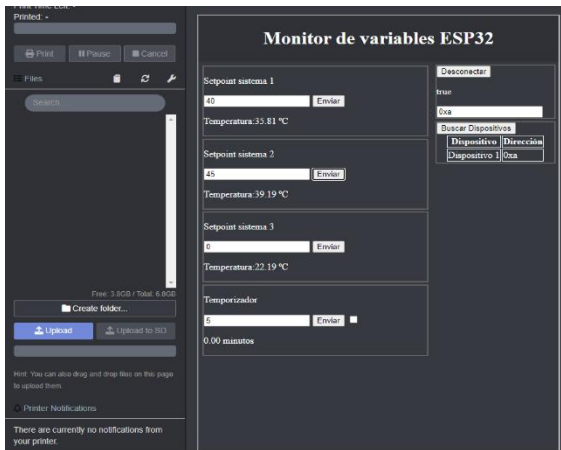
en una pantalla, facilitando la observación de los valores ingresados y su visualización en tiempo real. evolución durante la ejecución.

### 3.3. Diseño final de la impresora

Códigos de impresora La Figura 4.a muestra la impresora construida para un sistema de extrusión de biopolímeros naturales en la bioimpresión de hidrogeles. A continuación, en la Figura 4.b, el Se presentan las conexiones eléctricas que involucran los componentes necesarios para el óptimo funcionamiento de la impresora 3D.

Dentro del diseño del sistema basado en extrusión para bioimpresión de hidrogeles con biopolímeros naturales se han incorporado algunas pantallas o displays para Facilitar la visualización y el control de los datos de entrada y los parámetros en curso.





(a) Sistema de control

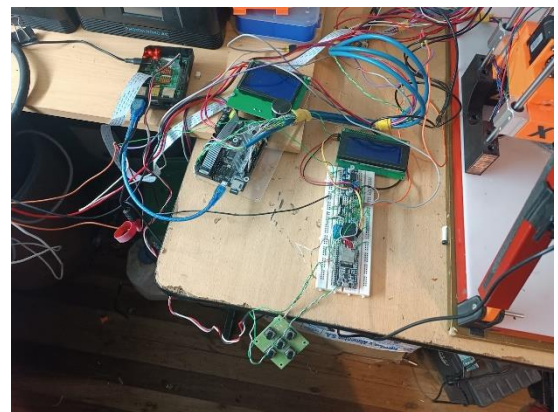


(b) Ventana sistema de control

Fig. 3 Ventana de Terminal



(a) Impresora 3D



(b) Conexiones eléctricas

Fig. 4 Impresora 3D

durante el funcionamiento de la impresora 3D. Cifra ?? muestra esta implementación, que mejora la gestión y seguimiento del proceso.

### 3.4. Código de control de la impresora

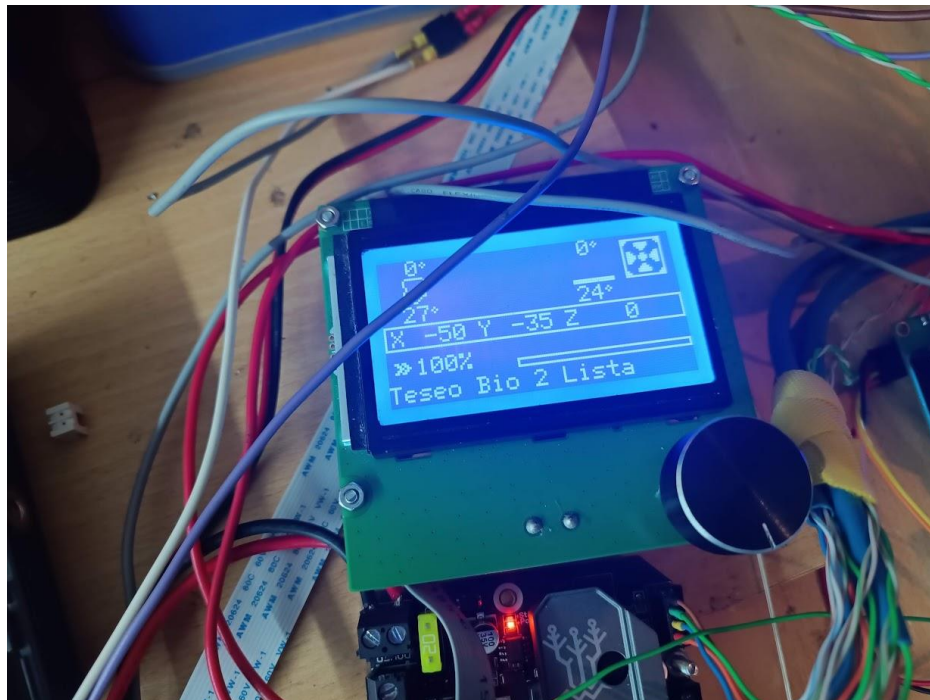
El código para controlar la impresora 3D en un sistema de extrusión de biopolímeros naturales para bioimpresión de hidrogeles corresponde a una aplicación Flask, que

