



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno en el blanqueamiento de la carnaza para la producción de gelatina pura elaborada en la empresa PRODEGEL S.A.

Trabajo de Titulación, modalidad experiencias prácticas de investigación y/o intervención, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Autor: José Andrés Proaño López

Tutor: Ing. Liliana Alexandra Cerda Mejía. PhD

Ambato – Ecuador

Enero - 2019

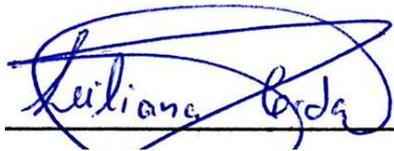
APROBACIÓN DEL TUTOR

PhD. Liliana Alexandra Cerda Mejía

CERTIFICA:

Que el presente Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Experiencias prácticas de investigación y/o intervención, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 5 de noviembre de 2018



Liliana Alexandra Cerda Mejía, PhD

C.I. 180414808

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, José Andrés Proaño López, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas.



José Andrés Proaño López

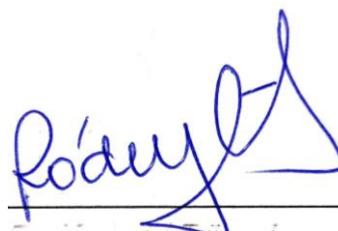
C.I. 1804625497

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación modalidad Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente del Tribunal



Dr. Dayana Cristina Morales Acosta
C.I. 180413557-0



Ing. Mg. José Isaac Molina Sánchez
C.I. 180375230-0

Ambato, 12 de Diciembre de 2018

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto de Investigación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



José Andrés Proaño López

C.I. 180462549-7

AUTOR

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado salud y la oportunidad de estudiar, a la virgen por ser la luz de mi corazón, darme la sabiduría y protección para cumplir todos mis sueños.

A mi madre que con su esfuerzo y su amor me ha dado todo lo que esperaba en la vida; la idea de libertad, de elegir lo que quiero y esforzarme por conseguirlo. A mi abuelita por su apoyo incondicional y a mi querida hermana por estar en los buenos y malos momentos.

Dedicado de igual forma a mi esposa, mi compañera de vida, mi chica revolucionaria; ella que ha sabido apoyarme en cada uno de mis proyectos y decisiones, la cual junto con mi hijo Santy es la razón de levantarme cada mañana para admirar sus sonrisas.

José Andrés Proaño López

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato, en especial a mi querida Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos que, a través de autoridades, personal docente, administrativo y de servicio, mantienen cada día su misión de formar profesionales de calidad.

De manera especial a mi tutora de tesis, la Ingeniera Liliana Cerda que ha llegado a ser una persona muy importante en mi vida universitaria, la cual me ha apoyado incondicionalmente, dándose el tiempo de enseñar y de ayudarme en todo lo que he necesitado.

A la Ingeniera María José Camino jefa de control de calidad de la empresa PRODEGEL S.A. por darme la oportunidad de desarrollar la investigación en su área, a la administración y a mis compañeros de trabajo por su acompañamiento y soporte durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

José Andrés Proaño López

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.1 Tratamiento de la materia prima	2
1.1.2 Principio del blanqueado	3
1.1.3 Agente blanqueador: Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)	3
1.1.4 Descomposición del peróxido de hidrógeno	3
1.1.5 Efecto del pH de la solución en el blanqueamiento con peróxido de hidrógeno	4
1.1.6 Medición de color a través del método CIELAB	5
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2 Objetivos específicos	6
CAPITULO II.-METODOLOGÍA	7
2.1 MATERIALES	7
2.1.1 Materia Prima	7

2.1.2 Lavador acidulador	7
2.1.3 Materiales de laboratorio	7
2.1.4 Equipos de laboratorio	7
2.1.5 Reactivos de laboratorio	8
2.1.6 Maquinaria	8
2.2 MÉTODOS	8
2.2.1 Diseño Experimental	8
2.2.2 Blanqueado de la carnaza	9
2.2.3 Determinación de peróxido residual	10
2.2.4 Análisis de color de la Carnaza	10
CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
3.1 Análisis y discusión de los resultados	13
3.1.1 Blanqueamiento del descarne (Cfe)	14
3.1.2 Blanqueamiento del pelambre (CuAp)	18
3.1.3 Descomposición del Peróxido de Hidrógeno	21
3.2 Verificación de la hipótesis	23
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	24
4.1 CONCLUSIONES	24
4.2 RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXOS	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Descomposición del H ₂ O ₂ a una concentración del 3% a 20 °C en función del pH de la solución.....	5
Tabla 2.- Tratamientos para la determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno (50%) por RSM.	9
Tabla 3.- Niveles de tratamiento y valores codificados de las variables independientes utilizadas para la determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno (50%).....	13
Tabla 4.- Tratamientos para la determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno (50%).....	13
Tabla 5.- Valores de L*, a*y b* del material descarte antes y después del blanqueado con peróxido de hidrógeno (50%) en el prototipo del lavador-acidulador.	15
Tabla 6.- Propiedades ópticas del material descarte antes y después del blanqueado con peróxido de hidrógeno (50%) en el prototipo del lavador-acidulador.	16
Tabla 7.- Análisis multifactorial para la determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno (50%) en el blanqueado del material descarte, que incluyen la respuesta observada.....	16
Tabla 8.- Análisis de varianza (ANOVA) del modelo polinomial de segundo orden para la optimización del blanqueamiento de la carnaza (descarte).	17
Tabla 9.- Valores de L*, a*y b* del material pelambre antes y después del blanqueado con peróxido de hidrógeno (50%) en el prototipo del lavador-acidulador.	18
Tabla 10.- Propiedades ópticas del material pelambre antes y después del blanqueado con peróxido de hidrógeno (50%) en el prototipo del lavador-acidulador.	19
Tabla 11.- Análisis multifactorial para la determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno (50%) en el blanqueado de la carnaza (pelambre) que incluyen la respuesta observada.....	20
Tabla 12.- Análisis de varianza (ANOVA) del modelo polinomial de segundo orden para la optimización del blanqueamiento de la carnaza (pelambre).	20
Tabla 13.- Porcentaje de descomposición del peróxido de hidrógeno (50%) para cada tratamiento utilizado.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Coordenadas de color CIELAB.....	5
Figura 2.- Ubicación de las coordenadas a* y b* CIElab	14
Figura 3.- Irregularidades del material “descarne”	15
Figura 4.- Representación gráfica de la RSM que muestra la relación entre pH de la solución y tiempo de paleteo sobre la luminosidad de la carnaza “descarne”	18
Figura 5.- Representación gráfica de la RSM que muestra la relación entre pH de la solución y tiempo de paleteo sobre la luminosidad de la carnaza “pelambre”	21

