

Desarrollo de un prototipo para la aplicación de un recubrimiento comestible que permita extender la vida útil del queso fresco campesino de pequeños productores en el municipio de Tunja en el departamento de Boyacá, Colombia.

Brayan Andrés Acevedo Naranjo
Karolina Suikan Sarmiento

Universidad El Bosque
Facultad de ingeniería
Bioingeniería
Bogotá
2023

Desarrollo de un prototipo para la aplicación de un recubrimiento comestible que permita extender la vida útil del queso fresco campesino de pequeños productores en el municipio de Tunja en el departamento de Boyacá, Colombia.

Brayan Andrés Acevedo Naranjo
Karolina Suikan Sarmiento

Proyecto de grado para optar por el título de Bioingeniería

Tutora
Nidia Casas Forero

Universidad El Bosque
Facultad de ingeniería
Bioingeniería
Bogotá
2023

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 6 de noviembre del 2023

DEDICATORIA

*Dedicado a nuestros familiares y profesores
que nos dieron el apoyo y nos acompañaron
durante nuestro proceso de aprendizaje
como bioingenieros.*

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron en nuestra formación como bioingenieros; a nuestros padres, por darnos la oportunidad de sacar adelante la carrera y por su apoyo incondicional, a nuestros profesores por compartir su conocimiento y formarnos como profesionales, en especial a nuestra tutora Nidia Casas Forero por su paciencia, dedicación y esfuerzo a la hora de apoyarnos y guiarnos con nuestro trabajo de grado, a las profesoras Yutdanduly Acuña y Nuri Merchan por apoyarnos en las evaluaciones microbiológicas, a nuestros amigos por estar presentes en el recorrido que hicimos para culminar la carrera con éxito ¡Gracias a todos!.

RESUMEN

La producción del queso desempeña un papel fundamental en el sostenimiento económico, cultural y nutricional en el departamento de Boyacá; donde uno de sus municipios que más se destacan a nivel de elaboración de productos lácteos, es el municipio de Tunja. Estos quesos artesanales son hechos con métodos de elaboración que pasan a través de generaciones y brindan cualidades únicas al producto, el problema es que estos métodos no se encuentran estandarizados por lo que no se puede asegurar que la producción cumpla con los parámetros y normativas establecidas por las entidades encargadas de velar por la inocuidad alimentaria. Por tanto, el objetivo de nuestro trabajo de grado es el desarrollo de un prototipo de aplicación de un recubrimiento comestible que permita extender la vida útil del queso fresco campesino de pequeños productores en el municipio de Tunja en el departamento de Boyacá, Colombia. Para el desarrollo de este trabajo se dividió en tres fases: diseño, construcción y evaluación. En la parte del diseño se definió el recubrimiento comestible a aplicar con el prototipo y se definieron los parámetros que debía cumplir el equipo para este. En la construcción se ensambló el equipo y se probó simulando la operatividad real para verificar su funcionamiento. En la evaluación se obtuvieron resultados asociados al comportamiento fisicoquímico y microbiológico del queso con recubrimiento y sin recubrimiento. Con este proyecto se tiene una alternativa para poder conservar el queso fresco campesino, ya que la aplicación del recubrimiento comestible a este queso con el equipo desarrollado por medio de inmersión, permitió evitar el 94,24% de pérdida de peso asociado al desuerado, reducir los cambios del pH y acidez, brindar una protección al cambio de color los cuales se clasificaron como cambios ligeros, y logró proteger el alimento de la contaminación externa de *Listeria monocytogenes* y por tanto el crecimiento microbiano de aerobios mesófilos, enterobacterias y coliformes; además de incrementar el tiempo de vida útil del queso en dos días.

Palabras clave: Método de aplicación de recubrimiento, recubrimiento comestible, vida útil, queso fresco campesino

ABSTRACT

Cheese production plays a fundamental role in the economic, cultural and nutritional support in the department of Boyacá, where one of the municipalities that stands out the most in the production of dairy products is the municipality of Tunja. These artisanal cheeses are made with elaboration methods that pass-through generations and provide unique qualities to the product. The problem is that these methods are not standardized, so it is not possible to ensure that the production complies with the parameters and regulations established by the entities in charge of food safety. Therefore, the objective of our degree work is the development of a prototype for the application of an edible coating that allows extending the shelf life of fresh cheese from small farmers in the municipality of Tunja in the department of Boyacá, Colombia. The development of this work was divided into three phases: design, construction and evaluation. In the design phase, the edible coating to be applied with the prototype was defined and the parameters to be met by the equipment were defined. In the construction phase, the equipment was assembled and tested by simulating the real operability to verify its performance. The evaluation obtained results associated with the physicochemical and microbiological behavior of the coated and uncoated cheese. This project provides an alternative for the preservation of fresh farmer's cheese, since the application of the edible coating to this cheese with the equipment developed prevented 94.24% of weight loss associated with draining, reduced pH and acidity changes, provided protection against color changes, which were classified as slight changes, and protected the food from external contamination by *Listeria monocytogenes* and therefore the microbial growth of mesophilic aerobes, enterobacteria and coliforms; and increased the shelf life of the cheese by two days.

Key words: Coating application method, edible coating, shelf life, fresh farmer cheese.

CONTENIDO

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2.	OBJETIVOS.....	20
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3.	JUSTIFICACIÓN.....	21
4.	MARCO DE REFERENCIA.....	23
4.1	Marco Teórico.....	23
4.1.1	Queso fresco campesino artesanal	23
4.1.2	Producción del queso fresco artesanal.....	23
4.1.3	Características y propiedades del queso fresco	25
4.1.4	Parámetros de calidad e inocuidad de los quesos frescos	29
4.1.5	Recubrimientos comestibles	30
4.1.6	Propiedades de los recubrimientos comestibles.....	30
4.1.7	Componentes de los recubrimientos comestibles.....	32
4.1.8	Métodos para la elaboración de recubrimientos comestibles.....	34
4.1.9	Tecnologías para la aplicación de recubrimientos en queso.....	35
4.2	Marco geográfico.....	39
4.2.1	Departamento de Boyacá.....	39
4.2.2	Municipio de Tunja.....	40
4.2.3	Productora la cabaña LTDA	40
4.3	Marco legal.....	41
4.4	Estado del arte	42
5.	LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS.....	45
5.1.	Funcional.....	45
5.2.	Calidad	46
5.3.	Restricción.....	46
6.	METODOLOGÍA	47
6.1.	Fase 1: Diseño	47
6.1.1.	Diseño conceptual.....	47
6.1.2.	Diseño preliminar	49
6.1.3.	Diseño detallado	55
6.2.	Fase 2: Construcción.....	58
6.3.	Fase 3: Evaluación	61

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69
7.1. Fase1: Diseño	69
7.1.1. Diseño conceptual.....	69
7.1.2. Diseño preliminar	72
7.1.3. Diseño detallado	101
7.2. Fase 2: Construcción.....	116
7.3. Fase 3: Evaluación	122
8. CONCLUSIONES	135
9. BIBLIOGRAFÍA.....	136
10. ANEXOS	143

LISTADO DE TABLAS

Tabla 4.1. Propiedades del queso fresco campesino	26
Tabla 4.2 Parámetros de calidad del queso no madurado.....	29
Tabla 4.3 Normativa aplicada al desarrollo del prototipo	41
Tabla 6.1. Criterios a evaluar en las matrices de selección de los materiales de construcción	57
Tabla 6.2. Criterios a evaluar en las matrices de selección de los elementos mecánicos y electrónicos.....	58
Tabla 6.3. Clasificación de la diferencia de color dependiendo el valor ΔE^*	64
Tabla 7.1 Revisión bibliográfica para la selección la formulación del recubrimiento comestible.....	69
Tabla 7.2 Matriz de selección.....	72
Tabla 7.3 Resultados de los porcentajes de variación de peso de las muestras de queso ..	84
Tabla 7.4. Resultados obtenidos del grosor y tiempo de secado dependiendo el número de inmersiones del queso en el recubrimiento	91
Tabla 7.5. Matriz para la selección del material de la estructura que sí entrará en contacto con los alimentos (método PUGH)	96
Tabla 7.6. Matriz para la selección del material de la estructura que no entrará en contacto con los alimentos	96
Tabla 7.7. Matriz para la selección del microcontrolador para el funcionamiento electromecánico del prototipo (método PUGH)	97
Tabla 7.8. Matriz para la selección del motor para el funcionamiento electromecánico del prototipo (método PUGH).....	98
Tabla 7.9. Matriz para la selección del driver del motor para el funcionamiento electromecánico del prototipo (método PUGH)	98
Tabla 7.10. Componentes electrónicos escogidos de la matriz Pugh.....	99
Tabla 7.11. Elementos mecánicos escogidos.....	100
Tabla 7.12. Quesos sin RC y con RC evaluados.....	123
Tabla 7.13. Porcentaje de pérdida de peso del queso sin RC y con RC durante el almacenamiento.....	125
Tabla 7.14. Comportamiento en el parámetro de color luminosidad del queso durante el almacenamiento.....	125
Tabla 7.15. Comportamiento en el parámetro de color coordenada a+ del queso durante el almacenamiento.....	126
Tabla 7.16. Comportamiento en el parámetro de color coordenada b+ del queso durante el almacenamiento.....	126

Tabla 7.17. ΔE de los quesos y diferencia percibida sensorialmente durante el almacenamiento.....	127
Tabla 7.18. Comportamiento del queso en los parámetros de pH y porcentaje de acidez.	128
Tabla 7.19. Recuento presuntivo de aerobios mesófilos en el queso fresco campesino incubados a 37°C.....	129
Tabla 7.20. Recuento de coliformes totales en el queso fresco campesino incubados a 37°C	130
Tabla 7.21. Recuento de enterobacterias en el queso fresco campesino incubados a 37°C	131
Tabla 7.22. Presencia o ausencia de <i>Listeria monocytogenes</i> en el queso fresco campesino incubados a 37°C.....	132
Tabla 10.1. Clasificación de los microorganismos visualizados en el medio de cultivo MacConkey.....	166

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1. Árbol del problema	19
Figura 4.1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del queso fresco campesino	24
Figura 4.2 Método de inmersión.....	36
Figura 4.3 Método de aspersión.....	37
Figura 4.4 Método de pulverización	38
Figura 4.5 Ubicación geográfica del departamento de Boyacá.....	39
Figura 4.6 Ubicación geográfica del municipio de Tunja.....	40
Figura 6.1. Esquema de evaluación del recubrimiento aplicado con el prototipo en los quesos frescos campesinos	61
Figura 6.2. Figura de espacio de color CIElab.....	64
Figura 6.3. Diluciones decimales para conteo de microorganismos	67
Figura 7.1. Dip coater.....	71
Figura 7.2. Rotary Dip coater	71
Figura 7.3. Diagrama de flujo para la obtención del recubrimiento comestible bajo las condiciones de la formulación 1	77
Figura 7.4. Diagrama de flujo para la obtención del recubrimiento comestible bajo las condiciones de la formulación 2	78
Figura 7.5. Resultados de los recubrimientos comestibles elaborados por el método de casting	78
Figura 7.6. Resultados del recubrimiento a base de 2g de alginato de sodio elaborado por el método de casting.....	79
Figura 7.7. Resultados del recubrimiento a base de 3g de alginato de sodio	79
Figura 7.8. Resultados del recubrimiento a base de almidón de achira.....	80
Figura 7.9. Muestra control del queso sin recubrir	81
Figura 7.10. Queso recubierto con almidón de achira con aceite	82
Figura 7.11. Queso recubierto con almidón de achira sin aceite	82
Figura 7.12. Queso recubierto con alginato de sodio con aceite	83
Figura 7.13 Queso recubierto con alginato de sodio sin aceite.....	83
Figura 7.14. Queso sin recubrimiento, con RC1 y RC2 en el día 7	85
Figura 7.15. Grafica de dispersión para la viscosidad	86
Figura 7.16. Quesos con colorante para analizar homogeneidad y grosor de la capa de RC	91
Figura 7.17. Queso con 2 inmersiones y queso con 3 inmersiones.....	92
Figura 7.18. Queso cortado a la mitad con 2 y 3 inmersiones	92

Figura 7.19. Diseño del plano preliminar sin detalles.....	93
Figura 7.20. Queso fresco seleccionado de la ciudad de Tunja-Boyacá.....	94
Figura 7.21. Pieza lateral de la cabina superior.....	102
Figura 7.22. Pieza anterior de la cabina superior.	102
Figura 7.23. Pieza superior de la cabina	103
Figura 7.24. Base de la cabina superior	103
Figura 7.25. Base para la ubicación del motor	104
Figura 7.26. Pieza lateral de la cabina del motor.....	105
Figura 7.27. Pieza de encaje lateral para la cabina del motor	105
Figura 7.28 Acople para el funcionamiento de inmersión	106
Figura 7.29. Malla del sistema para la ubicación del alimento.	107
Figura 7.30. Recipiente de la solución del recubrimiento.....	107
Figura 7.31. Base para el recipiente de la solución del recubrimiento	108
Figura 7.32. Caja de control del sistema electrónico del dispositivo.	108
Figura 7.33. Diseño tridimensional vista posterior	109
Figura 7.34. Diseño tridimensional vista superior	110
Figura 7.35. Diseño tridimensional vista lateral	110
Figura 7.36 Simulación electrónica realizada en proteus.....	111
Figura 7.37. Flujograma del código programado	113
Figura 7.38. Diseño de la PCB	115
Figura 7.39. Diseño tridimensional del circuito	115
Figura 7.40. Piezas de acrílico y elementos mecánicos.	117
Figura 7.41. Ensamblado de piezas y piezas mecánicas	117
Figura 7.42. Finalización del ensamblado piezas y elementos mecánicos	118
Figura 7.43. Pruebas de funcionamiento del sistema electromecánico	119
Figura 7.44. Circuito soldado y ensamblado a los demás componentes electrónicos en la caja de control.....	119
Figura 7.45. Construcción completa del prototipo	120
Figura 7.46. Materia prima evaluada el día 0	122

LISTADO DE ANEXOS

10.1. Código en txt.....	143
10.2. Video del funcionamiento	156
10.3. Protocolo de pruebas	156
10.4. Manual de usuario.....	159
10.5. Obtención de la bacteria <i>Listeria monocytogenes</i>	163
10.6. Medios de cultivo	164

INTRODUCCIÓN

El queso fresco campesino es un producto emblemático de la gastronomía colombiana, especialmente en el departamento de Boyacá. Sin embargo, las pequeñas productoras de este alimento se enfrentan al desafío que existe con respecto a la corta vida útil del queso, lo que conduce a pérdidas económicas y desperdicio del alimento, impactando así negativamente en la sostenibilidad de las pequeñas productoras. Para esta problemática se han brindado soluciones como lo son los recubrimientos comestibles, pero estos solo quedan en ideas y no se busca la forma de cómo los pequeños productores pueden implementar estos nuevos métodos para poder conservar sus productos.

Considerando aspectos como la seguridad alimentaria, la problemática a solucionar, la aceptabilidad del producto final y la viabilidad económica; se busca abordar esta problemática mediante el desarrollo de un prototipo que permita aplicar un recubrimiento comestible para así extender la vida útil del queso fresco campesino de estas pequeñas productoras, pudiendo así brindar un beneficio para el ámbito de la disminución de pérdidas, reducción de costos por desperdicio, menor dependencia del uso de conservantes químicos, disminución de la probabilidad de que los consumidores contraigan enfermedades de transmisión alimentaria, fortalecer el mercado de estos pequeños productores y contribuir a la preservación de un alimento tradicional de la región.

Para poder desarrollar este trabajo de grado se lleva a cabo el diseño y desarrollo del prototipo en 3 fases; la primera fase es el diseño del prototipo, donde esta se divide en 3 etapas que son: el diseño conceptual, diseño preliminar y diseño detallado, en la primera etapa se realiza una revisión bibliográfica con el fin de definir las formulaciones de recubrimientos que más se adaptan para cumplir los requerimientos de los objetivos propuestos del trabajo; para la segunda etapa se realiza una matriz de decisión con el fin de filtrar las formulaciones elegidas de la etapa 1 y así poder escoger las dos mejores para posteriormente realizar ensayos de elaboración del recubrimiento por el método de casting con el fin de evaluar el comportamiento del

recubrimiento y bajo esto realizar pruebas de concepto aplicadas en el queso para así evaluar el comportamiento de este alimento bajo 7 días y poder escoger el recubrimiento que mejor resultados brindó; para la tercera etapa de diseño se realizan los planos estructurales del prototipo teniendo en cuenta las dimensiones del queso, también se realiza el diseño electrónico y se escogen los materiales de construcción del prototipo por medio de una matriz de decisión. A partir de estas etapas se realiza la construcción del prototipo y se hacen pruebas de funcionamiento del prototipo a la hora de aplicar el queso, además de ajustes de la velocidad de inmersión y extracción. Por último se evalúa el comportamiento reológico y microbiológico del alimento con el recubrimiento, donde se obtiene como resultado que el recubrimiento aplicado con el prototipo logra evitar la contaminación externa de *Listeria monocytogenes*, enterobacterias, aerobios mesófilos y coliformes totales donde para esta última se presenta una reducción del crecimiento microbiano; además mantiene la calidad visual del producto con respecto al color, la pérdida de peso es 3 veces menor y el porcentaje de liberación de ácido láctico es menor en comparación al queso sin recubrimiento, por este motivo el recubrimiento aplicado con el prototipo logra alargar la vida útil del queso fresco campesino en un 20%.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, el departamento de Boyacá es conocido como uno de los más importantes productores y comercializadores de queso artesanal. Esta industria se encarga de generar empleos a lo largo de la cadena agroindustrial de los lácteos, convirtiéndola en un pilar económico importante para el sostenimiento de los hogares queseros (Paredes-Maas, 2019). A nivel cultural, el queso fresco artesanal tiene una gran importancia en el departamento, debido a que constituye una referencia identitaria que incluye las características de la región en donde se produce, el tipo de ganado que provee la materia prima y los métodos de producción utilizados en la fabricación del queso, este proceso lo convierte en un elemento único y genuino que brinda sostenibilidad para la población que los produce, consume y comercializa (Cervantes, 2021).

El problema radica en los métodos artesanales utilizados para generar características sensoriales únicas al queso, que son los causantes de aumentar las probabilidades de que se encuentre sujeto a la adhesión de microorganismos patógenos como la *Salmonella* y la *Listeria Monocytogenes*, conocidas por provocar diversas enfermedades y ocasionar daños a la salud de los consumidores, además del deterioro de la calidad del producto (Brunser, 2013).

Estas bacterias son consideradas como un riesgo de salud pública debido a los efectos que produce en el consumidor como lo son la diarrea, fiebre, dolores musculares, vómitos y en casos más extremos se extiende hasta el sistema nervioso causando pérdida de equilibrio y convulsiones (Rodríguez, 2018); a raíz de esto se encuentran clasificadas como enfermedades transmitidas por alimentos (ETAS), donde la cantidad de casos informados por el departamento de Boyacá a causa de estas ETAS sugiere que el queso artesanal es un vector importante para la transmisión de patógenos adquiridos por contaminación de la materia prima, condiciones ambientales y condiciones deficientes de almacenamiento y transporte; además, Merchan et al. (2019) en su estudio de la inocuidad microbiológica de quesos artesanales en el municipio de Tunja, señala que el queso fresco campesino es un transmisor de ETAS, siendo la *Salmonella* y *Listeria Monocytogenes* las

bacterias predominantes, donde esta última cuenta con un porcentaje de presencia del 3.6%.

La *Listeria Monocytogenes* está clasificada según el Ministerio de salud como una enfermedad alimentaria de alto riesgo, siendo causante de 11 brotes a nivel global, dando como resultado 545 casos de Listeriosis asociada al consumo de quesos, con tasas de mortalidad entre el 14% y 30% y de hospitalización que llegan hasta el 100%; sin contar que la presencia de estas en los quesos se encargan de reducir su vida útil a causa de la alteración de sus características organolépticas, convirtiéndolo en un alimento no apto para el consumo humano.

Se han realizado distintos estudios dirigidos al diseño de estrategias para la inhibición de microorganismos como son los empaques y recubrimientos comestibles a base de materiales que no afectan la calidad del producto; a pesar de que se han realizado diversas investigaciones y de la variedad existente de materiales recomendados para los recubrimientos, se encuentra una limitación de dispositivos o prototipos de aplicación de recubrimientos, ya que estos estudios solo se limitan a realizar pruebas de laboratorio para la verificación del funcionamiento del recubrimiento para inhibir la bacteria, más no se enfocan en cómo los usuarios, en este caso los productores de queso artesanales, pueden aplicar estos recubrimientos sin tener que conocer las técnicas y hacer uso de los equipos sofisticados que se utilizan en estos estudios a nivel de laboratorio o de métodos sencillos, como la inmersión, que no son de fácil aplicación a nivel de una producción industrial.

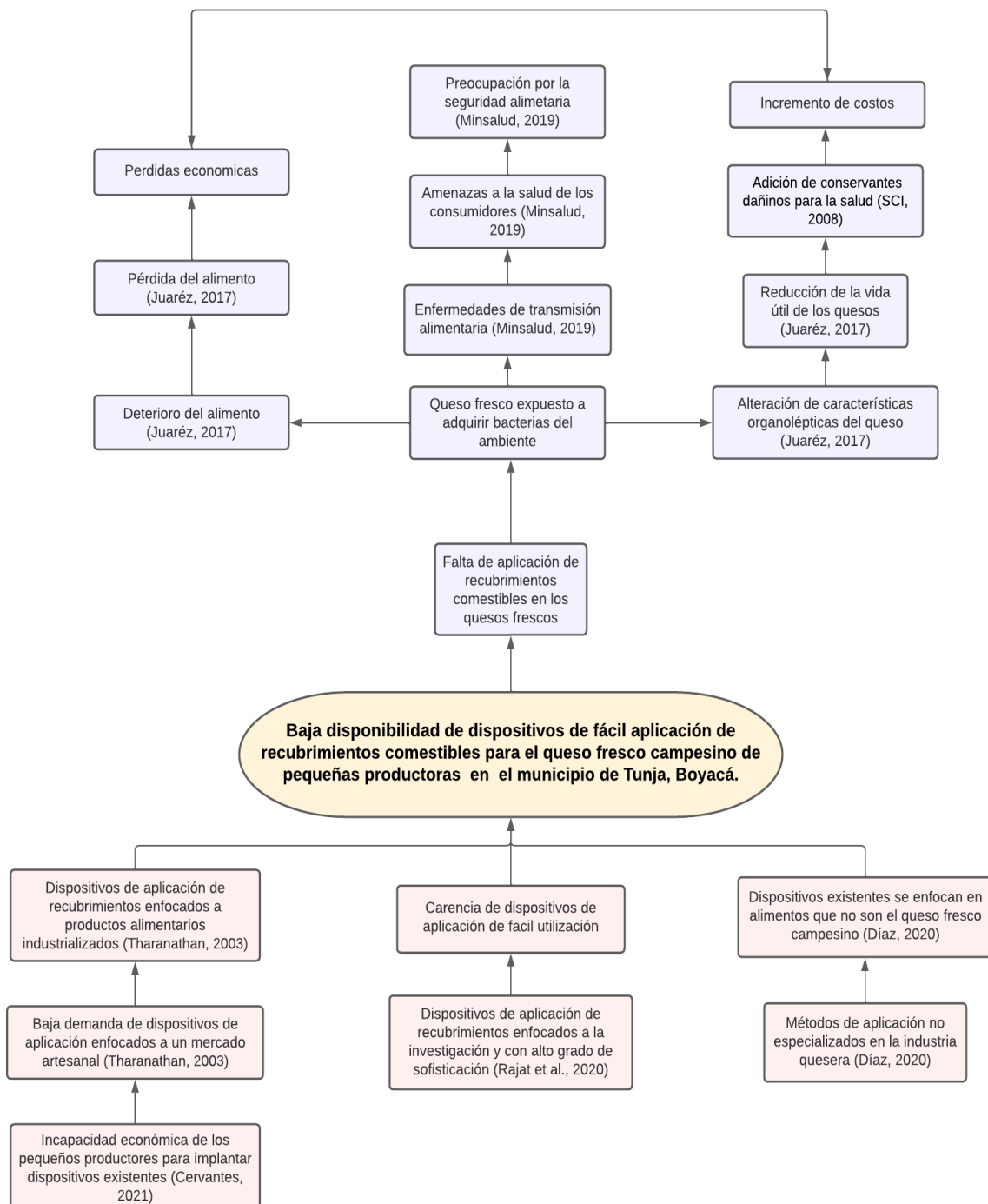


Figura 1.1. Árbol del problema

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo para la aplicación de recubrimientos comestibles que permita extender la vida útil del queso fresco campesino de pequeños productores en el municipio de Tunja, Boyacá.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un prototipo para la aplicación de recubrimientos comestibles en queso fresco campesino, basado en los requerimientos y condiciones establecidas por la literatura.
- Construir un prototipo que permita la aplicación del recubrimiento comestible de forma homogénea en el queso fresco campesino.
- Evaluar el comportamiento del queso fresco campesino con el recubrimiento comestible en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante el almacenamiento bajo condiciones de refrigeración.

3. JUSTIFICACIÓN

La *Listeria monocytogenes* es una bacteria que se desarrolla intracelularmente en alimentos contaminados (OMS, 2018); este bacilo presenta características como la capacidad de producir biofilm (crecimiento de bacterias) en alimentos, crecer a temperaturas de refrigeración, resistir condiciones adversas de pH y altas concentraciones de NaCl (Sociedad Chilena de Infectología, 2008). La *Listeria monocytogenes* es causante de la listeriosis, la cual se destaca por ser una infección clasificada como una ETA de alto riesgo debido a su tasa de mortalidad y hospitalización. Estudios han demostrado que esta clase de bacilo aparte de ser la causante de la listeriosis, también reduce la vida útil del queso alterando las características organolépticas de este, convirtiéndose en un alimento no apto para el consumo humano (SCI, 2008). Esta bacteria ha sido causante de 11 brotes a nivel global, dando como resultado 545 casos de Listeriosis asociada al consumo de quesos, con tasas de mortalidad entre el 14% y 30% y de hospitalización que llegan hasta el 100%. La demanda de alimentos sanos y seguros ha llevado a potenciar la búsqueda de alternativas como lo son el uso de aditivos químicos de síntesis, convirtiendo la adición de conservantes en una práctica muy popular en la industria quesera, los cuales no previenen las enfermedades por transmisión alimentaria y ocasionan afectaciones en la salud del consumidor.

En 2010, en Colombia se realizó un reporte de 3.700 muestras de queso, de las cuales el 18.78 % resultaron positivas para *Listeria monocytogenes* y donde el 94% de las muestras de quesos corresponden a queso fresco campesino.

Teniendo en cuenta las consecuencias del consumo de alimentos insalubres, se han realizado diversos estudios sobre recubrimientos comestibles a base de materiales especializados en la inhibición de microorganismos y protección de la calidad del producto (cabe destacar que estos métodos estudiados han tenido resultados satisfactorios); por ende se registra en la literatura distintos materiales y compuestos aptos para la aplicación de recubrimientos que tengan la capacidad de inhibir la *Listeria monocytogenes* y extender la vida útil del queso fresco artesanal, pero no se conocen dispositivos que el usuario pueda adquirir para aplicar el recubrimiento de una forma operacionalmente simple, rentable y de fácil accesibilidad, donde no requieran los equipos sofisticados que se utilizan en estos estudios a nivel de

laboratorio o de métodos sencillos, como la inmersión, ya que no son de fácil aplicación a nivel de una producción industrial.

Conociendo las consecuencias de consumir alimentos contaminados por la bacteria *Listeria monocytogenes* y que se han generado reportes de la presencia de esta en los quesos campesinos de productoras pequeñas en la ciudad de Tunja, este proyecto de grado propone como alternativa de solución el desarrollo de un prototipo para la aplicación de recubrimientos comestibles que inhiban la presencia de esta bacteria, para así extender la vida útil del queso fresco campesino, ofreciendo a los pequeños productores del municipio de Tunja herramientas que les permitan mejorar sus procesos de producción sin afectar la calidad y las características propias del producto de esta región.

Por lo tanto, es posible desarrollar una solución que responda a las necesidades existentes, partiendo del área focal del bioingeniero en el tema de seguridad alimentaria, donde se analiza la problemática que viven las pequeñas productoras artesanales de queso en la etapa final del proceso de producción de este alimento. Para desarrollar esta solución se emplean conocimientos de disciplinas como electrónica, modelado y biología para desarrollar un dispositivo que permita aplicar recubrimientos comestibles en los quesos frescos con el fin de extender la vida útil de los quesos frescos artesanales de los pequeños productores de Tunja. Dado que existen pocos antecedentes relacionados a este tipo de proyectos en el municipio de Tunja, se espera brindar una contribución desde la Bioingeniería a través de un prototipo que provea una alternativa para los pequeños productores de queso fresco campesino artesanal.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 Marco Teórico

4.1.1 Queso fresco campesino artesanal

Es un tipo de queso blando no ácido; por ende, conserva la mayor parte del suero y no se le aplica un proceso de maduración. Este producto lácteo tiene una cantidad de humedad muy alta, la cual se encuentra en un porcentaje entre el 60 y 80% de agua, convirtiéndose en un queso de corta vida útil. Por tanto, es necesario un proceso de pasteurización a la leche debido al riesgo de que las bacterias patógenas queden en el producto después de elaborado, además se debe tener en cuenta que este es un queso que normalmente se consume crudo aumentando el riesgo de adquirir una enfermedad por este tipo de bacterias (Muñoz, 2012).

4.1.2 Producción del queso fresco artesanal

La elaboración del queso fresco artesanal conlleva una serie de pasos como se muestra en la figura 4.1.

A continuación, se hace una breve descripción de los procesos de elaboración del queso fresco, donde también establecen los valores adecuados que deben tener ciertos componentes o procesos para brindar un producto de calidad.

- *Recepción:* La leche utilizada debe cumplir con las normas de calidad; esta se pesa para determinar la cantidad a utilizar para el proceso, posteriormente se filtra a través de una tela fina para eliminar los cuerpos extraños.
- *Análisis:* En esta etapa se sugiere hacer pruebas de acidez, antibióticos, porcentaje de grasa y análisis organoléptico (sabor, olor, color), con el fin de determinar que la acidez de la leche sea la óptima (16 y 18 grados Dornic).
- *Pasteurización:* Se agrega Cloruro de Calcio (proporción 0.02 - 0.03%) a la leche que se va a procesar, posteriormente esta se calienta a una temperatura

de 65°C por 30 minutos, con el fin de eliminar microorganismos patógenos y mantener las propiedades nutricionales de la leche.

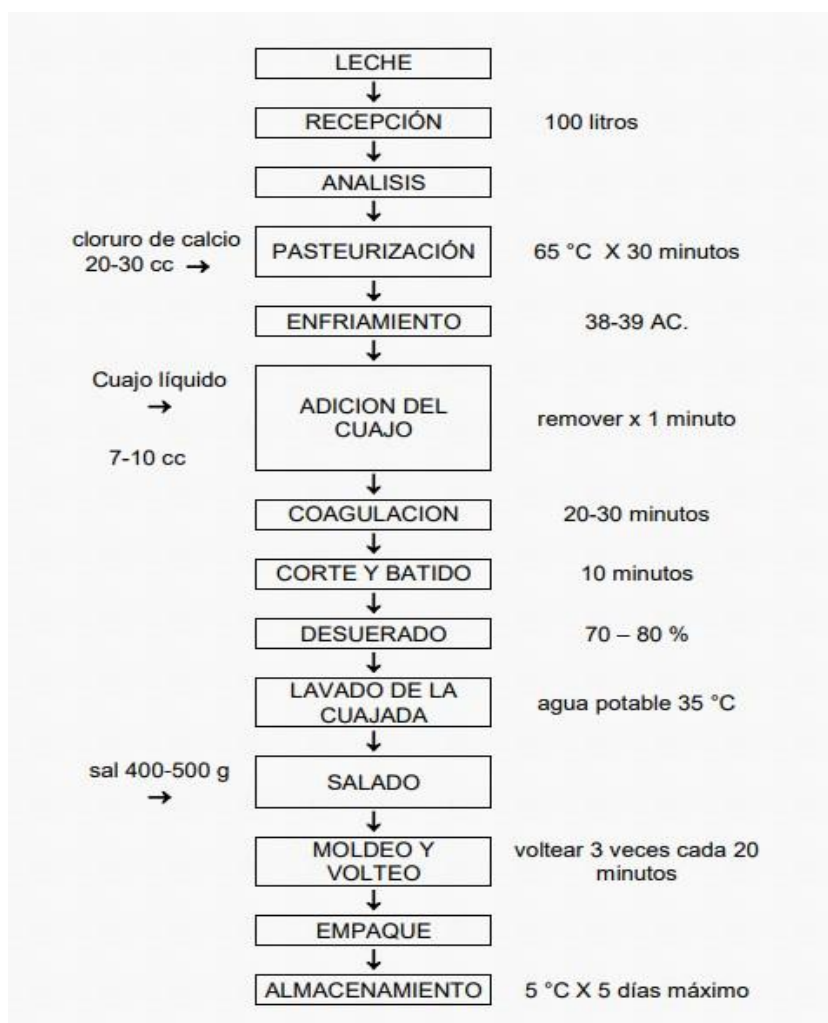


Figura 4.1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del queso fresco campesino (FAO, 2016).

- *Enfriamiento*: La leche pasteurizada se enfría a una temperatura de 37 - 39 °C, con agua fría o con sacos con hielo.
- *Adición del cultivo láctico*: Se agrega cultivo láctico (bacterias seleccionadas y reproducidas) a la leche pasteurizada a razón de 0.3%

- *Adición del cuajo:* Normalmente se añaden entre 7-10 mililitros de cuajo líquido o 2 pastillas para 100 litros de leche (depende el productor). Se agita la mezcla y luego se deja reposar para producir el cuajado.
- *Corte y batido:* Una vez se obtiene la cuajada ésta se corta en cuadros pequeños para dejar salir la mayor cantidad de suero posible; para mejorar la salida del suero se recomienda batir la cuajada.
- *Desuerado:* Consiste en separar el suero por medio de un colador. La cantidad óptima que se debe separar oscila entre el 70 y el 80% del suero.
- *Lavado de la cuajada:* La cuajada se lava para eliminar residuos de suero e inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos.
- *Salado:* Se adiciona sal fina y se revuelve.
- *Moldeo y volteo:* Los moldes se cubren con la cuajada, para luego dejarlos reposar por 3 horas, después de que se cumple este tiempo se sacan los moldes y se guarda el queso en refrigeración.
- *Empaque:* Se recomienda empacar el queso en un empaque plástico que no permita el paso de humedad.
- *Almacenamiento:* Debe refrigerarse para evitar el crecimiento microbiano y mantener el queso fresco en todo momento. El tiempo de almacenamiento no debe exceder los 5 días.

4.1.3 Características y propiedades del queso fresco

El queso es un alimento con abundancia de vitaminas A y D, las cuales son esenciales para el proceso de absorción del calcio en el cuerpo permitiendo mantener huesos y dientes sanos. El queso también es rico en vitaminas del complejo B, especialmente B12, B9 (ácido fólico), B1 (tiamina) o B2 (riboflavina) (Fundación Caser ,2021). A continuación, en la tabla 4.1 se muestra la composición nutricional del queso fresco:

Tabla 4.1. Propiedades del queso fresco campesino

Componente	Valor
Humedad (%)	46 - 57
Grasa (%)	18 - 29
Proteína (%)	17 - 21
Valor nutrimental (kcal/100g)	255 $\pm$ 37

Fuente: (Hekken et al., 2003)

- **Propiedades texturales y reológicas**

El queso fresco es un alimento viscoelástico; por lo cual presenta un comportamiento viscoelástico que poseen los materiales que presentan propiedades viscosas como propiedades elásticas cuando se deforman. Esta propiedad se determina por medio de métodos como el de compresión uniaxial a velocidad constante, relajación y creep y análisis de perfil de textura (Ramírez et al., 2012). Los parámetros texturales de este tipo de queso son:

- Dureza: 17-33 mJ
- Masticabilidad: 19 - 21 KPa
- Rigidez: 19 - 28 N
- Fundibilidad: 1.0 - 1.4 N

- **Factores que alteran las propiedades del queso fresco**

Independientemente de la fuente de obtención de la leche, las propiedades físicas del queso están determinadas por la interacción de las moléculas de caseína. Algunos de los factores que influyen en esta interacción varían según el tipo de queso, la madurez, su composición química (especialmente el contenido de caseína y la distribución de humedad y grasa), la salinidad, el pH y la acidez, y ciertas condiciones ambientales como la temperatura (Johnson et al, 2011).

- *Cambios bioquímicos y propiedades fisicoquímicas:* Existen dos fenómenos responsables de controlar la dureza del queso. El primero es el efecto de diversas enzimas proteolíticas sobre la matriz proteica, principalmente sobre la κ -caseína, lo que deriva en la disminución de la firmeza, generando cambios en ciertas propiedades como el color, la elasticidad y textura. El segundo es el efecto de pérdida de humedad, que al provocar una disminución de la hidratación de las proteínas se traduce en un crecimiento de la rigidez de la matriz proteica (Lucey, 2003). En la estructura de los quesos, la grasa se distribuye en la matriz proteica como material de relleno, por lo que si aumenta el contenido de grasa, el queso presentará menor dureza y mayor elasticidad, pero a medida que disminuya el contenido de grasa se obtendrán quesos más duros y rígidos (Theophilou et al., 2007).