sirve como intermediario de comunicación entre una página web y un dispositivo I2C. En esta aplicación, la biblioteca smbus se utiliza para facilitar la comunicación mediante el protocolo I2C, un método de comunicación comúnmente utilizado en sistemas eléctricos.

De esta forma, la aplicación Flask facilita la transferencia de datos y comandos. Las funcionalidades del código se pueden desglosar de la siguiente manera:

La función leer datos () se encarga de leer los datos del dispositivo I2C cuando la conexión está activa (estado conexión i2c=True). Los datos leídos se interpretan como un tipo de datos de cadena y, mediante el uso de expresiones regulares, se buscan patrones específicos para extraer múltiples valores que se devuelven como resultado.

Los puntos finales de Flask @app.route('/scan-devices'), @app.route('/update-values', métodos=['POST']), @app.route('/send-value', métodos =['POST']) y @app.route('/datos')



*Fig. 5 Dispositivo rediseñado montado en el banco de pruebas.*

permiten realizar diferentes acciones, como obtener una lista de dispositivos I2C detectados, actualizar la dirección y el estado de conexión del dispositivo I2C usando un objeto JSON, enviar valores al dispositivo usando otro objeto JSON con codificación específica y obtener el lee datos del dispositivo en formato JSON, con valores predeterminados si la conexión no está activa.

Finalmente, en la última parte del script, se establece el punto de entrada principal del programa, donde se inicia la aplicación Flask para escuchar todas las interfaces de red (0.0.0.0) y en el puerto especificado por la variable PORT.

Código para recuperación de datos y variables En este código para recuperación de datos y variables en la impresora 3D, destinado a implementar un sistema de extrusión de biopolímero natural para bioimpresión de hidrogeles, se emplea un controlador PID (Proporcional, Integral, Derivado). El controlador PID representa un mecanismo de control de retroalimentación ampliamente utilizado que permite que el sistema se adapte eficazmente a cambios como perturbaciones o errores en el punto de ajuste. El código consta de varias constantes, variables y funciones importantes.

En primer lugar, se definen las constantes relacionadas con el termistor y el ADC (convertidor analógico a digital). En segundo lugar, se crean variables globales para almacenar los parámetros y variables del controlador PID. Finalmente, se implementan algunas funciones con finalidades específicas:

- La función leerTermistor(int pin) recupera la temperatura en grados Celsius a partir del valor del termistor, usando la ecuación de Steinhart-Hart.
- La función aplicarPotencia(doble potencia) escala y aplica una potencia entre 0 y 1 al dispositivo de calentamiento, ajustándolo al rango compatible con PWM (Pulse Ancho Modulación) con la función ledcWrite() en ESP32.

- La función setup() configura la comunicación serie, canal PWM, y controlador PID, estableciendo el setpoint y los límites de salida.
- La función loop() se ejecuta continuamente y lee la temperatura actual,

calcular la salida del controlador PID para ajustar la potencia de calefacción. Además, muestra los valores actuales de temperatura, punto de ajuste y salida.

En general, este programa regula la temperatura de un sistema de calefacción utilizando un controlador PID, midiendo la temperatura actual con un termistor y ajustando la potencia del dispositivo de calentamiento para minimizar el error en comparación con el

punto de ajuste deseado alimentación en la consola serie.

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// constantes
#define lcdColumns 20
#define lcdRows 4
#define BAUD_RATE 9600
#define const_esc_temp 0.95
TaskHandle_t task_sensores, task_update_lcd;