RESUMEN EJECUTIVO

En la industria de la gelatina pura, el proceso de blanqueado de la carnaza es vital para la calidad del producto terminado. El peróxido de hidrógeno es utilizado como agente de blanqueo de pieles de animales; este se ioniza en medio alcalino formando el ion perhidroxilo el cual es el encargado de destruir los grupos cromóforos (melanina) de la piel, produciendo el blanqueado hasta su descomposición en oxígeno gaseoso y agua.

El objetivo de la presente investigación fue obtener las condiciones óptimas de acción del peróxido de hidrógeno en el blanqueado de la carnaza (pelambre y descarne) mediante la metodología de superficie de respuesta (RSM), generada en los lavadores-aciduladores implementados en la planta productora de gelatina pura PRODEGEL S.A.

Se emplearon 11 tratamientos definidos por el diseño compuesto central, siendo el pH de la solución y el tiempo de paleteo en los lavadores-aciduladores los factores de análisis; la variable respuesta fue la luminosidad (L^*) de la carnaza medida con el colorímetro Lovibond modelo RM-200 y comparada con la L^* del material blanqueado con el proceso anterior (piscinas de encalado).

La ecuación resultante determinada por la RSM estableció que las condiciones óptimas para el blanqueado del material descarne fue de pH de 7 con 2,4 horas de paleteo, obteniéndose un valor de L^* igual a 91,73, mientras que el proceso en piscinas requirió de un pH de 12-12,4 por cuatro días, dando una luminosidad de 70,41. Para el material pelambre, las condiciones óptimas fueron pH de 7,5 con 1 hora de paleteo, obteniéndose un valor de L^* igual a 85,16, en tanto que el pelambre tratado en piscinas de L^* igual a 79,16 necesitó de un blanqueo de 6 días a pH de 12-12,6; obteniendo así una optimización en el tiempo de blanqueado en los dos tipos de materiales.

Palabras claves: Gelatina pura, blanqueamiento de carnaza, peróxido de hidrógeno, propiedades ópticas de alimentos, PRODEGEL.

ABSTRACT

In the pure gelatin industry, the bleaching process of the carnaza is vital for the quality of the finished product. Hydrogen peroxide is used as a bleaching agent for animal skins. This is ionized in the alkaline medium forming the perhydroxyl ion which is responsible for destroying the chromophoric (melanin) groups of the skin, producing the bleaching until its decomposition in gaseous oxygen and water.

The objective of the present study was to obtain the optimal conditions of action of hydrogen peroxide in the whitewash of the carnaza (pelambre and descarne) by means of the response surface methodology (RSM), given in the washers-acidulators implemented in the production plant of pure gelatine PRODEGEL S.A.

We used 11 treatments defined by the central composite design, taken as factors of analysis the pH of the solution and the time of the stir in the washer-acidulators; the response variable was the brightness (L^*) of the carnaza measured with the Lovibond colorimeter model RM-200 and compared with the L^* of the material bleached with the previous process (liming pools).

The resulting equation determined by the RSM established that the optimum conditions for the bleaching of descarne material were pH 7 with 2.4 hours of stir obtained a value of L^* equal to 91.73 compared to the process in pools that used a pH of 12-12.4 for four days, giving a luminosity of 70.41. On the other hand, for the pelambre material, the optimum conditions were pH 7.5 with 1 hour of stir, obtaining a value of L^* equal to 85.16; comparing with the hair treated in pools of L^* equal to 79.16 which was bleached in 6 days at a pH of 12-12.6; obtaining thus an optimization in the time of bleached of the carnaza.

Keywords: Pure gelatin, bleaching of carnaza, hydrogen peroxide, optical properties of food, PRODEGEL.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

La gelatina tiene un rol muy importante en la alimentación del ser humano, por sus múltiples beneficios a nivel de salud, ya que contiene una proporción elevada de hidroxiprolina, hidroxilisina y arginina que junto con el aminoácido sulfurado denominado L-Cistina, constituyen los componentes básicos para la síntesis del colágeno y los proteoglicóles del cartílago (**González, 2009**). La gelatina es un producto con una viscosidad alta, obtenida por la hidrólisis parcial del colágeno contenida en la piel, el tejido conjuntivo y los huesos de los animales (**Navarro, 2012; Figueres & Basés, 2015**). **Serna-Cock, et al., (2007)**, mencionan que la gelatina es una mezcla de proteínas de alto peso molecular, con propiedades de gelificación, con diferentes puntos isoeléctricos y características de solubilidad en agua.

La calidad de la gelatina pura está influenciada por el tipo de carnaza animal. En Europa, el 80% de la gelatina producida se hace a partir de piel de cerdo, el 15% de piel de res y el resto de huesos (**GME, 2013**). Actualmente se han realizado investigaciones sobre la extracción de colágeno a partir de animales marinos, siendo este un proceso viable y económico, ya que se obtiene de residuos de piel y tejido conectivo (**Gómez Guillén & Montero García, 2001**). Al elaborar gelatina a partir de animales marinos, se expandiría su comercialización, debido a que religiones como el judaísmo y el islam no permiten el consumo de gelatina, creada a partir de piel de cerdo (**Gelco S.A.S, 2016**).