También se tiene conocimiento de cómo el pH es uno de los principales factores que afecta las propiedades texturales del queso, debido a su incidencia en la red proteica. Los valores de pH cercanos al punto isoeléctrico crean fuertes fuerzas iónicas e hidrofóbicas que forman la densa red de caseína característica de los quesos duros, mientras que a valores de pH más altos la caseína se carga negativamente, creando una repulsión entre los agregados proteicos, dando como resultado un queso con mayor humedad, más elástico y menos denso. En los quesos frescos, elevados niveles de humedad y el bajo pH, son condiciones que inciden directamente en la textura y sabor durante el almacenamiento, por lo que una proteólisis excesiva puede causar defectos como textura blanda y amargor (Ramírez et al., 2012).

Además de su papel en el sabor y la conservación del queso, la alta concentración de sal reduce la actividad de las enzimas proteolíticas y aumenta la formación de agua en la red proteica de la cuajada (sinéresis), lo que reduce la humedad y aumenta la dureza del queso. La acidez del queso es otro factor que afecta el sabor, y también directamente los cambios en la red de proteínas del queso (cuajada), que está directamente relacionada con la sinéresis (es decir, mayor acidez) y finalmente con la textura. Además de la acidez, la sinéresis también se ve afectada por el entorno del proceso de producción y la

presencia del calcio libre, lo que hace que la caseína se una a la red de proteínas de la cuajada (Lucey, 2003).

- *Condiciones de proceso:* Aunque la constitución del queso es importante para las propiedades de textura; otros aspectos, como la tecnología aplicada, la adición de cultivos iniciadores y las condiciones de maduración son más determinantes para dar su identidad y la aceptación al Queso. El proceso que se realiza para este tipo de quesos es el de tratamiento térmico o pasteurización, este puede inducir una ligera desnaturalización de las proteínas séricas (S1 y -caseína) y ligeros cambios en la capacidad de coagulación de la leche, también puede reducir de manera significativa los aminoácidos libres y péptidos de cadena pequeña, que figuran como precursores de aromas y sabores en el queso resultando en una producción de quesos con mayor contenido de humedad en comparación con los tratados con Leche sin pasteurizar (Ramírez et al., 2012).
- *Alteraciones causadas por microorganismos:* Las propiedades físicas del queso pueden verse afectadas por procesos bioquímicos como la hidrólisis de proteínas y la descomposición de grasas. Las enzimas implicadas en estos procesos están presentes en el cuajo, en leche, o son producidas por microorganismos. Además de metabolizar la lactosa, algunos microorganismos utilizados como iniciadores pueden producir y liberar otros compuestos en el queso que aumentan la retención de humedad y grasa en la matriz del queso. El mecanismo inicial por el cual los cultivos iniciadores influyen en la textura, reología y propiedades funcionales del queso es su capacidad para generar acidez que, como se mencionó anteriormente, influye en la red proteica y su capacidad de retención de agua. Un aumento en el volumen de humedad da como resultado una textura más suave, menor dureza, mayor capacidad de fusión y alteraciones en las características organolépticas (Ramírez et al., 2012).
- *Otros factores:* Varios estudios han demostrado que cambiar la alimentación de los animales lactantes puede cambiar la composición de la leche y, por lo

tanto, causar cambios leves a moderados en las características reológicas y de textura del queso.

Finalmente, la oxidación de la grasa del queso es otro fenómeno que ocurre en el queso. En el queso fresco, la exposición a la luz es una de las principales causas de oxidación, desarrollo de sabores y aromas atípicos (desagradables) y cambio de color (Álvarez,2003)

4.1.4 Parámetros de calidad e inocuidad de los quesos frescos

Para garantizar la calidad e inocuidad en la preparación de quesos frescos, la normatividad colombiana (resolución 2310 de 1986) establece parámetros de calidad mínimos que se deben considerar a la hora de su procesamiento y comercialización (tabla 2).

Tabla 4.2 Parámetros de calidad del queso no madurado

Parámetros Físicoquímicos		Parámetros Microbiológicos		Parámetros Sensoriales	
Humedad (%)	57 - 78	<i>Escherichia coli</i>	< 10 UFC/g	Color	Blanco-amarillento
Grasa (%)	3 - 6	<i>Staphylococcus aureus</i>	10 ³ UFC/g	Olor	Características a leche
Proteína (%)	17 - 21	<i>Listeria Monocytogenes</i> ssp/25g	Ausencia	Sabor	Características leche-Notas saladas
pH	5 - 6,4	<i>Salmonella</i> ssp/25g	Ausencia	Textura	Lisa

Fuente: (Juárez, 2017)

Estos parámetros de calidad se establecen para evitar la alteración en las propiedades físicas y químicas del alimento, ya que estas son las responsables de los cambios de las características organolépticas y producción de compuestos orgánicos volátiles. Estas alteraciones pueden generar condiciones para el desarrollo

de microorganismos como por ejemplo la *Listeria Monocytogenes*, la cual es una bacteria patógena causante de la enfermedad de transmisión alimentaria listeriosis que se cataloga como una infección que posee una tasa de mortalidad entre el 14 al 30%.

4.1.5 Recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles se derivan de polímeros biodegradables que no presentan agentes tóxicos; son utilizados en la industria alimentaria, como materiales de envoltura que presentan características para poder ser consumidos por el usuario junto con el alimento, esto con el fin de mejorar o preservar la calidad del producto durante su almacenamiento. Los recubrimientos son aplicados generalmente por el método de inmersión en el cual se sumerge el alimento en una solución formadora del recubrimiento para preservar la calidad y servir como empaque. Estas soluciones formadoras del recubrimiento se encuentran conformadas por un polisacárido, un compuesto proteico, un compuesto lipídico o por un compuesto que contenga la mezcla de éstos. A pesar de las diferencias de los compuestos utilizados, estos funcionan como una barrera protectora frente a diferentes compuestos y microorganismos que interactúan con el alimento. La aplicación de estos recubrimientos tiene como objetivo prolongar la vida útil de los alimentos y brindar oportunidades de mejora en el ámbito de seguridad del producto al limitar la transferencia de humedad, oxígeno y compuestos responsables del sabor, el color y el aroma; donde en la actualidad desempeñan un papel fundamental en la industria alimentaria, demostrando su eficacia en la conservación alimentos, mediante el control de sus características sensoriales (Bautista et al., 2015).

4.1.6 Propiedades de los recubrimientos comestibles

Los recubrimientos y películas deben tener parámetros funcionales que permitan controlar o reducir las causas de las alteraciones de los alimentos que se quieren recubrir (Bautista et al., 2015). Las principales propiedades son:

- *Propiedades de barrera:* La característica funcional más importante de los recubrimientos comestibles es la resistencia a la migración de humedad, debido a que la deshidratación superficial es uno de los mayores problemas para mantener la calidad del producto. Esta pérdida de humedad ocasiona

reducciones de peso y turgor conduciendo a una disminución de la calidad del producto durante su comercialización. Los recubrimientos que poseen mejores propiedades de barrera son aquellos que tienen componentes hidrofóbicos como por ejemplo los lípidos; estos se incorporan en la solución formadora con los polímeros naturales formando así una cobertura doble capa sobre el alimento, ayudando a la prevención de la degradación del tejido a consecuencia de la disminución de humedad. De esta forma se formulan recubrimientos comestibles que combinen componentes hidrocoloides y componentes lipídicos para generar barreras que brindan soporte estructural, controla la migración de vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono (Martín et al., 2006).

- *Propiedades mecánicas:* Las propiedades mecánicas de los recubrimientos comestibles dependen de la composición y estructura de los materiales utilizados en su producción, especialmente de la capacidad que tiene el polímero para formar puentes moleculares estables; es decir, el grado de cohesión. El recubrimiento genera dos fuerzas; la primera es de cohesión entre las moléculas del recubrimiento, y la segunda es la adhesión entre el alimento y el recubrimiento. Estas propiedades conllevan a que la elección de las sustancias utilizadas dependa completamente de la función que se le quiera dar al recubrimiento comestible, el tipo de alimento para el cual va destinado y el método de aplicación (Martín et al., 2006).
- *Transporte de aditivos:* El transporte de aditivos es una propiedad que permite la mejora de la calidad del alimento, ya sea de forma nutricional o estética; este se caracteriza por la conservación y transporte de antioxidantes, agentes antibacterianos, estabilizantes de colorantes, textura, saborizantes, compuestos funcionales y funcionales. Actualmente, la adición de agentes antimicrobianos se considera una tecnología bastante innovadora en el campo de inocuidad alimentaria y alargamiento de la vida útil; Los principales agentes antimicrobianos que se encuentran en los recubrimientos comestibles son el ácido sórbico, los ácidos, las bacteriocinas, las lisozimas y los aceites esenciales. (Martín et al., 2006).

4.1.7 Componentes de los recubrimientos comestibles

Para elaborar un recubrimiento comestible se requiere una solución que genere cohesión suficiente para formar una matriz estructural; es por esto que se recomienda combinar polisacáridos, proteínas y lípidos. Otros componentes importantes de los recubrimientos son los plastificantes y emulsificantes; estos se usan con la finalidad de brindar elongación y flexibilidad al material de las sustancias poliméricas. Por último, también se utilizan antioxidantes, antimicrobianos y reafirmantes de textura para mejorar la cobertura del alimento (Rhim, 2004).

- **Recubrimientos comestibles basados en polisacáridos**

Los recubrimientos de polisacáridos, junto con las proteínas que contiene la leche, se han utilizado a menudo para recubrir el queso debido a propiedades mecánicas como la adhesión y maleabilidad en la superficie del producto, y propiedades de barrera contra sustancias gaseosas. Los polisacáridos más utilizados son el almidón, la celulosa y sus derivados, los alginatos, los quitosanos, las pectinas y las gomas. A nivel molecular, los polisacáridos difieren en peso molecular, grado de ramificación, forma, carga eléctrica e hidrofobicidad, donde los cambios en estas propiedades moleculares determinan cambios en la eficiencia de recubrimiento de varios polisacáridos. En general, los recubrimientos de polisacáridos funcionan muy bien como barreras de gas, pero son muy hidrofílicos ocasionando que su barrera sea deficiente con respecto a la permeabilidad al vapor de agua. Para estos recubrimientos se recomienda la incorporación de otros componentes como lo son los lípidos, ya que este genera una cobertura hidrofóbica que mejorará las propiedades de barrera contra el vapor del agua (Cano, 2021). Los polisacáridos utilizados para recubrimientos comestibles para quesos son el quitosano, almidón y alginato de sodio.

- **Recubrimientos comestibles basados en proteínas**

Los polímeros naturales más utilizados para la elaboración de recubrimientos de queso son las proteínas; estas pueden ser de origen animal (caseína, proteínas de suero) o vegetal (zeína de maíz, gluten de trigo y proteína de soja) y tienen una amplia

gama de sustancias que dependiendo de su origen cambian sus propiedades moleculares. Por lo tanto, las proteínas difieren en términos de su peso molecular, estructura, electronegatividad y estabilidad, donde la diferencia entre estas propiedades establece las características que tendrá el recubrimiento. Estos recubrimientos presentan desventajas frente a la resistencia al vapor de agua debido a que no son hidrófobos, pero estos sí presentan buenas propiedades de barrera contra sustancias gaseosas (Cano,2021). Las proteínas utilizadas para recubrimientos comestibles para quesos son la caseína y la proteína de suero.

- **Recubrimientos comestibles basados en lípidos**

Estos recubrimientos presentan propiedades hidrofóbicas, permitiendo que actúen como buenas barreras para la pérdida de humedad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los lípidos no pueden interconectarse de forma independiente ya que su resistencia mecánica es muy baja. Por lo tanto, es necesario incluir en el sustrato de este tipo de recubrimientos otros compuestos como proteínas y polisacáridos para así reducir la permeabilidad al agua (Fernández entré., 2020).

- **Plastificante**

Los plastificantes permiten la mejora de las propiedades mecánicas y de barrera de los recubrimientos. Algunos tipos de plastificantes son el glicerol, miel de abeja, fosfolípidos, sorbitol, polietilenglicol, glucosa, surfactantes, monoglicéridos y fosfolípidos (Valencia & Torres,1970).

- **Emulsificante**

El agente emulsionante generalmente posee una zona hidrofílica e hidrofóbica, mostrando una afinidad por los sitios polares y no polares. Las emulsiones se dividen en dos según sus proporciones, es decir, aceite/agua (o/w) que corresponde a las gotas de aceite contenidas en agua agua/aceite (w/o) que corresponderá a gotas de agua contenidas en aceite.

En los recubrimientos comestibles se prefieren emulsiones de tipo o/w, ya que, son termodinámicamente más estables y pueden disolver componentes antimicrobianos lipofílicos (aceites esenciales de plantas) y componentes bioactivos (ácidos grasos, carotenoides, antioxidantes, fitoesteroles o quinonas) (Díaz & Castro, 2021).

- **Aditivos**

Los aditivos ayudan a transportar y proteger una gran cantidad de moléculas para mejorar o mantener las características organolépticas del queso, como, por ejemplo, aditivos, antioxidantes, fungicidas o microbianos (Díaz & Castro, 2021).

4.1.8 Métodos para la elaboración de recubrimientos comestibles

Existen diferentes métodos para elaborar recubrimientos comestibles, estos son:

- *Microfluidización:* Son procesos utilizados para la obtención de nano emulsificaciones, con gotas que van de los 30 a 600 nm. Este método consiste en dos pasos, el primero es mezclar aceite, emulsificante y agua para producir una emulsión; seguido a esto se hace pasar por un microfluidizador con fuerza neumática que producirá gotas de tamaño muy pequeño debido a la cavitación y turbulencia producida en el mismo (Fernández et al., 2020).
- *Ultrasonificación:* Es un proceso en el cual se busca descomponer las gotas de emulsión por medio de ondas de ultrasonido. Generalmente se utiliza una frecuencia de 20 KHz, estas ondas transferidas en la emulsión crean fenómenos de cavitación que rompen y dispersan el material, produciendo gotas de hasta 100 nm (Fernández et al., 2020).
- *Gelificación térmica:* Esta se forma por el entrecruzamiento de polímeros mediante enlaces covalentes y no covalentes, bajo esta premisa se forma una película capaz de atrapar el agua y otras sustancias de bajo peso molecular, esta se obtiene mediante el esparcimiento de proteínas posterior a un calentamiento entre 20-37 °C en condiciones controladas. Posteriormente se realiza el enfriamiento y mediante la adición de sal o bajando el pH se obtiene la gelificación (Acevedo, 2010).

- *Electrospinning*: Es el proceso físico en donde se obtienen membranas porosas que pueden ser utilizadas como recubrimientos, estas tienen tamaños medios de entre 100-500 nm. Para obtener fibras, la matriz polimérica se estira coaxialmente. Consiste en expulsar la emulsión de forma controlada a través de una jeringa alargada por la aplicación de un efecto de campo. eléctrico (Fernández et al., 2020).
- *Eliminación de disolvente*: Durante este proceso, las estructuras moleculares se forman y estabilizan como resultado de interacciones físicas y químicas. La solución formadora de hidrocoloide comestible se adiciona a un solvente que contiene agua, etanol, ácido acético y plastificantes; en el siguiente paso, se elimina el disolvente, formando película fina seca que finalmente se puede despegar (Cagri, 2004).
- *Método de "Casting"*: Una vez que los componentes de la película se disuelven, el solvente se evapora a temperatura y humedad controladas para formar la película. (Escobar, 2009).

4.1.9 Tecnologías para la aplicación de recubrimientos en queso.

El método de aplicación del recubrimiento depende en gran medida del tipo de producto a recubrir. Las soluciones formadoras de película se aplican directamente a los productos por métodos como: inmersión, frotación, aspersión y pulverización. La aplicación de la solución de recubrimiento comestible en los alimentos va de la mano con el procedimiento de adhesión, el cual implica la difusión entre la solución de recubrimiento y el área superficial del producto alimenticio. Durante el procedimiento de aplicación del recubrimiento se debe hacer humectación para generar afinidad (Tharanathan, 2003).

- **Inmersión**

La inmersión se realiza mientras el recubrimiento está en estado líquido. Este procedimiento es el método más común para recubrir las frutas, verduras y productos cárnicos porque requiere menos equipo y, por lo general, está menos mecanizado, lo

que la hace más susceptible a ser usada por las pequeñas empresas y los artesanos. Esta técnica proporciona los mejores resultados para productos que requieren una capa uniforme sobre superficies irregulares. La metodología de aplicación se divide en dos fases: La primera es la inmersión, donde el alimento se sumerge en la solución hasta quedar cubierto; la segunda fase es la evaporación, que consiste en el secado de la solución a temperatura ambiente (Saravacos & Kostaropoulos, 2002). Las desventajas que este método presenta se derivan en: La primera es la baja adhesión del recubrimiento con alimentos que presenten superficies hidrofílicas, por ende, se propone utilizar electrodeposición capa por capa a dimensiones de escala nanométrica; la segunda es la dificultad de la respiración y almacenamiento del producto debido a la formación de capas muy gruesas (Rajat et al., 2020).

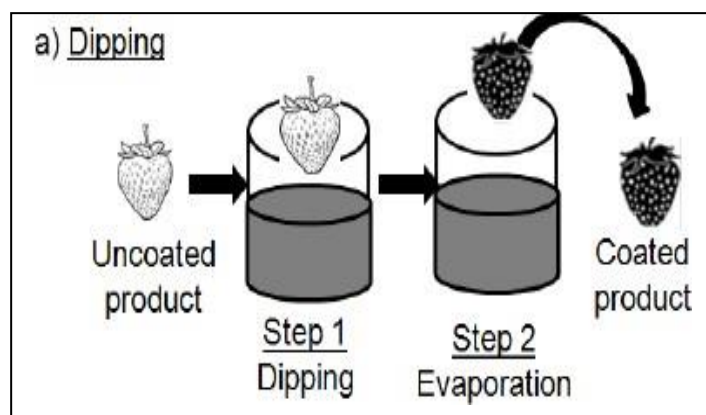


Figura 4.2 Método de inmersión
(Díaz, 2020)

- **Aspersión**

La aplicación de recubrimientos por aspersión es uno de los métodos convencionales empleados en la industria alimentaria. Una ventaja que presenta este método sobre el de inmersión es que presenta un gasto menor de solución formadora de recubrimiento; este procedimiento se realiza con alta presión, esto permite que la solución se disperse en el aire y se adhiera uniformemente al alimento. (Tharanathan, 2003).

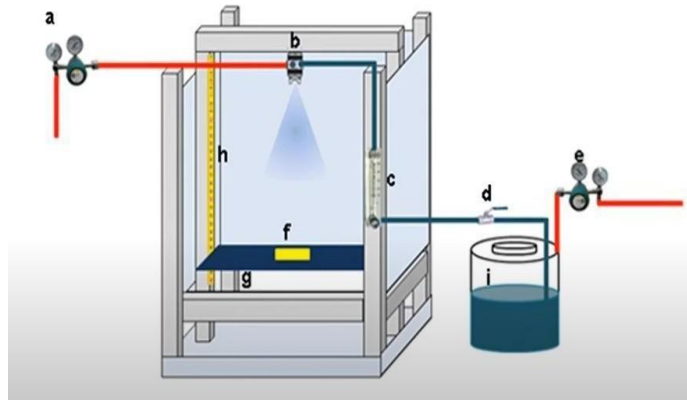


Figura 4.3 Método de aspersión
(Díaz, 2020)

- **Frotación**

El método de la frotación utiliza aire comprimido (menor de 5 psi o 35 Kpa), el producto pasa por una cascada o película de recubrimiento que permite que se forme la película por todos lados. El producto gira sobre rieles de acero con ranuras en la parte inferior o rodillos de acero móviles para una distribución uniforme. El excedente de recubrimiento se elimina con un cepillo colocado debajo del rodillo y la cubierta de espuma contiene agua para acelerar el proceso de secado. Al igual que el método de aspersión, este permite trabajar con menor cantidad de solución de recubrimiento que el método de inmersión (Saravacos & Kostaropoulos, 2002).

- **Pulverización**

El proceso de pulverización utiliza boquillas que permiten crear una capa más uniforme y fina. Este método se utiliza para productos de gran superficie, como el queso, aunque no se puede cubrir por completo porque la base no queda expuesta al recubrimiento. Esto se puede compensar bañándose en un baño de bajo nivel que solo cubra el sustrato o, en general, esperando que la película se seque y luego rocíe el sustrato para lograr una sola capa en todos los lados. En este método el recubrimiento debe ser a base de agua y de baja viscosidad, además permite agregar múltiples capas con diferentes boquillas para cada sustancia (Andrade, et al., 2012). Existen tres tipos de técnicas de pulverización (Rajat et al., 2020):

- *Atomización rociada de aire:* Se rocía una corriente de aire a alta velocidad sobre el alimento, ocasionando que los rebotes de la boquilla del chorro generen fricción entre el fluido y el aire, el cual acelera e interrumpe el flujo de fluido líquido e induce la atomización.
- *Atomización sin aire asistida por aire:* En este método se atomiza el fluido de forma parcial, donde para completar el proceso de atomización se van dando pequeñas cantidades de aire comprimido; el resultado es un patrón de rociado finamente atomizado que se parece mucho al de un sistema de aire comprimido. Este método es bastante útil para recubrimientos que tengan características como: alta viscosidad y alto contenido de sólidos.
- *Atomización a presión:* Esta técnica a diferencia de las otras no utiliza aire; utiliza la presión para aplicar los recubrimientos. Se pasa energía a alta presión para generar tensión superficial y alta viscosidad de la solución de recubrimiento.

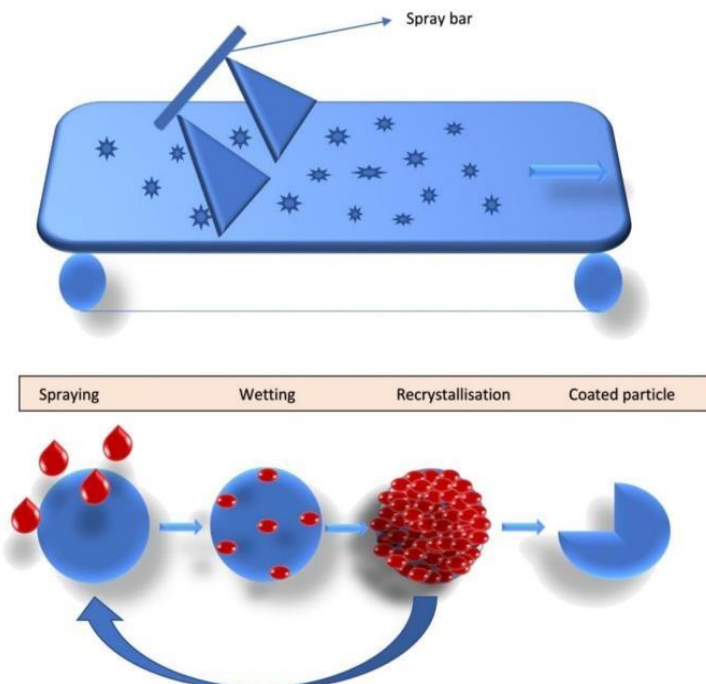


Figura 4.4 Método de pulverización
(Rajat et al., 2020)

4.2 Marco geográfico

4.2.1 Departamento de Boyacá

El Departamento de Boyacá se encuentra ubicado en la parte centro nororiental de la República de Colombia y es atravesado por las cordilleras orientales de la región de los Andes colombianos, por lo que presenta una topografía muy diversa que complementa las diferentes zonas climáticas. El sector cubre una superficie de 23.189 kilómetros cuadrados, equivalente al 2,03% del territorio nacional. Su capital es el municipio de Tunja, el cual se encuentra dividido política y administrativamente en 123 municipios. (Martínez, 2019).



Figura 4.5 Ubicación geográfica del departamento de Boyacá
(Martínez, 2019)

4.2.2 Municipio de Tunja



Figura 4.6 Ubicación geográfica del municipio de Tunja
(Salvador, M, 2018)

El municipio de Tunja está ubicado en la Cordillera Oriental, en la parte central de la provincia de Boyacá, a los 05° 32' 7" de latitud norte, 37° 22'04" de longitud oeste con 2.700 m hasta 3.150 m sobre el nivel del mar en la parte más alta. Cuenta con una superficie de 121,4 km² y una temperatura de 13°C (Salvador, M, 2018).

4.2.3 Productora la cabaña LTDA

Las muestras de queso se obtuvieron de la pequeña empresa de productores de queso llamada productos alimenticios la cabaña LTDA, esta se encuentra ubicada en la dirección TR 17 No 20-37 BR KENNEDY del municipio de Tunja.

4.3 Marco legal

Tabla 4.3 Normativa aplicada al desarrollo del prototipo

Tipo	Descripción
NTC 750	Esta norma establece las definiciones, clasificación y los requisitos que deben cumplir los quesos destinados para el consumo directo o para la elaboración posterior.
NTC 666	Esta norma proporciona una guía sobre los métodos de muestreo de leche y productos lácteos para análisis microbiológico, químico, físico y sensorial, excepto para muestreo de leche de animales individuales en la finca y dentro de esquemas de pago por calidad
Resolución 02310 de 1986 (24 de febrero de 1986) Codex Standard 221-2001	Las presentes Norma se aplica al queso no madurado, presenta los parámetros de calidad que este alimento debe cumplir, los ingredientes autorizados como materia prima y aditivos y etiquetado.
Resolución Número 01804 de 1989	Presenta las características fisicoquímicas, microbiológicas que debe cumplir el queso, además de mostrar los aditivos permitidos para este alimento.
NTC 4666 (Parte 1)	Esta parte de la norma describe un método horizontal para la detección de <i>Listeria Monocytogenes</i> , esta parte de la norma es aplicable a productos destinados al consumo humano o a la alimentación animal.
Norma Técnica Colombiana 750 Quesos frescos	La cual establece los límites máximos y mínimos microbiológicos en que se puede encontrar un queso tipo fresco, asociados a estos microorganismos; Coliformes, mohos y levaduras, Estafilococos coagulasa positiva, 1.3.6 <i>Salmonella</i> y <i>Listeria monocytogenes</i> Norma Técnica Colombiana 399.

Resolución 683 de 2012	Por medio de la cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano.
Norma ISO 11290:2017	Detección y recuento de <i>Listeria Monocytogenes</i> y <i>listeria</i> spp: análisis de cambios por el centro nacional de alimentación (Establece el protocolo para la detección y manipulación de la <i>Listeria Monocytogenes</i>)
NTC 5023	La norma especifica los materiales, compuestos y artículos plásticos para uso en contacto con alimentos y bebida

4.4. Estado del arte

A continuación, se enumeran y se describen investigaciones o proyectos de investigación similares desarrollados por instituciones o trabajos de investigación en varios países, con la finalidad de proporcionar conocimiento de los antecedentes existentes para este proyecto.

- Investigation of different coating application methods on the performance of edible coatings on Mozzarella cheese. (Yu Zhong et al., 2014)

Se estudió el efecto de tres diferentes materiales para el recubrimiento (quitosano, alginato de sodio y proteína aislada de soya) en conjunto con cuatro distintos métodos de aplicación (inmersión, envolvimiento, Spray y Spray electrostático) para determinar su desempeño del recubrimiento comestible para el queso mozzarella. Se evaluaron los cambios de calidad en el producto y las propiedades de los diferentes materiales en conjunto con los métodos de aplicación con el fin de evaluar los resultados durante el proceso de almacenamiento de esta variedad de queso. Se encontró que ambos métodos de spray dieron como resultado los recubrimientos más uniformes y delgados y que en conjunto con el alginato de sodio, fueron la mejor alternativa durante el proceso de almacenamiento.

- Effect of Dipping and Vacuum Impregnation Coating Techniques with Alginate Based Coating on Physical Quality Parameters of Cantaloupe Melon (Parreidt et al., 2018)

En este artículo se estudia el efecto de dos métodos de aplicación de recubrimiento comestible basado en alginato de sodio. Estos procesos son la aplicación por inmersión y por el método de succión. Para estos métodos se busca determinar cuáles de los parámetros asociados al proceso puede afectar su efectividad. Los parámetros estudiados fueron: Tiempo de inmersión, tiempo de drenado, duración del tiempo de succión y presión de succión. Por otra parte, se comparó la efectividad de cada método de acuerdo a los resultados obtenidos en el producto y medidos bajo las siguientes variables: Cambio en el peso, textura y color. Se determinó que el método de aplicación por succión lograba mejores resultados en cuanto a la conservación del producto en términos de pérdida de peso, mejor color y mejor textura en comparación con la alternativa por inmersión y el producto sin recubrimiento.

- Electrostatic and Conventional Spraying of Alginate-Based Edible Coating with Natural Antimicrobials for Preserving Fresh Strawberry Quality (Greta Peretto et al., 2017)

Se utiliza una solución basada en Spray Electrostático para la aplicación de un recubrimiento basado en alginato acompañado de cinamato de metilo y carvacrol que tiene como objetivo retrasar el deterioro de fresas frescas para que estas tengan un ciclo de ventas más prolongado. Se comparó este método con la aplicación de spray convencional en términos de uniformidad y eficiencia de transferencia, adicionalmente se midió su efectividad en la conservación del producto mediante parámetros como: Pérdida de peso, firmeza, color superficial y decaimiento visible. Posterior a trece días el ES demostró ser superior en todos los aspectos medidos con respecto al método de spray tradicional y a al producto sin recubrimiento.

- Electrospraying: A Novel Technique for Efficient Coating of Foods (Muhammad Kashif et al., 2016).

Se explora el método de ElectroSpray, una solución innovadora que permite aplicar recubrimientos comestibles de hasta 20 Micrómetros o menos, que permiten una aplicación uniforme la cual actuará como barrera para microorganismos o en general para retrasar el deterioro en productos comestibles. Este artículo trata de reseñar la información existente sobre la aplicación de este método y los diferentes parámetros que afectan su funcionamiento.

- Spray technology applications of xanthan gum-based edible coatings for fresh-cut lotus root (Grace et al., 2020)

En este estudio se utilizó la xantana en diferentes concentraciones (0.1%,0.2%,0.5 %) como base para un recubrimiento comestible aplicado mediante el uso de spray. Esta solución se utilizó para la conservación de raíces de loto recién rebanadas, esto debido a sus propiedades como barrera para la proliferación de microorganismos. Para determinar los resultados experimentales se utilizaron como parámetros los cambios de color, la cuenta de microorganismos, el pH y la morfología. Los resultados experimentales mostraron que la aplicación de esta capa reduce considerablemente la coloración enzimática del producto (Oscurecimiento), mejorando el tiempo de conservación en el estante para su venta, adicionalmente la aplicación de este producto fue efectiva inhibiendo la aparición de la bacteria *Bacillus Subtilis*, esto indicado por el conteo de microorganismos más bajo con respecto a muestras sin la aplicación de la capa.

5. LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS

5.1. Funcional

- La aplicación del recubrimiento debe ser de forma homogénea. No debe quedar ninguna zona del queso sin recubrimiento.
- El recubrimiento debe permitir alargar la vida útil del queso en un 20%.
- Debe permitir la inhibición de la bacteria *Listeria monocytogenes* (Juárez, 2017).
- El recubrimiento protege al queso de la contaminación causada por factores externos, no si ya se encontraba previamente contaminado
- Prototipo permitirá la aplicación de recubrimientos comestibles en el queso fresco campesino.
- El recubrimiento comestible no puede cambiar las características sensoriales del queso fresco campesino.
- El sistema debe permitir visualizar las variables que se van a controlar en el prototipo.
- El prototipo debe ser portátil
- El prototipo no aplicará el recubrimiento a múltiples quesos al tiempo.
- Se trabajará sobre el queso bajo las condiciones reales de almacenamiento
- El prototipo debe tener la capacidad de poder descender el queso de forma controlada.
- El prototipo debe tener la capacidad de poder ascender el queso de forma controlada.
- El prototipo debe tener la capacidad de desarrollar un movimiento de traslación que permite la inmersión y extracción del queso en el depósito a una velocidad constante.
- Las dimensiones de la estructura del prototipo deben ser adaptadas para el tamaño de los quesos frescos campesinos producidos en la ciudad de Tunja, Boyacá
- El prototipo tendrá una malla donde se colocará el queso para el proceso de inmersión

5.2. Calidad

- El recubrimiento tiene que permanecer adherido durante el almacenamiento del queso (Muñoz, 2012).
- La malla para la inmersión debe permitir que el queso se recubra de manera uniforme
- El prototipo tiene que ser resistente a la corrosión.
- El prototipo tiene que ser resistente al agua.
- El prototipo garantizará que el usuario no entre en contacto directo con el alimento durante el proceso de aplicación.
- El prototipo debe soportar un mínimo de 500g, que corresponden al peso aproximado de una pieza de queso fresco campesino de tamaño promedio.
- El prototipo será alimentado por un voltaje de 110V a 120V.
- El prototipo aplicará el recubrimiento comestible a máximo 4 quesos por hora

5.3. Restricción

- Los materiales del prototipo deben cumplir con los requisitos normativos (Resolución 2674 de 2013 cap. 2. Equipos y utensilios para equipos de la industria alimentaria).

6. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del trabajo, se ha dividido la metodología en tres fases, que corresponde al diseño, construcción y evaluación; donde el diseño se divide en diseño conceptual, diseño preliminar y diseño detallado.

6.1. Fase 1: Diseño

6.1.1. Diseño conceptual

- **Revisión bibliográfica**

Se realizó una revisión bibliográfica de recubrimientos comestibles aplicados en matrices tipo queso, empleando las siguientes bases de datos: Scopus, Pubmed y Web of science group. Antes de realizar la búsqueda en las bases de datos, se definieron 11 criterios que están asociados con lo que se busca del recubrimiento comestible. Los criterios son: formulación del recubrimiento (que materiales utiliza), tipo de alimento en el que se está aplicando, tiempo de secado, tiempo que dura adherido al queso, aspecto uniforme, pérdida de peso y humedad, dureza de las muestras, cambio de color, cambios de olor y sabor, perfil microbiológico donde principalmente debe inhibir *Listeria monocytogenes* y por último el costo estimado.

Para la búsqueda en las bases de datos se emplearon las siguientes ecuaciones de búsqueda:

- Ecuación 1: “antimicrobial” AND “edible coatings” AND Cheeses
- Ecuación 2: “edible coatings” AND immersion AND (antimicrobial OR listeria) AND Cheeses
- Ecuación 3: “edible coatings” AND “essential oils ” AND "listeria " AND Cheeses.

A partir de los artículos encontrados para cada ecuación de búsqueda, se aplicaron dos filtros de selección, en el primero se revisó que en los títulos de los artículos estuviera la palabra *Listeria monocytogenes*, o que se mencionara este microorganismo en el resumen; luego se aplicó un segundo filtro, el cual corresponde

a una verificación de que los artículos tuvieran la información asociada con los 11 criterios de calidad del recubrimiento mencionados anteriormente. En el primer filtro se obtuvieron 20, 10 y 8 artículos para las ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente. Al aplicar el segundo filtro se obtuvieron 7 artículos en total. Los 7 artículos fueron leídos por completo y se analizó si el procedimiento para la elaboración del recubrimiento era viable en los laboratorios de la universidad, debido a que varios procesos empleados requerían de equipos de difícil acceso. A partir de esta revisión, se seleccionaron 5 artículos, sus títulos son:

- *Artículo 1:* Evaluation of antimicrobial edible coatings from a whey protein isolate base to improve the shelf life of cheese.
- *Artículo 2:* Application of Edible Coating Based on Liquid Acid Whey Protein Concentrate with Indigenous *Lactobacillus helveticus* for Acid-Curd Cheese Quality Improvement.
- *Artículo 3:* Edible coating based on achira starch containing garlic/oregano oils to extend the shelf life of double cream cheese
- *Artículo 4:* Inhibitory Effect of Sodium Alginate Nanoemulsion Coating Containing Myrtle Essential Oil (*Myrtus communis* L.) on *Listeria monocytogenes* in Kasar Cheese.
- *Artículo 5:* Antimicrobial zein coatings plasticized with garlic and thyme essential oils.

A partir de estos artículos se construyó una tabla de revisión bibliográfica con la información correspondiente a cada criterio, la cual fue empleada para la valoración en la matriz de decisión.

- **Revisión bibliográfica de dispositivos de dip-coating**

Se realizó una búsqueda de los modelos de dispositivos actuales de dip-coating, y se analizó el funcionamiento mecánico y eléctrico de estos, para así acoplar toda esta información a la hora de diseñar el prototipo, y definir qué mecanismo se utilizaría para la hacer la inmersión y extracción, mirar posibles materiales y posibles adaptaciones y sugerencias que se podrían implementar para lo que buscábamos.

6.1.2. Diseño preliminar

- **Realización de la matriz de decisión para la selección de las formulaciones de recubrimientos**

Se realizó una matriz de decisión donde se calificó de 1 a 5 el cumplimiento de las formulaciones con respecto a los criterios establecidos en el diseño conceptual; donde 5 es la puntuación mayor y 1 es la menor para el cumplimiento de los criterios. Por medio de esta matriz se evaluó cada formulación escogida previamente analizando los criterios establecidos en la tabla de revisión bibliográfica 7.1; donde finalmente se escogieron dos de los cinco recubrimientos, estas dos formulaciones seleccionadas pasan a prueba de concepto, que corresponde a los ensayos en laboratorio con el fin de determinar la mejor formulación para implementar con el prototipo.

- **Establecimiento de los procedimientos de elaboración de los recubrimientos para las pruebas de laboratorio**

A partir de los artículos y las formulaciones seleccionadas se procedió a determinar el proceso de obtención del recubrimiento comestible, por lo cual se revisó el procedimiento ejecutado por los autores de los artículos, donde se explica el paso a paso de la metodología usada en cada uno; posteriormente se construyó un diagrama de flujo en el cual se indican todas las condiciones del proceso (temperatura, tiempo, velocidad, cantidades, ingredientes y materiales de laboratorio).