//b'(\xff\xa4\x0c\x18\x01\xc7') //bomba
//b'(\xff\xcd\xfd\x18\x02\x01') //tanque
//b'(\xaa\xe5\x13\x13\x01\xc8') //sonda
DeviceAddress sensorAddresses[] = {
  { 0x28, 0xff, 0xa4, 0x0c, 0x31, 0x18, 0x01, 0xc7 },
  { 0x28, 0xff, 0xcd, 0xfd, 0x30, 0x18, 0x02, 0x01 },
  { 0x28, 0xaa, 0xe5, 0x6b, 0x13, 0x13, 0x01, 0xc8 }
};
```

### 3.5. Alertas y notificaciones enviadas por la aplicación Telegram.

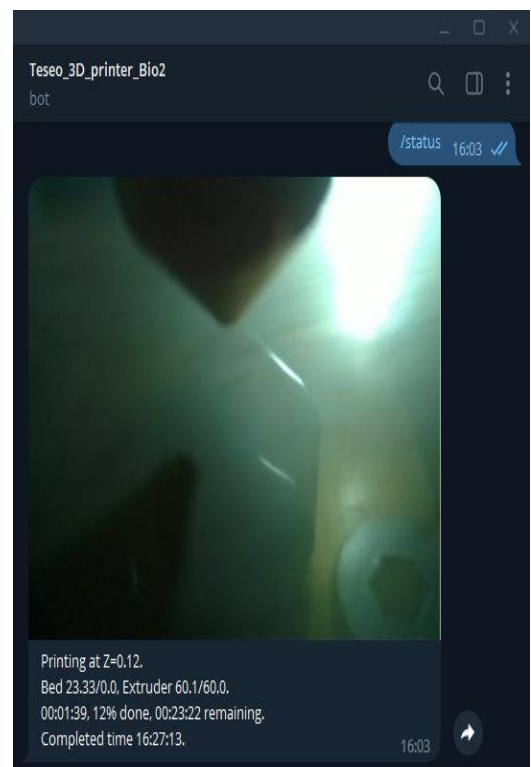
Al utilizar la aplicación Telegram, es posible establecer una conexión con el sistema de control de la impresora 3D, y para enviar mensajes de notificación o alertas en diferentes situaciones mientras el Sistema de Bioimpresión Basado en Extrusión está funcionando. Estos mensajes incluyen notificaciones sobre el estado de la impresora, como si está apagado, encendido, desconectado o conectado, así como la confirmación mensajes una vez completado el código y otra información relevante.

La interacción proporciona retroalimentación en tiempo real, mejorando significativamente el control y proporcionando conocimiento actualizado sobre el estado de la impresora 3D. Estos telegramas

Las notificaciones se muestran en la Figura 7.a) y b), que ilustran la comunicación Interfaz y visualización de los mensajes enviados a través de Telegram.



(a) Alertas Telegram



(b) Mensajes

Fig. 6 Mensajes de la impresora en Telegram

### **3.6. Elementos utilizados en la impresión 3D**

En cuanto a la selección de los componentes de la impresora 3D, se hace un exhaustivo análisis de sus diferentes características, ventajas e inconvenientes, resultando en la elección de los siguientes componentes:

- la placa ESP32 DevKit V4 como controlador auxiliar, debido a su mayor facilidad de conectividad y capacidades de procesamiento rápido con el segundo núcleo, que se expande controla y reduce la probabilidad de fallos o errores del sistema.
- la Raspberry Pi 4, seleccionada por su mayor capacidad de procesamiento y las ventajas del sistema OctoPrint, que permite una monitorización en tiempo real más eficaz
- sin demoras, mejorando la experiencia del usuario.
- y finalmente, la placa BigTreetech mini e3 b3.0, elegida por su compatibilidad, firmware actualizado y mayor escalabilidad, lo que la convierte en la opción ideal para una completa

control de la impresora. Esta placa ofrece un rendimiento óptimo con un bajo consumo de energía, asegurando un funcionamiento eficiente tanto de la impresora como del sistema de extrusión. evitando problemas de conexión o dificultades en la monitorización remota, y contribuyendo a la estabilidad general del sistema.

## **4. Conclusiones**

El desarrollo e implementación de un sistema basado en extrusión de biopolímeros naturales para la bioimpresión de hidrogeles representa un avance significativo en el campo de la ingeniería de tejidos. La combinación de la placa ESP32 DevKit V4, La Raspberry Pi 4 y la placa BigTreetech mini e3 b3.0 proporcionan precisión y

control eficiente sobre el proceso de impresión 3D con conectividad más sencilla, mayor

velocidad de procesamiento debido al segundo núcleo y control y procesamiento ampliados para evitar fallos o errores.

El uso de materiales biocompatibles y sostenibles para la bioimpresión garantiza mayor seguridad y eficacia en la producción de tejidos y estructuras biológicas.

La incorporación de Telegram como interfaz de comunicación ofrece valiosa retroalimentación en tiempo real, lo que permite a los usuarios monitorear el estado de la impresora y recibir alertas relevantes para un monitoreo más efectivo.

La implementación de un sistema basado en extrusión de biopolímeros naturales para bioimpresión de hidrogeles abre nuevas posibilidades para la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa. La adecuada selección de elementos, como la placa ESP32, y la visualización de los datos y parámetros de entrada a través de pantallas o displays proporcionan una mejor comprensión del proceso y facilitan la toma de decisiones en tiempo real.