PRODEGEL es una empresa destinada a la fabricación y comercialización de gelatina pura de alta calidad de origen animal, para satisfacer el mercado mundial alimenticio e industrial. La materia prima utilizada para la producción de gelatina llamada también carnaza fresca, se obtiene del pretratamiento de la piel del animal, en el que se descarta gran parte de grasa y pelo.

En este proceso se obtiene colágeno con un alto contenido de humedad (**Gutiérrez, 2013**). Adicionalmente se utiliza carnaza seca, cuyo manejo es más difícil, ya que

consiste de partes de cuero apelmbrado, que son secados con aire caliente, obteniéndose una materia dura y quebradiza (**Serna-Cock, Velásquez, & Ayala, 2010**).

La materia prima es tratada en la zona de encalado con hidróxido de sodio al 50 % antes del proceso de extracción de colágeno, con el fin de separar las partes que no son utilizadas en la producción de gelatina (**Gelita, 2018**). Posteriormente, se blanquea la carnaza para mejorar la calidad del producto final y por último, esta pasa a la zona de acidulado, el cual ayuda al rendimiento en el proceso de extracción del licor de gelatina.

La carnaza en la zona de encalado permanece por varias semanas, modificando la estructura del colágeno para que sea soluble en agua tibia y puedan removerse cantidades de material no colaginoso de la piel (**Quintero & Zapata, 2017**). En PRODEGEL S.A. este proceso se trabajaba hace muchos años atrás, sin embargo en el año 2018 se empezó la construcción de lavadores aciduladores, con el objetivo de eliminar la zona de acidulado, haciendo que la carnaza una vez tratada con NaOH en las piscinas de encalado, pase al proceso de blanqueado con peróxido de hidrógeno al 50% con paleteo de 4 horas según instructivo y acidulado con ácido sulfúrico por 6 horas hasta la obtención de un pH de 2,8 a 3,5; ya que **Ward & Courts, (1997)** mencionan que “muchas de las proteínas y macro-proteínas no colaginosas de los tejidos tienen puntos isoeléctricos alrededor de este pH y por lo tanto son menos solubles y más fáciles de coagular bajo las condiciones de extracción.”

La calidad y el rendimiento de la gelatina pura viene dada principalmente por sus propiedades físico-químicas como fuerza de gelificación (bloom), viscosidad, solubilidad, transparencia, color, olor y sabor; dichas propiedades dependen del pretratamiento de la materia prima, enlaces de las moléculas de colágeno rotas, pH y temperatura de extracción (**Olsen et al., 2003; & Gómez-Guillén et al., 2011**)

1.1.1 Tratamiento de la materia prima

Los procesos productivos de la empresa PRODEGEL S.A. se dividen en cuatro zonas que son encalado, acidulado, húmedo y seco, de las cuales las dos primeras zonas es donde la materia prima es tratada antes de su extracción. La primera etapa, el encalado se encarga de la recepción y corte de la carnaza fresca en trozos pequeños, para que pase a las piscinas con agua y sosa hasta cumplir un tiempo aproximado de 31 días dependiendo del material; el propósito de esta etapa es la destrucción de enlaces

químicos, material nitrogenado no proteico y grasas presentes en el colágeno (**Bayas, 2015**).

La segunda etapa es el acidulado previo a este proceso se realiza un lavado con agua limpia con el fin de eliminar la sosa, posteriormente se trata con ácido sulfúrico en dos cargas de ácido a diferentes concentraciones los mismos que influyen directamente en el rendimiento de la extracción del colágeno (**Ward & Courts, 1997**).

El proceso anteriormente mencionado se venía utilizando hasta el año 2017, en el año 2018 se empezó a aplicar un proceso continuo dentro de los lavadores aciduladores; la cual incluye un lavado de la carnaza después de ser tratada con sosa, el blanqueado y el tratamiento con ácido.

1.1.2 Principio del blanqueado

Tímar-Balázszy & Eastop (1998), menciona que el principio del blanqueamiento se produce por el cambio oxidativo de los grupos carbonilos (C=O), a los grupos carboxilos (-COOH) liberando oxígeno o a los grupos hidroxilos (-OH) que por reducción durante el proceso absorbe oxígeno, lo cual altera el sistema cromofórico que provoca un aclarado de color, además los fragmentos que no son solubles en agua serán oxidados o reducidos por el sistema de blanqueo y se volverán más claros y solubles en el sistema.

1.1.3 Agente blanqueador: Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)

Namgoung, (2011), menciona que en la industria de la pulpa de papel, blanqueo de telas y pieles, el peróxido de hidrógeno es un oxidante capaz de blanquear materiales sólidos gracias al agente de blanqueo “oxígeno naciente”.

En industrias que trabajan con piel o afines, el H₂O₂ es utilizado para el blanqueamiento de carnaza, ya sea para la producción de juguetes para perro o para la industria de la gelatina, ofreciendo más calidad y curtimiento uniforme (**Solvay, 2012**).

Ward & Courts, (1997) sugieren que el peróxido de hidrógeno en solución se puede agregar a la gelatina por medio de un filtro y una fuente de presión, con el fin de asegurar un blanqueamiento efectivo de la gelatina por dispersión.

1.1.4 Descomposición del peróxido de hidrógeno

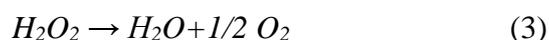
Cuando el H₂O₂ se usa como desinfectante o agente blanqueador, remanentes de esta solución se pueden encontrar en el agua y en el producto final bajando la calidad del producto. **Feum, (2016)**, menciona que el contenido de peróxido residual debe ser menor a 10 ppm, esto es medido por el método de tirillas de análisis de gelatina.

En las industrias que usan agentes blanqueadores investigan la manera de reducir el contenido de peróxido residual en los productos finales. **Gacén Guillén, (2009)** reportó que la descomposición del peróxido residual es catalizada por la presencia de impurezas y pH alcalinos, por lo que es importante que este discurra de una forma controlada.

Otras investigaciones de diferentes autores como **Trabal, (2002); García et al., (2004) y Reichert, Cambell, & Mills, (1944)** mencionan que la velocidad de descomposición del peróxido además de ser acelerada por el pH de la solución (alcalina) e impurezas como metales, también es catalizada por temperaturas mayores a 50°C.