Para determinar las cantidades de los ingredientes a usar para la elaboración del recubrimiento, se realizaron cálculos con las siguientes fórmulas en base a 100 ml de agua destilada ya que en los artículos las cantidades estaban destinadas para diferentes volúmenes.

$$\text{Fórmula porcentaje peso a peso} \rightarrow \% = \frac{g \text{ soluto}}{g \text{ soluto} + 100g \text{ H}_2\text{O}} * 100$$

- **Prueba de concepto**

Elaboración de los recubrimientos comestibles empleando el método de casting

Con el fin de analizar el comportamiento de los recubrimientos comestibles en función de los parámetros fisicoquímicos y la calidad de la película que se forma con las formulaciones seleccionadas, se procedió a realizar pruebas de laboratorio, en las cuales se realizaron los recubrimientos comestibles empleando el método de casting. Se evaluaron características como el tiempo de secado, como se formaba el recubrimiento, si este se rompía de forma fácil, si era elástico, que coloración presentaba una vez seco, además de determinar si las concentraciones halladas en los cálculos debían ser modificadas para tener un mejor resultado del recubrimiento.

Selección del recubrimiento comestible

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la formación de las películas se procedió a realizar una prueba de concepto; esta consistió en aplicar los recubrimientos en las muestras de quesos para así determinar el recubrimiento más adecuado para el proyecto, esto en función de adherencia, color, uniformidad y pérdida de peso; a partir de esto obtienen los criterios requeridos para el diseño del prototipo y sus condiciones de operabilidad como el tiempo y velocidad de inmersión. Esta prueba también permitió escoger el recubrimiento más adecuado para ser aplicado por el prototipo, gracias a los resultados de cómo se comportan los quesos con el recubrimiento comestible. Los recubrimientos se realizaron de la siguiente forma:

- RC1 sin aceite
- RC1 con aceite de canola
- RC1 sin aceite y con colorante
- RC1 con aceite de canola y con colorante
- RC2 sin aceite
- RC2 con aceite de canola
- RC2 sin aceite y con colorante
- RC2 con aceite de canola y con colorante

El objetivo de agregar el aceite de canola a las formulaciones de los recubrimientos era analizar si este mejoraba la adhesión del recubrimiento al queso y si lograba mantener la humedad de mejor forma.

Para poder determinar el recubrimiento que se va a aplicar con el prototipo, se realizó una evaluación de las muestras de queso durante 7 días bajo condiciones de almacenamiento a temperatura de 5 °C, donde se analizaron los cambios de color, olor y pérdida de peso asociada a la liberación de suero del queso teniendo como referencia una muestra control que estaba sin recubrir.

- *Pérdida de peso:* Se pesan los quesos el día inicial y final de la evaluación para identificar los porcentajes de pérdida de peso del queso control, queso con RC1 sin aceite, queso con RC1 con aceite, queso con RC2 sin aceite y queso con RC2 con aceite. El porcentaje se halla mediante la siguiente fórmula:

$$\%Pérdida\ de\ peso = \frac{Peso\ inicial - peso\ final}{Peso\ inicial} * 100$$

Donde el peso inicial corresponde al peso del queso recubierto el día en que se realizó la prueba y el peso final corresponde al queso en el día 7.

- *Coloración:* Los cambios de color se determinan de manera visual, analizando las tonalidades del queso a partir de las fotos tomadas del queso día 1 y el queso día 7. El queso se coloca en un fondo claro para evitar una distorsión del color además de fotografiar evitando reflejos y sombras.

Establecimiento de los parámetros de aplicación del recubrimiento comestible

Para poder establecer los parámetros que se deben tener en cuenta para aplicar el recubrimiento comestible con el prototipo, se realizaron unas pruebas en función de la viscosidad del recubrimiento, densidad, el tamaño de los hilos de la malla, número de inmersiones y tiempo de secado.

- *Viscosidad:* Para la medición de la viscosidad se usa el viscosímetro Brookfield Ametek, este mide la viscosidad del recubrimiento mediante la medición de la fuerza que realiza para poder girar a una velocidad constante dentro de este. Para esta medición se utilizó la aguja calibre 2 y se realizaron mediciones en diferentes velocidades entre 10 y 100 rpm. Los resultados se expresan en unidades centipoise o miliPascal-segundo.
- *Densidad:* Para la medición de densidad se usa el picnómetro Gay-Lussac de 25 ml, este se pesa vacío, con agua y con RC por triplicado a una temperatura de 20°C; una vez obtenidas las masas y conociendo la temperatura se busca la densidad del agua por bibliografía para poder despejar la siguiente fórmula y encontrar la densidad de la solución del RC:

$$P_{\text{liquido interés}} = \left(\frac{m_{\text{picnómetro}} + \text{liquido} - m_{\text{picnómetro}}}{m_{\text{picnómetro}} + \text{agua} - m_{\text{picnómetro}}} \right) \times P_{\text{agua}}$$

- *Velocidad:* Para hallar la velocidad se usa el número de Reynolds y se realizan pruebas experimentales. Inicialmente se definió la distancia total que puede desplazarse el queso desde su punto de inicio, hasta el punto final en el que se sumerge con la plancha en el recubrimiento, y suponiendo un tiempo máximo de 1 s para desplazarse, se determinó la velocidad máxima posible por el motor como 11 cm/s.

Luego, para calcular la velocidad mínima teniendo en cuenta lo anterior y que el motor si el driver se puede configurar hasta por 6400 pasos por vuelta, la ecuación para hallar velocidad mínima.

$$V_{\text{mínima}} = \frac{V_{\text{max}}}{\frac{\# \text{ Pasos por vuelta}}{\# \text{ Pasos por segundo}}}$$

Con ayuda de la ecuación del número de Reynolds se analizarán las velocidades máxima y mínima, para así obtener un rango del flujo alrededor del alimento, para que este pueda entrar a la solución sin crear turbulencia o burbujas para así lograr que el recubrimiento del queso sea homogéneo. Para el cálculo se usará la viscosidad de la solución, ya antes hallada por medio del viscosímetro y la densidad de la misma hallada por medio del picnómetro. Para dar solución a la ecuación del número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \times V \times L}{\mu}$$

ρ es la densidad del fluido.

V es la velocidad del fluido.

L es una longitud característica (Diámetro del objeto).

μ es la viscosidad dinámica del fluido.

Luego, para lograr ajustar con más precisión la velocidad de inmersión se realizaron pruebas experimentales. Para lograr esto, se tomó 3 tipos de pasos por vuelta del motor que permite el driver: 400 pasos por vuelta, 800 pasos por vuelta y 1600 pasos por vuelta, y cada uno se evaluó a dos velocidades 800 y 1000 pasos que son velocidades bajas e intermedias, teniendo en cuenta variables como el tiempo, velocidad, y suavidad.

Las revoluciones de pasos de 200 y 6400, son muy lentas o muy rápidas, con lo que no cumplen con los requerimientos y no se tuvieron en cuenta para la prueba. Por último, se usan ecuaciones que permitan analizar la velocidad en pasos de un motor nema 17 en mm/s, por lo que se necesita saber el valor de una revolución del motor en milímetros. Para hacerlo, se debe calcular el paso del tornillo de potencia al que está conectado el motor.

Paso del tornillo

$$PasoTornillo (mm) = \pi \times D\ Tornillo \times Paso\ de\ la\ rosca$$

Velocidad en mm/s

$$V = \frac{Velocidad\ en\ pasos}{Pasos\ por\ vuelta} \times Paso\ Tornillo$$

- *Tamaño de los hilos de la malla:* Se realizó una búsqueda bibliográfica para identificar las especificaciones que debía cumplir la malla teniendo en cuenta los valores obtenidos de viscosidad. A partir de esto se adquirieron 3 mallas, con diferentes tamaños de hilos que cumplieran con las especificaciones tomadas de la búsqueda bibliográfica; donde se realizó una prueba de inmersión con 5 quesos y el recubrimiento con colorante rojo para determinar si la malla dejaba alguna marca en el queso, si este lograba recubrirse de forma uniforme y observar el comportamiento de la malla durante todo el proceso de inmersión.
- *Número de inmersiones y tiempo de secado:* Para determinar el número de inmersiones que se deben hacer con el prototipo, se realizó una prueba donde se tomaron 5 pedazos de queso y se les aplicó el recubrimiento con y sin colorante de la siguiente manera:

Queso A: Una inmersión con tiempo de inmersión total de 2 minutos donde al finalizar el tiempo se dejaba escurrir el queso 30 segundos; una vez terminado el proceso se llevaba al secado.

Queso B: Dos inmersiones con tiempo de inmersión total de 4 minutos donde cada 2 minutos se sacaba el queso y se dejaba escurrir 30 segundos; una vez

terminado el proceso se llevaba al secado.

Queso C: Tres inmersiones con tiempo de inmersión total de 6 minutos donde cada 2 minutos se sacaba el queso y se dejaba escurrir 30 segundos; una vez terminado el proceso se llevaba al secado.

Queso D: Cuatro inmersiones con tiempo de inmersión total de 8 minutos donde cada 2 minutos se sacaba el queso y se dejaba escurrir 30 segundos; una vez terminado el proceso se llevaba al secado.

Queso E: Cinco inmersiones con tiempo de inmersión total de 10 minutos donde cada 2 minutos se sacaba el queso y se dejaba escurrir 30 segundos; una vez terminado el proceso se llevaba al secado.

Estos quesos se dejaron secando con aire frío, para agilizar el tiempo de secado y así determinar los tiempos de secado dependiendo el número de capas aplicadas. Posteriormente se almacenan en refrigeración a temperatura de 5°C y se visualiza la intensidad que tiene el colorante dependiendo el número de inmersiones y también se realiza un corte transversal al queso para mirar el grosor de la capa que lo recubre. En el caso de los quesos sin colorante se analizó el comportamiento del queso con respecto al cambio de color dependiendo el número de inmersiones.

6.1.3. Diseño detallado

En el diseño detallado se realizaron los planos estructurales del prototipo, simulaciones electrónicas y diseño tridimensional del prototipo.

- **Diseño estructural**

Para comenzar la metodología del diseño detallado, se partió de los requerimientos y se aprovechó la información obtenida a través de la revisión bibliográfica de dispositivos de Dip-coating. Inicialmente se realizó un diseño preliminar el cual era una idea de cómo podría ser la estructura del prototipo basado en bibliografía. Para iniciar con el diseño de las piezas del prototipo se realizaron cálculos teniendo en cuenta las dimensiones del queso fresco campesino para hallar las dimensiones de

la plancha, dimensiones del recipiente y capacidad de volumen del recipiente, a partir de esto se modificó el diseño preliminar del prototipo con el objetivo principal de garantizar su facilidad de ensamblaje y su estabilidad durante las operaciones de ascenso y descenso; donde en continuación se realizaron planos estructurales y diseño tridimensional en fusion 360.

- **Diseño electrónico**

Se realizó una simulación electrónica en proteus para definir el circuito y analizar su funcionamiento y comportamiento con respecto al código, para que este cumpla con lo requerido. Para el funcionamiento del motor, se calcularon los pasos para definir las posiciones que este debe tener para ascender, descender y parar de forma correcta. A partir de esto se genera el código el cual está programado para controlar la velocidad y tiempo de inmersión una vez el usuario da inicio del proceso con el pulsador.

- **Selección del material para el prototipo**

La selección de materiales para el prototipo se hizo bajo la normativa Resolución 2674 de 2013 cap. 2. Equipos y utensilios para equipos de la industria alimentaria y la Resolución 683 de 2012, la cual dictamina los materiales, objetos, envases y equipamientos que pueden ser destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas.

Para la selección utilizamos la matriz Pugh, la cual es una herramienta utilizada para evaluar y comparar múltiples alternativas en función de varios criterios. En esta matriz, se utiliza un sistema de calificación mediante el cual se asignan valores numéricos a cada criterio para determinar si una alternativa es mejor que la estándar, igual o peor. Usualmente, se utiliza la siguiente escala de calificación:

Mejor que el valor estándar (1): Este valor se asigna a una alternativa cuando el criterio evaluado es superior al valor estándar o de referencia. En otras palabras, si la alternativa supera de manera significativa o mejora el estándar en ese criterio.

Igual al valor estándar (0): Cuando el criterio de la alternativa es igual al valor estándar, se asigna un valor de 0. Esto significa que la alternativa no ofrece una

ventaja ni desventaja significativa en relación con el estándar en ese criterio específico.

Peor que el valor estándar (-1): Un valor de -1 se asigna a una alternativa cuando el criterio es inferior al valor estándar. Esto indica que la alternativa no cumple con las expectativas o los requisitos establecidos en ese criterio y es considerada inferior.

Para poder implementar esta matriz en las tablas 7.5 y 7.6 se realizó la tabla 6.1 en la cual se definen los criterios a evaluar para las matrices Pugh y a su vez los valores según la importancia que estos representaban a la hora de puntuar.

Tabla 6.1. Criterios a evaluar en las matrices de selección de los materiales de construcción

		Material en contacto con el alimento	Material sin contacto con el alimento
Letra	Criterio	Peso porcentual de cada criterio	
A	Durabilidad	0,3	0,3
B	Disponibilidad	0,2	0,2
C	Costo	0,2	0,3
D	Resistencia a la corrosión	0,3	NA
E	Peso	NA	0,2

- **Selección de elementos mecánicos y electrónicos**

Para hacer la selección de los elementos mecánicos y electrónicos se consideró la información recopilada de la revisión bibliográfica sobre los equipos de inmersión, donde analizando sus componentes, sistema de poleas y sistema de control, para así poder determinar los elementos que se podían acoplar al diseño del prototipo.

En la selección de elementos mecánicos y electrónicos, se deben considerar factores clave, como el tamaño de las piezas a sumergir, la velocidad de inmersión y otros parámetros relacionados. (Ospina C. et al, 2020) Por ejemplo, el tamaño de las piezas a sumergir influye significativamente en el diseño del equipo, ya que es necesario

tener en cuenta aspectos como las dimensiones de los elementos a sumergir y la capacidad de carga que el dispositivo debe manejar. Por lo tanto, basándose en los requisitos y la información recopilada, se eligen cuidadosamente los elementos mecánicos y electrónicos que cumplan con las especificaciones mínimas necesarias para el funcionamiento eficaz del prototipo, como garantizar que el motor tenga la capacidad de mover de manera controlada un mínimo de 500 g y un máximo de 1,5 kg.

Teniendo en cuenta lo anterior al igual que para la selección de los materiales de construcción se realizó una matriz Pugh en las tablas 7.7, 7.8 y 7.9 para realizar la puntuación y escoger estos elementos considerando los siguientes criterios encontrados en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Criterios a evaluar en las matrices de selección de los elementos mecánicos y electrónicos

		Microcontrolador	Motor	Driver motor
Letra	Criterio	Peso porcentual de cada criterio		
A	Accesibilidad	NA	0,2	NA
B	Costo	0,3	0,1	0,2
C	Facilidad de uso (familiarización)	0,3	NA	NA
D	Tamaño	0,2	0,2	NA
E	Control de variables	NA	0,3	NA
F	Torque	NA	0,2	NA
G	Rendimiento	NA	NA	0,3
H	Microstepping	NA	NA	0,3
I	Compatibilidad con el motor	NA	NA	0,2
J	Número de pines	0,2	NA	NA
K	Memoria Flash	0,2	NA	NA

6.2. Fase 2: Construcción

Para llevar a cabo la fase de construcción se siguieron unos pasos en específico para desarrollar el prototipo de una manera ordenada y eficaz, ya que, esta fase consta de unir todas las fases del diseño.

Se inició, definiendo claramente los objetivos de la fase de construcción y los requisitos específicos del prototipo.

- **Selección de Proveedores, cotizaciones y adquisición de materiales**

Se Investigó proveedores en diferentes lugares de la ciudad y fuera del país por medio de plataformas como Amazon y mercado libre.

Se seleccionó proveedores que ofrezcan los materiales de alta calidad a precios competitivos.

Se solicitaron cotizaciones de los materiales necesarios a varios proveedores.

Se compararon las cotizaciones en función de factores como costo, disponibilidad y tiempo de envío.

Se realizaron los pedidos de materiales y el respectivo seguimiento de los envíos.

- **Construcción del Prototipo**

Se verificó el diseño detallado y las especificaciones técnicas del material y los componentes durante la construcción.

Se realizó el circuito teniendo en cuenta la PCB (Figura 7.38) realizada en el programa “Easy eda” se soldó, se cableó y se realizó el montaje mecánico y la integración de los elementos electromecánicos según el diseño.

Se realizaron pruebas parciales a medida que se avanzaba para asegurar de que los componentes funcionaran correctamente. Como por ejemplo validar el funcionamiento de los componentes electrónicos con un multímetro y asegurándonos que los voltajes que se suministraban fueran los correctos para cada elemento.

- **Verificación del Código**

Se verificó que el código estuviera correctamente programado y que se comuniqué eficazmente con los elementos electromecánicos (que no generara error). Se hicieron pruebas arrancando el código con el prototipo para verificar que se cumpla con lo programado.

- **Ensamblaje**

Se ensamblan los componentes individuales en el prototipo completo como lo son el motor, la malla y el recipiente.

- **Pruebas finales**

Para la validación del funcionamiento del prototipo se realizan pruebas simulando el procedimiento de operación real, para asegurar el cumplimiento de los requisitos estipulados para el prototipo se realizó el siguiente plan de pruebas:

Protocolo de funcionamiento: Verificar que el prototipo no tenga problemas al encender, iniciar la inmersión y apagarse al terminar el proceso. Verificar que logre hacer 2 inmersiones teniendo en cuenta los tiempos estipulados tanto para la duración de la inmersión como para el tiempo de escurrir antes de volver a hacer la inmersión.

Prueba de rendimiento: Verificar que el prototipo cumpla con la capacidad de peso estipulada (500 g) y que se recubren 4 quesos en menos de una hora.

Pruebas de seguridad: Verificar que el recipiente que almacena el RC no presente fugas, observar que el recipiente que contiene la parte electrónica se encuentre bien cerrada para evitar daños.

Una vez finalizadas las pruebas se realiza el manual de usuario el cual se divide de la siguiente manera:

- Introducción
- Requisitos del sistema
- Preparación de la solución del RC

- Inicio rápido
- Funcionalidades principales
- Seguridad
- Mantenimiento y soporte

6.3. Fase 3: Evaluación

Para esta fase se toman 8 quesos frescos campesinos obtenidos de una pequeña productora de la ciudad de Tunja con el fin de organizarlos de la siguiente forma: tres quesos contaminados con RC y tres sin RC, y dos quesos materia prima o muestra control; donde posteriormente se almacenan y se evalúa durante 7 días (teniendo en cuenta que la vida útil de este queso es de 5 días) por medio de pruebas fisicoquímicas como la pérdida de peso, pH, acidez y color, y pruebas microbiológicas como recuento microbiano de aerobios mesófilos, coliformes totales, coliformes fecales y presencia de *Listeria monocytogenes*, en la figura 6.1 se aprecia de forma más detallada el procedimiento implementado para la evaluación. En el anexo 10.6, se describe paso a paso la preparación de los medios de cultivos y soluciones de enriquecimiento.

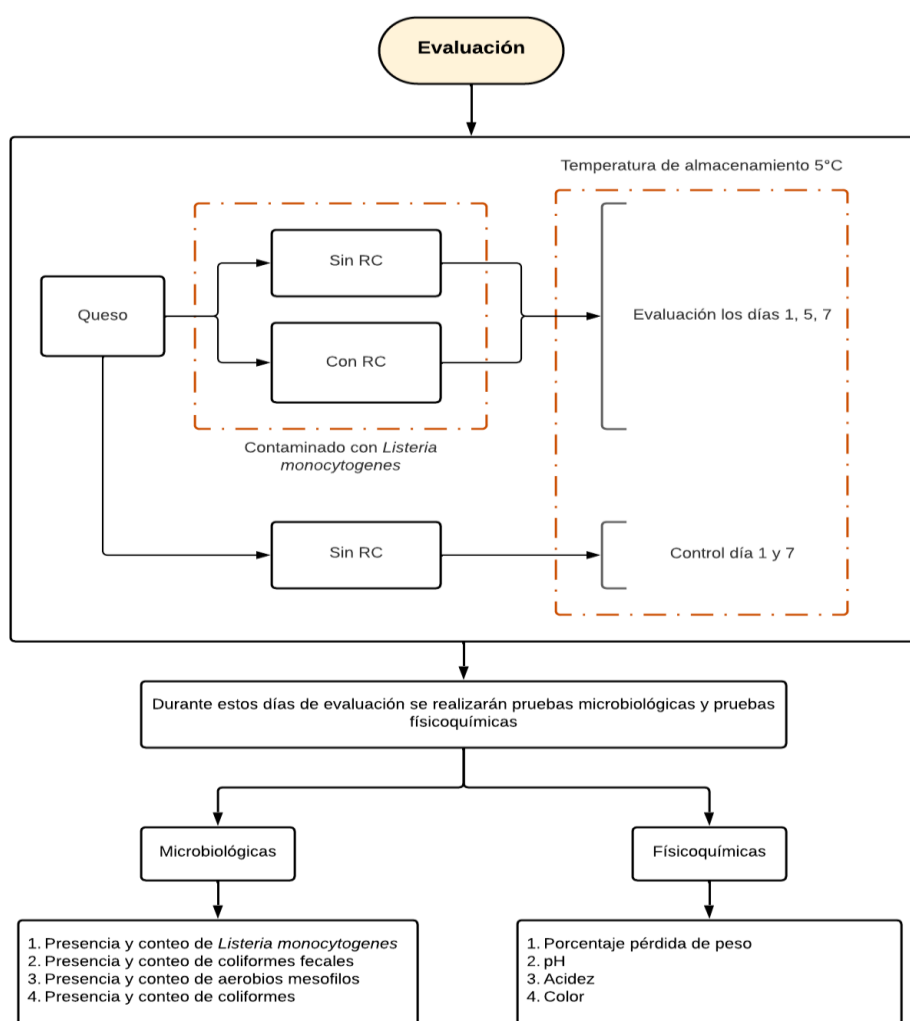


Figura 6.1. Esquema de evaluación del recubrimiento aplicado con el prototipo en los quesos frescos campesinos

- **Aplicación del recubrimiento comestible con el prototipo**

Para la aplicación del RC en las muestras de queso (anexo 10.2), se realizaron los siguientes pasos:

1. Se prepara 1 litro de solución de RC y se deja un día almacenado en la nevera a 5°C.
2. Se compran 8 unidades de queso fresco campesino redondo de 500 g recién hecho.
3. Se coloca la solución de RC en el recipiente del equipo
4. Se conecta el equipo al toma corriente, se espera que este encienda
5. Se coloca el queso en la zona de inmersión y se oprime el botón para iniciar el proceso de aplicación
6. Una vez terminada la aplicación del RC, se retira la malla en la cual se encuentra el queso (usando guantes para evitar contaminar) y se lleva a la zona de secado
7. Para el proceso de secado se utilizó un sistema de ventilación con aire frío con una potencia de 1200W por 6 minutos.
8. Una vez terminado el proceso de secado se empacan los quesos en bolsas ziploc y se pesan en la gramera.

- **Contaminación de las muestras de queso con *Listeria monocytogenes***

Se busca inducir la contaminación con *Listeria monocytogenes* de 3 quesos con RC y 3 quesos sin RC, para esto las muestras se empacaron en bolsas ziploc. En una nevera de icopor se colocaron las muestras con el empaque abierto y tres cajas de Petri en las cuales está la *Listeria monocytogenes* de forma activa (en el anexo 10.5) se puede apreciar la forma de obtención de la bacteria). Las muestras estuvieron expuestas a contaminación por 16 horas a temperatura ambiente. Una vez finalizado el tiempo de contaminación, los quesos contaminados se cambian de bolsa ziploc y se almacenan en la nevera a 5°C durante 7 días, tomando muestras los días 1, 5 y 7.

- **Evaluación de los quesos por medio de pruebas fisicoquímicas y microbiológicas**

Los quesos almacenados son evaluados a los días 1, 5, y 7 de almacenamiento. En estos días se realizan pruebas fisicoquímicas y microbiológicas. En este análisis se buscó evaluar el efecto del RC aplicado con el prototipo para mantener la calidad del queso fresco campesino, por lo cual se comparó con queso sin RC.

1. Pruebas fisicoquímicas

Pérdida de peso

La pérdida de peso se evalúa para determinar la cantidad de suero que está perdiendo el queso durante su almacenamiento; para lo cual se pesó el queso el día cero, y se pesa los días de evaluación, y su diferencia permite establecer la pérdida de peso, para esto se emplea la siguiente fórmula:

$$\% \text{Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

Prueba de color

Para determinar el cambio de color del queso con recubrimiento y sin recubrimiento durante el almacenamiento, se utiliza el colorímetro portátil NH300 el cual realiza la medición de manera horizontal sobre la superficie del queso entregando resultados en el espacio de color CIElab mediante las coordenadas L* (luminosidad), +a* (rojo-verde) y +b* (amarillo-azul).

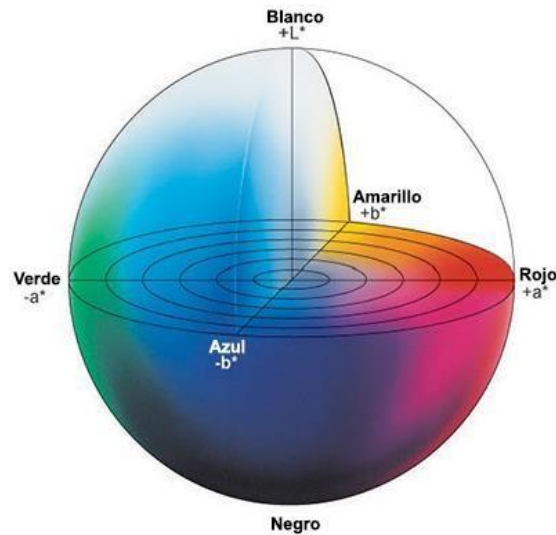


Figura 6.2. Figura de espacio de color CIElab

Para poder evaluar los cambios de color que se generen durante la fase de evaluación se utilizará la ecuación de cambios de color ΔE .

$$\Delta E = \sqrt{(L_f - L_i)^2 + (a_f - a_i)^2 + (b_f - b_i)^2}$$

Donde L_i , a_i y b_i pertenecen a las coordenadas del queso control en el día inicial y L_f , a_f y b_f pertenecen a las coordenadas de los quesos con RC y sin RC contaminados. A partir de los valores obtenidos de ΔE los días 1,5 y 7; se clasifica la diferencia de color como se muestra en la tabla 6.3.

Tabla 6.3. Clasificación de la diferencia de color dependiendo el valor ΔE^*

Diferencia percibida sensorialmente	Valor de ΔE^* (instrumentalmente)
Ninguna	0 - 2.0
Ligera	2.0 - 3.0
Notable	3.0 - 8.0
Considerable	< 8.0

Fuente: Gupta, 2011

pH y acidez

Para medir el pH, inicialmente se realiza una dispersión previa del queso en agua destilada y después se hace la medida directa con ayuda de un pH-metro. Los resultados se expresan en unidad de pH a 20 °C; un valor neutro de pH neutro es de 7, por debajo de este valor tenemos valores de pH ácidos y por encima valores de pH básicos. La prueba se realiza por triplicado para cada queso y los valores del pH se expresan como media +/- la desviación estándar (servifapa, 2020).

Para medir la acidez de los quesos se pesan 10 g de cada muestra y se tritura en la licuadora junto con 100 ml de agua destilada, la cual se añade a un vaso precipitado que se coloca a agitación constante; luego se agregan 5 gotas de fenolftaleína y se realiza el análisis por triplicado para cada muestra de queso.

En una bureta de 25 ml se agrega una solución estandarizada de hidróxido de sodio 0.1 N para titular las muestras, de esto se toma el volumen de NaOH gastado una vez el pH llegue a 8. Finalmente, se procede a realizar los cálculos correspondientes para obtener el porcentaje de acidez de los quesos. Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%Acidez = \frac{V(NaOH) * N(NaOH) * 0,09 * 100}{Mq}$$

Donde:

V (NaOH): Gasto de la titulación de NaOH

N: Normalidad del NaOH

Ácido láctico: 0.09

Mq: Masa de la muestra de queso

2. Pruebas microbiológicas

Crecimiento microbiano

Se realiza un conteo microbiano con respecto a los mesófilos totales, coliformes totales, enterobacterias y *Listeria monocytogenes* por medio de pruebas de crecimiento bacteriano tales como PCA, MacConkey, EMB y Palcam SR0150E.

Para poder hacer enumeración de colonias bacterianas dentro de un rango contable se deben hacer diluciones decimales del queso en solución salina para aplicarlos en los medios de cultivo anteriormente nombrados; en el caso del cultivo Palcam la solución a utilizar es el caldo de enriquecimiento. Las diluciones se hacen de la siguiente manera:

1. Tomar 10 g de muestra de queso y diluirlo en 90 ml de solución salina, esta será la muestra 1 que estará 10^1 .
2. De la muestra 1 se transfiere con una micropipeta 1 ml a un tubo de ensayo esterilizado que contiene 9 ml de solución salina, esta será la muestra 2 que estará 10^2 .
3. De la muestra 2 se transfiere con una micropipeta 1 ml a un tubo de ensayo esterilizado que contiene 9 ml de solución salina, esta será la muestra 3 que estará 10^3 .
4. De la muestra 3 se transfiere con una micropipeta 1 ml a un tubo de ensayo esterilizado que contiene 9 ml de solución salina, esta será la muestra 4 que estará 10^4 .
5. De la muestra 4 se transfiere con una micropipeta 1 ml a un tubo de ensayo esterilizado que contiene 9 ml de solución salina, esta será la muestra 5 que estará 10^5 .

6. De la muestra 5 se transfiere con una micropipeta 1 ml a un tubo de ensayo esterilizado que contiene 9 ml de solución salina, esta será la muestra 6 que estará 10^6 .
7. De la muestra 6 se transfiere con una micropipeta 1 ml a un tubo de ensayo esterilizado que contiene 9 ml de solución salina, esta será la muestra 7 que estará 10^7 .

Estos tubos de ensayo se llevan al agitador vortex entre 30 segundos y 1 minuto para posteriormente tomar 1ml con la micropipeta y sembrar la muestra de las diluciones 10^4 hasta 10^7 en los medios de cultivo como se muestra en la figura 6.3.

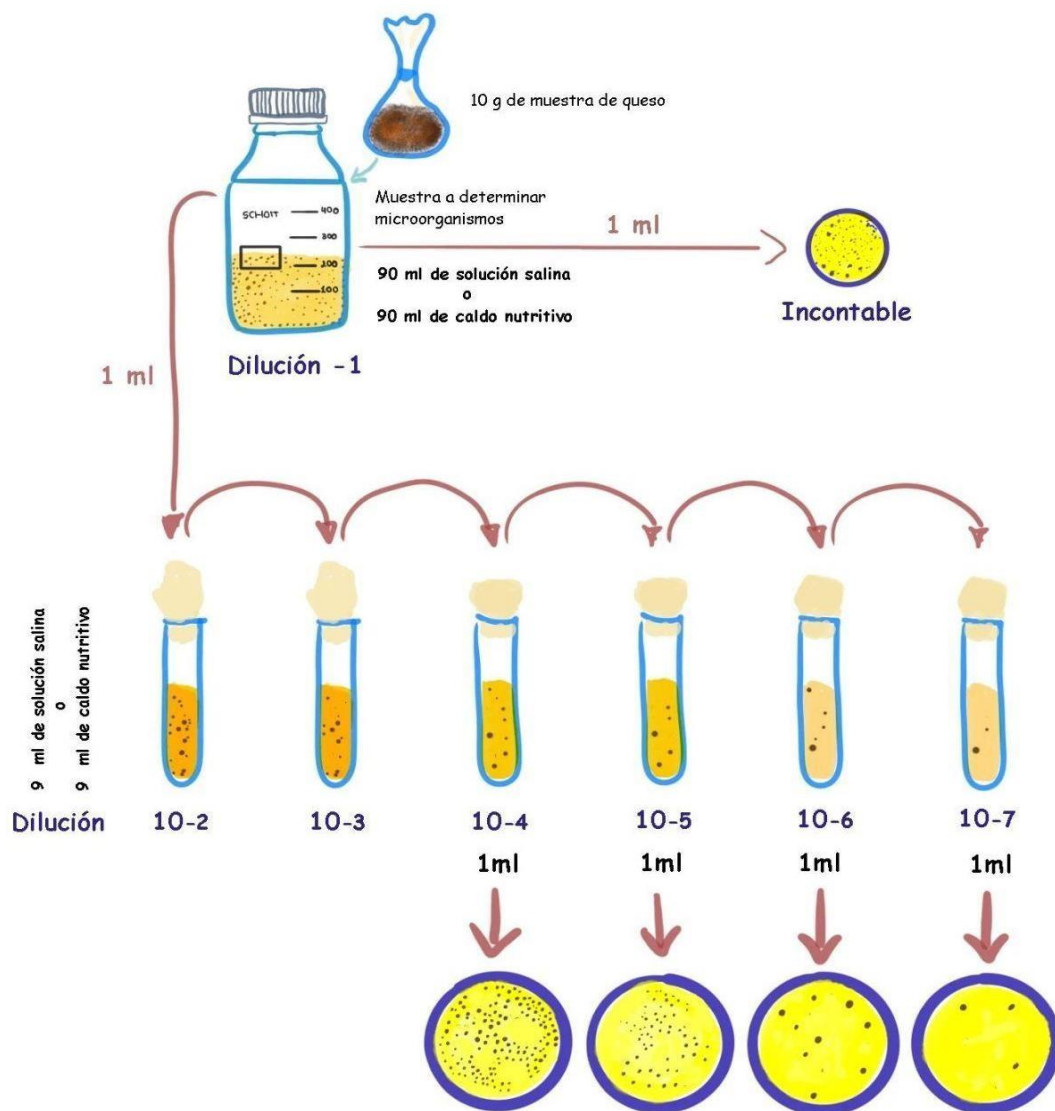


Figura 6.3. Diluciones decimales para conteo de microorganismos

Luego de identificar la presencia de microorganismos, se realiza un conteo de estos, donde se utiliza la norma NOM-110-SSA1-1994 para expresar los resultados de acuerdo a los intervalos de colonias (FDA, 1984).

- Intervalo de 25 - 250 colonias: Las placas de al menos 3 diluciones deben estar en el rango de 25 a 250 colonias, estas se cuentan y se reportan adicionando el factor de dicha dilución.
- Menos de 25 colonias: Se deben contar el número de colonias presentes en dicha dilución, promediar el número de colonias y multiplicar por el factor de dilución para obtener el valor estimado de cuenta en placa. Aclarar en su informe esta situación agregando la leyenda "valor estimado".
- Más de 250 colonias: Se debe dividir la caja en 4 partes, y se cuenta la zona más significativa, a partir de este conteo se multiplica por 4 el valor obtenido. Aclarar en el informe que es valor es "valor estimado".

Para poder obtener el número de UFC por gramo de muestra se debe redondear el número de colonias obtenidas; es decir, si el dígito es mayor a 5 se eleva el número al dígito mayor (si tenemos 128, se eleva a 130) y si el número es menor a 4, se reemplaza el dígito con 0 (si tenemos 2417 se redondea a 2400) (FDA, 1984). Posteriormente se debe aplicar la siguiente fórmula para convertir las colonias obtenidas en UFC por gramo.

$$\frac{UFC}{g} = \frac{\text{Número de colonias} * \text{ml de solución}}{\text{g de muestra que queso}} * \text{factor de dilución}$$

Una vez obtenidos los UFC/g, se procede a pasar los datos a log UFC/g hallando el logaritmo de los UFC/g obtenidos previamente. Por último, el reporte de los resultados obtenidos en la ecuación se presenta con dos cifras significativas y el reporte de *Listeria monocytogenes* se presenta como presencia o ausencia.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Fase1: Diseño

7.1.1. Diseño conceptual

- **Revisión bibliográfica de recubrimientos comestibles aplicados en matrices tipo queso**

En la tabla 7.1 se muestra la revisión bibliográfica realizada a partir de los criterios de evaluación utilizados para elegir la formulación que mejor se adapta al proyecto.

Tabla 7.1 Revisión bibliográfica para la selección la formulación del recubrimiento comestible

Criterios de selección	Recubrimiento comestible 1	Recubrimiento comestible 2	Recubrimiento comestible 3	Recubrimiento comestible 4	Recubrimiento comestible 5
Formulación	Polímero: Aislado de proteína de suero Plastificante: Glicerol Emulsificante: Goma guar y Tween 20 Aditivos: Aceite de girasol, natamicina y ácido láctico	Polímero: Proteína de suero ácido líquido (LAWPC) Plastificante: Glicerol Aditivo: Pectina de manzana, aceite de girasol	Polímero: Almidón de achira Plastificante: Glicerol y celulosa microcristalina Emulsificante: Tween 40 Aditivos: Aceite esencial de ajo y orégano	Polímero: Alginato de Sodio Plastificante: Glicerol Emulsificante: Tween 80 Aditivo: Aceite esencial de mirto	Polímero: Zeína de maíz Plastificante: Etanol Aditivos: Aceite esencial de ajo y tomillo
Tipo de alimento	Queso semiduro sin madurar	Queso fresco cuajada ácida	Queso doble crema	Queso fresco Kasar	Frutas, verduras y quesos
Tiempo de secado RC	8 horas	1 hora	10 minutos	20 minutos	24 horas
Tiempo que dura adherido al queso	60 días	21 días	42 días	24 días	10 días
Aspecto uniforme	Si	Si	Si	Si	Si
Pérdida de peso	9,10%	13,90%	14,3%	5%	7%

y humedad					
Dureza de las muestras	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,01
Cambio de color del alimento	Si, se intensificó el color a amarillo	Si, se intensificó el color a amarillo	Si, el color se opaca y luego se vuelve más amarillo	Si, el color es más brillante, y luego se vuelve más amarillo	Si, se intensificó el color a amarillo
Olor y sabor	El sabor y olor no eran intensos, donde el sabor logró mantenerse casi igual durante los 60 días de almacenamiento	No hay un cambio significativo con el olor y sabor. El sabor mejora con el recubrimiento	No hay un cambio significativo con el olor y sabor, llega a saber un poco a orégano	El sabor del queso cambia de forma mínima con el aceite esencial de mirto, pero no es desagradable	No hay un cambio significativo con el olor y sabor, llega a saber un poco a tomillo
Perfil microbiológico (inhibir el crecimiento de la listeria) (recuento de mesófilos y de <i>L. Monocytogenes</i>)	No presenta contaminación externa de microorganismos y listeria durante 60 días, no habla de reducción de mesófilos en el alimento previamente contaminado	No presenta contaminación externa de microorganismos durante su almacenamiento. La listeria detectada al inicio de las pruebas se redujo hasta 1,0 log ₁₀ unidades	Reducción de listeria de 0,88 y 1 log ufc/g e inhibición de mesófilos y levaduras	Reducción de listeria de alrededor 1 log ufc/g e inhibición de coliformes	Reducción de listeria (no específica) e inhibición de mesófilos y levaduras
Referencia	Ramos et al., 2012	Vasiliauskaite et al., 2022	Molina et al., 2020	Polat et al, 2022	Pereira et al, 2019
Costo estimado	180.000 pesos	165.000 pesos	120.000 pesos	140.000 pesos	135.000 pesos

● Revisión bibliográfica de modelos de dip-coating

Para iniciar con los planos y diseño de la estructura lo primero que se hizo fue una revisión bibliográfica de modelos de máquinas de dip-coating. Se encontraron diferentes modelos que eran desarrollados para funciones de laboratorio (Figura 7.1 y 7.12).