El uso de materiales biocompatibles y sostenibles contribuye a la seguridad y calidad de los tejidos impresos. En conjunto, la disponibilidad de mejores materiales biocompatibles y las mejoras en las técnicas de bioimpresión representan un progreso importante para el campo de la ingeniería de tejidos, creando nuevas oportunidades para mejorar la calidad de vida y la salud de los pacientes.

El sistema OctoPrint permite un seguimiento más eficaz y en tiempo real sin retrasos.

La placa BigTreeTech mini e3 b3.0, con su compatibilidad, firmware actualizado y escalabilidad, es la mejor opción para un control total de la impresora, ofreciendo bajo consumo energético y alto rendimiento, logrando un funcionamiento óptimo tanto del

sistema de impresión como del sistema de extrusión sin fallas, problemas de conexión o problemas relacionados con el monitoreo remoto.

## **5. Expresiones de Gratitud**

Los Autores agradecen a la Dirección de Investigación y Desarrollo DIDE de la Universidad Técnica de Ambato por su especial ayuda en el desarrollo de esta propuesta, gracias al financiamiento del proyecto “Diseño de una plataforma de comunicaciones para aplicaciones tecnológicas de agricultura de precisión con Drones”.



## **CAPÍTULO III.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **3.1 Conclusiones**

- La integración del sistema de extrusión de biopolímeros naturales en la bioimpresión de hidrogeles para aplicaciones en ingeniería de tejidos representa un avance significativo con prometedoras implicaciones. La combinación de la precisión de la fabricación aditiva con la biocompatibilidad de los biopolímeros ofrece un enfoque holístico para la creación de estructuras tridimensionales que imitan de cerca la microestructura de tejidos naturales.
- La elección estratégica de hidrogeles como sustrato ofrece un entorno biomimético crucial para el desarrollo celular, permitiendo la formación y el crecimiento controlado de tejidos. Este enfoque no solo presenta oportunidades emocionantes en la medicina regenerativa, sino que también destaca por su sostenibilidad al utilizar biopolímeros naturales y biodegradables.
- A medida que avanzamos en esta área, se reconocen los desafíos tecnológicos inherentes, como la mejora de la resolución de impresión y la viabilidad a largo plazo de las estructuras impresas. Abordar estos desafíos permitirá alcanzar un nivel más alto de precisión y funcionalidad en la bioimpresión de tejidos.
- Considerando la expansión de esta tecnología en aplicaciones clínicas, se vislumbra un potencial impacto económico significativo. La creación de tejidos y órganos a medida podría transformar la industria médica, generando oportunidades económicas y redefiniendo los estándares en la atención médica personalizada.

### 3.2 Recomendaciones

- **Investigación Continua:** Se recomienda una investigación continua para perfeccionar la tecnología de extrusión de biopolímeros y la formulación de hidrogeles, buscando optimizar la biocompatibilidad, la estabilidad y la respuesta celular.
- **Colaboración Interdisciplinaria:** Dada la complejidad del tema, se sugiere fomentar la colaboración entre expertos en ingeniería de tejidos, biología celular, y fabricación aditiva para abordar desafíos desde diversas perspectivas y acelerar avances.
- **Validación Clínica:** Para llevar la bioimpresión de hidrogeles con biopolímeros naturales a la práctica clínica, es esencial realizar estudios de validación clínica para garantizar la seguridad y eficacia de las estructuras impresas en entornos biológicos reales.
- **Consideraciones Éticas y Regulatorias:** Ante el potencial impacto en la medicina regenerativa, es crucial abordar consideraciones éticas y regulatorias para garantizar el uso responsable y seguro de esta tecnología, teniendo en cuenta la complejidad de la ingeniería de tejidos y la bioimpresión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Abbass, M.M., El-Rashidy, A.A., Sadek, K.M., Moshy, S.E., Radwan, I.A., Rady, D., D'orfer, C.E., Fawzy El-Sayed, K.M.: Hydrogels and dentin–pulp complex regeneration: from the benchtop to clinical translation. *Polymers* 12(12), 2935 (2020)