1.1.5 Efecto del pH de la solución en el blanqueamiento con peróxido de hidrógeno

García et al., (2004) mostraron las reacciones de descomposición del peróxido de hidrógeno en medio alcalino. La reacción (1) muestra cómo se ioniza el H₂O₂, la reacción (2) indica el comportamiento del peróxido con un medio alcalino, formando el ion perhidróxilo (OOH⁻), encargado de producir el blanqueo actuando sobre los grupos cromóforos del material y en condiciones de alta alcalinidad el peróxido empieza a descomponerse según la reacción (3).



Así para obtener un blanqueado eficiente del material a tratar, se debe limitar la reacción 2 sin que se exceda a la reacción 3, ya que en ella empieza la descomposición del peróxido de hidrógeno.

Martín, (1957) observó que la solución con pH menor a 10,5 el ion perhidróxilo se presentaba con un valor menor del 10% y que por encima a este pH se favorecía la reacción 2, por lo que se fijó que a pH entre 10 y 11,5 se asegura la efectividad y estabilidad del H₂O₂, con elevada presencia del ión perhidroxilo, cuando se emplee como agente de blanqueo.

Dentro del campo de estudio aplicado en carnaza no se han encontrado estudios de blanqueado utilizando pH óptimos de acción, sin embargo, en la industria textil si se

encuentran investigaciones que mencionan la búsqueda del pH óptimo como forma de acelerar los procesos de blanqueado de papel y algodón; estas investigaciones pueden ser aplicables al campo de las pieles (carnaza), ya que maneja el mismo principio de blanqueado. Por tal motivo la información planteada por **Gacén Guillén, (2009)** menciona que “el factor que más influye en la liberación de oxígeno es el pH de la solución” por el cual se tomó como la principal variable a investigar.

En la Tabla 1 se encuentra detallado la investigación del blanqueado de fibras de algodón de Gacén Guillén, la cual manifiesta que por encima del pH 5 la velocidad de descomposición y por ende la acción del H₂O₂ se hace apreciable, lo cual ayuda a que las fibras se decoloren a mayor velocidad y en menor tiempo.

Tabla 1.- Descomposición del H₂O₂ a una concentración del 3% a 20 °C en función del pH de la solución.

<i>pH de la solución</i>	5	6	7	8	9	10	11
<i>Tiempo (días)</i>	730	135	118	110	1,7	1	0,38

Fuente:(Gacén Guillén, 2009)

1.1.6 Medición de color a través del método CIELAB

Las mediciones de materiales sólidos y semisólidos se realizan por medio de colorímetros digitales (**Goñi Sandro & Salvadori, 2015**). Por tal motivo en el año de 1976 la CIE, (**2014**) implementa la CIE L*a*b*, conocida también como CIELAB, la coordenada L* describe luminosidad, y las coordenadas a* y b* describen tonos entre rojo-verde y amarillo-azul respectivamente (Figura 1). El beneficio del método es que describe perfectamente el color en cualquier espacio.

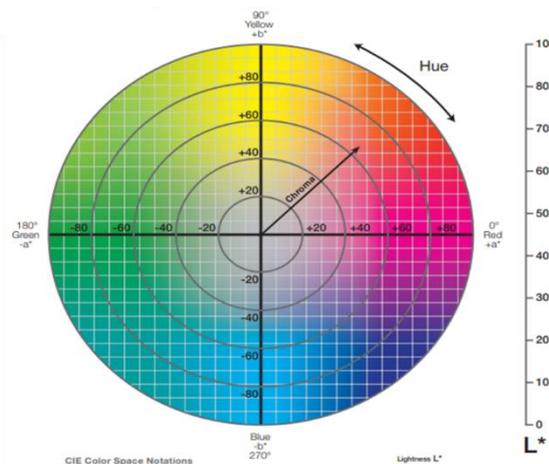


Figura 1.- Coordenadas de color CIELAB

El uso del colorímetro para investigaciones relacionadas con gelatina se ve reflejada en la investigación de **Segovia & Ramírez-Navas, (2017)** quienes mencionan el uso del método CIELAB en gelatina blanca de pata de res comparando con la producida industrialmente y la artesanalmente, en el cual se encontró diferencias significativas con respecto al color.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Determinar el pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno en el proceso de blanqueamiento de la carnaza.

1.2.2 Objetivos específicos

Analizar las propiedades ópticas (color) de la carnaza antes y después del blanqueado.

Evaluar la descomposición del peróxido de hidrógeno durante el proceso de blanqueado.

Estimar el tiempo necesario de ingreso de agua limpia al proceso de blanqueado en lavadores aciduladores para alcanzar el pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno.

CAPITULO II.-METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

2.1.1 Materia Prima

Para la ejecución del trabajo de investigación la carnaza se obtuvo de los tanques de encalado de la empresa PRODEGEL S.A. ubicada en el kilómetro 10^º vía a Baños, Ambato-Ecuador a través de un muestreo compuesto, el mismo que proporcionó 14 kilogramos de cada tipo de material (descarne y pelambre) para cada tratamiento de blanqueado.

2.1.2 Lavador acidulador

La maquinaria que se utilizó para la investigación es un prototipo a escala 1:100 de los lavadores-aciduladores implementados en el proceso de tratamiento de la carnaza (Ver Anexos 1 y 2); el equipo tuvo como objetivo el lavado de la carnaza después del proceso de encalado y el blanqueado con peróxido de hidrógeno.