Figura 7.1. Dip coater
(Ospina C. et al, 2020).

El modelo desarrollado (Figura 7.9) se desplaza de arriba abajo, y se le pueden adaptar diferentes acoples para que pueda cubrir un elemento o varios al mismo tiempo.



Figura 7.2. Rotary Dip coater

El siguiente modelo (Figura 7.2) se mueve de forma vertical y puede girar hasta 8 posiciones predeterminadas para así aplicar a un mismo elemento diferentes recubrimientos sin que el usuario que la esté usando esté interviniendo para cambiar la solución.

7.1.2. Diseño preliminar

- **Matriz para la selección de la formulación del recubrimiento comestible**

En la tabla 7.2 se presenta la matriz de selección en la cual se evalúan los criterios e información de la tabla de revisión bibliográfica; para realizar esta evaluación se puntúa de 1 a 5 el cumplimiento de los criterios para así escoger dos de los cinco recubrimientos.

Tabla 7.2 Matriz de selección

Criterios de selección	Recubrimiento 1	Recubrimiento 2	Recubrimiento 3	Recubrimiento 4	Recubrimiento 5
Ingredientes de la formulación	1	2	5	3	4
Tipo de alimento	3	4	2	5	1
Tiempo de secado del recubrimiento	2	3	5	4	1
Tiempo que dura adherido al queso	5	2	4	3	1
Pérdida de peso y humedad	3	2	1	5	4
Actividad microbiológica	2	3	4	5	1
Costo	1	2	5	3	4
Total	17	18	26	28	16

Para hacer la puntuación se tuvieron en cuenta los criterios de la siguiente forma:

- *Ingredientes de la formulación:* Los ingredientes utilizados para el recubrimiento deben ser accesibles y se debe evitar en lo posible ingredientes que solo se encontraran fuera del país o que contará con pocos proveedores.
- *Tipo de alimento:* La aplicación del recubrimiento debe estar enfocada en quesos, sobre todo en quesos frescos.
- *Tiempo de secado del recubrimiento:* Se evalúa que el recubrimiento seque lo más rápido posible una vez aplicado en el queso.
- *Tiempo de adhesión:* Se evalúa que el recubrimiento pueda adherirse al queso la mayor cantidad de tiempo posible, partiendo de un mínimo de 15 días.
- *Pérdida de peso y humedad:* Se busca que el recubrimiento permita que el queso no pierda tanta humedad, logrando así que este conserve por mayor tiempo sus características organolépticas.
- *Actividad microbiológica:* Se valora la capacidad que presenta el recubrimiento para inhibir microorganismos, particularmente *Listeria Monocytogenes*
- *Costo:* Se busca que los ingredientes para elaborar el recubrimiento cuesten lo menos posible.

Finalmente las formulaciones seleccionadas son las que tienen como polímero el almidón de achira y el alginato de sodio; estos recubrimientos logran cumplir de mejor forma el requisito más importante del proyecto que es la inhibición de la bacteria en el queso fresco campesino, además de que sus materiales de elaboración son de fácil adquisición teniendo en cuenta de que otros de los recubrimientos escogidos proponen materiales un poco más limitados a industrias especializadas en este tipo de compuestos; otro aspecto notable a tener en cuenta son los precios de las formulaciones, aunque todas rondaban entre los 100.000 a 200.000 pesos colombianos, los materiales escogidos son los que menos valor tienen en el mercado a comparación de los otros; en la parte de olor y sabor se tiene en cuenta que al tener

componentes como lo son los aceites esenciales, el sabor del queso se puede alterar un poco pero no es muy notable pudiendo decir que aún mantiene las características organolépticas que los artesanos le brindan al alimento; para la pérdida de humedad podemos ver que la formulación del recubrimiento de almidón de achira es el que peor puntuación tuvo con respecto a los demás recubrimientos, pero se debe tener en cuenta que los porcentajes de esta pérdida estaban muy cercanos, además de que un 14,3% no es un valor que involucre algún factor negativo en el queso.

Teniendo las formulaciones seleccionadas se procede a realizar los cálculos y diagramas para establecer el procedimiento de elaboración de los recubrimientos por el método de casting en el laboratorio.

- **Prueba de concepto**

Elaboración de los recubrimientos por el método de casting

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar la cantidad a agregar de cada uno de los ingredientes para 100 ml de la formulación 1 y 2 que contiene el polímero de almidón de achira y el polímero de alginato de sodio respectivamente.

Formulación 1:

- *Almidón de achira*

$$\frac{30 \text{ g almidón}}{1000 \text{ g sol}} = 3 \text{ g almidón} / 100 \text{ ml so}$$

- *Glicerol*

$$\frac{25 \text{ g glicerol}}{1000 \text{ g sol}} = 0,25 \text{ g glicerol} * 3 \text{ g almidón} = 0,75 \text{ g glicerol} / 100 \text{ ml}$$

- *Tween 40*

$$\frac{25 \text{ g Tween}}{1000 \text{ g sol}} = 0,25 \text{ g Tween} * 3 \text{ g almidón} = 0,75 \text{ g Tween} / 100 \text{ ml}$$

- *Celulosa microcristalina*

$$\frac{5 \text{ g cel}}{1000 \text{ g sol}} = 0,05 \text{ g Cel} * 3 \text{ g almidón} = 0,15 \text{ g cel} / 100 \text{ ml}$$

- *Aceite de orégano*

$$\frac{40 \text{ g aceite}}{1000 \text{ g sol}} = 0,4 \text{ g aceite} * 3 \text{ g almidón} = 1,2 \text{ g aceite} / 100 \text{ ml}$$

Formulación 2:

$$\text{Fórmula porcentaje peso a peso} \rightarrow \% = \frac{\text{g soluto}}{\text{g soluto} + 100 \text{ g H}_2\text{O}} * 100$$

- *Alginato de sodio*

$$2\% = \frac{2 \text{ g soluto}}{\text{g soluto} + 100 \text{ g H}_2\text{O}} * 100$$

$$2 (\text{g soluto} + 100 \text{ g H}_2\text{O}) = \text{g soluto} * 100$$

$$2 \text{ g soluto} + 200 \text{ g H}_2\text{O} = 100 \text{ g soluto}$$

$$200 \text{ g H}_2\text{O} = 98 \text{ g soluto}$$

$$g \text{ alginato} = \frac{200 g H_2O}{98 g \text{ soluto}} = 204 g$$

- Glicerol

$$15 \% = \frac{15 g \text{ soluto}}{g \text{ soluto} + 100 g H_2O} * 100$$

$$15 (g \text{ soluto} + 100 g H_2O) = g \text{ soluto} * 100$$

$$15 g \text{ soluto} + 1500 g H_2O = 100 g \text{ soluto}$$

$$150 g H_2O = 985 g \text{ soluto}$$

$$g \text{ glicerol} = \frac{150 g H_2O}{985 g \text{ soluto}} = 153 g$$

- Tween 80

$$1 \% = \frac{1 g \text{ soluto}}{g \text{ soluto} + 100 g H_2O} * 100$$

$$1 (g \text{ soluto} + 100 g H_2O) = g \text{ soluto} * 100$$

$$1 g \text{ soluto} + 100 g H_2O = 100 g \text{ soluto}$$

$$100 g H_2O = 99 g \text{ soluto}$$

$$g \text{ tween} = \frac{100 g H_2O}{99 g \text{ soluto}} = 1 g$$

- Aceite de mirto

$$1\% = \frac{1g \text{ soluto}}{g \text{ soluto} + 100g \text{ H}_2\text{O}} * 100$$

$$1(g \text{ soluto} + 100g \text{ H}_2\text{O}) = g \text{ soluto} * 100$$

$$1g \text{ soluto} + 100g \text{ H}_2\text{O} = 100g \text{ soluto}$$

$$150g \text{ H}_2\text{O} = 99g \text{ soluto}$$

$$g \text{ aceite} = \frac{100g \text{ H}_2\text{O}}{99g \text{ soluto}} = 1g$$

A partir de los cálculos se procede a construir el diagrama con el procedimiento a seguir en el laboratorio para elaborar el recubrimiento.

- Recubrimiento 1 (Formulación: Polímero: Almidón de achira; Plastificante: Glicerol y celulosa microcristalina; Emulsificante: Tween 40; Aditivos: Aceite esencial de ajo y orégano).

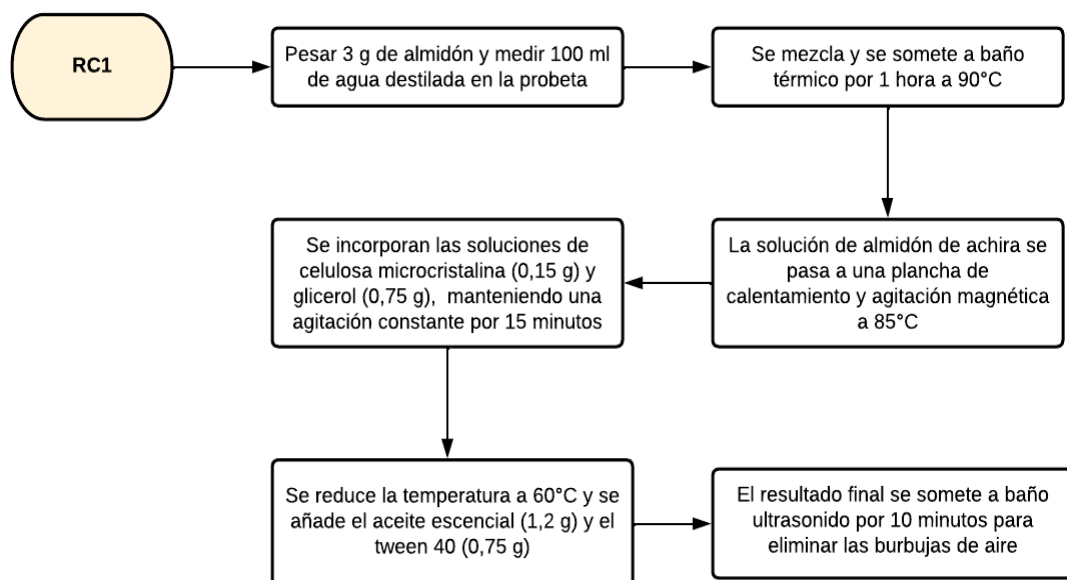


Figura 7.3. Diagrama de flujo para la obtención del recubrimiento comestible bajo las condiciones de la formulación 1

- Recubrimiento 2 (Formulación: Polímero: Alginato de Sodio; Plastificante: Glicerol; Emulsificante: Tween 80; Aditivo: Aceite esencial de mirto).

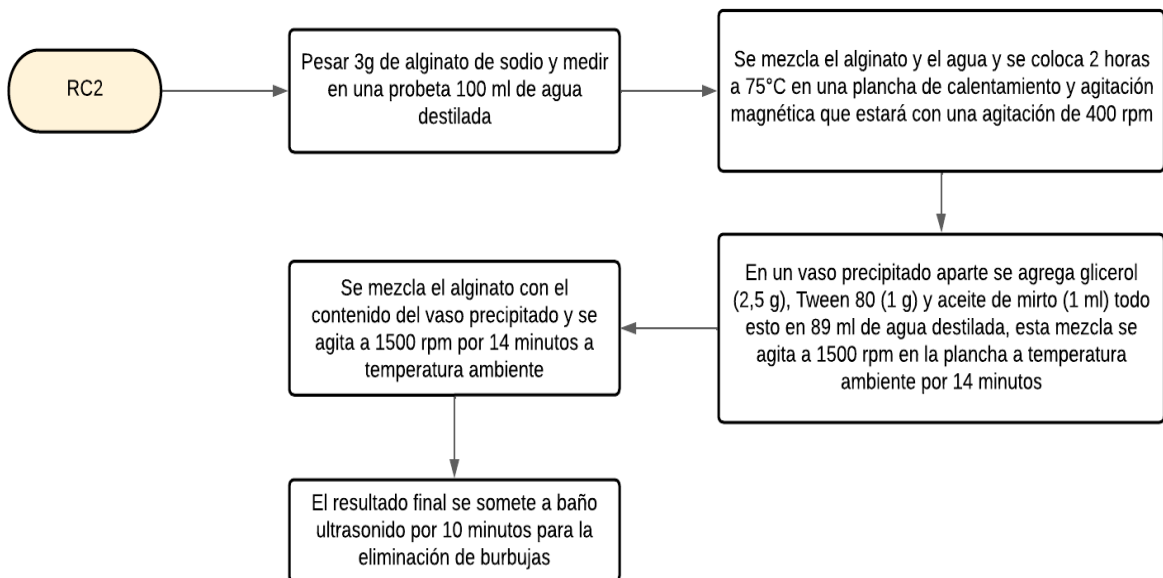


Figura 7.4. Diagrama de flujo para la obtención del recubrimiento comestible bajo las condiciones de la formulación 2

Una vez elaborados los recubrimientos se colocaron en unas cajas Petri y bandejas de aluminio para posteriormente dejarlos secando en la incubadora a 50°C durante 2 días.



Figura 7.5. Resultados de los recubrimientos comestibles elaborados por el método de casting

En el primer ensayo con el recubrimiento a base de alginato de sodio se obtuvo una película del recubrimiento muy frágil como se puede observar en la figura 7.4, donde al intentar despegar el recubrimiento este se fraccionó en una zona; esto sucedió ya que la prueba se hizo con 2g de alginato el cual era el valor que inicialmente se había calculado, pero teniendo en cuenta los resultados anteriormente mencionados se decidió reformular la cantidad del polímero ajustándose a una cantidad de 3g para probar en el siguiente ensayo.



Figura 7.6. Resultados del recubrimiento a base de 2g de alginato de sodio elaborado por el método de casting

En el siguiente ensayo se elaboró el recubrimiento con los 3g de alginato de sodio, teniendo como resultado una mejor consistencia y elasticidad, el recubrimiento ya no se rompía, no presentaba coloración por lo cual no altera el color original de alimento, el sabor y olor es casi imperceptible, donde existe una leve influencia del aceite esencial de mirto; considerando el resultado obtenido la película del recubrimiento se almacenó en una bolsa ziploc como se ve en la figura 7.5.

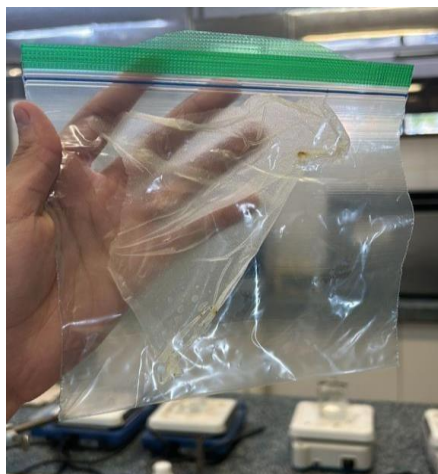


Figura 7.7. Resultados del recubrimiento a base de 3g de alginato de sodio

Para el recubrimiento a base de almidón de achira se realizó una prueba inicial, este recubrimiento se sometió a las mismas condiciones de secado que el recubrimiento a base de alginato; es decir, se dejó en la incubadora a 50°C por dos días; como resultado se obtuvo que el recubrimiento se había sobre secado y estaba cuarteado, además de tener un sabor y olor bastante fuerte a orégano por lo cual se optó por elaborar nuevamente disminuyendo su tiempo en la incubadora y reformulando la cantidad a aplicar del aceite esencial de 3 ml a 1 ml.

Basándonos en la reformulación, se elaboró nuevamente el recubrimiento y se monitorea el secado durante 24 horas, dando como resultado que este recubrimiento duraba secando un día menos que el otro, presenta buena consistencia, es incoloro, y el olor y sabor pasaron de ser muy perceptibles a casi imperceptibles.



Figura 7.8. Resultados del recubrimiento a base de almidón de achira

A partir de estos resultados se busca observar y entender el comportamiento de ambos recubrimientos en el queso fresco campesino; esto se realizó por medio de una prueba de concepto.

Selección del recubrimiento comestible

Para esta prueba se usó el mismo procedimiento de las figuras 7.2 y 7.3, con la diferencia que el recubrimiento se aplica sobre el queso fresco campesino, para así

poder evaluar el mejor recubrimiento en términos de adherencia, color, uniformidad y pérdida de peso.

La aplicación en el queso se hizo por método de inmersión, donde se hizo una única inmersión y se dejó secar el queso entre 10 a 20 minutos a temperatura ambiente. Cabe destacar que para hacer la inmersión se probaron dos instrumentos el cual uno era una pinza y el otro era una malla de colador, para así también analizar qué método era más efectivo con respecto a permitir que se recubra el alimento de forma uniforme y también que no lo dañe.

Para esta prueba se realizaron 4 muestras con colorante y 4 muestras sin colorante, la finalidad de las muestras con colorante era poder verificar como se estaba recubriendo el queso y la uniformidad; por otro lado, las pruebas sin colorante se dividieron en dos por recubrimiento, donde una prueba era con los recubrimientos 1 y 2 sin aceite, y a las otras pruebas se les agregaba aceite de canola a parte de las fórmulas para analizar cambios en la pérdida de peso con estos ingredientes. A continuación, se puede observar la distribución de las pruebas.

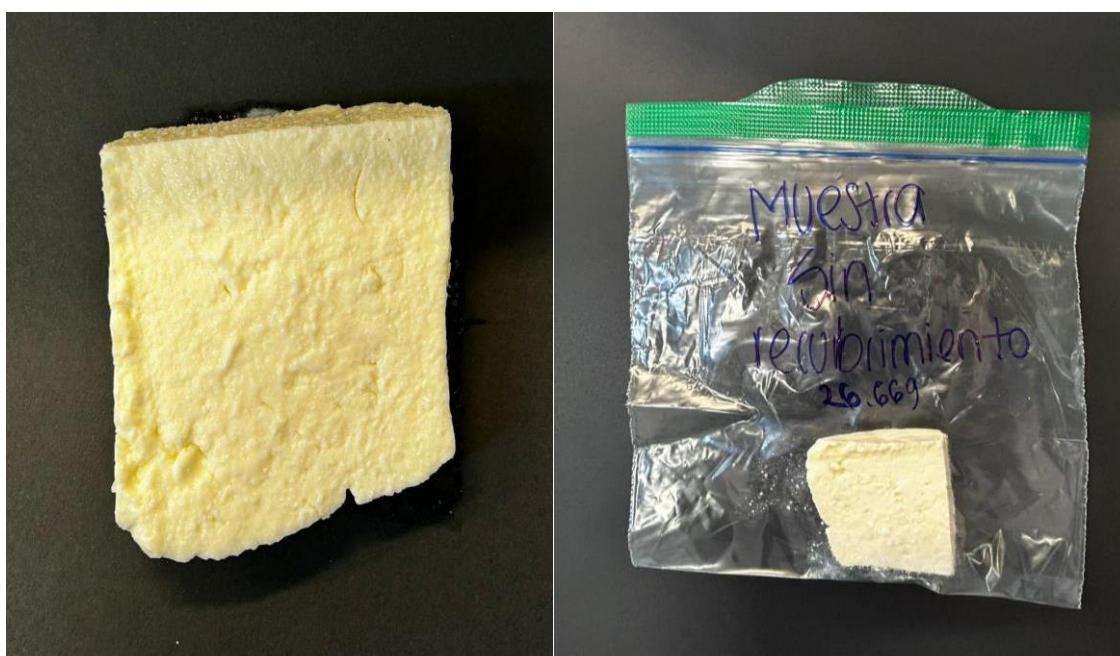


Figura 7.9. Muestra control del queso sin recubrir

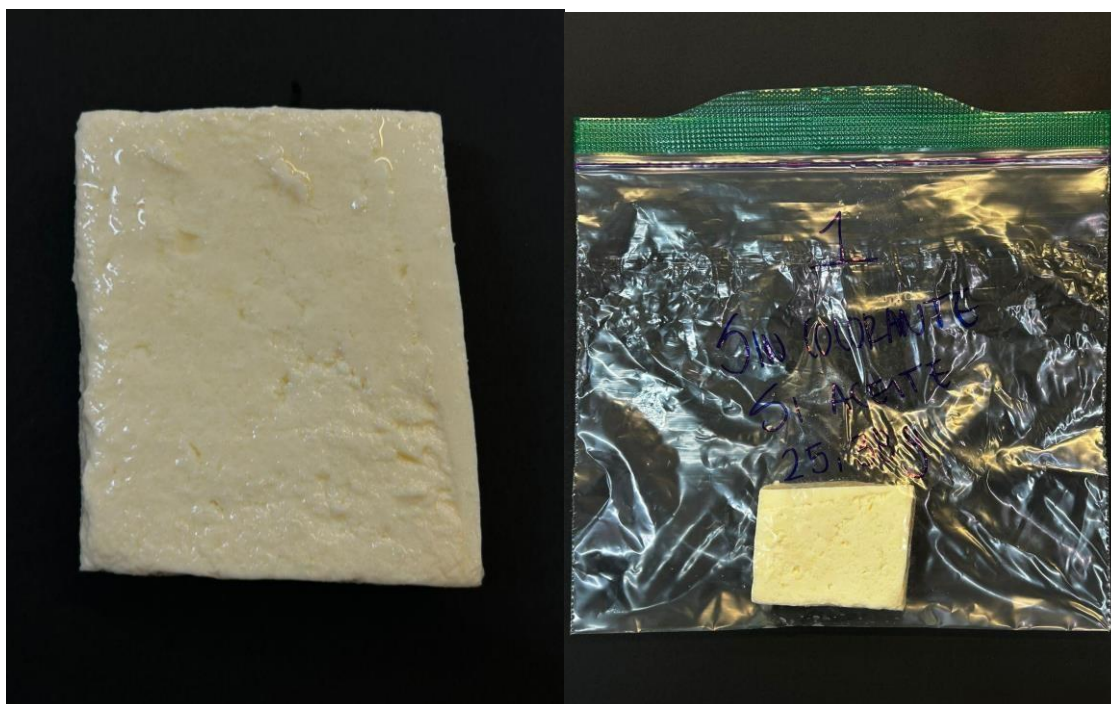


Figura 7.10. Queso recubierto con almidón de achira con aceite

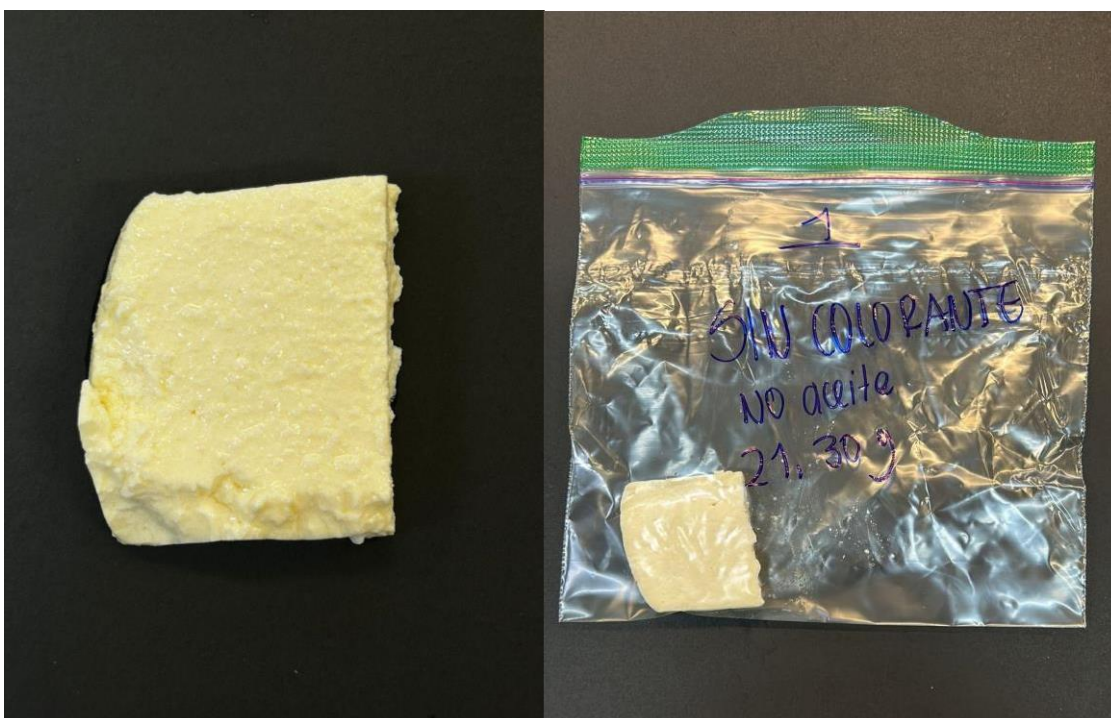


Figura 7.11. Queso recubierto con almidón de achira sin aceite



Figura 7.12. Queso recubierto con alginato de sodio con aceite

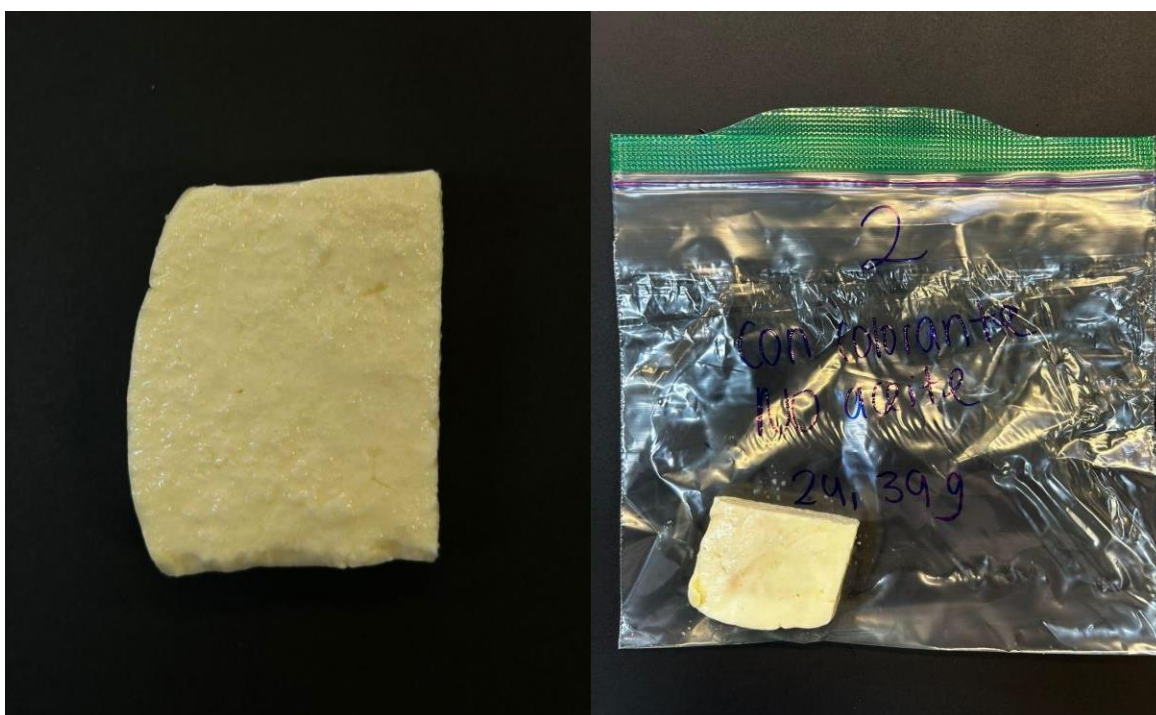


Figura 7.13 Queso recubierto con alginato de sodio sin aceite

Para la evaluación se hizo una observación de las muestras sin colorante durante 7 días, ya que las que tenían colorante solo se utilizaron para mirar la uniformidad del recubrimiento y que la malla no perjudica esta uniformidad. En esta evaluación se

miraron los cambios de color, sabor y pérdida de peso (asociado con la pérdida de humedad), estos cambios se compararon con una muestra control que pertenece al queso sin recubrir.

- Pérdida de peso

A continuación, en la tabla 7.3, se muestran los resultados de la variación del peso de las muestras de queso después de 7 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración.

Tabla 7.3 Resultados de los porcentajes de variación de peso de las muestras de queso

Muestra	% de pérdida de peso
Control	9.15%
RC1	8,91%
RC1 con aceite	8,61%
RC2	7,37%
RC2 con aceite	4,3%

Partiendo de la tabla podemos observar que en general los quesos recubiertos tuvieron menor porcentaje de pérdida de peso comparándolo con la muestra control, destacando las pruebas realizadas con aceite de canola que dieron resultados de menor pérdida de humedad; esto se debe a que el aceite gracias a los ácidos grasos que lo componen, genera una barrera con características hidrofóbicas (repelen el agua) e hidrofílica (atraen el agua), ayudando a retener la humedad dentro del queso (García, 2021).

- Coloración

Se analizó el cambio de color donde en el día 7 (fig. 7.8) podemos observar la diferencia de color existente entre las muestras con respecto al día 0 (fig. 7.3 - 7.4).



Figura 7.14. Queso sin recubrimiento, con RC1 y RC2 en el día 7

En la figura 7.8 se puede observar la diferencia existente entre los quesos recubiertos y el queso control, donde el queso control ha tenido un proceso de maduración más rápido que los otros quesos, ya que al perder más agua y entrar en contacto directo con el aire, este presenta un proceso de oxidación en el cual comienzan a cambiar sus propiedades como la textura, el olor, sabor y color (García, 2021).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta prueba de concepto, el recubrimiento escogido para ser aplicado por el prototipo es el recubrimiento 2 a base de alginato de sodio, esto debido a sus cualidades de menor porcentaje de pérdida de peso, mejor mantenimiento del color y mejor conservación del olor del queso.

Establecimiento de los parámetros de aplicación del recubrimiento comestible

A continuación, se realizan 3 pruebas para poder definir los parámetros que debe tener el prototipo para poder recubrir el queso fresco campesino; estas se dividen en viscosidad para poder establecer con este valor la velocidad de inmersión y extracción, el tamaño de la malla para poder recubrir sin que esta afecte la homogeneidad del queso, el número de inmersiones y el tiempo de secado.

- Viscosidad

Durante esta prueba se obtiene la viscosidad del recubrimiento por medio de un viscosímetro rotacional para con este dato poder definir la velocidad y tiempo de inmersión del queso. Se midieron dos muestras de recubrimiento, de las cuales se obtiene la siguiente gráfica de dispersión:

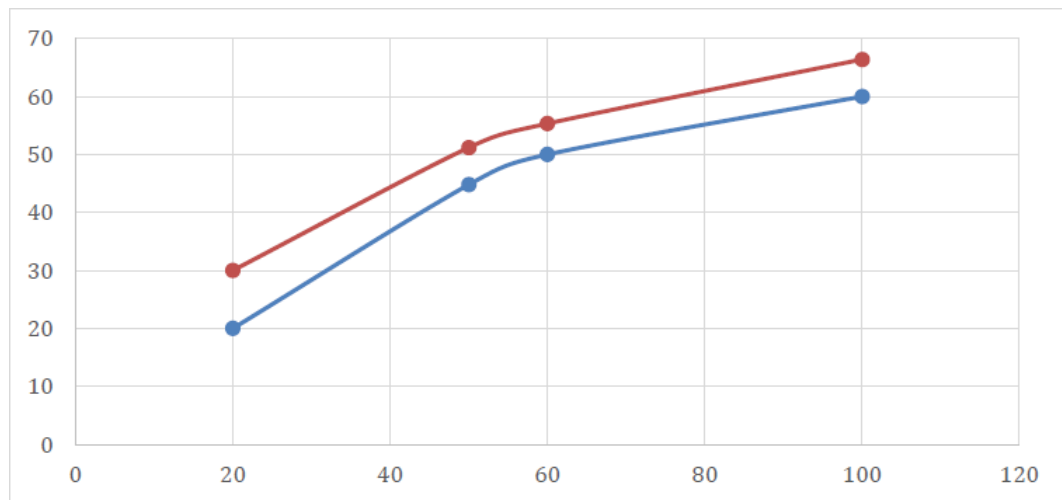


Figura 7.15. Gráfica de dispersión para la viscosidad

A partir de estos valores se saca el dato que mejor favorece al trabajo el cual es el promedio de los dos valores ubicados en 100 rpm; es decir, 63,15 cp. Este dato es el adecuado, ya que entre mayor viscosidad presente el recubrimiento, mayor capacidad de adhesión tiene este (Escobar et., al, 2009), donde se toma este dato para realizar el código teniendo en cuenta que para esta viscosidad se necesita cierta velocidad y tiempo para que el prototipo funcione sin percances y cumpla su objetivo.

- Densidad

Se pesó por triplicado cada masa, en la misma balanza y se promedió, para disminuir el margen de error del resultado. Se pesó el picnómetro vacío y con agua a una temperatura de 20°C.

$$m_{Pvacio} = 21,5937 \text{ g}$$

$$m_{Pvacio} = 21,5934 \text{ g}$$

$$m_{P_{vacio}} = 21,5937 \text{ g}$$

$$\Sigma = 21,5936 \text{ g}$$

$$T_{H_2O} = 20^\circ C \quad \rightarrow \quad \rho = 0,9982 \text{ g/ml}$$

$$m_{PH_2O} = 48,6345 \text{ g}$$

$$m_{PH_2O} = 48,6345 \text{ g}$$

$$m_{PH_2O} = 48,6344 \text{ g}$$

$$\Sigma = 48,6345 \text{ g}$$

Donde:

$$\rho_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{V_{H_2O}} \Rightarrow V_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}$$

Se despeja el volumen, para así tener el volumen real del picnómetro a la hora de enlazarlo y así tener un dato de la densidad de la solución del recubrimiento más preciso

$$V_{H_2O} = \frac{48,6345 \text{ g} - 21,5936 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/ml}} = 27,1 \text{ ml}$$

Se llenó el picnómetro con la solución del recubrimiento y se pesó por triplicado en la misma balanza y se promedió. Se reemplazan los datos obtenidos del volumen y masas y se obtiene la densidad de la solución del recubrimiento.

$$m_{P_{sin}} = 48,8335 \text{ g}$$

$$m_{Psln} = 488335 \text{ g}$$

$$m_{Psln} = 488335 \text{ g}$$

$$\Sigma = 488335 \text{ g}$$

$$\rho_{sln} = \frac{488335 \text{ g} - 215936 \text{ g}}{271 \text{ ml}} = 100516 \text{ g/ml}$$

$$\rho_{sln} = 1005,2 \text{ kg/m}^3$$

- Velocidad

Velocidad por número de Reynolds

$$V \text{ máxima} = 110 \text{ mm/s}$$

$$V \text{ mínima} = \frac{110}{\frac{6400}{110}} = 1,90 \text{ mm/s}$$

El número de Reynolds (Re) es un indicador esencial para entender cómo se comporta un fluido cuando un objeto se mueve a través de él. En esencia, el valor de Re indica si las fuerzas de inercia o las fuerzas viscosas son más dominantes en un flujo dado. Las fuerzas viscosas predominan cuando el número de Reynolds es bajo. La viscosidad del fluido es esencial para mantener el movimiento organizado de las partículas en este contexto. Esto resulta en un flujo laminar, que es suave y predecible porque las partículas del fluido se mueven en capas paralelas sin intersección.

Sin embargo, las fuerzas viscosas pierden importancia y las fuerzas de inercia toman el control cuando el número de Reynolds es alto. En este caso, la velocidad del fluido es tan alta que la viscosidad no puede evitar que las partículas del fluido se muevan

de manera desordenada y caótica. Esto provoca un flujo turbulento, en el que las partículas del fluido se mezclan y cruzan para formar vórtices y remolinos.

$$\rho_{\text{Stn}} = 10052 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{min}} = 19 \text{ mm/s} \rightarrow 19 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$V_{\text{max}} = 110 \text{ mm/s} \rightarrow 0.11 \text{ m/s}$$

$$L = 13 \text{ cm} \rightarrow 0.13 \text{ m}$$

$$\mu = 0.06315 \text{ poises}$$

$$Re_{\text{max}} = \frac{\rho \times V_{\text{max}} \times L}{\mu} = 22762$$

$$Re_{\text{min}} = \frac{\rho \times V_{\text{min}} \times L}{\mu} = 0.3932$$

En estas condiciones, el número de Reynolds es alto para la velocidad máxima ($Re_{\text{Max}} = 227.62$), lo que indica un flujo más turbulento a esta velocidad, por lo que, a la hora de sumergir el alimento la distribución de partículas o componentes de la solución de recubrimiento puede ser menos homogénea en un flujo turbulento. Además, altas velocidades pueden mezclar y agitar el fluido, lo que puede hacer que el recubrimiento se distribuya desigual sobre la superficie que se está recubriendo.