- [2]. Adragna, C., Jurczynsyn, S.: Impresión 3D y caracterización de andamios de colágeno extraído de piel porcina para uso biomédico. B.S. thesis, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y . . . (2018)
- [3] César-Juárez, A.A., Olivos-Meza, A., Landa-Solís, C., Cárdenas-Soria, V.H., Silva-Bermúdez, P.S., Suárez Ahedo, C., Olivos Díaz, B., Ibarra-Ponce de León, J.C.: Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3d en medicina. *Revista de la Facultad de Medicina (México)* 61(6), 43–51 (2018)
- [4] Garavito Garzón, D.S., Ibáñez Lozano, M.A., Vergara Muriel, M., et al.: Aplicaciones de la bioimpresión 3d en la regeneración de estructuras de la cavidad bucal. *scoping review* (2021)
- [5] García Villegas, C., Vidarte Pastrana, M.M.: Informe 1. estado del Arte de la bioimpresión 3d Guillemot, F., Souquet, A., Catros, S., Guillotin, B., Lopez, J., Faucon, M., Pippenger, B., Bareille, R., Rémy, M., Bellance, S., et al.: High-throughput laser printing of cells and biomaterials for tissue engineering. *Acta biomaterialia* 6(7), 2494–2500 (2010)
- [6] Keriquel, V., Guillemot, F., Arnault, I., Guillotin, B., Miraux, S., Amédée, J., Fricain, J.C., Catros, S.: In vivo bioprinting for computer-and robotic-assisted medical intervention: preliminary study in mice. *Biofabrication* 2(1), 014101 (2010)
- [7]. LIMA, R.M.R.: Instituto de desarrollo sostenible doctorado en desarrollo sostenible (2019)
- [8] Macas Montaño, C.C., Pilco Llerena, K.J.: Construcción de un modelo de fundición mediante la utilización de tecnología de impresión 3D. B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (2015)
- [9] Madroñal, J.J.R., Hernández, J.R.: Biopolímeros: oportunidades y desafíos para la impresión 3d. *Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros* 123(776), 3 (2022)

- [10]. Patel, G.M., Borah, N., Kumar, G.: Influencia de los avances en ingeniería de tejidos y medicina regenerativa en el progreso y la evolución de la salud. *Salud, Ciencia y Tecnología* 3, 452–452 (2023)
- [11] Pina, S., Ribeiro, V.P., Marques, C.F., Maia, F.R., Silva, T.H., Reis, R.L., Oliveira, J.M.: Scaffolding strategies for tissue engineering and regenerative medicine applications. *Materials* 12(11), 1824 (2019)
- [12]. Schmelzer, C.E., Heinz, A., Troilo, H., Lockhart-Cairns, M.P., Jowitt, T.A., Marchand, M.F., Bidault, L., Bignon, M., Hedtke, T., Barret, A., et al.: Lysyl oxidase–like 2 (lox12)–mediated cross-linking of tropoelastin. *The FASEB Journal* 33(4), 5468 (2019)
- [13]. Shor, L., G'üçeri, S., Chang, R., Gordon, J., Kang, Q., Hartsock, L., An, Y., Sun, W.: Precision extruding deposition (ped) fabrication of polycaprolactone (pcl) scaffolds for bone tissue engineering. *Biofabrication* 1(1), 015003 (2009)
- [14]. Valverde, I.: Impresi'ón tridimensional de modelos cardíacos: aplicaciones en el campo de la educaci'ón m'édica, la cirug'ía cardíaca y el intervencionismo estructural. *Revista espa'ñola de cardiolog'ía* 70(4), 282–291 (2017)
- [15] Yu, Z., Liu, M., Fu, P., Xie, M., Wang, W., Luo, X.: Rock inhibition with y27632 promotes the proliferation and cell cycle progression of cultured astrocyte from spinal cord. *Neurochemistry international* 61(7), 1114–1120 (2012)

## ANEXOS

### Carta de aceptación CSEI 121

**De:** Conference on Computer Science, Electronics and Industrial Engineering <csei@uta.edu.ec>

**Enviado:** Wednesday, September 20, 2023 1:44:06 PM

**Para:** Nuñez Miranda Carlos Israel <ci.nunez@uta.edu.ec>

**Asunto:** [CSEI'2023] Your submission has been accepted!

On behalf of the V CONGRESS OF COMPUTER, ELECTRONIC, AND INDUSTRIAL SCIENCE, I am pleased to inform you that your submission, titled

AN EXTRUSION-BASED SYSTEM OF NATURAL BIOPOLYMERS FOR HYDROGEL BIOPRINTING IN TISSUE ENGINEERING

has been ACCEPTED.

During this week we will email the instructions about how will send by the authors the final version of the article.

It is mandatory that the reviewers' comments are corrected in the final version of the document, otherwise, it will not be published.

We have included the reviewers' feedback at the end of this message.

Congratulations,

Program Committee, CSEI'2023

csei@uta.edu.ec