2.1.3 Materiales de laboratorio

- Balones de aforo de 250 ml
- Pipeta de 1 y 10 ml
- Pera de succión
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Vasos de precipitación de 100 y 250 ml
- Probetas de 100 y 1000 ml
- Agitadores magnéticos
- Piseta

2.1.4 Equipos de laboratorio

- Colorímetro Lovibond RM-200
- Balanza Analítica Scaltec. max 220g
- Electroagitador Fisher Scientific Thermix Stirrer Model 220T
- Turbidímetro Scintific, inc. Micro 100 Turbidimeter

2.1.5 Reactivos de laboratorio

- Peróxido de hidrógeno (H_2O_2 al 50%)
- Permanganato de potasio 0,1 N ($KMnO_4$)
- Ácido sulfúrico H_2SO_4 (pureza de 95-97%)
- Agua destilada
- Ácido sulfúrico 1:5

2.1.6 Maquinaria

- Prototipo lavador-acidulador (1:100)

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Diseño Experimental

2.2.1.1 Determinación de las condiciones óptimas de acción del H_2O_2 en el blanqueado de la carnaza por RSM

Para determinar las condiciones óptimas de acción del peróxido de hidrógeno en el blanqueado de la carnaza (descarne y pelambre) se utilizó la metodología de superficie de respuesta (RSM) (**Box G E P & Wilson K B., 1981**). La RSM es una habilidad experimental y de análisis que permite conocer las condiciones óptimas de un proceso, (**Humberto Gutierrez Pulido, 2012**) es decir, los valores óptimos de una o varias variables que se emplean para el funcionamiento de un proceso. Para estudiar el efecto de las variables pH de la solución y tiempo de paleteo en los lavadores se siguió el diseño compuesto central (DCC). Los dos factores se codificaron como X (pH) y Y (tiempo), cada uno con cinco niveles $-\alpha$, -1, 0, +1 y $+\alpha$. Como variable respuesta se tomó el valor de la luminosidad (L^*) de la carnaza, medida con el colorímetro Lovibond RM-200.

Los valores -1, 0, +1 se codificó con los valores de 8; 8,5 y 9 respectivamente para la variable pH debido a la especificación que en los lavadores aciduladores después del lavado de la carnaza se obtenía un pH de la solución de 9 y se proporcionó los valores de 2,5; 3 y 3,5 para la variable tiempo (horas) ya que el tiempo máximo de blanqueado según instructivo en los lavadores-aciduladores es de 4 horas.

Los niveles $+\alpha$ y $-\alpha$ se determinó por medio de la Ec.4 y Ec.5 respectivamente (**Box, Hunter, & Hunter, 1978**). La Tabla 2 detalla el diseño experimental que se siguió en la experimentación.

$$\frac{+2}{(+1)-(-1)} = \frac{1,414}{(+\alpha)-(0)} \quad (4) \quad -\alpha = (-1) - (+\alpha) + (+1) \quad (5)$$

Mediante el software *Statistica* se generó los gráficos y la tabla de análisis de varianza (ANOVA) y la significación se consideró estadísticamente a una probabilidad de P igual a 0,05.

Tabla 2.- Tratamientos para la determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno (50%) por RSM.

<i>Tratamientos</i>	<i>Variables independientes</i>	
	<i>pH</i>	<i>Tiempo</i>
1	8	2,5
2	8	3,5
3	9	2,5
4	9	3,5
5	8,5	3
6	8,5	3
7	8,5	3
8	8,5	2,3
9	8,5	3,7
10	7,8	3
11	9,2	3

Elaborado por: Proaño (2018)

2.2.2 Blanqueado de la carnaza

La muestra tomada (14 kg) se lavó en el prototipo de los lavadores-aciduladores, con flujo continuo de agua según instructivo y se fue variando el tiempo de lavado hasta obtener el pH de cada tratamiento. Al término se midió la turbidez del agua (<50) y se añadió según especificaciones de la empresa 176,47 ml de peróxido de hidrógeno al 50% al material descarte (2500 ppm) y 226,89 ml al pelambre (3200 ppm) para cada tiempo de tratamiento (3,7 horas máximo).

Durante el blanqueado, cada 30 minutos por medio de un muestreo compuesto se tomó 30 ml de la solución para medir pH y peróxido de hidrógeno residual (ppm), para establecer el % de descomposición de este último.

2.2.3 Determinación de peróxido residual

Se determinó los valores de H₂O₂ residual de la solución de blanqueado de la carnaza de acuerdo a **Yumpu, (2014)**, la cual consistió en pesar 10 gr de la muestra y se aforó con 250 ml de agua destilada; posteriormente en un matraz erlenmeyer se recogió 10 ml del balón de aforo, se añadió 10 ml de ácido sulfúrico 1:5 y por último se tituló con permanganato de potasio 0,1N hasta obtener una tonalidad rosa permanente. Ec.6

$$\%H_2O_2 (ppm) = \frac{V_1 * N * F * Eq * V_0 * 100}{1000 * V * a} \quad (6)$$

Siendo:

V₁= ml consumidos en la valoración

N= 0.1

F= Factor de dilución valorante (0,957)

V₀= Volumen al que se diluyó la muestra (250 ml)

V= Volumen utilizado para la titulación (10 ml)

a= Gramos de muestra pesados para el análisis.

Eq= Peso equivalente del H₂O₂ (17)

2.2.4 Análisis de color de la Carnaza

2.2.4.1 Determinación de las propiedades ópticas

Terminado el proceso de blanqueado se tomó una muestra representativa por medio de un muestreo compuesto. Las propiedades de color se midieron por triplicado con un colorímetro Lovibond modelo RM-200 utilizando un iluminante D65 y observador 10°.

Mediante las coordenadas CIE L*a*b* se obtuvo los valores de tono (h*_{ab}), croma (C*_{ab}) y diferencia global de color (ΔE*). La variable respuesta a evaluar para la determinación del pH óptimo fue la luminosidad que tiene la carnaza después de ser blanqueado con peróxido de hidrógeno. Las ecuaciones a utilizar se presentan a continuación:

$$\begin{array}{cc} \text{Tono} & \text{Croma} \\ h^*_{ab} = \arctg \frac{b^*}{a^*} & C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \end{array} \quad (7) \quad (8)$$

Diferencia Global de Color

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (9)$$

CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

La interacción y el efecto del pH de la solución y tiempo de paleteo sobre el blanqueamiento de la carnaza se determinaron por medio de la metodología de superficie de respuesta (Tabla 3).