Por otro lado, el número de Reynolds es muy bajo para la velocidad mínima ($Re_{\text{Min}} = 0.3932$), lo que indica un flujo laminar. Un flujo laminar es más predecible y ordenado, lo que generalmente significa que la solución de recubrimiento a la hora de hacer la inmersión del alimento se distribuirá de manera más uniforme. Esto es algo ventajoso ya que se busca una alta homogeneidad en la capa de recubrimiento. Sin embargo, también se pueden encontrar problemas a velocidades.

- Tamaño de los hilos de la malla

A partir de la revisión bibliográfica se obtuvo que la especificación adecuada para líquidos fluidos son las mallas de hilos finos y poros pequeños o medianos, ya que son eficientes para la distribución del líquido debido a su alta permeabilidad (Sánchez, 2019). A partir de esto se adquirieron 3 mallas con las siguientes medidas entre hilos: 3mm, 6mm y 1 cm respectivamente, donde se realizó una prueba con colorante rojo para determinar si la malla dejaba alguna marca en el queso, si lograba recubrirse de forma uniforme y observar el comportamiento de la malla durante todo el proceso de inmersión. Como resultado se obtuvo que la malla de 1 cm a la hora de recubrir dejaba marcas en el queso, por lo cual no funcionaba ya que el recubrimiento no sería de forma homogénea, por otra parte la malla de 3mm y 6 mm permitieron que el queso se recubriera sin dejar marcas pero de manera visual determinamos que el color de la parte de los quesos recubiertos que estaba en contacto con la malla de 6mm era más clara en comparación con el de 3mm, tomando esto se definió que la malla de 3mm era la más adecuada ya que permite que el queso se recubra de forma homogénea y que la zona que está en contacto con la malla quede mejor recubierta que con los otros tamaños.

- Número de inmersiones y tiempo de secado

Para esta prueba se tomaron 5 pedazos de queso y se recubrieron con el recubrimiento comestible con y sin colorante; las pruebas realizadas con el colorante fueron para poder observar cómo quedaba el recubrimiento en el queso y el grosor de la capa dependiendo el número de inmersiones, mientras que las pruebas sin colorante se realizaron para analizar el comportamiento del queso dependiendo el número de capas aplicadas. Las inmersiones se realizaron sumergiendo el queso 2 minutos y dejándolo escurrir 30 segundos, esto se repetía por cada inmersión en caso de ser más de una, una vez terminado el procedimiento se dejaba el queso secando con un secador de 1200 W de potencia y se cronometraba el tiempo que duraba el secado, posteriormente se almacenaba en la nevera a 5°C para evaluar el comportamiento.

Después de 3 días de la aplicación, en la figura 7.16 se observan los quesos con color para analizar la intensidad del rojo, su adhesión y se cortan a la mitad para medir el grosor de la capa del recubrimiento.



Figura 7.16. Quesos con colorante para analizar homogeneidad y grosor de la capa de RC

Una vez cortados los quesos se les mide con una regla el grosor de la capa obteniendo como resultado la tabla 7.4, donde se menciona el grosor del RC y el tiempo de secado dependiendo del número de inmersiones.

Tabla 7.4. Resultados obtenidos del grosor y tiempo de secado dependiendo el número de inmersiones del queso en el recubrimiento

Muestra	Número de inmersiones	Grosor (milímetros)	Tiempo de secado (minutos)
Queso A	1	0,5 mm	5 min
Queso B	2	1 mm	6 min
Queso C	3	1,5 mm	8 min
Queso D	4	2 mm	10 min
Queso E	5	2,5 mm	13 min

Teniendo en cuenta el grosor de los recubrimientos se descartó el RC de 4 y 5 inmersiones, ya que la capa era muy gruesa y el tiempo de secado era alto, luego se descartó el RC con 1 inmersión debido a que la capa era muy delgada y a pesar de que recubría por completo el queso, este puede presentar desprendimiento fácil. Por último, se analizó la capa obtenida de la inmersión 2 y 3 teniendo como resultado que ambas recubrían el queso sin que el recubrimiento fuera muy grueso, por ende, para poder definir cuál de estas dos opciones era la más factible se procedió a analizar los quesos sin colorante.

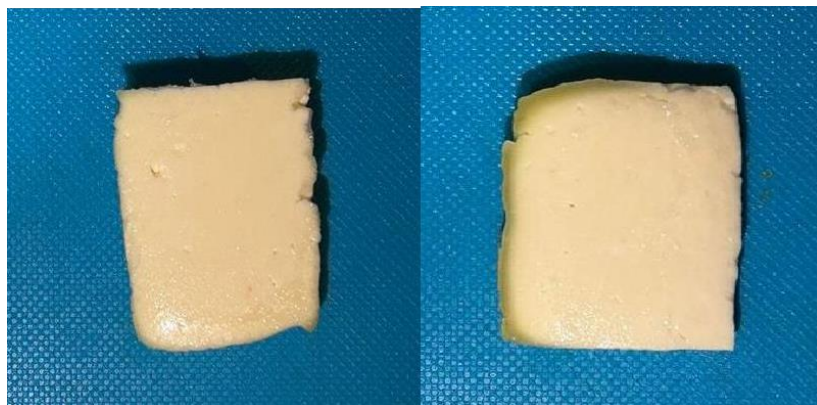


Figura 7.17. Queso con 2 inmersiones y queso con 3 inmersiones

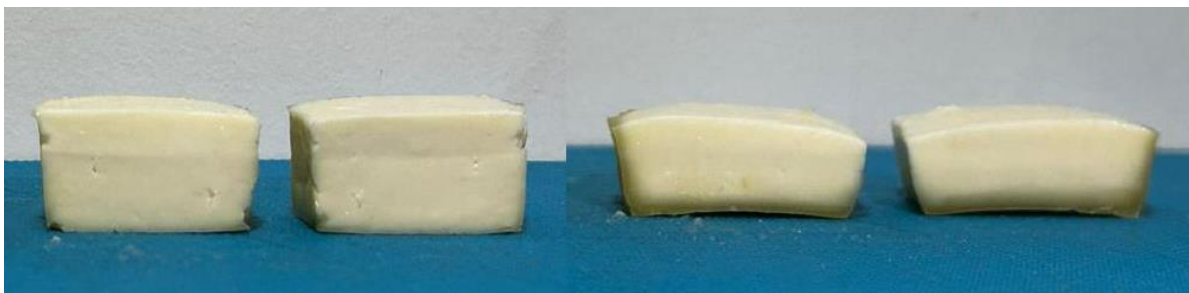


Figura 7.18. Queso cortado a la mitad con 2 y 3 inmersiones

Gracias a la prueba sin colorante nos pudimos dar cuenta que el RC con 3 inmersiones era notorio a diferencia del RC con 2 inmersiones, por ende, este se descartó ya que nuestro proyecto abarca el requerimiento de que el recubrimiento no sea notorio para el consumidor, escogiendo finalmente que el prototipo realizaría la inmersión 2 veces.

- **Diseño estructural del prototipo**

Basados en la información recolectada de los dispositivos de Dip-coating, inicialmente se diseñó un prototipo preliminar que pudiera trasladarse de manera vertical y que pudiera sujetar el alimento el cual es el queso, se tomó como referencia inicial que la metodología de aplicación del recubrimiento es la inmersión o Dip-coating para iniciar con el desarrollo del dispositivo.

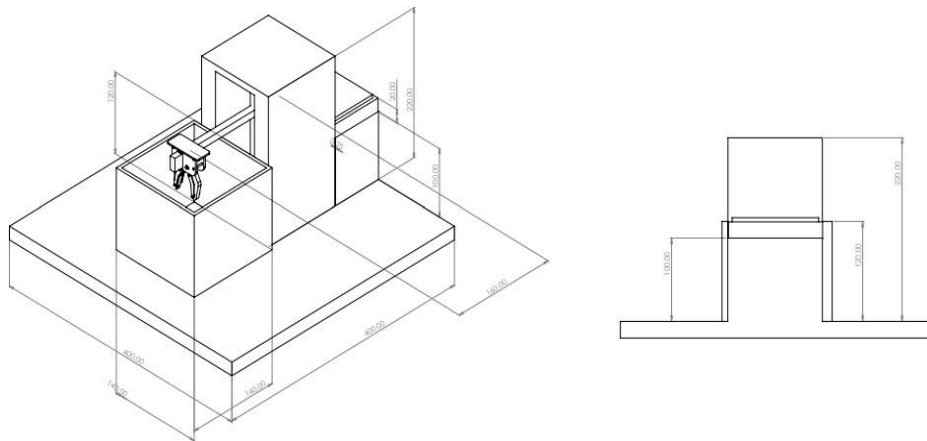


Figura 7.19. Diseño del plano preliminar sin detalles.

Luego a medida que se avanzó se consideraron requerimientos como los cuales hacen referencia a que el prototipo tenga la capacidad de trasladarse verticalmente permitiendo la inmersión y extracción del alimento, también se tuvo en cuenta para el diseño que el equipo fuera portátil y complementado con la revisión bibliográfica, se fue modificando el prototipo que se diseñó de manera que fuera de fácil ensamblaje y estable a la hora de ascender o descender, por lo que se optó por hacer el diseño de las piezas del prototipo tipo rompecabezas, ya que, al ensamblar las partes del prototipo como fichas de rompecabezas, se crea una estructura estable y robusta que por otro lado las fichas encajadas actúan como refuerzos mutuos, otra ventaja que tiene esto es que pueda ser construido sin mayor complejidad utilizando las fichas tipo rompecabezas. Se tuvieron en cuenta las características electromecánicas de los dispositivos para generar un diseño más detallado de las piezas del prototipo, antes de definir completamente los componentes electrónicos y mecánicos.

- **Diseño de las piezas del prototipo**

El diseño de los planos de la estructura del prototipo de inmersión de alimentos se basó en el queso fresco seleccionado de la ciudad de Tunja-Boyacá que tiene una forma circular, un peso de 500g aproximadamente, un diámetro de 11 cm y una altura de 5.5 cm.

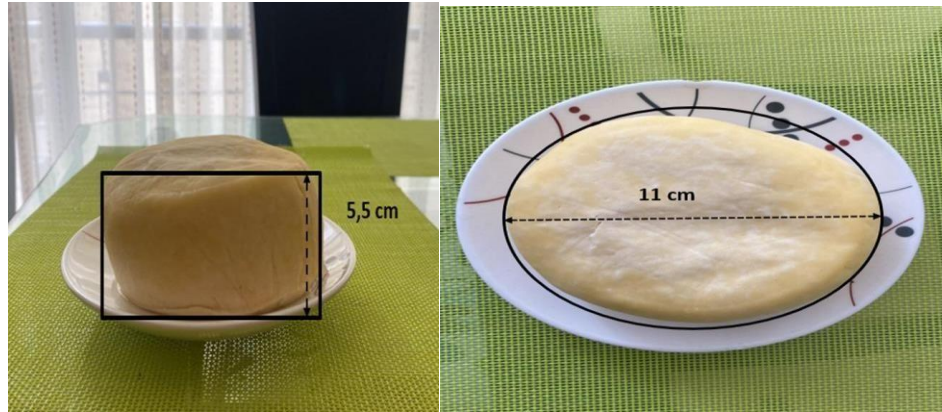


Figura 7.20. Queso fresco seleccionado de la ciudad de Tunja-Boyacá.

El diseño de la plancha y el recipiente donde va ir la solución del recubrimiento seleccionado, se creó a partir de las dimensiones del queso fresco y también basado en su forma geométrica que en este caso es un círculo (Figura 7.18) por lo tanto se realizaron cálculos previos del volumen del recipiente, dimensiones de la plancha donde irá ubicado el queso.

Donde el área de la plancha > área del queso

$$\text{Queso: } 11 \text{ cm} \times 5,5 \text{ cm}$$

$$\text{Plancha : } \varnothing 13 \text{ cm} \times 0,25 \text{ cm}$$

$$V_{\text{plancha}} = (\pi \cdot r^2) \times h$$

$$V_{\text{plancha}} = 3318 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{queso}} = (\pi \cdot r^2) \times h$$

$$V_{\text{queso}} = 52268 \text{ cm}^3$$

- **Dimensiones del recipiente**

Basado en el dispositivo y en criterios propios se dejó un margen adicional mínimo de 3 cm para asegurarnos de que el recipiente sea lo suficientemente profundo. Por lo que se obtuvo un recipiente de alto de 9 cm.

$$\text{Altura Rec (h)} = \text{Altura plancha} + \text{Altura alimento}$$

$$\text{Altura Rec(h)} = 9 \text{ cm}$$

Se debe tener un diámetro mayor de 13 cm por lo que se debe tener un margen adicional por lo menos 1 cm mayor que el de la plancha para a la hora de hacer la inmersión el borde del recipiente y la plancha no se toquen.

$$\text{Recipiente: } \varnothing 18 \text{ cm} \times 9 \text{ cm} \quad 1 \text{ cm}^3 = 1$$

$$\text{ml}$$

$$1\text{l} = 1000 \text{ ml}$$

$$V_{\text{recipiente}} = (\pi \cdot r^2) \times h$$

$$V_{\text{recipiente}} = 229022 \text{ cm}^3$$

- Capacidad

$$V_{\text{recipiente}} = 229 \text{ L aprox}$$

$$\text{Margen del volumen} = 229022 \text{ cm}^3 - 52268 \text{ cm}^3 - 3318 \text{ cm}^3$$

Margen del Volumen = 173436 cm^3 suficiente para que, a la hora de sumergir el alimento sobre la plancha, no haya ningún derrame y que la solución fluya adecuadamente.

A la hora de diseñar, se analizó una característica que es esencial para garantizar la higiene en el proceso de recubrimiento y es que la malla donde va ubicado el queso fuera desprendible, ya que, el usuario no tendría que esperar a que el recubrimiento seque, lo que agiliza el proceso y evita demoras innecesarias.

Además, si la malla puede quitar evita que el usuario toque el queso directamente al sacarlo del prototipo, lo que es beneficioso para la higiene y la manipulación segura de alimentos.

- **Matriz Pugh para la selección de materiales de construcción del prototipo**

Teniendo en cuenta los criterios establecidos en la metodología, se procede a hacer dos tablas para la evaluación de los materiales, donde la tabla 7.5 es la matriz para los materiales que están en contacto con los alimentos, mientras que la tabla 7.6 contiene los materiales que no entran en contacto con el queso.

Tabla 7.5. Matriz para la selección del material de la estructura que sí entrará en contacto con los alimentos (método PUGH)

Material/Criterio	Durabilidad	Disponibilidad	Costo	Resistencia a la corrosión	Total
	0,3	0,2	0,2	0,3	
Vidrio	-1	1	1	0	0.1
Acero inoxidable	1	1	-1	1	0.6
Aluminio	0	1	1	0	0.4
PETG	0	1	0	1	0.5

Tabla 7.6. Matriz para la selección del material de la estructura que no entrará en contacto con los alimentos

Material/Criterio	Durabilidad	Disponibilidad	Costo	Peso	Total
	0,3	0,2	0,3	0,2	
Vidrio	0	1	1	0	0.5
Acero inoxidable	1	1	-1	-1	0
Acrílico	1	1	0	1	0.7
Madera	-1	1	1	0	0.2

Finalmente, el material escogido para los elementos que estarán en contacto con el queso es el acero inoxidable, gracias a que su tiempo de vida útil es alto, no presenta dificultades a la hora de adquirirlo y es resistente a la corrosión evitando que el alimento se contamine como en el caso de otros materiales; un punto en contra es el alto costo del material, pero las características que este posee para aplicar en elementos que están en contacto con alimentos amerita el costo. Por otro lado, también se escogió el acrílico como el material que no va a estar en contacto con el queso, esto debido a su fácil adquisición, durabilidad, costo accesible y a diferencia del acero inoxidable para este material se tuvo en cuenta el peso considerando la portabilidad del prototipo.

- **Matriz de selección de componentes principales para el funcionamiento electromecánico**

Teniendo en cuenta los criterios establecidos en la metodología, se procede a hacer tres tablas para la evaluación del microcontrolador motor y driver del motor, en las tablas 7.7, 7.8 y 7.9 respectivamente.

Tabla 7.7. Matriz para la selección del microcontrolador para el funcionamiento electromecánico del prototipo (método PUGH)

Microcontrolador/ Criterio	Número de pines	Costo	Facilidad de uso	Memoria flash	Total
	0.2	0.3	0.3	0.2	
Arduino UNO	0	1	1	1	0.8
Arduino Mega	1	-1	0	1	0.1
Raspberry Pi	0	-1	0	1	-0.1
Arduino nano	0	1	0	1	0.5

Tabla 7.8. Matriz para la selección del motor para el funcionamiento electromecánico del prototipo (método PUGH)

Motor/ Criterio	Accesibilidad	Costo	Tamaño	Control de variables	Torque	Total
	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	
Motor PAP Nema 17 con reductor 5:1	1	0	1	1	1	0.9
Motor DC	1	1	1	-1	1	0.6
Motor PAP Nema 23	-1	-1	-1	1	1	0.4

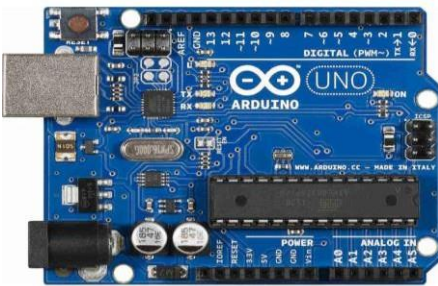
Tabla 7.9. Matriz para la selección del driver del motor para el funcionamiento electromecánico del prototipo (método PUGH)

Driver motor/Criterio	Costo	Rendimiento	Microstepping	Compatibilidad con el motor	Total
	0.3	0.2	0.3	0.2	
TB6600	0	1	1	1	0.8
A4988	1	-1	0	1	0.1
TMC2209	-1	1	1	1	0.6

- **Componentes electrónicos**

Estos elementos y sus medidas fueron seleccionados basados en la matriz Pugh teniendo en cuenta los requerimientos del prototipo, accesibilidad comercial, costo y la información recopilada (Vallejo A, 2019).

Tabla 7.10. Componentes electrónicos escogidos de la matriz Pugh

Arduino UNO		Es un microcontrolador que almacena toda la información para el funcionamiento y control de variables como velocidad, desplazamiento y tiempo de reposo.
Motor Nema 17 con reductor 5:1		Se seleccionó un motor PAP con reductor ya que se necesitaba un gran torque para mover con éxito el queso y lograr controlar con precisión su desplazamiento, velocidad y tiempo de reposo.
Driver Tb6600		Este driver proporciona un control preciso de la corriente de motor. Esto es importante cuando se trabaja con un motor NEMA 17, ya que un suministro de corriente adecuado garantiza un funcionamiento eficiente y evita el sobrecalentamiento del motor.
Pulsador		Activa el funcionamiento del dispositivo

Fuente de 24V		En base a los requerimientos y al funcionamiento del motor se eligió debido a que el motor necesita mínimo 12V y 24V máximo para funcionar correctamente y además debe poder ser alimentado por tensiones domésticas de 120V -220V.
---------------	---	---

- **Elementos mecánicos**

Estos elementos y sus medidas fueron seleccionados basados en los requerimientos del prototipo, accesibilidad comercial, costo y en información recopilada. (Vallejo A, 2019). También se tomaron en cuenta criterios específicos de profesores que aconsejaron usar un tornillo de potencia para desplazar un elemento de manera vertical sin tanto esfuerzo y sin mayor complicación, por otro lado los requerimientos fueron un punto clave para dar un juicio de que elementos se podía elegir para construir el prototipo por lo que se tomaron en cuenta elementos económicos, accesibles y que ayudaran que el motor pudiera mover el peso del queso de una manera más sencilla, por lo que seleccionamos rodamientos para reducir la fricción y varillas lisas para distribuir de peso y dar más apoyo al queso fresco.

Tabla 7.11. Elementos mecánicos escogidos

Tornillo de potencia		Varilla trapezoidal de 4 hilos de 300 mm x 8 mm, con 1 mm de paso para un desplazamiento despacio y preciso.
Tuerca de tornillo de potencia		Transmite y convierte el movimiento rotatorio del tornillo en movimiento lineal

Varilla lisa de acero		Varillas de medidas iguales al tornillo de potencia, que cumplirán la función de distribuir el peso del queso aplicado en la tuerca y dar soporte a la estructura.
Rodamiento lineal		Este elemento se usa para reducir la fricción y el esfuerzo del motor a la hora del desplazamiento sobre las varillas lisas
Rodamiento de bolas		Se usa para la fijación del tornillo de potencia, permitiendo aun así su rotación.
Acople flexible (Motor PAP)		El acople de 8mmx8mm transmite el torque del motor al tornillo de potencia.

7.1.3. Diseño detallado

- **Planos estructurales**

Para el desarrollo de los planos se usó fusion 360, se debe tener en cuenta que las medidas son dadas en milímetros, a continuación, podrá observar los planos de las piezas de la cabina superior del dispositivo:

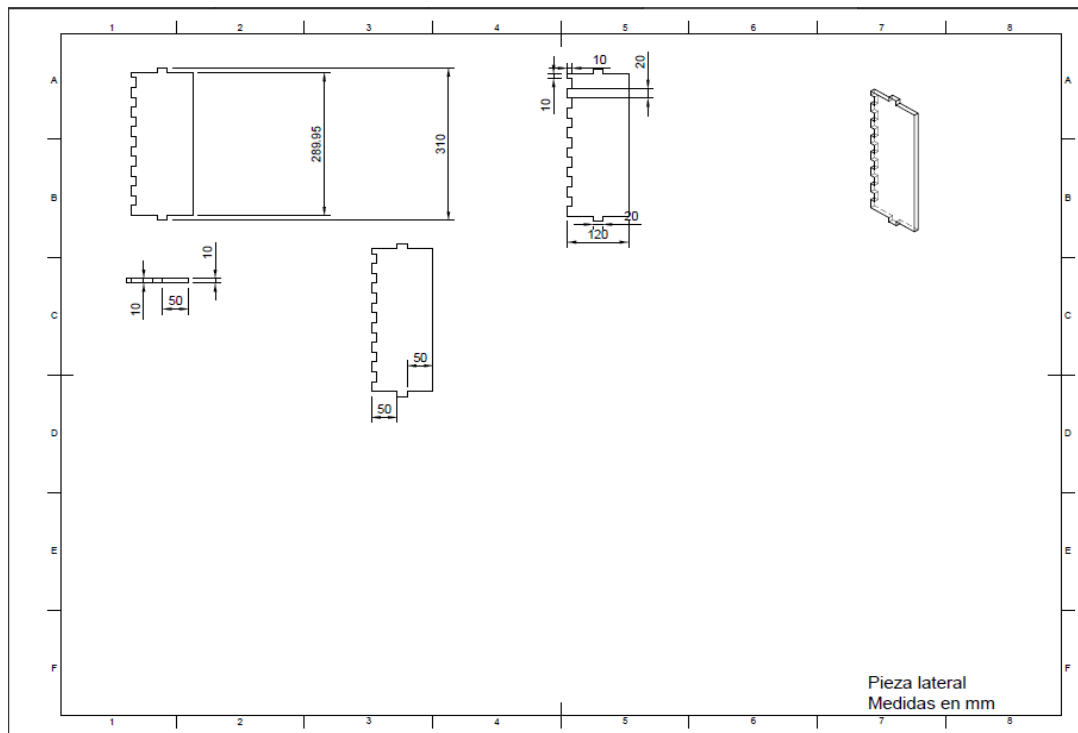


Figura 7.21. Pieza lateral de la cabina superior.

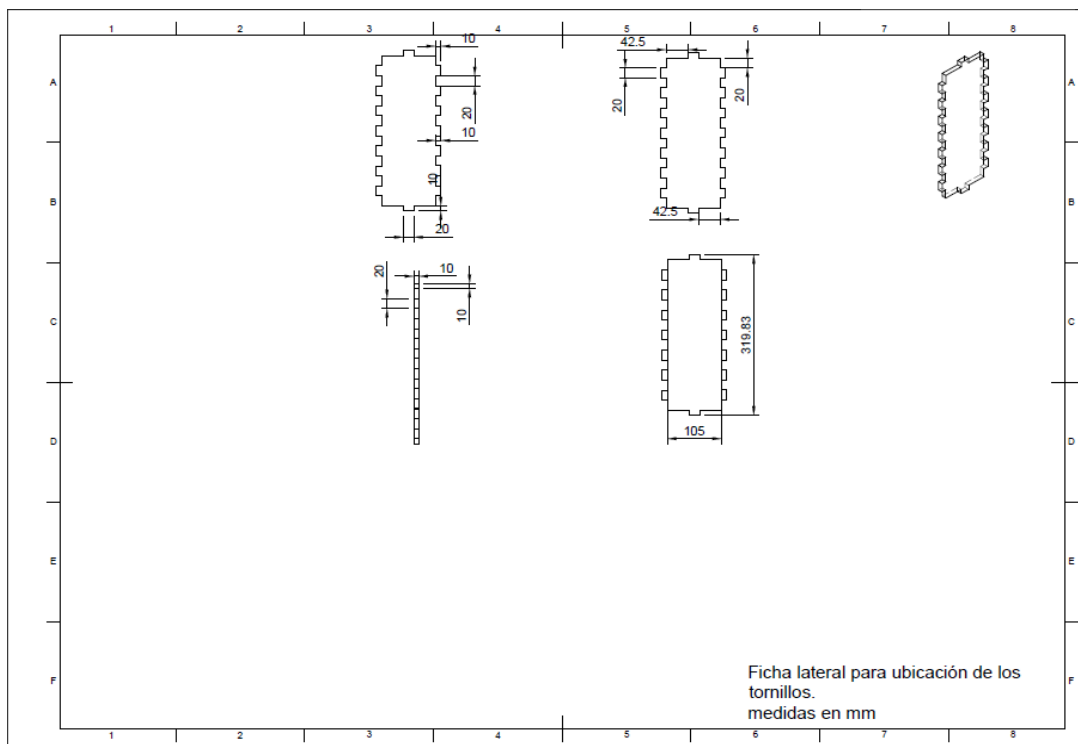


Figura 7.22. Pieza anterior de la cabina superior.

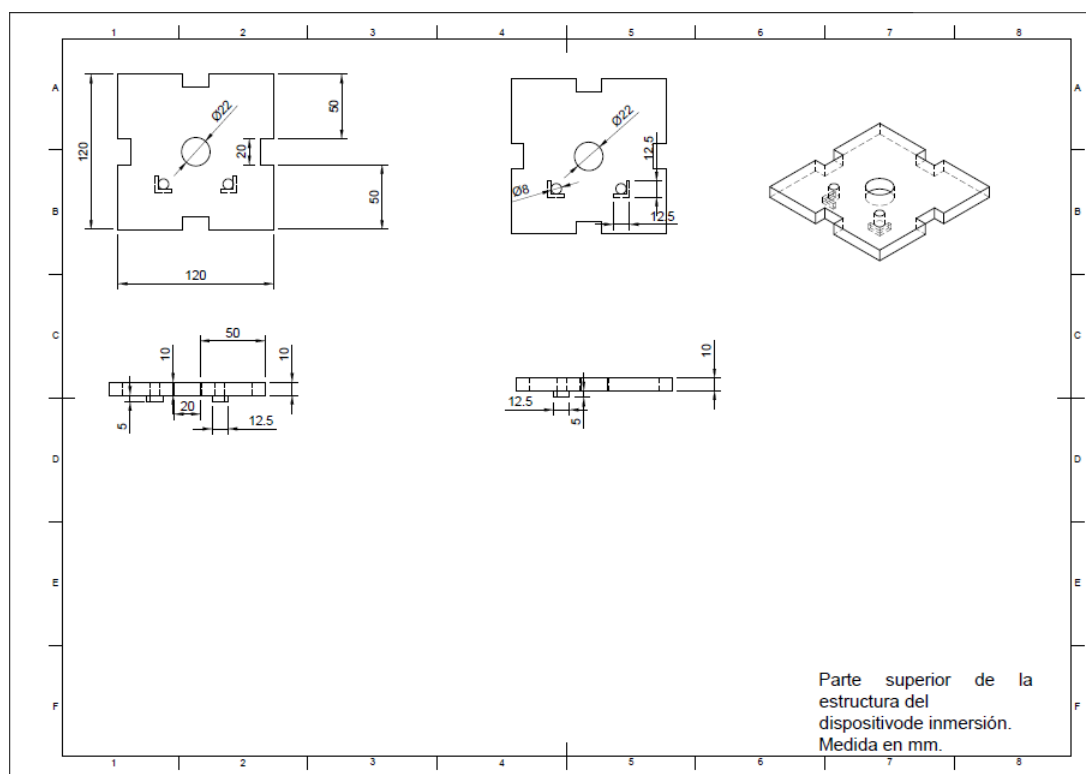


Figura 7.23. Pieza superior de la cabina.

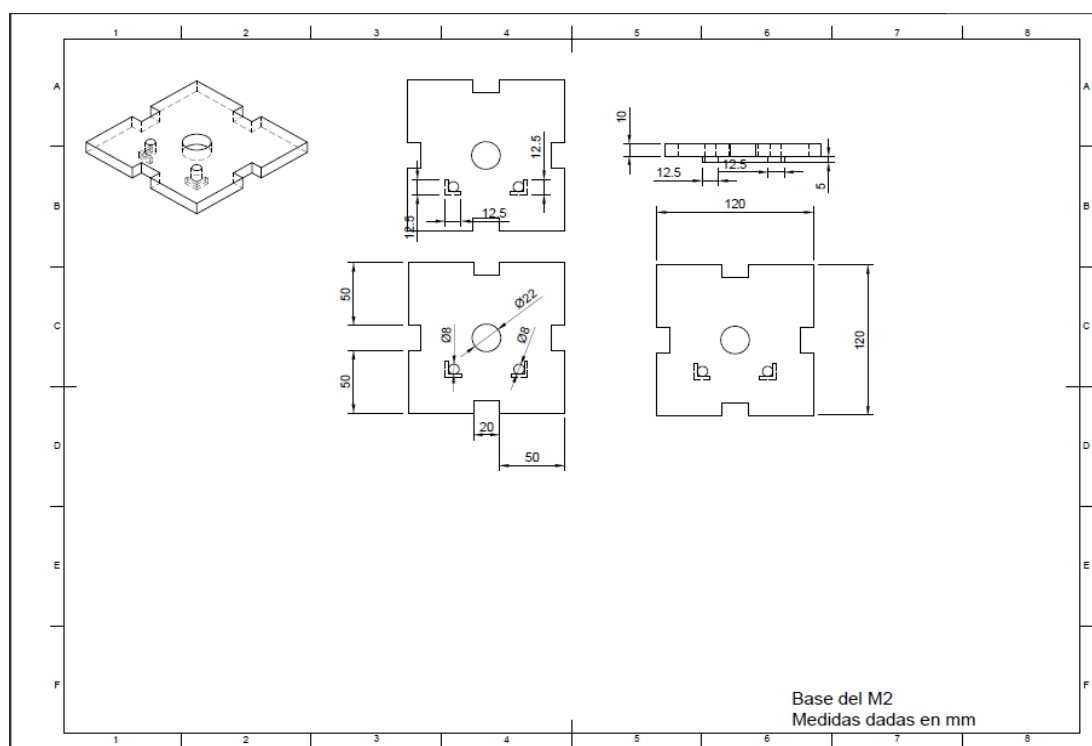


Figura 7.24. Base de la cabina superior.

En las figuras 7.23 y 7.24 observamos 1 orificio en cada pieza de un diámetro de 20 mm, en el cual ira un rodamiento circular, que permitirá que el tornillo de potencia gira con menos fricción y se mantenga recto y estable. También se observan unas pestañas que su funcionalidad es sostener y mantener las varillas lisas estables.

En las siguientes figuras (7.25, 7.26, 7.27, 7.28) se encontrarán los planos de las piezas de la cabina en la cual se ubicaría el motor paso a paso Bipolar:

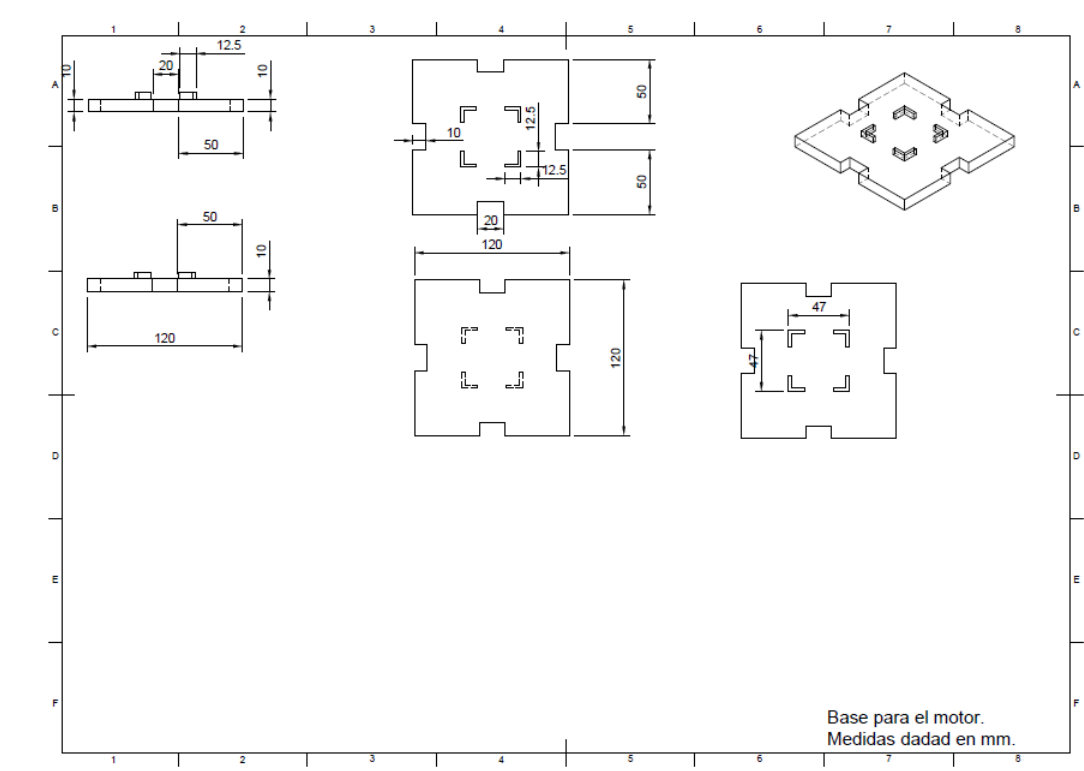


Figura 7.25. Base para la ubicación del motor.

Esta pieza está diseñada para anclar el motor, por lo que cuenta con 4 pestañas en forma de “L” para que el motor cuando esté funcionando se mantenga firme y no se mueva de su lugar.

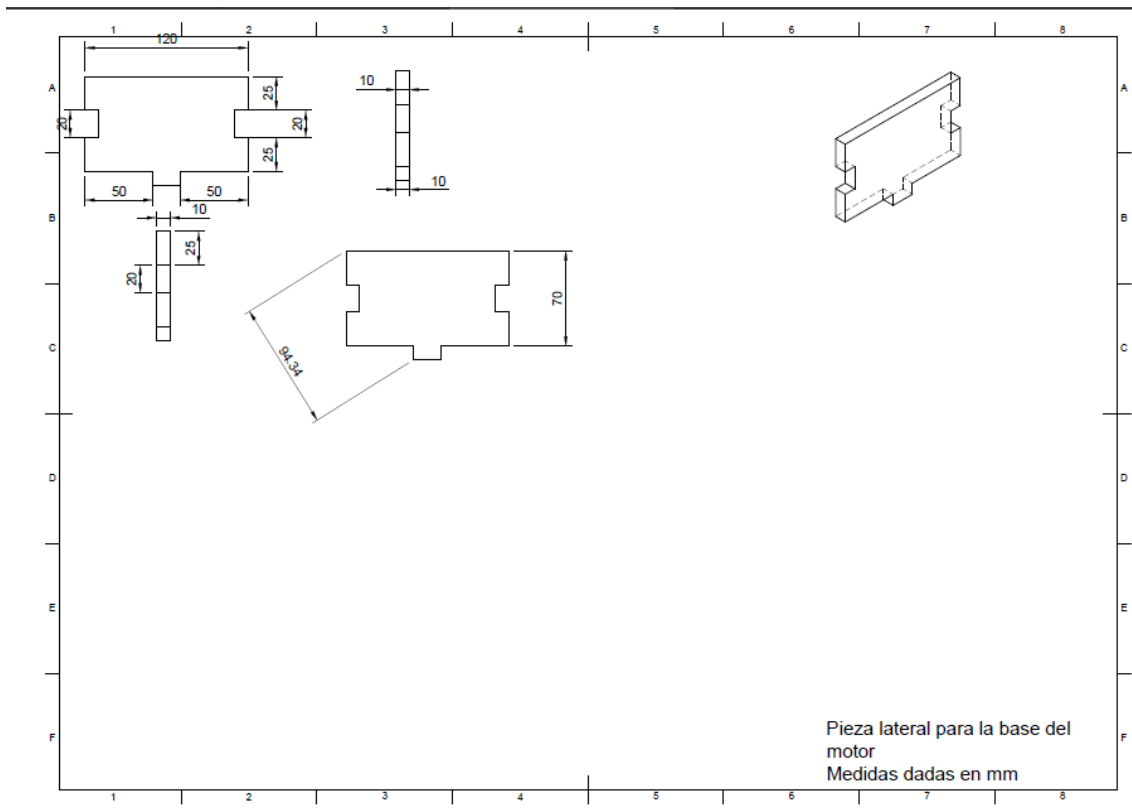


Figura 7.26. Pieza lateral de la cabina del motor.