Tabla 3.- Niveles de tratamiento y valores codificados de las variables independientes utilizadas para la determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno (50%).

<i>Valores para las variables codificadas</i>					
<i>Variables</i>	<i>-α</i>	<i>-1</i>	<i>0</i>	<i>+1</i>	<i>+ α</i>
<i>pH</i>	7,8	8	8,5	9	9,2
<i>Tiempo (h)</i>	2,3	2,5	3	3,5	3,7

Elaborado por: Proaño (2018)

Para la fase experimental se llevaron a cabo 11 tratamientos de ensayo tomando en cuenta el diseño compuesto central (DCC). En la Tabla 4. se presentan los valores de pH de la solución y el tiempo de paleteo necesario para el proceso de blanqueado para los diferentes tipos de carnaza (descarne y pelambre).

Tabla 4.- Tratamientos para la determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno (50%)

<i>Tratamientos</i>	<i>pH</i>	<i>Tiempo (h)</i>
1	8	2,5
2	8	3,5
3	9	2,5
4	9	3,5
5	8,5	3
6	8,5	3
7	8,5	3
8	8,5	2,3
9	8,5	3,7
10	7,8	3
11	9,2	3

Elaborado por: Proaño (2018)

3.1.1 Blanqueamiento del descarne (Cfe)

La Tabla 5 muestra los valores de L^* , a^* y b^* obtenidos con el colorímetro, los que fueron utilizados para calcular las propiedades ópticas de la carnaza (descarne) antes y después del proceso de blanqueado; obteniéndose valores de tono, croma y diferencia global de color diferentes a la muestra control (Tabla 6).

Los valores bajos de las coordenadas a^* y b^* dan a conocer que el color inicial del Cfe se aproxima al color gris; se posiciona en el segundo cuadrante y este tiende más al color verde por tener valores de a^* negativo (-1,03 a -3,50) y al amarillo por valores de b^* positivo (0,37 a 2,96) (Figura 2); el color final después del blanqueado con H_2O_2 presenta un cambio de color amarillo a color azul en los tratamientos 2, 3, 4, 10 y 11, por el cual en aquellos se observa diferencias significativas debido a las irregularidades (forma, color y grosor) del propio material (Figura 3).

Los datos de luminosidad son los más importantes para conocer el estado del blanqueado de la carnaza, ya que según la **X Rite, (2016)** los valores de $L^*= 0$ tiende al color negro y $L^*= 100$ al blanco; por lo que en la Tabla 5 se observa que todos los tratamientos presentan una mejora en el proceso de blanqueado del material descarne, siendo el tratamiento 2 (pH: 8 y Tiempo: 3,5 horas) el más eficiente (48,42 % de blanqueado) con respecto al proceso anterior usado en planta (10,96 % de blanqueado).

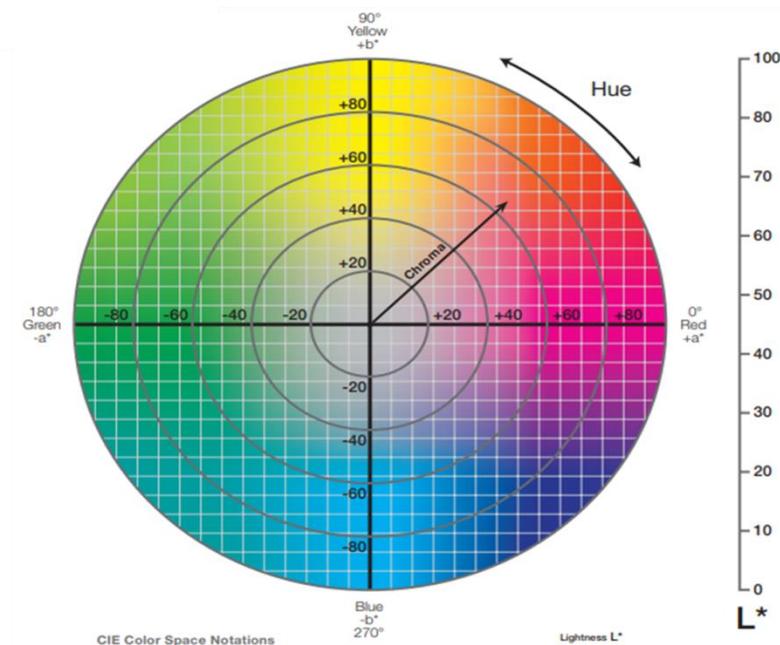


Figura 2.- Ubicación de las coordenadas a^* y b^* CIElab



Figura 3.- Irregularidades del material “descarne”

Tabla 5.- Valores de L*, a*y b* del material descarne antes y después del blanqueado con peróxido de hidrógeno (50%) en el prototipo del lavador-acidulador.

Tratamientos	pH	Tiempo (h)	L*		a*		b*	
			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Control	12,4	96	63,45	70,41	-3,42	-3,55	2,94	-1,86
1	8	2,5	64,26	84,41	-3,50	-3,81	2,96	0,99
2	8	3,5	61,19	90,82	-3,24	-4,86	0,82	-0,21
3	9	2,5	59,86	74,25	-3,18	-5,43	0,82	-3,16
4	9	3,5	58,13	77,10	-3,46	-5,57	0,37	-3,84
5	8,5	3	64,42	82,81	-3,50	-3,57	2,96	4,53
6	8,5	3	61,22	83,33	-3,24	-4,00	0,82	1,80
7	8,5	3	64,44	84,41	-3,50	-3,70	2,96	1,30
8	8,5	2,3	61,37	81,86	-3,24	-4,67	0,82	0,87
9	8,5	3,7	64,43	80,24	-3,50	-3,97	2,96	3,17
10	7,8	3	60,71	89,37	-3,42	-4,43	1,35	-1,57
11	9,2	3	60,41	84,13	-1,03	-5,70	8,11	-2,03

L*: Luminosidad; a*: Coordenada rojo-verde; b*Coordenada amarillo-azul

Elaborado por: Proaño (2018)

La Tabla 6 muestra los valores de las propiedades ópticas del Cfe antes y después del blanqueado, en donde la cromaticidad indica que hay mayor intensidad o grado de pureza de color en la muestra del tratamiento 4 después de ser blanqueada (7,52) con respecto al valor del control (4,30). Los valores de saturación de acuerdo a la **X Rite, (2008)** se mueven desde su máximo, el color puro, hasta su mínimo que correspondería a un color gris; de igual forma el tono indica que a medida que el valor es menor, el color percibido tiende al gris.