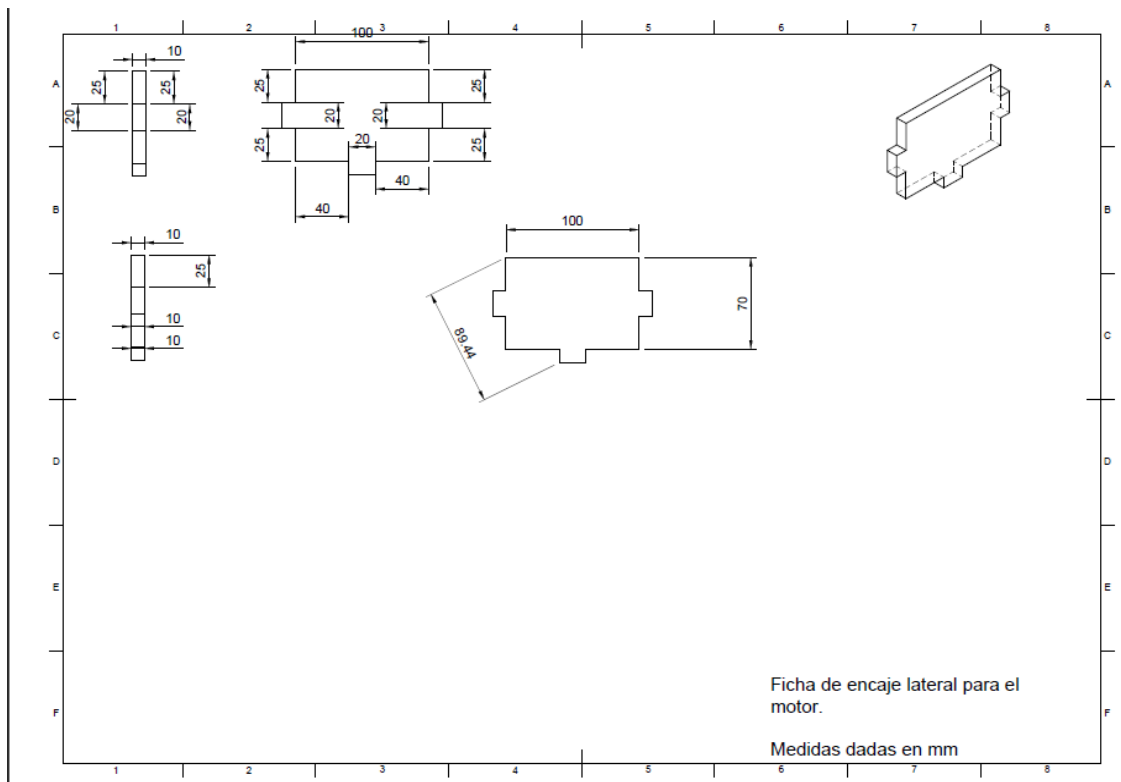


Figura 7.27. Pieza de encaje lateral para la cabina del motor.

Después de mencionar la estructura general de las cabinas, se indica la estructura del acople junto a la malla en la cual será ubicado el queso:

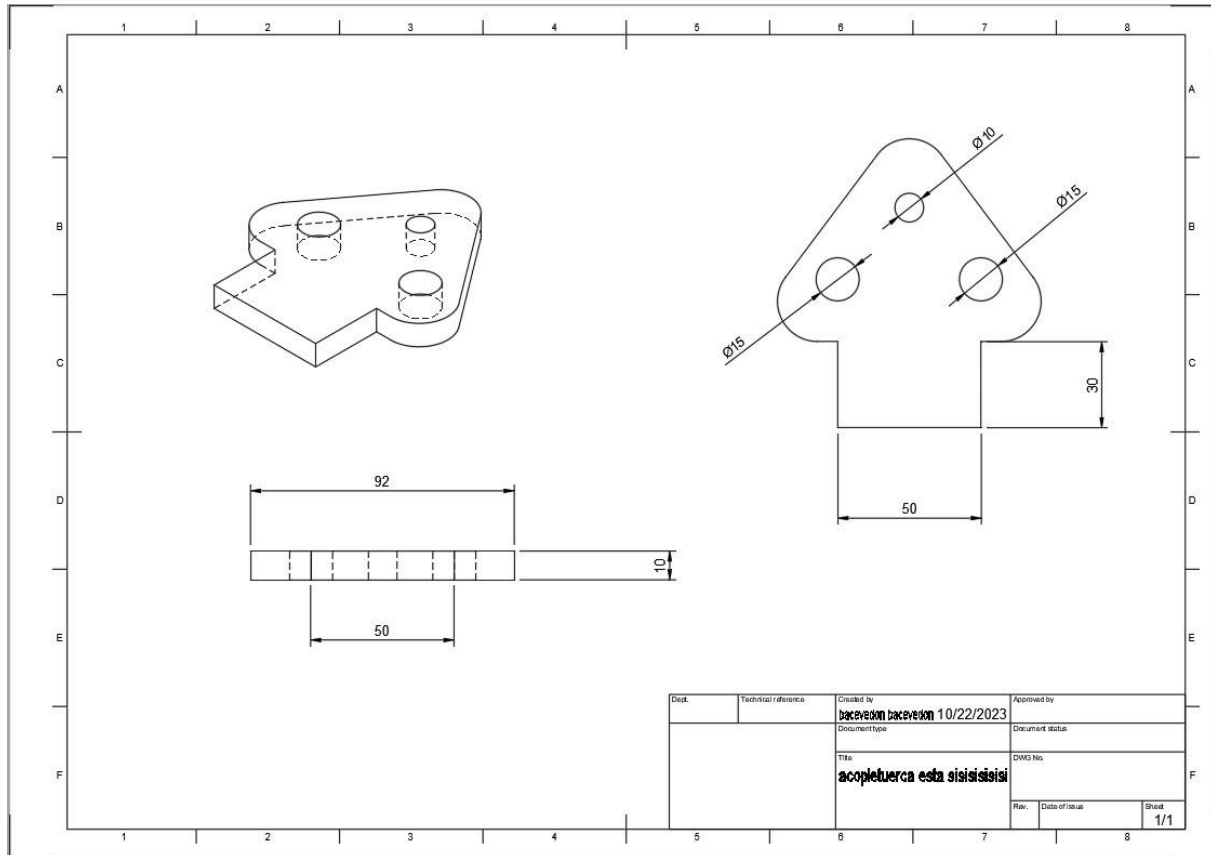


Figura 7.28 Acople para el funcionamiento de inmersión

El diseño del acople cuenta con 2 diámetros diferentes, en donde irán los rodamientos lineales para reducir la fricción y dar mayor estabilidad y el diámetro 10 mm, su otro orificio es donde ira acoplada la tuerca del tonillo de potencia. Además, su forma de triangulo también hace que las fuerzas se distribuyen a lo largo de sus lados y vértices de manera uniforme. Esto significa que cuando se aplica una carga a un triángulo, las fuerzas se transmiten de manera equitativa.

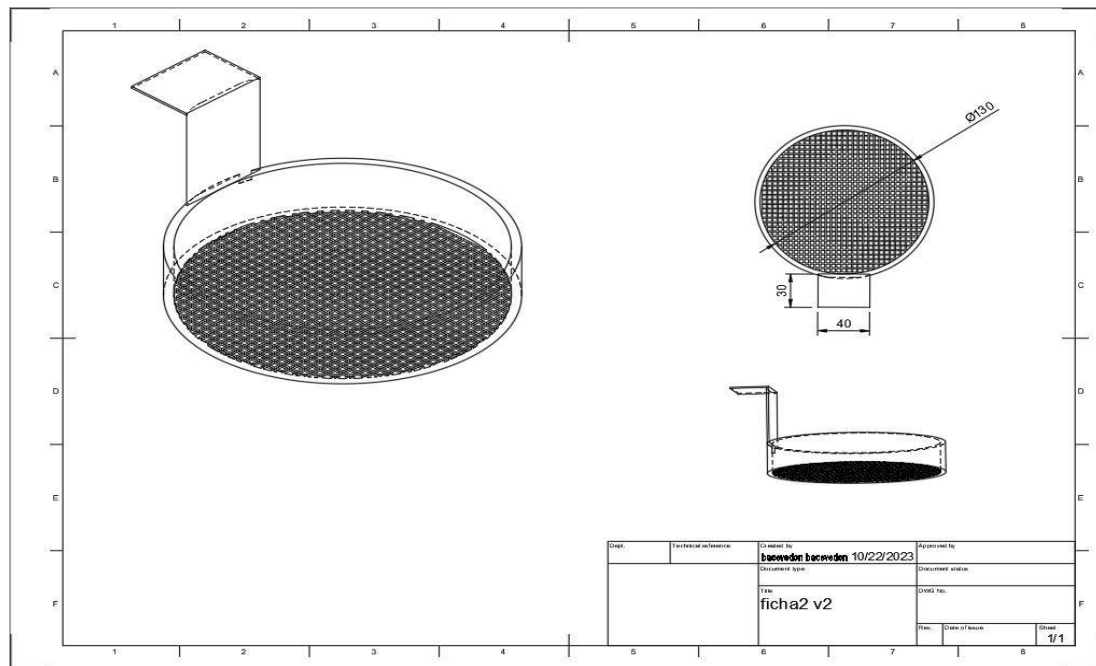


Figura 7.29. Malla del sistema para la ubicación del alimento.

La malla se diseñó con una altura de 80 mm para que esta logre entrar y sumerja el alimento completamente. Por otro lado, la malla es desprendible.

Por último, se tienen en cuenta la cabina para la ubicación del circuito eléctrico, la base del recipiente y el recipiente para la solución empleada en el recubrimiento:

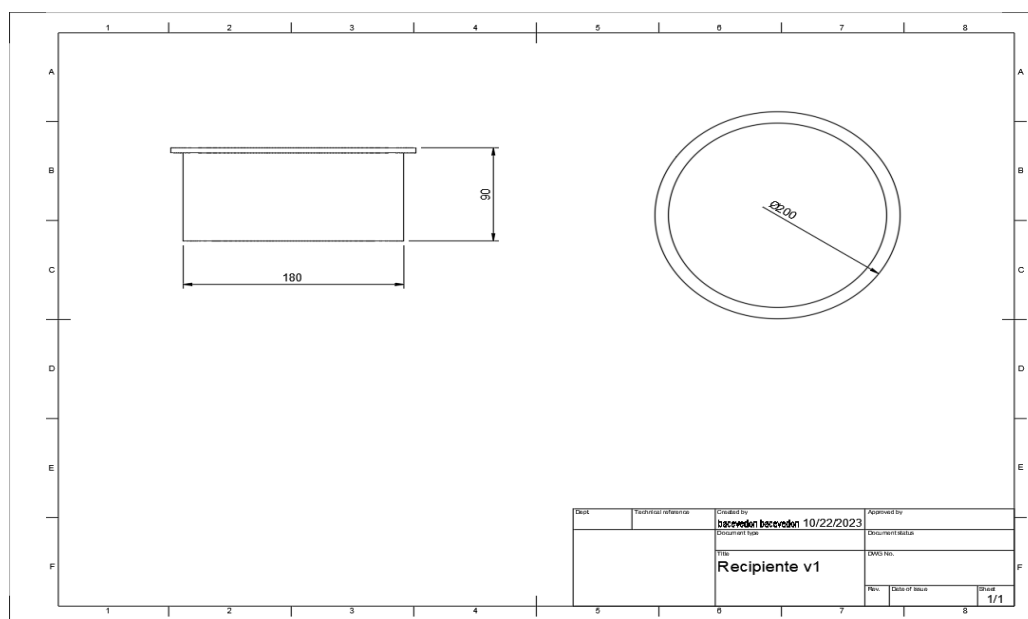


Figura 7.30. Recipiente de la solución del recubrimiento.

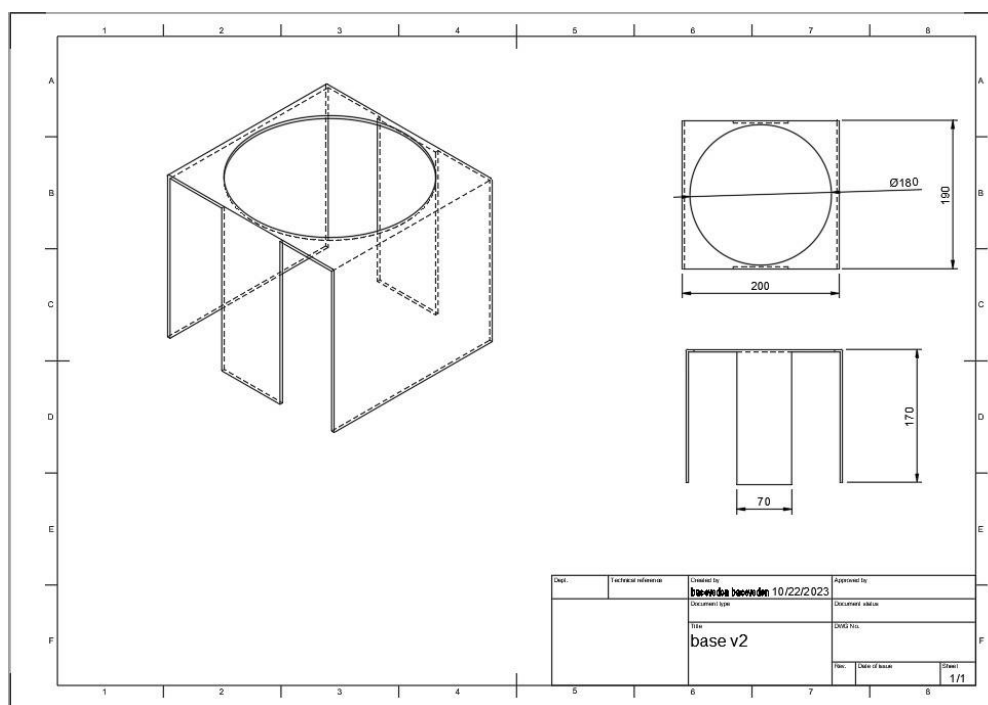


Figura 7.31. Base para el recipiente de la solución del recubrimiento.

En la figura 7.30 y 7.31 se encuentran las piezas del recipiente y la base del recipiente, que se diseñó para que el recipiente encajara y quedara a una altura de 170 mm para que la malla con el queso fresco campesino logre entrar por completo.

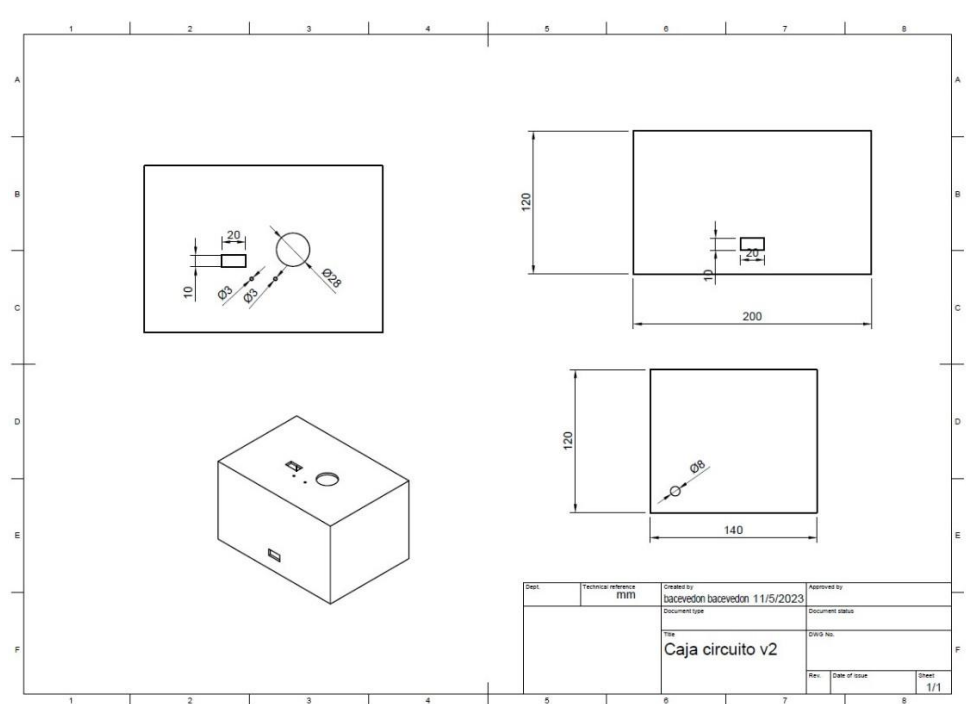


Figura 7.32. Caja de control del sistema electrónico del dispositivo.

En la figura 7.32 se diseñó una caja, en la que irán situados los elementos electrónicos, por lo que se realizaron ciertos orificios teniendo en cuenta la conexión del motor, la del toma corriente, la ubicación del botón, pantalla LCD y leds.

- **Diseño tridimensional del prototipo**

El resultado final del diseño del modelo de Dip-coating, que responde a los objetivos planteados se podrá observar en diferentes vistas explicando los componentes a continuación:

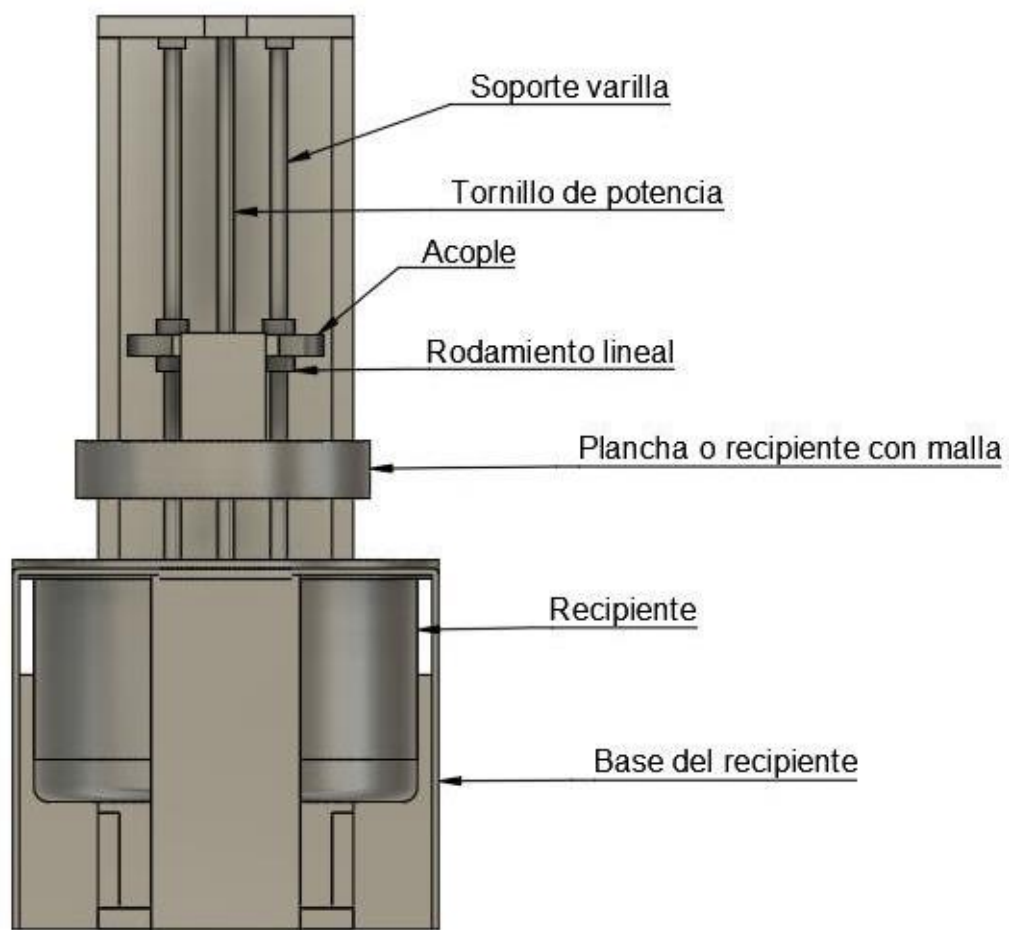


Figura 7.33. Diseño tridimensional vista posterior

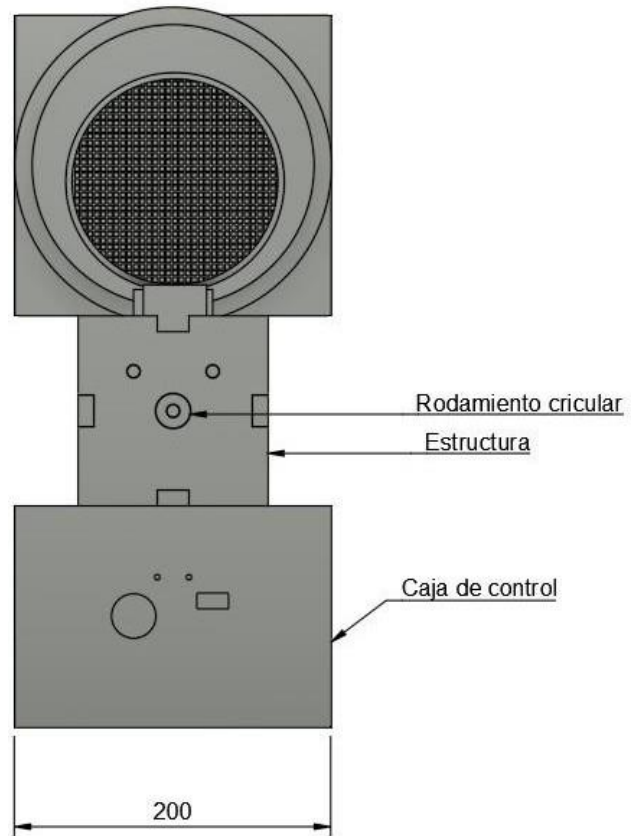


Figura 7.34. Diseño tridimensional vista superior

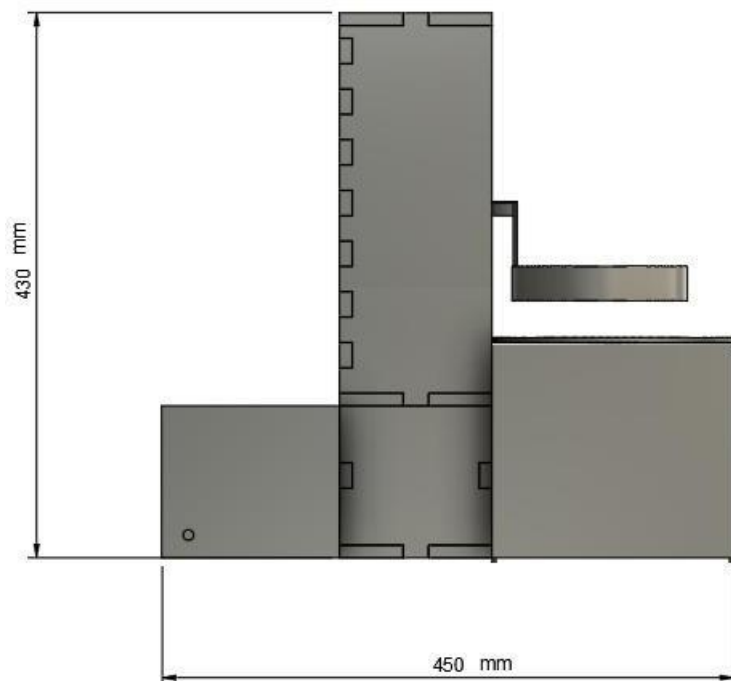


Figura 7.35. Diseño tridimensional vista lateral

- **Simulación electrónica**

Para la simulación electrónica se usó proteus, usando un motor paso a paso con su respectivo driver que para la simulación se utilizó el L293D que estaba disponible en el software, un botón el cual activa el funcionamiento del circuito y una placa de Arduino uno. A esto se le añadirá un elemento visual para que indique de una manera más fácil el funcionamiento del dispositivo. Se definieron los pasos para que el motor arrancará en una posición inicial específica de una altura de 15 cm respecto al tornillo de potencia que es de 30 cm, y se debe descender 7-11 cm para que el queso quede completamente dentro del recipiente con la solución y sin llegar a tocar el fondo del recipiente.

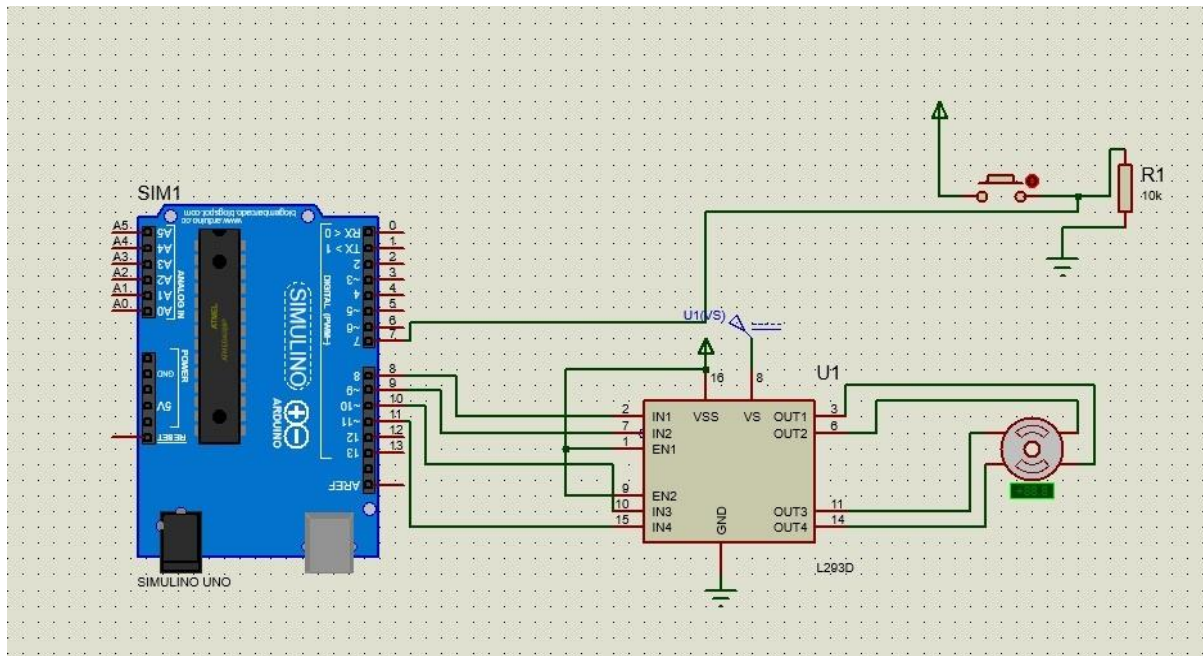


Figura 7.36 Simulación electrónica realizada en proteus

La simulación de la Figura 7.36, funciona de acuerdo al código, este se enfocó en que el motor se moviera en una velocidad constante, que diera tantos pasos específicos desde un punto de referencia, para que así todo fuera automático, se le añadieron algunos seguros en caso de que el usuario dejará el botón de activación oprimido. También se le definió el tiempo el cual el motor va estar detenido donde el alimento va estar sumergido, para luego volver a su punto inicial o de referencia.

- **Código**

Se desarrolló un código en Arduino que cumpliera con los requerimientos establecidos en el proyecto.

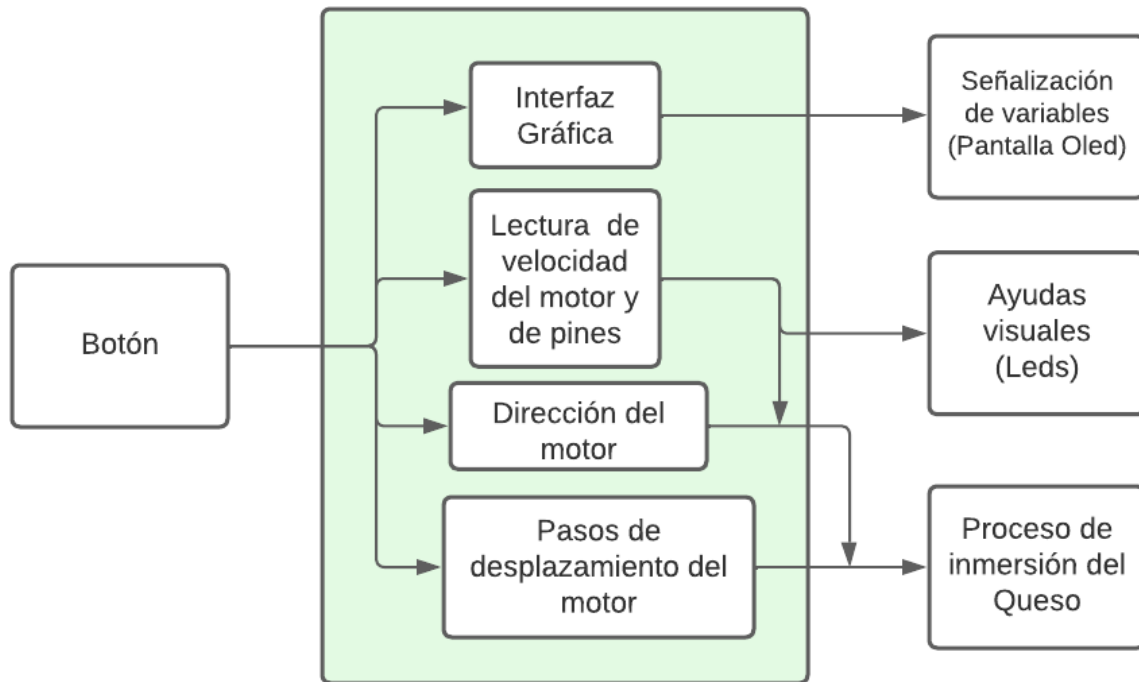


Figura 7.37. Diagrama del funcionamiento del código.

En la figura 7.37, tenemos un diagrama breve del funcionamiento del código, en el código se inicia definiendo las variables de los pines del botón, los leds, la pantalla LCD y los pines que van a controlar la dirección, velocidad y desplazamiento del motor. Se agrega un aviso de seguridad en caso de que la pantalla se llegue a inicializar de manera errónea o falle. La pantalla se prenderá con un mensaje inicial: “BIENVENIDO”.

Luego, inicia el void loop (), donde se van los comandos del funcionamiento del motor, leds, botón y la interfaz de la pantalla LCD Oled. Se inicia mandando un mensaje a la LCD que mostrará “Oprima el botón para iniciar” al mismo tiempo se encenderá el led rojo. Se declara un condicional con “If”, donde al presionar el botón, encenderá el led verde y se iniciará el funcionamiento del motor activando los pines de dirección y de desplazamiento.

Después, inicia el funcionamiento del motor por medio de un ciclo “for” donde se definen cierto número de pasos, que sería la distancia que debe recorrer hasta salir del ciclo a cierta velocidad definida anteriormente, luego, se manda un comando de que espere por 2 minutos en esa posición, al mismo tiempo en la pantalla LCD se mostrará el tiempo que durará estático y la velocidad en la que se desplazó.

La metodología de los comandos es la misma que la del tercer bloque, solo que ahora la dirección en la que girará el motor es la contraria, hasta volver a su posición inicial, ahí se detendrá por 30 segundos y de igual manera en pantalla se mostrarán las variables del tiempo y velocidad.

Estos ciclos se repetirán dos veces por cada uno, ya que, esta fue la secuencia y tiempos de inmersión y secado determinada del recubrimiento.

Por último, en el quinto bloque, luego haber terminado con el proceso completo de inmersión, este indicará en la pantalla LCD con un aviso de “TERMINADO” casi al tiempo se apagará el led verde indicando que el proceso finalizó.

- **Circuito - PCB**

Se usó la aplicación Easy Eda para crear el diseño de la PCB, tomando todos los componentes necesarios y puertos de conexiones que van desde la placa al Arduino, motor, driver y pantalla LCD Oled.

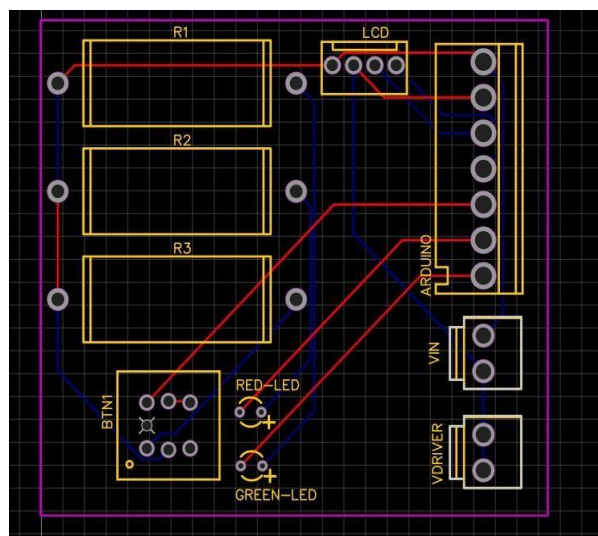


Figura 7.38. Diseño de la PCB

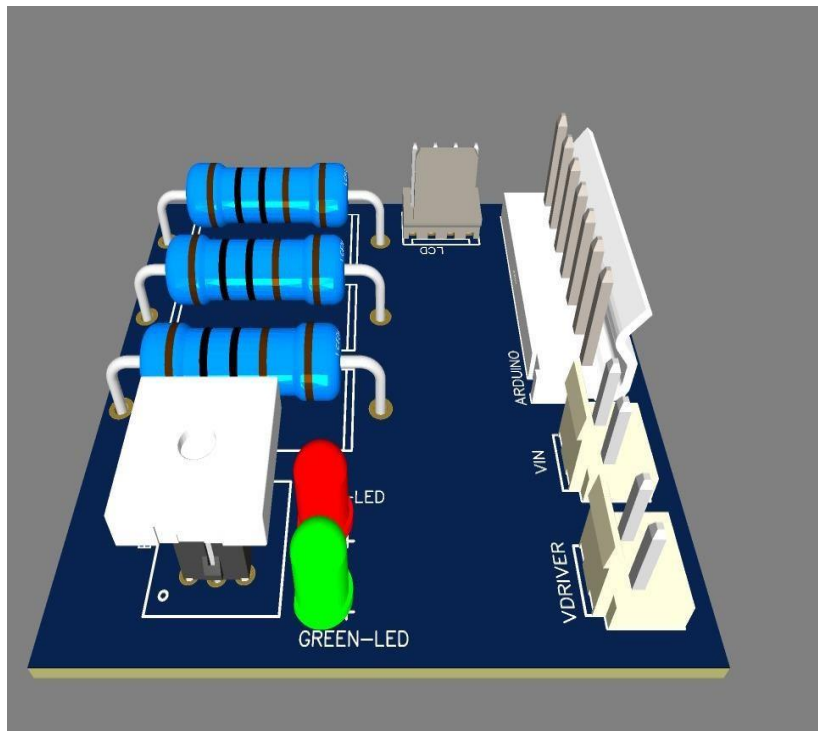


Figura 7.39. Diseño tridimensional del circuito

7.2. Fase 2: Construcción

- **Compra de materiales**

Partiendo de que ya se conoce el diseño final y los materiales que conforman el prototipo, se realizaron cotizaciones teniendo en cuenta, disponibilidad, tiempos de entrega, facilidad de la entrega y costos. A partir de esto los materiales se obtuvieron de la siguiente manera:

- *Piezas en acrílico:* Las piezas se mandaron a fabricar en la empresa Surtiacrylicos ubicada en Ac 63 #22-23, Bogotá, Colombia, donde se enviaron los respectivos archivos con las medidas exactas de las piezas y se realizaron los cortes a láser.
- *Motor Nema 17 y driver Tb6600:* Se encargaron a estados unidos por medio de Amazon a la tienda Usongshine, ya que, en Colombia el motor se encontraba escaso.
- *Elementos mecánicos:* Todos los elementos mecánicos se encargaron a la

empresa MERKATRONIX SAS ubicada en Cl. 40 # 43a-48, Medellín, Antioquia pedido por mercado libre, por lo que nos encontrábamos lejos de Medellín.

- **Pieza en acero inoxidable:** La plancha de acero inoxidable se mandó a hacer en la empresa llamada Representaciones Industriales RDV, ubicada en la calle 17 # 28a-00, Bogotá - Cundinamarca.
- *Herramientas extras:* Se compararon llaves brístol, destornilladores y el pegamento respectivo para el acrílico para lograr ensamblar completamente el prototipo.
- **Proceso de construcción del prototipo**

La construcción del prototipo se inició teniendo claro cuál era el orden de las piezas, se organizaron los elementos y se inició con la construcción:



Figura 7.40. Piezas de acrílico y elementos mecánicos.

A continuación, se ve el proceso de pegado de las piezas de acrílico y algunos componentes mecánicos como el tornillo de potencia acoplado al motor y el rodamiento para reducir la fricción y mantener una mejor posición. Se verificó que la

posición del motor fuera la ideal y que encajara en las pestañas de la pieza de acrílico del motor. Luego con el uso de una llave brístol de 2 mm se apretó el acople al motor y al tornillo de potencia rectificando que quedara bien ajustado.



Figura 7.41. Ensamblado de piezas y piezas mecánicas

Por último, se terminó el ensamblado de las piezas de acrílico y acoplando los elementos mecánicos por lo que se ajustaron los rodamientos lineales y la tuerca de potencia en el acople de acrílico diseñado sostener la malla donde irá el alimento, se ensamblaron las varillas lisas y se agregó un poco de aceite para que su desplazamiento fuera más suave y redujera la fricción.