Con respecto al tono, el valor de pH es el factor que más influye en la intensidad del matiz (color), siendo el tratamiento 4 con el valor más alto de tonalidad lo cual da entender que el color final es más vivo que el resto de tratamientos y que la muestra control.

Tabla 6.- Propiedades ópticas del material descarte antes y después del blanqueado con peróxido de hidrógeno (50%) en el prototipo del lavador-acidulador.

<i>Tratamientos</i>	<i>pH</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>C*_{ab}</i>		<i>h*_{ab}</i>		<i>ΔE</i>	
			<i>Inicial</i>	<i>Final</i>	<i>Inicial</i>	<i>Final</i>	<i>Inicial</i>	<i>Final</i>
<i>Control</i>	12,4	96	6,32	4,30	159,27	204,23	39,64	29,92
<i>1</i>	8	2,5	6,29	5,36	149,48	162,19	36,41	16,53
<i>2</i>	8	3,5	3,86	4,98	155,51	183,08	39,03	10,70
<i>3</i>	9	2,5	3,91	6,60	162,07	208,92	40,36	26,66
<i>4</i>	9	3,5	4,17	7,52	170,98	214,24	42,09	24,23
<i>5</i>	8,5	3	6,29	5,90	149,48	128,60	36,94	18,52
<i>6</i>	8,5	3	3,86	5,23	155,51	160,33	39,26	20,20
<i>7</i>	8,5	3	6,29	5,37	149,48	161,57	36,98	16,53
<i>8</i>	8,5	2,3	3,86	4,87	155,51	167,70	39,13	19,38
<i>9</i>	8,5	3,7	6,29	5,27	149,48	161,24	36,83	20,56
<i>10</i>	7,8	3	4,17	5,00	159,27	195,07	39,51	11,62
<i>11</i>	9,2	3	9,41	6,23	113,91	196,93	40,9	16,84

C*_{ab}: Croma; h*_{ab}: Tono; ΔE: Diferencia global de color

Elaborado por: Proaño (2018)

En la Tabla 7 se presenta el análisis multifactorial usado en el programa estadístico “*Statistica*” para la optimización del proceso de blanqueado en el cual se incluye la variable respuesta (luminosidad), el cual determinó que el análisis de varianza (ANOVA) mostraran diferencias significativas ($p < 0,05$) en todos los tratamientos, siendo el pH el factor que más afecta al proceso. (Tabla 8)

Tabla 7.- Análisis multifactorial para la determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno (50%) en el blanqueado del material descarte, que incluyen la respuesta observada.

<i>Tratamientos</i>	<i>pH</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>Luminosidad (L*)</i>
			<i>Observada</i>
<i>1</i>	8	2,5	84,41 ± 4,08
<i>2</i>	8	3,5	90,82 ± 2,35
<i>3</i>	9	2,5	74,25 ± 5,46
<i>4</i>	9	3,5	77,10 ± 3,28
<i>5</i>	8,5	3	82,81 ± 4,35
<i>6</i>	8,5	3	83,33 ± 4,52
<i>7</i>	8,5	3	84,41 ± 4,08
<i>8</i>	8,5	2,3	81,86 ± 3,76
<i>9</i>	8,5	3,7	80,24 ± 5,73
<i>10</i>	7,8	3	89,37 ± 2,18
<i>11</i>	9,2	3	84,13 ± 1,54

Elaborado por: Proaño (2018)

Tabla 8.- Análisis de varianza (ANOVA) del modelo polinomial de segundo orden para la optimización del blanqueamiento de la carnaza (descarne).

<i>Factor</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F (modelo significativo)</i>	<i>Valor p</i>
<i>pH (L)</i>	105,2953	1	105,2953	787,5273	0,001267
<i>pH (Q)</i>	8,6513	1	8,6513	64,7048	0,015106
<i>Tiempo (L)</i>	3,5440	1	3,5440	26,5067	0,035717
<i>Tiempo (Q)</i>	18,9664	1	18,9664	141,8543	0,006976
<i>Error puro</i>	0,2674	2	0,2674		

Valores significativos (p<0,05)

Elaborado por: Proaño 2018, (STATISTICA software)

La ecuación resultante (Ec.10) del análisis estadístico fue la siguiente:

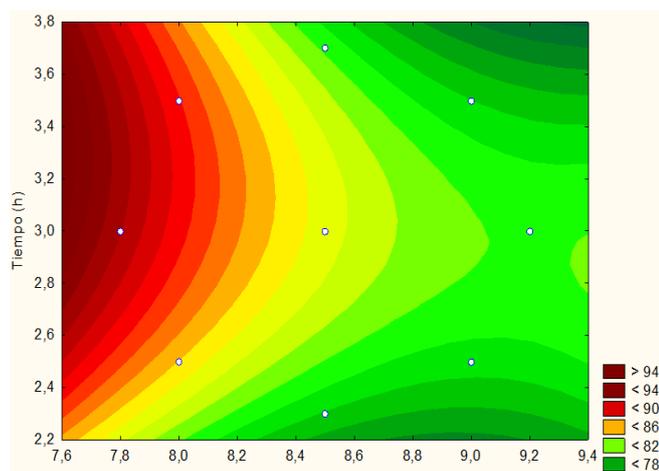
$$z = 346,3880 - 81,9258 * x + 5,0184 * x^2 + 76,1812 * y - 7,4305 * y^2 - 3,5599 * x * y + 0$$

Donde z es la luminosidad de la carnaza, x: pH e y: tiempo en horas.