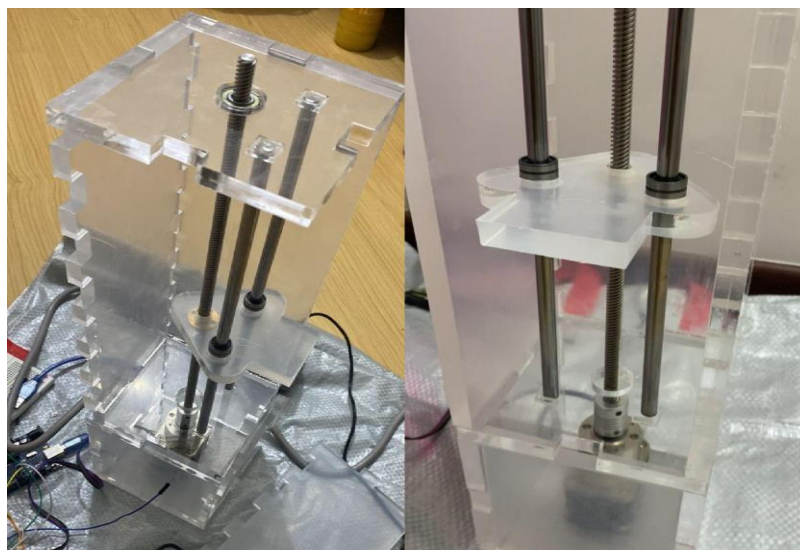


Figura 7.42. Finalización del ensamblado piezas y elementos mecánicos

Una vez construido el prototipo, se procede a realizar el montaje del circuito, donde se analiza el código desarrollado y verifican los pines seleccionados para el buen funcionamiento del circuito y del código, se conecta el Arduino al driver del motor y el motor al driver, esto llevó a cabo una calibración debido a que el driver se programó específicamente para funcionar con el motor seleccionado, por otro lado se instala el pulsador y se conecta al toma corriente para subir el código al Arduino y realizar pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del código, que el prototipo ascienda y descienda de forma correcta.

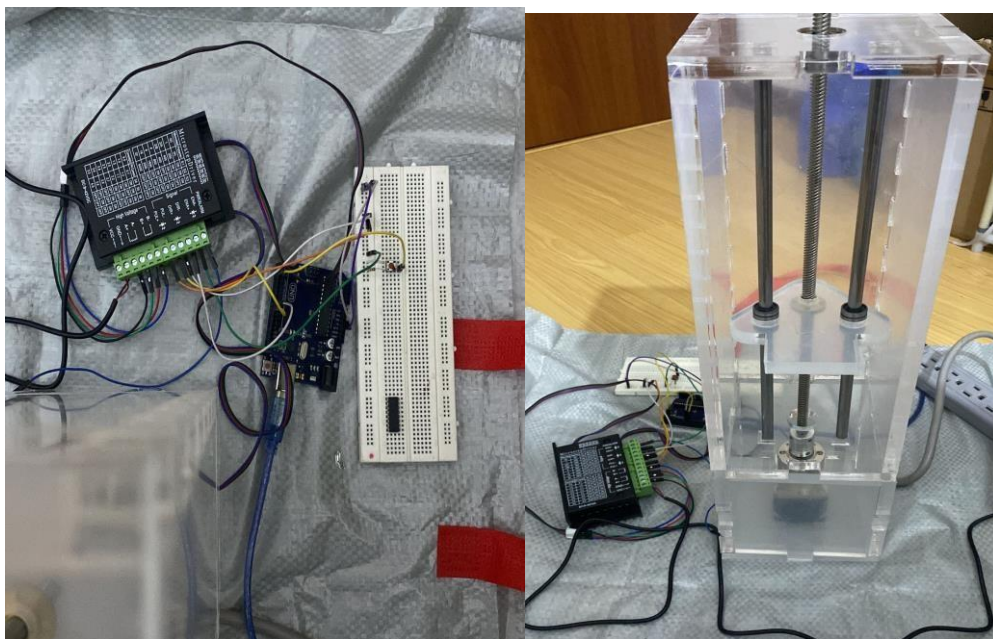


Figura 7.43. Pruebas de funcionamiento del sistema electromecánico

Luego, de verificar el correcto funcionamiento del dispositivo montado en la protoboard, se usó el diseño de PCB creado (Figura 34), se cableo los elementos electrónicos requeridos como resistencias, el botón, la pantalla LCD oled y leds, estos se soldaron y se integraron de nuevo con los otros elementos como el motor, el driver, la fuente y el Arduino, pero ya en la caja de control diseñada.

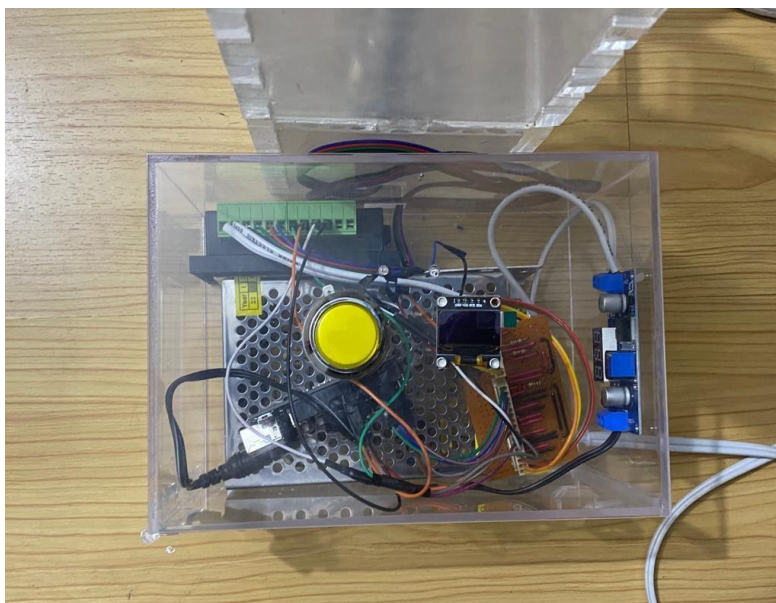


Figura 7.44. Circuito soldado y ensamblado a los demás componentes electrónicos en la caja de control.



Figura 7.45. Construcción completa del prototipo

Para finalizar con la construcción del prototipo, se unieron las piezas de acero inoxidable a su respectivo soporte, la plancha o malla se unió al acople el cual realiza el desplazamiento por medio de dos tornillos en acero inoxidable de un $\frac{1}{8}$ con su

respectiva tuerca y arandela. Se ajustó la altura inicial a la que el acople debe ir para lograr hacer la inmersión del queso por completo de manera correcta. Luego, se tomó el recipiente donde irá la solución del recubrimiento y se encajó en su respectiva base de acrílico y se acomodó de manera que la plancha estuviese centrada.

- **Ajuste experimental de la velocidad**

Se ajustó la velocidad, probando con diferentes valores de pasos por segundo y analizándola en mm/s usando la ecuación de paso del tornillo. Para el ajuste de la velocidad se tuvo en cuenta, el rango de velocidad máxima y mínima y el rango hallado con el número de Reynolds, el tiempo de descenso y ascenso, si se generan burbujas o había turbulencia en fluido a la hora de entrar y salir en la solución del recubrimiento, y la suavidad con la que el motor se desplazaba.

$$PasoTornillo (mm) = \pi \times 8 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} = 25,13 \text{ mm}$$

Lo que quiere decir que por cada revolución este se desplegará 25,13 mm en su movimiento axial, lo que es sería aproximadamente 4 mm verticalmente.

- 400 pasos por vuelta

$$V = \frac{800}{400} \times 25,13 \text{ mm} = 50,26 \text{ mm/s}$$

$$\frac{V}{400} \times 1000 \times 25,13 \text{ mm} = 62,82 \text{ mm/s}$$

- 800 pasos por vuelta

$$V = \frac{800}{800} \times 25,13 \text{ mm} = 25,13 \text{ mm/s}$$

$$\frac{V}{800} \times 1000 \times 25,13 \text{ mm} = 31,41 \text{ mm/s}$$

- 1600 pasos por vuelta

$$V = \frac{800}{1600} \times 25,13 \text{ mm} = 12,56 \text{ mm/s}$$

$$\frac{V}{1600} \times 1000 \times 25,13 \text{ mm} = 15,56 \text{ mm/s}$$

Se analizaron las diferentes configuraciones de velocidades y se seleccionó la velocidad de 12,56 mm/s lo que quiere decir que va dar 1600 pasos por vuelta a una velocidad de 800 pasos. Se optó por esta velocidad debido a varios factores, un elemento primordial en esta selección fue la suavidad en la que el motor giraba, ya que, entre más revoluciones por vuelta este es más lento, lo que hace que vibre menos y su precisión sea mayor. Se prestó especial atención a la generación de burbujas y turbulencia en el fluido cuando el motor entraba y salía de la solución de recubrimiento, y se notó que a 400 revoluciones por vuelta la solución generaba una leve turbulencia al entrar y al salir. Por último, se tuvo en cuenta el tiempo el cual variaba por segundos, de modo que no variaba mucho el tiempo total del proceso.

- **Pruebas finales**

Se realizan pruebas simulando el procedimiento de operación real del prototipo, para esto realizamos en el anexo 10.3 un protocolo de pruebas detallando el tipo de prueba realizada y su procedimiento. Una vez completadas las pruebas se elaboró el manual de usuario (anexo 10.4).

7.3. Fase 3: Evaluación

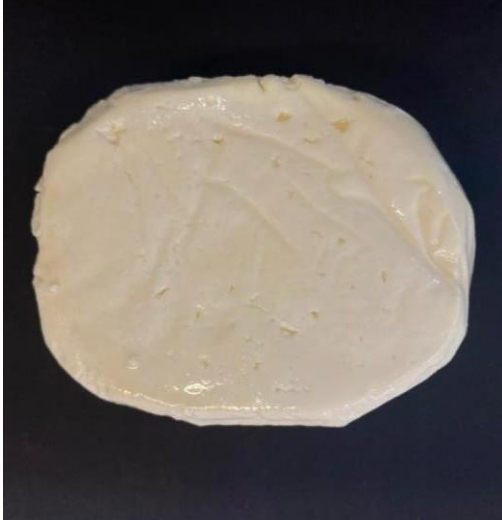
La evaluación del recubrimiento aplicado con el prototipo en los quesos adquiridos a un mismo fabricante, se realizó por 7 días en los días 1, 5 y 7 respectivamente; para esta se realizan pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en los quesos con y sin RC, con respecto al porcentaje de pérdida de peso, cambios de color, pH y acidez, recuento de anaerobios mesófilos, coliforme totales, enterobacterias y presencia de *Listeria monocytogenes*. Inicialmente en el día 0 se evaluó la materia prima para poder analizar en qué condiciones fisicoquímicas y microbiológicas se encontraba el queso antes de la aplicación del recubrimiento con el prototipo y la evaluación durante el almacenamiento.



Figura 7.46. Materia prima evaluada el día 0

A continuación, en la tabla 7.12 se presentan las imágenes donde se evidencia el comportamiento que tuvieron los quesos sin RC y con RC durante el tiempo de almacenamiento en los días 1, 5 y 7.

Tabla 7.12. Quesos sin RC y con RC evaluados

Día	Queso sin RC	Queso con RC
1		
5		



- **Pérdida de peso**

La pérdida de peso del queso se asocia con la descomposición a nivel microbiano y enzimático; esto genera cambios de las características organolépticas del alimento además de brindar un entorno más propenso al crecimiento de microorganismos (Alava et al., 2014). En la tabla 7.13 podemos observar el porcentaje de pérdida de peso de las muestras de queso sin RC y con RC durante el almacenamiento, donde se aprecia en general la alta pérdida de suero que tiene el queso sin RC, donde cada día de evaluación estaba perdiendo el triple de suero que el queso con RC.

Por otra parte, por efecto de esta pérdida de suero en las muestras de queso específicamente en las que estaban sin RC, se evidenció un ablandamiento del queso lo cual se vio reflejado también en un cambio a nivel de la superficie del alimento al visualizarse agujeros y grietas.

Desde el punto de vista comercial de un producto como el queso, aplicando el RC la pérdida de peso por efecto del desuerado es de 20 g mientras que sin aplicar el RC está perdiendo 80,8 g lo que impacta en términos económicos.

Tabla 7.13. Porcentaje de pérdida de peso del queso sin RC y con RC durante el almacenamiento

Día	Queso sin RC	Queso con RC
1	5,52%	2,10%
5	11,24%	5,63%
7	16,16%	5,76%

- **Prueba de color**

Los cambios del color en el queso se pueden asociar con factores como la oxidación de las grasas y proteínas del alimento por entrar en contacto con el ambiente y también por la descomposición de microorganismos (Alava et al., 2014). A continuación, en las tablas 7.14, 7.15 y 7.16 se presentan los resultados de las coordenadas de luminosidad, coordenada a, coordenada b, donde se hicieron evaluaciones por triplicado.

Tabla 7.14. Comportamiento en el parámetro de color luminosidad del queso durante el almacenamiento

Día	Queso sin RC	Queso con RC
1	89,94 ^a ± 2,48	90,53 ^a ± 1,12
5	88,08 ^a ± 2,52	90,15 ^a ± 0,96
7	85,27 ^a ± 3,14	89,07 ^a ± 0,12

En la tabla 7.14 se puede observar como el valor de luminosidad del queso sin RC va disminuyendo con los días; esto significa que el queso se comienza a opacar a

diferencia del queso con RC que logra mantenerse constante con unos valores de luminosidad blanca similares al día 1.

Tabla 7.15. Comportamiento en el parámetro de color coordenada a* del queso durante el almacenamiento

Día	Queso sin RC	Queso con RC
1	$-0,29^a \pm 0,34$	$-0,93^a \pm 0,75$
5	$0,72^b \pm 0,33$	$0,45^b \pm 0,20$
7	$0,52^b \pm 0,62$	$0,59^b \pm 0,57$

Tabla 7.16. Comportamiento en el parámetro de color coordenada b* del queso durante el almacenamiento

Día	Queso sin RC	Queso con RC
1	$17,30^a \pm 1,13$	$17,05^a \pm 0,46$
5	$18,55^a \pm 1,26$	$18,82^a \pm 0,20$
7	$18,15^a \pm 2,51$	$19,09^a \pm 1,35$

Para las coordenadas a y b (tabla 7.15 y 7.16) se puede deducir que hay una tendencia de aumento en ambos tipos de quesos generando un cambio de coloración; esta coloración se ubica en los tonos naranjas.

A partir de estos resultados obtenidos en las coordenadas de CIElab se calculó el valor de ΔE para los quesos sin y con RC, así mismo se indicó cual es la diferencia percibida sensorialmente (tabla 7.17).

Tabla 7.17. ΔE de los quesos y diferencia percibida sensorialmente durante el almacenamiento

Día	Queso sin RC	Diferencia percibida sensorialmente	Queso con RC	Diferencia percibida sensorialmente
1	$2,11^a \pm 1,38$	Ligera	$1,47^a \pm 0,41$	Imperceptible
5	$3,38^b \pm 2,46$	Apreciable	$2,03^b \pm 0,04$	Ligera
7	$5,86^b \pm 1,52$	Notable	$2,82^c \pm 0,9$	Ligera

Los quesos sin RC presentaron cambios apreciables y notorios para el día 5 y 7, mientras que los quesos con RC mantuvieron un cambio ligero, destacando así un posible menor efecto de los microorganismos y de las reacciones enzimáticas por la oxidación (Alava et al., 2014). Por otro lado, teniendo en cuenta lo reportado por Gupta y Gupta (2011), para considerar que un producto mantiene las condiciones de calidad visual, esta diferencia de color debe ser menor a 3,7 por tanto podemos inferir que el queso con RC mantiene la buena calidad para el día 7, mientras que el queso sin RC ya ha perdido esta calidad visual porque su valor es aproximadamente 6.

- **pH y acidez**

En el caso del pH partimos de unos datos que muestran que los quesos se encontraban en un valor casi neutro, donde a medida que pasaban los días de evaluación el pH iba disminuyendo convirtiéndose en un pH ligeramente ácido (tabla 7.18). Entre más ácido es el pH, más propenso se vuelve el queso de quebrarse o tener una textura pastosa, además de favorecer el crecimiento de microorganismos (Fernández et al., 1997).

En el caso de la acidez titulable se evidencia que a medida que pasa el tiempo de almacenamiento el valor de la acidez aumenta siendo mucho más el incremento en las muestras sin RC, lo cual coincide con lo reportado por Caicedo (2012) y Ballesta (2014) quienes también reportaron un incremento de la acidez durante la evaluación con un porcentaje de 0,57 el día final de evaluación.

Debemos considerar que la acidez del queso es un factor importante para la calidad de este, ya que regula la consistencia, el sabor y la durabilidad (Berodier et al., 2005). Comparando los datos obtenidos podemos apreciar que el queso con RC presenta menor porcentaje de acidez que el queso sin RC, además de encontrarse en el rango propuesto bibliográficamente hasta el día 5 que es el número de días de vida útil de este queso, en cambio el queso sin RC en el día 5 ya contaba con una acidez mayor a este rango.

Coronado y Espitia (2015), indican que entre más cantidad de ácido láctico tenga el queso mayor facilidad tiene este de iniciar la fase de cuajo y desuerado, por ende, esta acidez también se asocia a la hora de hablar de la pérdida de peso ya que entre más acidez tenga el queso, más suero liberará, afectando así su consistencia ya que se obtiene un queso más blando y un cambio de sabor frente a la presencia de más ácido láctico.

Tabla 7.18. Comportamiento del queso en los parámetros de pH y porcentaje de acidez

Día	pH medido		Porcentaje de acidez	
	Queso sin RC	Queso con RC	Queso sin RC	Queso con RC
1	$6,87^c \pm 0,01$	$6,92^c \pm 0,02$	$0,11^a \pm 0,06$	$0,09^a \pm 0,03$
5	$6,34^b \pm 0,03$	$6,46^b \pm 0,03$	$0,67^b \pm 0,20$	$0,56^b \pm 0,05$
7	$6,07^a \pm 0,07$	$6,25^a \pm 0,04$	$0,78^b \pm 0,15$	$0,60^b \pm 0,10$

- **Recuento microbiológico**

El análisis microbiológico de las muestras de queso con RC y sin RC que fueron contaminadas con *Listeria monocytogenes*, se evaluaron los días 1, 5 y 7 de almacenamiento. Los resultados se expresan en el logaritmo de las unidades formadoras de colonias por gramo (Log ufc/ g). En la tabla 7.19 se observa el recuento microbiológico para los aerobios mesófilos totales, donde la materia prima empleada para el desarrollo del estudio de almacenamiento presenta un recuento microbiológico inicial de 7,4 Log ufc/g y después de 7 días de almacenamiento incrementó 2 log ufc/g.

Tabla 7.19. Recuento presuntivo de aerobios mesófilos en el queso fresco campesino incubados a 37°C

Día	Materia prima (Log UFC / g)	Queso sin RC (Log UFC / g)	Queso con RC (Log UFC / g)
1	7,3	7,7	7,2
5	-	9,4	7,3
7	9,3	9,5	7,6

El recuento microbiológico en el día 1 para el queso sin RC, fue mayor al recuento del queso con RC, lo cual se asocia con un efecto protector del RC al desarrollo de este tipo de microorganismos. Si comparamos el dato del queso con RC y la materia prima teniendo en cuenta que son el mismo lote de producción, podemos observar que el valor del primero es menor, pudiendo afirmar que los niveles de contaminación del queso con RC presentados en la tabla 7.19 son aproximadamente iguales independientemente a la contaminación inducida. En el día 5 se puede apreciar el crecimiento exponencial de 2 log ufc/g en el queso sin RC, mientras que el queso con RC no incrementó ninguna unidad logarítmica pudiendo decir que el recubrimiento ayuda a reducir la probabilidad de crecimiento de aerobios mesófilos. Por último, en el día 7 podemos observar como el queso sin RC y la materia prima presentan

crecimiento del microorganismo en 9,5 y 9,3 ciclos logarítmicos respectivamente mientras que el queso con RC está casi 2 log ufc/g por debajo de estos, gracias al efecto protector que este brinda.

Cuando se producen incrementos del microorganismo inmediatamente después de haber terminado de contaminar el alimento quiere decir que el queso no pasa por la fase de latencia, esto significa que la bacteria encuentra que el queso es un medio adecuado para seguir creciendo, como pasa con el queso sin RC en el día 1; mientras que en el caso del queso con RC, la bacteria no encuentra la forma de poder seguir sintetizando los metabolitos esenciales al encontrarse con una barrera que tiene un componente que es el aceite esencial de mirto que tiene propiedades antimicrobianas, las cuales son distintas a los nutrientes esenciales de la bacteria, por ende esta muere, por lo que el crecimiento que se da en este queso es cuando los microorganismos que ya se encontraban en este empiezan a alimentarse de las zonas internas (Predique, 2008).

En la tabla 7.20 se observa el recuento microbiológico para los coliformes totales, donde la materia prima empleada para el desarrollo del estudio de almacenamiento presenta un recuento microbiológico inicial de 7,7, Log ufc/g y después de 7 días de almacenamiento tuvo un incremento mínimo.

Tabla 7.20. Recuento de coliformes totales en el queso fresco campesino incubados a 37°C

Día	Materia prima (Log UFC / g)	Queso sin RC (Log UFC / g)	Queso con RC (Log UFC / g)
1	7,6	8,1	7,6
5	-	9,1	7,2
7	7,7	9,9	7,0

En el recuento de coliformes podemos observar que el queso con RC logró protegerse frente a la contaminación externa al presentar un valor muy similar al de la materia prima, mientras que el queso sin RC aumentó 1 log ufc/g.

Se puede apreciar que el recubrimiento logra disminuir la carga microbiana de coliformes ya que se obtuvieron reducciones desde el día inicial hasta el día final, por lo que para este tipo de bacterias el recubrimiento logra proteger el queso de la contaminación exterior y de que haya un crecimiento de las bacterias que ya se encontraban en el alimento. El aceite de mirto daña la membrana celular de este tipo de bacterias haciendo que no pueda mantener sus funciones causando lisis celular y muerte (Polat et al.,2022).

Estas bacterias normalmente se dan por el uso de utensilios contaminados o la mala manipulación del queso (Acevedo et al., 2001), al comprobar que el queso no tuvo contaminación inicial podríamos decir que el prototipo no es un factor contaminante al recubrir el queso.

En la tabla 7.21 se observa el recuento microbiológico para enterobacterias, donde la materia prima empleada para el desarrollo del estudio de almacenamiento presenta un recuento microbiológico inicial de 7 Log ufc/g y después de 7 días de almacenamiento tuvo un incremento de 2 log ufc/g.

Tabla 7.21. Recuento de enterobacterias en el queso fresco campesino incubados a 37°C

Día	Materia prima (Log UFC / g)	Queso sin RC (Log UFC / g)	Queso con RC (Log UFC / g)
1	7,0	8,1	6,9
5	-	9,4	8,2
7	10	9,8	8,1

A continuación, tenemos el recuento de enterobacterias, donde en el día 1 se puede observar que el queso con RC fue protegido de la contaminación externa comparándolo con los valores de materia prima que se encuentran similares; en cambio si observamos el queso sin RC, este presenta un incremento de 1 log ufc/g demostrando contaminación de este microorganismo. En el día 5 las enterobacterias logran crecer exponencialmente donde el queso sin RC ha crecido en total 3 log ufc/g mientras que el queso con RC creció 2 log ufc/g, demostrando que el crecimiento sigue siendo menor. Para el último día se aprecia como el crecimiento en el queso sin RC sigue aumentando mientras que para el queso con RC se tiene una disminución de la carga microbiana ya que el RC induce un periodo de fase estacionaria. Esta fase se logra dar porque el RC reduce el deterioro del producto al mantener más tiempo las características iniciales del queso, por ende, estas bacterias no encuentran el medio adecuado ni los nutrientes esenciales suficientes que se van dando a medida que el queso va perdiendo su vida útil para poder seguir creciendo, por lo que el periodo de fase exponencial cesa y se comienzan a disminuir el número de bacterias por muerte celular (Brock et al., 1993).

En la tabla 7.22 se observa el recuento microbiológico para *Listeria monocytogenes*, donde la materia prima empleada para el desarrollo del estudio de almacenamiento presenta ausencia de esta bacteria tanto en el día inicial como en el día final.

Tabla 7.22. Presencia o ausencia de *Listeria monocytogenes* en el queso fresco campesino incubados a 37°C

Día	Materia prima	Queso sin RC	Queso con RC
1	Ausente	Presencia	Ausente
5	-	Presencia	Ausente
7	Ausente	Presencia	Ausente

Inicialmente se evaluó la materia prima para determinar si el queso adquirido se encontraba previamente contaminado con *Listeria monocytogenes*; donde se obtuvo la ausencia de ésta, por lo que podemos decir que partimos de un queso sin contaminación con este microorganismo.

Los quesos con y sin RC que fueron contaminados con *Listeria monocytogenes* durante 16 horas fueron analizados en el día 1 obteniéndose como resultado que el queso sin RC tiene presencia de esta bacteria mientras que las muestras con RC no, lo cual indica que el RC permitió proteger al queso de la contaminación de esta bacteria. Durante la evaluación de los 7 días de almacenamiento se evidencia que el queso sin RC siempre tuvo presencia de *Listeria monocytogenes* mientras que en el queso con RC siempre estuvo ausente. El aceite de mirto en este caso actúa sobre la integridad de la membrana celular de las bacterias dañándolas y generando una fuga de contenidos intracelulares como ácidos nucleicos y proteínas provocando así la muerte bacteriana, esto logra evitar que las bacterias encontradas en el entorno penetren el RC y no logren sobrevivir en la superficie del queso (Polat et al., 2022). Es importante tener en cuenta que el recubrimiento sólo tiene este efecto positivo en la reducción de presencia de *Listeria monocytogenes* cuando el queso no se encuentra previamente contaminado ya que si el queso presenta esta bacteria antes de ser recubierto esta solución no cuenta con las propiedades necesarias para poder inhibir la bacteria completamente, solo si esta se encuentra en el exterior e intenta penetrar el recubrimiento (Polat et al., 2022).

A partir de los resultados obtenidos podemos decir que el RC aplicado por medio del prototipo desarrollado permitió extender la vida útil del queso fresco campesino en dos días, gracias a la protección de contaminación externa de microorganismos que este posee, la reducción de coliformes a lo largo de los días y la reducción del crecimiento exponencial microbiano; además de que mantiene la calidad visual del queso, su pH y acidez no fueron tan ácidos como el queso sin RC, y por último el porcentaje de disminución de pérdida del queso fue 4 veces menor.

Para poder determinar el nivel de reuso que puede tener la solución de recubrimiento, se propone hacer un seguimiento del comportamiento de la solución evaluando su calidad en términos de inocuidad y propiedades reológicas del

recubrimiento, por lo cual se debe tomar muestra de la solución de recubrimiento por cada 10 quesos recubiertos para analizar el recuento microbiológico en términos de aerobios mesófilos, coliformes y coliformes fecales. Para determinar el comportamiento reológico se evalúa la viscosidad y densidad de la solución. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de este seguimiento se podrá definir el número de veces máximas que se puede reutilizar la solución de recubrimiento. A partir de los resultados obtenidos se deberá hacer una comparación con los valores mínimos que deben cumplir, en el caso de análisis microbiológico la solución no debe presentar valores superiores a 10^4 UFC/g para aerobios mesófilos y para coliformes y coliformes fecales <10 UFC/g (Minsalud,2022); en el caso de los parámetros reológicos se debe mantener los valores de viscosidad y densidad de la solución fresca los cuales son $63,15 \pm 1,2$ cp y $1005,2 \pm 0,8$ kg/m³ respectivamente. Cuando estos parámetros están por fuera de estos valores, la solución ya no podrá ser reutilizada.

El desarrollo del diseño y construcción del prototipo que automatiza el proceso para recubrir los quesos frescos campesinos ofrece una serie de ventajas significativas en comparación con la inmersión manual mediante un colador u otras técnicas manuales. En primer lugar, el prototipo con ayuda de cálculos y pruebas experimentales de velocidad garantiza que el recubrimiento se aplique uniformemente en todo el queso, lo que es fundamental no solo para mantener la calidad del producto final sino para que el recubrimiento cumpla su función adecuadamente. Lo que hace que el equipo realice un proceso con una precisión que es difícil de lograr manualmente ya que para garantizar que todos los quesos se recubran de igual manera hay que tener mismo número de inmersiones, velocidad de inmersión y extracción, además del tiempo exacto a la hora de recubrir y escurrir. En términos de higiene y seguridad alimentaria, el prototipo minimiza el contacto manual del productor con el queso en el proceso de inmersión, reduciendo así el riesgo de contaminación cruzada. La eficiencia es otra ventaja destacada, ya que el prototipo puede acelerar el proceso de inmersión comparado con un proceso manual y así, aumentar la eficiencia en la producción, ya que, la automatización permite un flujo de trabajo más rápido y una mayor productividad, por lo que no se necesita tener un personal específico para contar el tiempo, número de inmersiones o estar pendiente en todo momento del proceso como lo sería manualmente. Además, la reproducibilidad es crucial en la industria

alimentaria, y el prototipo garantiza que el proceso se realice de manera consistente en cada queso fresco, para que todos los quesos tengan la misma uniformidad y el mismo grosor de la capa de recubrimiento, lo que es esencial para mantener la calidad del producto a lo largo del tiempo. Teniendo en cuenta los costos de cada uno de los ingredientes que se emplean para la obtención de la solución de recubrimiento, el costo aproximado de colocar una capa de recubrimiento a cada queso es de 22 pesos colombianos, este costo equivale al 0,1% del valor del producto (13.000 pesos) lo cual puede ser fácilmente cubierto en términos de costos por parte del productor tomando en consideración que colocar el recubrimiento le permite tener mayor tiempo para la comercialización del producto, ya que este tiene una mayor vida útil que el queso sin recubrimiento, sin la pérdida de su calidad.

- **Costo del prototipo**

A continuación, se indica el costo que tienen los elementos que hacen parte del prototipo.

Costo de elementos del prototipo

El costo de todos elementos tanto mecánicos, electrónicos y de estructura, se pueden observar en la tabla a continuación:

Tabla 7.23. Presupuesto de materiales para la fabricación del prototipo

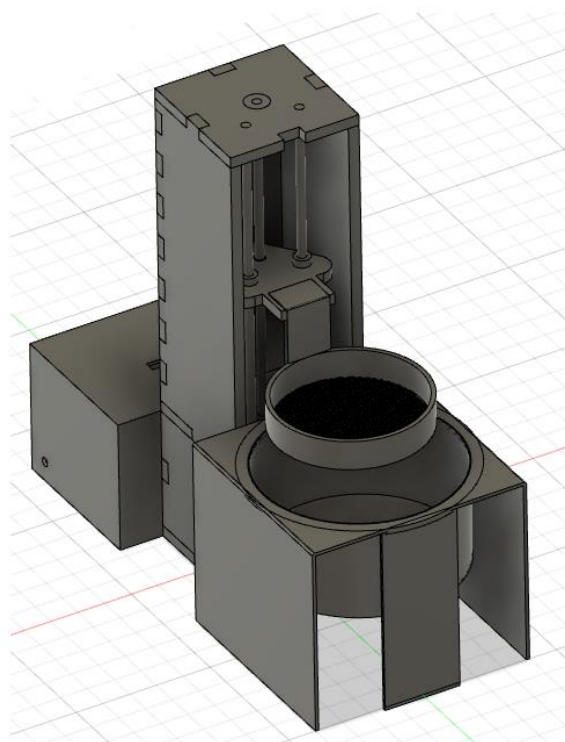
Elementos	Cantidad	V. Unidad	V. Total
Piezas en acrílico	1	\$ 323.850	\$ 323.850
Piezas en acero inoxidable	1	\$ 380.000	\$ 380.000
Motor Nema 17; Reductor 5:1	1	\$ 153.160	\$ 153.160
Driver TB6600	1	\$ 48.000	\$ 48.000
Arduino UNO	1	\$ 40.000	\$ 40.000

Tornillo trapezoidal	1	\$ 40.000	\$ 40.000
Rodamiento lineal	2	\$ 10.000	\$ 20.000
Acople flexible	1	\$ 15.000	\$ 15.000
Rodamiento circular	2	\$ 5.800	\$ 11.600
Varilla lisa	2	\$ 25.000	\$ 50.000
Fuente 3A 24V	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Pantalla OLED	1	\$ 20.000	\$ 20.000
Jumpers	4	\$ 4.500	\$ 18.000
Resistencias	3	\$ 200	\$ 600
Botón	1	\$ 10.000	\$ 10.000
Leds	2	\$ 400	\$ 800
PCB	1	\$ 4.000	\$ 4.000
Tornillos	2	\$ 1.000	\$ 2.000
Regulador de voltaje	1	\$ 16.000	\$ 16.000
Clavija y cable	1	\$ 14.000	\$ 14.000
TOTAL	\$ 1.227.010		

Costo de total del prototipo

Al precio total de la tabla se le incluyó el costo de la mano de obra al prototipo desarrollado.

Prototipo de inmersión para quesos frescos campesinos



\$ 2.800.000

El prototipo genera un beneficio y da un valor agregado, que no solo alarga la vida útil del queso en 2 días según las evaluaciones realizadas, sino que ayuda a proteger de microorganismos externos, algo fundamental para evitar enfermedades, lo que es esencial para la salud y seguridad alimentaria. Esto no solo beneficia a los consumidores al proporcionar un producto más seguro, sino que también puede ser un factor de diferenciación en el mercado, ya que resalta el compromiso del productor con la calidad y la seguridad de los alimentos. Esto impacta positivamente, ya que, incrementa un mayor tiempo de vida para la comercialización del producto lo que se podría ver la utilidad a mediano plazo.

En comparación con los costosos equipos industriales, el prototipo ofrece una solución económicamente accesible para pequeñas productoras de queso. Estas empresas pueden competir con bajos costos iniciales y costos operativos.

La escalabilidad y la adaptabilidad del prototipo se adaptan a las necesidades específicas de las pequeñas productoras, mientras que su capacidad para mejorar la seguridad alimentaria y la calidad del producto proporciona un valor diferenciador clave.

Esta solución fomenta el cumplimiento de la normativa y la innovación local al mismo tiempo que empodera a las pequeñas empresas.

8. CONCLUSIONES

- El diseño del prototipo se basó en los requerimientos y condiciones establecidas por la bibliografía, lo que permitió el diseño y desarrollo de del prototipo para la aplicación de recubrimientos comestibles en el queso fresco campesino, por medio de aplicaciones como fusion 360, Arduino y selecciones detalladas de materiales y elementos electromecánicos basados en normas y requerimientos, basadas en un prototipo que moviera un peso aproximado de 500g y logre sumergir y recubrir homogéneamente el queso.
- Se desarrolló satisfactoriamente el prototipo de inmersión para la aplicación de recubrimientos en quesos frescos campesinos, donde se logró determinar la velocidad adecuada de 12,6 mm/s con pruebas experimentales y cálculos, por otra parte, se observó que el prototipo ofrece una serie de ventajas significativas en comparación con la inmersión manual mediante un colador u otras técnicas manuales como: la uniformidad, la reproducibilidad y mayor productividad.
- El recubrimiento aplicado por equipo logra proteger al queso de la contaminación externa por microorganismos como *Listeria monocytogenes*, aerobios mesófilos, coliformes, enterobacterias; además de disminuir la carga microbiana de estas dos últimas bacterias y extender la vida útil en un 20% debido a que también ayuda a preservar de mejor forma el color del queso, evitar el desuerado en grandes cantidades y alargar el tiempo de disminución del pH y acidez.

9. RECOMENDACIONES

- Extender el tiempo de evaluación para así poder determinar el tiempo máximo que se logra alargar la vida útil del queso y de su protección contra microorganismos.
- Implementar un secador para poder agilizar el tiempo de secado del recubrimiento comestible.
- Investigar qué otros tipos de recubrimientos se pueden aplicar con el prototipo.
- Realizar una evaluación microbiológica cada que se recubren 10 quesos con el prototipo, para así poder determinar las cantidades de quesos que el equipo puede recubrir sin que la solución de recubrimiento presente un riesgo de contaminación.
- Realizar una evaluación microbiológica a la solución de recubrimiento una vez haya completado su ciclo de uso diario para así determinar si esta se puede reutilizar o debe ser desechada y cambiada.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, D. (2010). *Gelificación fría de las proteínas del lactosuero*. Revista ReCiTeIA.
2. Acevedo, Laura, Mendoza, Clever, & Oyón, Rafael. (2001). Coliformes totales, fecales y algunas enterobacterias, *Sthaphylococcus* sp. y hongos en ensaladas para perro calientes expendidas en la ciudad de Maracay, Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(4), 366-370. Recuperado en 03 de noviembre de 202
3. Alava Viteri, C., Gómez de Illera, M., & Maya Pantoja, J. A. (2014). Chemical and physical characterization of sweet serum obtained from homemade cheese in the city of Pasto. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 1(1), 22–32.
4. Andrade, R. D., Skurtys, O., & Osorio, F. A. (2012). Atomizing spray systems for application of edible coatings. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(3), 323-337.
5. Afonso Díaz, M. (2016). Encapsulación de antioxidantes en nanopartículas de zeína. [Tesis de maestría, Universidad de Oviedo]. Repositorio Institucional de la Universidad de Oviedo.
6. Anónimo. (2017). Listeriosis. *Centro de control y Prevención de las Enfermedades*.
7. Bacteriological Analytical Manual. 1984. Food and Drugs Administration FDA. Bureau of Foods. Division of Microbiology. 6a Ed. Washington D.C.
8. Bailey, A. G. (1998). The science and technology of electrostatic powder spraying, transport and coating. *Journal of electrostatics*, 45(2), 85-120.
9. Berodier F, Lavanchy P, Zannoni M, Casals J, Herrero L Adamo C. (1997) Guía para la evaluación olfato gustativa de los quesos de pasta dura y semidura. GeCOTEET, Poligny, Francia.
10. Bover, S., & Garriga, M. (2014). Condiciones que determinan el crecimiento y la supervivencia de *Listeria monocytogenes* en alimentos listos para el consumo. *Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA)*, 3-79.

11. Brunser, O. (2013). El desarrollo del microbiota intestinal humana, el concepto de probiótico y su relación con la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 40(3), 283-289.
12. Brock, T. & M. Madigan. 1993. MICROBIOLOGÍA. 6ta Edición. Prentice Hall Hispanoamérica S. A. México.
13. Cagri, A., Ustunol, Z., & Ryser, E. T. (2004). Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of food protection*, 67(4), 833-848.
14. Cano García, M. (2021). Recubrimientos activos para alargar la vida útil de los quesos. [Tesis de maestría, Universidad politècnica de valencia]. Repositorio institucional UPV
15. Calvo, B. (2014). Caseína. Bioquímica de los alimentos.
16. Cervantes Escoto, F., Palacios Rangel, M. I., Monroy Neria, G., Cesín Vargas, A., & Villegas de Gante, A. (2021). Genealogía y trayectoria artesanal del queso criollo en hoja de luna de Hidalgo, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12(2), 503-522.
17. Díaz-Montes, E., & Castro-Muñoz, R. (2021). Edible Films and Coatings as Food-Quality Preservers: An Overview. *Foods* 2021, 10, 249.
18. Escobar, D., Sala, A., Silvera, C., Harsipe, R., & Márquez, R. (2009). Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *INNOTECH*, (4 ene-dic), 33-36.
19. Escobar Hernández, A., Márquez Cardozo, C. J., Restrepo Florez, C. E., & Pérez Cordoba, L. J. (2014). Aplicación de tecnología de barreras para la conservación de mezclas de vegetales mínimamente procesados. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(1), 7237-7245.
20. Espinoza, C. (2017). Pulverización por enfriamiento para el desarrollo de aditivos plásticos. *Plastics technology mexico*
21. FAO., 2011. Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria. *Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura*
22. FAO. (2016). *Fichas técnicas: Procesados lácteos. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura*

23. Fernández Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereira, A., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52-57.
24. Fundación Caser (2021) *El queso es un alimento rico en vitaminas a Y D*, Fundación Caser - Portal de la Promoción de la Salud y la Autonomía Personal.
25. García, M, (2021). Recubrimientos activos para alargar la vida útil de los quesos. Universitat Politècnica de València. [Master, Tesis de Ingeniería]
26. Gupta, G., & Gupta, T. (2011). Evaluation of the effect of various beverages and food material on the color stability of provisional materials - An in vitro study. *Journal of conservative dentistry*
27. Hurtado, A., Selgas Sanchis, R., & Serrano Aroca, Á. (2020). El alginato y sus inmensas aplicaciones industriales. *Nereis*, (12), 137-149.
28. Hurtado, J. E. (2019). Estudio del almidón modificado de banano (*M. sapientum* L.) variedad Cavendish obtenido por acetilación. *Universidad Técnica de Machala. Ecuador. Recuperado de <http://186.3>, 32.*
29. Johnson, M., & Law, B. A. (2011). The fundamentals of cheese technology. *Technology of cheesemaking. Segunda edición. Wiley Blackwell, Reino Unido.*
30. Juárez, A. (2017). *COMPARACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UN QUESO FRESCO PROCESADO SIN CONSERVADORES Y QUESOS FRESCOS CON RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES DE QUITOSANO Y ACEITES ESENCIALES*. [Doctoral dissertation, Tesis de Ingeniería].
31. Khan, M. K. I., Nazir, A., & Maan, A. A. (2017). Electrospraying: a novel technique for efficient coating of foods. *Food Engineering Reviews*, 9(2), 112-119.
32. Konica Minolta Sensing Americas. (2020). Entendiendo el espacio de color CIE L*A*B* - Konica Minolta Sensing. Konica Minolta Sensing.
33. Landau, L., & Levich, B. (1988). Dragging of a liquid by a moving plate. In *Dynamics of curved fronts* (pp. 141-153). Academic Press.
34. Lucey, J. A., Johnson, M. E., & Horne, D. S. (2003). Invited review: perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *Journal of Dairy Science*, 86(9), 2725-2743.

35. Martínez, A. G. (2019). Departamento de Boyacá. *Toda Colombia, La cara amable de Colombia*.
36. McNatty, J. (2019). Wear breakdown structure WBS.
37. Merchán, N., Zurymar, S., Niño, L., & Urbano, E. (2019). Determinación de la inocuidad microbiológica de quesos artesanales según las normas técnicas colombianas. *Revista chilena de nutrición*, 46(3), 288-294.
38. Minsalud. (2019). Enfermedades transmitidas por alimentos (ETA). *Ministerio de salud y protección social*
39. Mørretrø, T., & Langsrud, S. (2017). Residential bacteria on surfaces in the food industry and their implications for food safety and quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1022-1041.
40. Molina-Hernández, J. B., Echeverri Castro, A., Martinez-Correa, H. A., & Andrade-Mahecha, M. M. (2020). Edible coating based on achira starch containing garlic/oregano oils to extend the shelf life of double cream cheese. *Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín*, 73(1), 9099–9108.
41. Muñoz, R. (2012). Diccionario Enciclopédico de la Gastronomía Mexicana. *Larousse*.
42. Odeyemi, O. A., Alegbeleye, O. O., Strateva, M., & Stratev, D. (2020). Understanding spoilage microbial community and spoilage mechanisms in foods of animal origin. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 19(2), 311-331.
43. OMS. (2018). Listeriosis. *Organización Mundial de la Salud*.
44. Paredes-Maas, E., Monroy-Hernández, R., Chávez-Dehesa, J. F., Guevara-Hernández, F., Castro-Ehuan, E., & Zaldívar-Cruz, J. M. (2019). Análisis de Costos en la Producción de Quesos Artesanales. Estudio de Caso: Quesería el Bejucal. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 5(10), 1222-1247.
45. Pedraza Santiago, L. J. (2020). Estudios de los hidrocoloides Goma Gelana y Carragenina en soluciones de Hipromelosa para la fabricación de cápsulas farmacéuticas duras y vacías.
46. Pereira, L. a. S., De Castro E Silva, P., Rocchetti, G., Miranda, K. W. E., Medeiros, E. S., Piccoli, R. H., & De Oliveira, J. E. (2019). Antimicrobial zein

- coatings plasticized with garlic and thyme essential oils. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22.
47. Pérez Saura, D. (2017). Diseño, construcción y control de una plataforma de experimentación para la automatización de ensayos con muestras de films de polietileno.
48. Polat Yemiş, G., Sezer, E., & Sığramaz, H. (2022). Inhibitory Effect of Sodium Alginate Nanoemulsion Coating Containing Myrtle Essential Oil (*Myrtus communis* L.) on *Listeria monocytogenes* in Kasar Cheese. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(21), 7298.
49. Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582.
50. Ramírez-López, C., & Vélez-Ruiz, J. F. (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 6(2), 131-148.
51. Ramos, Ó. L., Pereira, J. O., Silva, S. I., Fernandes, J. C., Franco, M. I., Lopes-da-Silva, J. A., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2012). Evaluation of antimicrobial edible coatings from a whey protein isolate base to improve the shelf life of cheese. *Journal of dairy science*, 95(11), 6282–6292.
52. Rhim, J. W. (2004). Physical and mechanical properties of water-resistant sodium alginate films. *LWT-Food science and technology*, 37(3), 323-330.
53. Ríos, S. Á. Á. (2003). *Influencia de la alimentación del ganado caprino en la caracterización físico-química y organoléptica del queso majorero (DO)* (Doctoral dissertation, Universidad de La Laguna).
54. Gómez, J. M. R. (2010). Consecuencias higiénicas de la alteración de los alimentos. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*.
55. Rosero, A., Montero, P. E., & Fernández, L. (2020). Recubrimientos comestibles con materiales micro/nanoestructurados para la conservación de frutas y verduras: una revisión. *infoANALÍTICA*, 8(1), 150-179.
56. Rodríguez-Auad, J. P. (2018). Panorama de la infección por *Listeria monocytogenes*. *Revista chilena de infectología*, 35(6), 649-657.
57. Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., & Belloso, O. M. (2007). Empleo de recubrimientos comestibles en frutas frescas cortadas: nuevo enfoque de

- conservación y desarrollo de productos. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, (382), 105-118
58. Del Sagrado, J., Del Águila, I. M., & Bosch, A. (2018). Expansión cuantitativa del método MoSCoW para la priorización de requisitos.
 59. Saravacos, G. D., & Kostaropoulos, A. E. (2002). *Handbook of food processing equipment* (Vol. 2012, pp. 331-381). Kluwer Academic/Plenum.
 60. Salvador, M. (2018) *DIVISIÓN POLÍTICA, División Política*.
 61. Sánchez-González, L., Pastor, C., Vargas, M., Chiralt, A., González-Martínez, C., & Cháfer, M. (2011). Effect of hydroxypropylmethylcellulose and chitosan coatings with and without bergamot essential oil on quality and safety of cold-stored grapes. *Postharvest biology and technology*, 60(1), 57-63.
 62. Schneller, T., Waser, R., Kosec, M., & Payne, D. (Eds.). (2013). *Chemical solution deposition of functional oxide thin films* (pp. 1-796). Vienna: Springer Vienna.
 63. Schweizer, P. M., & Kistler, S. F. (Eds.). (2012). *Liquid Film Coating: Scientific principles and their technological implications*. Springer Science & Business Media.
 64. Benadof, Dona. (2008). *Listeria monocytogenes*. *Revista chilena de infectología*, 25(5), 350.
 65. Theophilou, P., & Wilbey, R. A. (2007). Effects of fat on the properties of halloumi cheese. *International journal of dairy technology*, 60(1), 1-4.
 66. Valencia-Chamorro, S., & Torres-Morales, J. (2016). Recubrimientos comestibles aplicados en productos de iv yv Gamma. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 162-174.
 67. Vallejo Ruiz, A. (2019). Construcción de un dispositivo que permita la inmersión controlada de sustratos durante la aplicación del método sol-gel en la obtención de recubrimientos vitrocerámicos.
 68. Vasiliauskaite, A., Mileriene, J., Songisepp, E., Rud, I., Muizniece-Brasava, S., Ciprovica, I., Axelsson, L., Lutter, L., Aleksandrovas, E., Tammsaar, E., Salomskiene, J., Serniene, L., & Malakauskas, M. (2022). Application of Edible Coating Based on Liquid Acid Whey Protein Concentrate with Indigenous *Lactobacillus helveticus* for Acid-Curd Cheese Quality Improvement. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(21), 3353.

69. Vallejo Ruiz, A. (2019). Construcción de un dispositivo que permita la inmersión controlada de sustratos durante la aplicación del método sol-gel en la obtención de recubrimientos vitrocerámicos.
70. Ospina-Calderón, J. A., Lota-Mendoza, C. A., Betin-Bohórquez, B. S., García-Gómez, C. A., Rincón-Ortiz, R. J., y Llamosa-Pérez, D. (2020). Diseño y construcción de una máquina Dip Coater para la obtención de recubrimientos de SiO₂ mediante la técnica sol-gel. *Revista Ontare*, 7, 72–96.
<https://doi.org/10.21158/23823399.v7.n0.2019.2577>
71. Mott, R. L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Pearson Educación.

10. ANEXOS

10.1. Código en txt

```
#include <SPI.h>

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_GFX.h>

#include <Adafruit_SSD1306.h>


#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels


// Declaration for an SSD1306 display connected to I2C (SDA, SCL pins)
// The pins for I2C are defined by the Wire-library.
// On an arduino UNO:   A4(SDA), A5(SCL)


#define OLED_RESET    -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)
#define SCREEN_ADDRESS 0x3C


Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);


// #define NUMFLAKES 10 // Number of snowflakes in the animation example
// #define LOGO_WIDTH 128
// #define LOGO_HEIGHT 64
```

```

static const unsigned char PROGMEM proceso[] = {0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0xe0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0xe0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0c, 0x30, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x06, 0x0c, 0x30, 0x60, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0f, 0x08, 0x10, 0xf0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x19, 0xf8, 0x1f, 0x98, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,

```

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x30, 0x60, 0x06, 0x0c, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x30, 0x00, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x30, 0x00, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x10, 0x00, 0x00, 0x08, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x18, 0x00, 0x00, 0x18, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x18, 0x00, 0x00, 0x18, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x30, 0x01, 0x80, 0x0c, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x03, 0xe0, 0x0f, 0xf0, 0x07, 0xc0, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0x00, 0x1c, 0x18, 0x00, 0xe0, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x06, 0x00, 0x30, 0x0c, 0x00, 0x60, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x06, 0x00, 0x20, 0x04, 0x00, 0x60, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x06, 0x00, 0x60, 0x06, 0x00, 0x60, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0x00, 0x60, 0x06, 0x00, 0xe0, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x03, 0x80, 0x40, 0x02, 0x01, 0xc0, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x60, 0x06, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x40, 0x60, 0x06, 0x02, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x60, 0x30, 0x0c, 0x06, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x60, 0x30, 0x0c, 0x06, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x1c, 0x38, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x80, 0x07, 0xf0, 0x01, 0x80, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x80, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x80, 0x00, 0x00, 0x01, 0x80, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfe, 0x00, 0x00, 0x7f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0x00, 0x00, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x00, 0x00, 0x80, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x00, 0x00, 0x80, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x03, 0xc0, 0x80, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x07, 0xe0, 0x80, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x8c, 0x31, 0x80, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0xf8, 0x1f, 0x80, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x38, 0x1c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x03, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xc0, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0xff, 0xff, 0xfe, 0x00, 0x20, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0xff, 0xff, 0xfe, 0x00, 0x20, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x03, 0xff, 0xff, 0xfc, 0x00, 0x40, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x80, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,


```

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00};

int botonPin = 2;

int ledrojo = 3;

int ledverde = 4;

int velocidadMotor = 800; // Ajusta este valor para cambiar la velocidad pasos por
segundo

void setup() {

    pinMode(8, OUTPUT); // DIRECCION

    pinMode(9, OUTPUT); // PULSOS O NUMERO DE VUELTAS

    pinMode(ledrojo, OUTPUT);

```

```

pinMode(ledverde, OUTPUT);

pinMode(botonPin, INPUT);


Serial.begin(9600);


// SSD1306_SWITCHCAPVCC = generate display voltage from 3.3V internally
if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, SCREEN_ADDRESS)) {
    Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
    for(;;); // Don't proceed, loop forever
}

display.clearDisplay();

display.setTextSize(2.5);          // Normal 1:1 pixel scale
display.setTextWrap(false);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE); // Draw white text
display.setCursor(2,20);           // Start at top-left corner
display.println("BIENVENIDO"); // Draw 2X-scale text
display.display();
delay(4000);

}

void loop(){

    display.clearDisplay();

```

```

display.setTextSize(2);
display.setTextWrap(true);
display.setCursor(16,0);
display.println("Para");
display.setCursor(16,18);
display.println("iniciar");
display.setCursor(16,33);
display.println("presione");
display.setCursor(16,48);
display.println("el boton");
display.display();
//delay(10000);
digitalWrite(ledrojo, HIGH);

if (digitalRead(botonPin) == HIGH) {
    digitalWrite(ledverde, HIGH);
    display.clearDisplay();
    display.drawBitmap( 0, 0, proceso, 128, 64, WHITE);
    display.display();

    digitalWrite(8, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    for (int j = 0; j < 29800; j++) {
        digitalWrite(9, HIGH);

```

```
    delayMicroseconds(1000000 / velocidadMotor); // Calcula el retraso según la
velocidad
```

```
    digitalWrite(9, LOW);
```

```
}delay(200);
```

```
    display.clearDisplay();
```

```
    display.setTextSize(2);
```

```
    display.setTextWrap(true);
```

```
    display.setCursor(8,0);
```

```
    display.println("Velocidad");
```

```
    display.setCursor(16,18);
```

```
    display.println("12,6 mm/s");
```

```
    display.setCursor(17,40);
```

```
    display.setTextSize(1);
```

```
    display.println("Tiempo/inmersion");
```

```
    display.setTextSize(2);
```

```
    display.setCursor(28,49);
```

```
    display.println("2 min");
```

```
    display.display();
```

```
delay(120000);
```

```
display.clearDisplay();
```

```
display.drawBitmap( 0, 0, proceso, 128, 64, WHITE);
```

```
display.display();
```

```

digitalWrite(8, LOW);

delayMicroseconds(10);

for (int i = 0; i < 29800; i++) {

    digitalWrite(9, HIGH);

    delayMicroseconds(1000000 / velocidadMotor); // Calcula el retraso según la
velocidad por segundo

    digitalWrite(9, LOW);

}delay(200);

display.clearDisplay();

display.setTextSize(2);

display.setTextWrap(true);

display.setCursor(8,0);

display.println("Velocidad");

display.setCursor(16,18);

display.println("12,6 mm/s");

display.setCursor(22,38);

display.setTextSize(1);

display.println("Tiempo/goteo");

display.setTextSize(2);

display.setCursor(32,49);

display.println("30 s");

```

```

display.display();

delay(30000);

display.clearDisplay();

display.drawBitmap( 0, 0, proceso, 128, 64, WHITE);

display.display();


digitalWrite(8, HIGH);

delayMicroseconds(10);

for (int j = 0; j < 29800; j++) {

    digitalWrite(9, HIGH);

    delayMicroseconds(1000000 / velocidadMotor); // Calcula el retraso según la
velocidad

    digitalWrite(9, LOW);

}delay(200);

display.clearDisplay();

display.setTextSize(2);

display.setTextWrap(true);

display.setCursor(8,0);

display.println("Velocidad");

display.setCursor(16,18);

display.println("12,6 mm/s");

display.setCursor(17,40);

display.setTextSize(1);

```

```

display.println("Tiempo/inmersion");

display.setTextSize(2);

display.setCursor(28,49);

display.println("2 min");

display.display();


delay(120000);


display.clearDisplay();

display.drawBitmap( 0, 0, proceso, 128, 64, WHITE);

display.display();


digitalWrite(8, LOW);

delayMicroseconds(10);

for (int i = 0; i < 29800; i++) {

    digitalWrite(9, HIGH);

    delayMicroseconds(1000000 / velocidadMotor); // Calcula el retraso según la
velocidad por segundo

    digitalWrite(9, LOW);

}delay(200);

display.clearDisplay();

display.setTextSize(2);

```

```
display.setTextWrap(true);  
display.setCursor(8,0);  
display.println("Velocidad");  
display.setCursor(16,18);  
display.println("12,6 mm/s");  
display.setCursor(22,38);  
display.setTextSize(1);  
display.println("Tiempo/goteo");  
display.setCursor(32,49);  
display.setTextSize(2);  
display.println("30 s");  
display.display();
```

```
delay(30000);  
display.clearDisplay();  
display.drawBitmap( 0, 0, proceso, 128, 64, WHITE);  
display.display();  
delay(200);  
display.clearDisplay();  
display.setTextSize(2);  
//display.setTextColor(SSD1306_BLACK, SSD1306_WHITE); // Draw 'inverse' text  
display.setTextWrap(true);  
display.setCursor(8,32);
```



```
display.println("TERMINADO");  
  
display.display();  
  
delay(4000);  
  
}  
  
digitalWrite(ledverde, LOW);  
  
}
```

10.2. Video del funcionamiento

<https://youtu.be/BcZ-7tYfUYA>

10.3. Protocolo de pruebas

- Funcionamiento

Prueba 1: Verificación del encendido, inicio de inmersión y apagado

PROCEDIMIENTO:

Paso 1: Conectar el equipo al toma corriente y se espera a que el led se ilumine lo que nos indica de que ya se encuentra listo para su uso.

Paso 2: Oprimir el botón amarillo para iniciar el proceso de inmersión, se verifica que la plancha baje y vuelva a subir sin problemas.

Paso 3: Cuando se finaliza el proceso se espera a que el led se apague lo que indica que el equipo se encuentra listo para poder recubrir otro queso.

Prueba 2: Duración de la inmersión, duración del escurrido y número de veces de la inmersión

PROCEDIMIENTO:

Paso 1: Conectar el equipo al toma corriente y se espera a que el led se ilumine lo que nos indica de que ya se encuentra listo para su uso.

Paso 2: Oprimir el botón amarillo para iniciar el proceso de inmersión, se verifica que la plancha baje, se quede el tiempo estipulado y vuelva a subir sin problemas. Para determinar si cumple la duración de la inmersión de 2 min y escurrido 30 segundos se coloca un cronómetro para poder contabilizar los tiempos estimados. Por otro lado, para evaluar que sí cumpla con las 2 inmersiones se hace de manera visual observando que haga la inmersión y extracción dos veces antes de apagarse.

Paso 3: Cuando se finaliza el proceso se espera a que el led se apague lo que indica que el equipo se encuentra listo para poder recubrir otro queso.

- Rendimiento

Prueba 1: Capacidad de inmersión con un peso de 500g

PROCEDIMIENTO:

Paso 1: Conectar el equipo al toma corriente y se espera a que el led se ilumine lo que nos indica de que ya se encuentra listo para su uso.

Paso 2: Colocar un queso fresco artesanal de 500 g en la plancha con la malla.

Paso 3: Oprimir el botón amarillo para iniciar el proceso de inmersión, se verifica que la plancha baje, se quede el tiempo estipulado y vuelva a subir sin presentar problemas.

Paso 3: Cuando se finaliza el proceso se espera a que el led se apague lo que indica que el equipo se encuentra listo para poder recubrir otro queso.

Prueba 2: Verificación de que se recubran 4 quesos en una hora

PROCEDIMIENTO:

Paso 1: A partir del tiempo cronometrado de la prueba 2 de funcionamiento se estipula la duración y el número de quesos

Paso 2: Se toman los 6 minutos aproximadamente que dura el proceso de inmersión y se halla por medio de la siguiente ecuación el número de quesos que se pueden recubrir en una hora.

$$N^{\circ} \text{ de quesos: } \frac{60 \text{ minutos}}{6 \text{ minutos}} = 10 \text{ quesos}$$

Paso 3: Se concluye que puede recubrir 4 o más quesos

- Seguridad

Prueba 1: Existencia de fugas

PROCEDIMIENTO:

Paso 1: Llenar el recipiente con agua donde se aplica el RC

Paso 2: Verificar por 2 minutos que no haya presencia de agua por fuera del recipiente

Paso 3: Colocar el recipiente en la base

Paso 4: Verificar que no haya derrame de agua

Prueba 2: Verificar que las partes del prototipo se encuentren cerradas

PROCEDIMIENTO:

Paso 1: Verificar la caja donde se encuentran los componentes electrónicos, que esta no tenga fisuras, golpes, aberturas.

Paso 1: Verificar la caja donde se encuentran los componentes mecánicos, que esta no tenga fisuras, golpes, aberturas, que las piezas en forma de rompecabeza se encuentren bien unidas, sin espacios.

10.4. Manual de usuario

**Manual de usuario
Dispositivo de Dip-coating para Quesos frescos campesinos**

Introducción

Bienvenido al Manual de Usuario del prototipo de Dip-coating para quesos frescos campesinos. Este dispositivo ha sido desarrollado con el propósito de extender la vida útil de los quesos frescos campesinos en pequeñas productoras de la ciudad de Tunja. El prototipo utiliza una técnica de inmersión y extracción controlada para aplicar un recubrimiento comestible a estos quesos, mejorando tanto su calidad como su vida útil. En este manual, le guiaré a través de cómo utilizar eficazmente este dispositivo, paso a paso.

Requisitos del Sistema

1. El prototipo requiere de una fuente de energía eléctrica adecuada, como un enchufe de corriente alterna (AC) estándar. Asegúrese de conectar el dispositivo en un toma corriente de 120 v.

2. Asegúrese de tener todos los materiales necesarios para hacer una solución de recubrimiento comestible.
3. Asegúrese de que la materia prima del queso este inocua
4. El mantenimiento y la limpieza frecuentes del dispositivo son cruciales, incluido el desmontaje, la limpieza de los componentes en contacto con los alimentos y la solución de recubrimiento.
5. Asegúrese de que el personal que operará el dispositivo haya leído el manual completo para el funcionamiento del dispositivo, y tenga en cuenta los procedimientos básicos de seguridad e higiene alimentaria.

Preparación de la solución del recubrimiento.

Materiales

- Alginato de sodio
- Tween 80
- Glicerol
- Aceite esencial de mirto
- Agua purificada (hervida)

Preparación para 1 L aproximadamente de solución.

Paso 1.

Agregar 11 g de alginato o una cucharada rasa y media de alginato de sodio en un recipiente, luego agregue 3 tazas de agua purificada.

Paso 2.

Poner en baño maría o en el horno a una temperatura de 70 a 75°C durante 2 horas.

Paso 3.

En otro recipiente añada 1 taza de agua purificada y una cucharadita de Tween 80 y aceite esencial y media cucharada de glicerol. Revolver bien hasta disolver.

Paso 4.

Luego de que pasen las 2 horas, sacar el recipiente, añadir y mezclar todo hasta que quede una solución homogénea y sin grumos. (Si quiere puedo meterlo a la licuadora por 40 s)

Paso 5.

Por último, añadir la mezcla en un recipiente, dejar enfriar y mantener refrigerado si no se va a usar y agitar al usarlo.

Inicio Rápido

Paso 1: Preparación

Ponga el recipiente en la base de este antes de agregar el recubrimiento y alista los quesos que vas a recubrir.

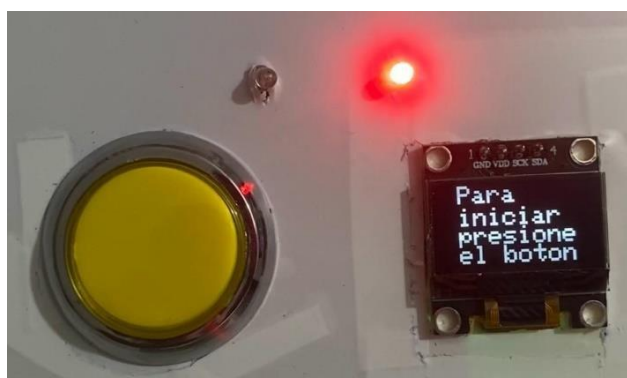
Verifique que el recipiente del recubrimiento cuente con la solución de recubrimiento comestible. Si no, prepare la solución de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

Verifique que el recipiente esté centrado y alineado debajo de la plancha donde irá situado el queso.

Paso 2: Encendido del Dispositivo

Conecte el dispositivo al tomacorriente más cercano.

Espere a que la pantalla se encienda, observe un mensaje de bienvenida y se encienda el led de color rojo.



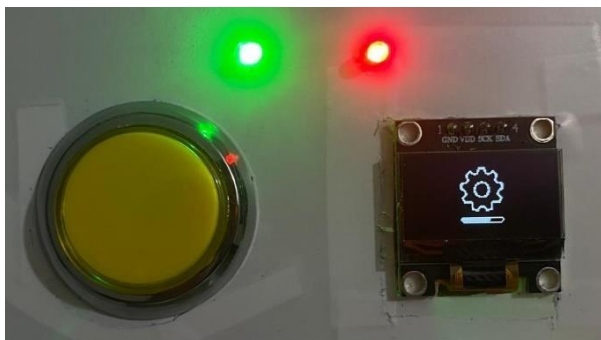
En este momento el equipo está listo para iniciar con el proceso de inmersión.

Paso 4: Inmersión

Con el dispositivo encendido y la solución de recubrimiento en el recipiente, ponga el queso en la plancha y asegúrese que el queso quede en la mitad.

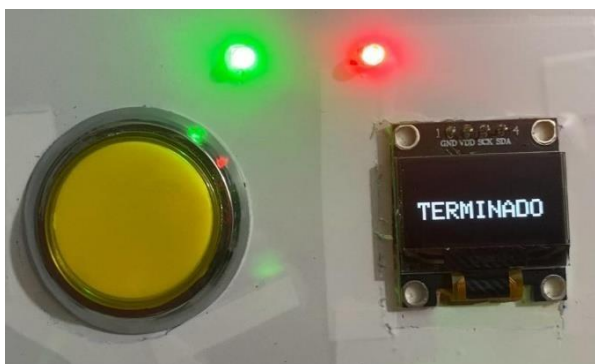
Para iniciar con el proceso de inmersión oprima el botón amarillo.

El proceso se ha iniciado cuando observe en el led verde se enciende y en la pantalla observe un icono como el de la imagen:



Paso 5: Extracción

Antes de extraer el queso asegúrese que el led verde se haya apagado y haya salido un mensaje de terminado, como en la imagen:



Luego, eleve la malla lentamente para extraer los quesos y colóquelos en una bandeja limpia.

Paso 6: Limpieza

Verifique que el dispositivo no esté en función y desconéctese de la fuente de energía.

Desmonte las partes en contacto con la solución de recubrimiento y la malla en contacto con el queso. Lávese minuciosamente con agua y detergentes suaves.

Asegúrese de enjuagar y secar completamente todas las partes antes de volver a montar el dispositivo.

Funcionalidades Principales

Capacidad de recubrimiento: El dispositivo tiene la capacidad de recubrir aproximadamente 40-50 quesos con 1,1 litro de solución de recubrimiento, lo que lo hace eficiente en términos de uso de recursos.

Rendimiento: El dispositivo es capaz de recubrir 7 quesos aproximadamente por hora.

Facilidad de limpieza: El diseño del dispositivo y la posibilidad de desmontar las partes en contacto con la solución de recubrimiento y los quesos facilita la limpieza y mantenimiento, lo que es esencial para garantizar la higiene y la seguridad alimentaria.

Indicadores visuales y sonoros: Además de los indicadores LED, el dispositivo incluye señales visuales por medio de una pantalla LCD oled para notificar al usuario sobre el estado del proceso, lo que facilita su seguimiento

Seguridad

Asegúrese que el dispositivo esté conectado a una fuente de energía eléctrica de 120V y que esté en una superficie plana y estable.

No agregue más de 1,5 L solución de recubrimiento porque se puede rebosar a la hora de realizar el proceso de inmersión

Si a la hora de empezar a realizar el proceso de inmersión nota que el recubrimiento que agregó no es suficiente, espere a que acabe el ciclo y luego si agregue el restante.

A la hora de volver a usar el dispositivo asegúrese que todas las partes estén completamente secas.

Mantenga la solución de recubrimiento en un recipiente sellado y en un lugar fresco y oscuro cuando no esté en uso para evitar su deterioro.

Mantenimiento - Soporte Técnico Contacto

- Brayan Andrés Acevedo
- Teléfono: 311 638 7021

- Karolina Suikan
- Teléfono: 315 770 6851

10.5. Obtención de la bacteria *Listeria monocytogenes*

Se adquieren dos quesos paipa de la plaza de mercado 7 de agosto de Bogotá. Estos alimentos se aíslan en una bolsa ziploc por 7 días hasta apreciar de forma visual y sensorial los cambios de color y olor debido a posible presencia de microorganismos. A partir de esto en el laboratorio se realiza la siembra de este queso en medio de cultivo Palcam, para lograr el crecimiento de *Listeria monocytogenes*. Una vez confirmada la presencia de esta bacteria se procede a almacenar el cultivo para luego utilizarlo en la contaminación de las muestras de queso empleadas para la evaluación.

10.6. Medios de cultivo

a. Palcam SR0150E

Esta es una prueba selectiva, en la cual se determina la presencia de *Listeria monocytogenes*, para la preparación del medio de cultivo se realiza el siguiente procedimiento:

- *Caldo de enriquecimiento nutritivo*

Inicialmente se prepara un caldo de enriquecimiento nutritivo utilizando 5 g de extracto de levadura, 10 g de peptona y 10 g de cloruro de sodio para un litro de agua destilada. Este caldo se lleva lentamente a ebullición mientras se agita constantemente para luego esterilizarlo en autoclave a 121°C por 15 minutos. Posteriormente se toman 10 g de queso y se adicionan en 90 ml del caldo, el cual se coloca en el incu-shaker por 24 horas a velocidad constante de 140 rpm y una temperatura de 30°C, con el fin de que la bacteria en caso de estar presente pueda alimentarse y mejorar su presencia una vez se aplique en el cultivo Palcam.

- Medio de cultivo Palcam

Para preparar el medio de cultivo Palcam se realizó el siguiente procedimiento:

1. Suspender 34,5 g por 500 ml de agua destilada.

2. Llevar a ebullición suavemente para que se disuelva por completo.
3. Esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 minutos.
4. Enfriar a 50°C y agregar asépticamente el Suplemento selectivo PALCAM (SR0150).
5. Mezclar bien y verter en placas de Petri esterilizadas.

Una vez el caldo de enriquecimiento nutritivo esté listo, se realizan diluciones de 10^4 hasta 10^7 en los tubos de ensayo con el fin hacer conteo de esta bacteria en el medio Palcam, donde por medio de una micropipeta se toma 1 ml de las diluciones y se agregan al medio de cultivo; posteriormente con un asa de vidrio esterilizada se homogeniza el mililitro aplicado, luego se tapa la caja de Petri y se lleva a la incubadora por 24 - 48 horas a una temperatura de 30°C. Una vez terminado el tiempo de incubación la *Listeria monocytogenes* en caso de estar presente forma colonias de color verde oliva con un centro negro hueco y rodeado de zonas negras. Cuando las colonias alcanzan la confluencia, el medio se vuelve marrón-negro.

b. MacConkey

Este es un medio de cultivo para aislar selectivamente coliformes, para preparar el medio de cultivo MacConkey, se realiza el siguiente procedimiento:

1. Suspender 50 g del polvo en 1 litro de agua purificada.
2. Reposar 5 minutos, para luego calentar con agitación frecuente y llevar a ebullición 1 a 2 minutos hasta disolver completamente.
3. Esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 minutos.
4. Enfriar a 50°C y verter en placas de Petri esterilizadas.

Para la siembra, con una micropipeta se toma 1 ml de muestra y se agrega en el medio de cultivo MacConkey, donde por medio de un asa de vidrio esterilizada se homogeniza el mililitro aplicado, luego se tapa la caja de Petri y se lleva a la incubadora por 24 - 48 horas a una temperatura de 30°C.

Para la interpretación de resultados se puede observar los microorganismos fermentadores de lactosa como colonias rosadas rojizas y los microorganismos no

fermentadores de lactosa como colonias del color del medio o incoloras. En la tabla 6.4 se tiene la clasificación de los microorganismos presentes.

Tabla 10.1. Clasificación de los microorganismos visualizados en el medio de cultivo MacConkey

Microorganismos	Color	Crecimiento	Precipitación biliar
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	Rosado - rojizo	Satisfactorio	+
<i>Escherichia coli</i> ATCC 8739	Rosado - rojizo	Satisfactorio	+
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603	Rosado - rojizo	Satisfactorio	+
<i>S. typhimurium</i> ATCC 14028	Incoloro	Satisfactorio	-
<i>Shigella flexneri</i> ATCC 12022	Incoloro	Satisfactorio	-
<i>Proteus mirabilis</i> ATCC 43071	Incoloro	Satisfactorio	-
<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 29212	-----	Inhibido	-----

c. PCA

El PCA se utiliza para cuantificar el número total de microorganismos aerobios de una muestra, para preparar el medio de cultivo se tiene el siguiente procedimiento:

1. Medir 23.5 gramos de polvo Plate Count Agar y suspenderlo en 1000 ml de agua destilada. El agua debe estar a temperatura ambiente.
2. Calentar la suspensión hasta que hierva mientras se agita continuamente para asegurar la completa disolución del medio.
3. Esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 minutos.
4. Enfriar hasta 50°C y verter en placas de Petri esterilizadas.

Para la siembra, con una micropipeta se toma 1 ml de muestra y se agrega en el medio de cultivo EMB, donde por medio de un asa de vidrio esterilizada se homogeniza el mililitro aplicado, luego se tapa la caja de Petri y se lleva a la incubadora por 18 - 24 horas a una temperatura de 30°C. Una vez terminado el tiempo de incubación se puede observar las colonias de color blanco para contar.

d. EMB

Este medio de cultivo selectivo permite cuantificar el número de colonias coliformes fecales, para preparar el medio de cultivo se realiza el siguiente procedimiento

6. Medir 26 gramos de EMB y suspenderlo en 1000 ml de agua destilada. El agua debe estar a temperatura ambiente.
7. Calentar la suspensión hasta que hierva mientras se agita continuamente para asegurar la completa disolución del medio.
8. Esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 minutos.
9. Enfriar hasta 50°C y verter en placas de Petri esterilizadas.

Para la siembra, con una micropipeta se toma 1 ml de muestra y se agrega en el medio de cultivo PCA, donde por medio de un asa de vidrio esterilizada se homogeniza el mililitro aplicado, luego se tapa la caja de Petri y se lleva a la incubadora por 24-48 horas a una temperatura de 30°C. Una vez terminado el tiempo de incubación se puede observar las colonias E. coli para contar de un color negro azulado o amarronado.

e. PDA

Este medio de cultivo selectivo permite presenciar los mohos y levaduras, para preparar el medio de cultivo se realiza el siguiente procedimiento

10. Medir 39 gramos de PDA y suspenderlo en 1000 ml de agua destilada. El agua debe estar a temperatura ambiente.
11. Calentar la suspensión hasta que hierva mientras se agita continuamente para asegurar la completa disolución del medio.
12. Esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 minutos.
13. Enfriar hasta 50°C y verter en placas de Petri esterilizadas.

Para la siembra, con una micropipeta se toma 1 ml de muestra y se agrega en el medio de cultivo PDA, donde por medio de un asa de vidrio esterilizada se homogeniza el mililitro aplicado, luego se tapa la caja de Petri y se lleva a la incubadora por 4-5 días a una temperatura de 25°C. Una vez terminado el tiempo de incubación se puede observar las colonias para contar.