Como resultado se observa que las condiciones óptimas para el blanqueado del Cfe, fueron determinadas en 2,4 horas y pH 7 dando una luminosidad de 91,73; estimando un tiempo de 22 min a un caudal de 27 l/s de llenado de agua limpia en el lavador acidulador en proceso para obtener el pH óptimo.

La Figura 4 muestra los resultados de forma tridimensional relacionando los factores propuestos y diferenciando el valor de luminosidad (L*) por colores.

Para obtener valores de L* superiores a 94 se debe usar tiempos mayores a 2,4 horas con pH menores a 7,8; mientras que al usar tiempos menores de 2,3 horas y pH mayores a 8,6 se obtiene un proceso de blanqueado deficiente con valores de L* por debajo de 78.



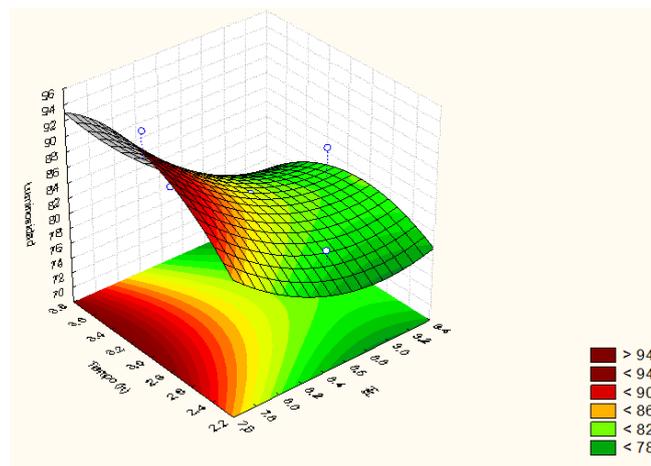


Figura 4.- Representación gráfica de la RSM que muestra la relación entre pH de la solución y tiempo de paleteo sobre la luminosidad de la carnaza “descarne”.

3.1.2 Blanqueamiento del pelambre (CuAp)

La Tabla 9 muestra que las coordenadas a^* y b^* se ubican en el segundo cuadrante dando a conocer que el color inicial tiende al color verde y amarillo por sus coordenadas y color gris de forma visual; el color final a diferencia del material descarne no presento diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que la carnaza al ser blanqueado con H_2O_2 se mantuvo en el segundo cuadrante (Figura 2); sin embargo, los valores de luminosidad comparado con la muestra control mostró que no todos los tratamientos mejoraron el proceso de blanqueado, a diferencia del tratamiento 1 y 9 los cuales dieron los valores más altos de L^* con respecto al blanqueado de la carnaza en piscinas.

Tabla 9.- Valores de L^* , a^* y b^* del material pelambre antes y después del blanqueado con peróxido de hidrógeno (50%) en el prototipo del lavador-acidulador.

Tratamientos	pH	Tiempo (h)	L^*		a^*		b^*	
			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Control	12,6	144	57,88	79,86	-1,91	-7,99	6,36	-3,42
1	8	2,5	58,29	81,22	-1,56	-5,27	6,83	5,23
2	8	3,5	57,28	77,20	-1,67	-6,30	6,79	3,51
3	9	2,5	58,63	72,01	-0,91	-4,20	6,96	5,24
4	9	3,5	59,12	77,57	-1,51	-4,55	6,96	6,33
5	8,5	3	56,35	78,83	-2,07	-3,23	6,05	7,53
6	8,5	3	59,34	77,95	-2,50	-5,60	4,27	2,87
7	8,5	3	60,62	78,60	-2,88	-5,60	5,31	0,87
8	8,5	2,3	58,76	69,95	-2,59	-5,10	5,54	2,87
9	8,5	3,7	59,15	82,22	-2,58	-5,97	4,22	1,73
10	7,8	3	54,95	66,31	-1,73	-2,10	7,94	8,07
11	9,2	3	54,18	66,01	-1,05	-4,47	9,10	4,80

L^* : Luminosidad; a^* : Coordenada rojo-verde; b^* : Coordenada amarillo-azul

Elaborado por: Proaño (2018)

La Tabla 10 muestra los valores de las propiedades ópticas del CuAp antes y después del blanqueado; con respecto a los valores de croma, el tratamiento 10 con pH de 7,8 se obtuvo un resultado de 9,47 siendo este el más alto; sin embargo, la muestra control muestra un valor lejano de 8,79 lo que corresponde que la diferencia entre saturación de color entre la muestra control y el tratamiento 10 varía significativamente.

Con respecto al tono, el valor de pH de 8,5 con 3 horas de paleteo es el tratamiento con mejores resultados (171,20); sin embargo, la muestra control presenta un valor de tono mucho mayor de 202,51. Esto se puede dar por la diferencia de grosor del propio material ya que no todas las carnazas son equivalentes (Le Farc, 2016)

Tabla 10.- Propiedades ópticas del material pelambre antes y después del blanqueado con peróxido de hidrógeno (50%) en el prototipo del lavador-acidulador.

<i>Tratamientos</i>	<i>pH</i>	<i>Tiempo</i> (<i>h</i>)	<i>C*_{ab}</i>		<i>h*_{ab}</i>		<i>ΔE</i>	
			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Control	12,6	144	5,43	8,79	122,31	202,51	43,69	22,01
<i>1</i>	8	2,5	7,32	8,75	107,61	141,51	42,39	20,88
<i>2</i>	8	3,5	7,29	7,30	107,98	153,85	43,37	24,14
<i>3</i>	9	2,5	7,09	6,96	98,93	130,34	42,01	28,91
<i>4</i>	9	3,5	7,17	8,71	102,94	129,40	41,54	24,21
<i>5</i>	8,5	3	6,82	8,63	112,52	117,57	44,22	28,50
<i>6</i>	8,5	3	5,13	6,40	121,90	153,37	41,03	23,70
<i>7</i>	8,5	3	6,08	5,80	120,40	171,20	39,87	29,06
<i>8</i>	8,5	2,3	6,32	8,73	119,96	159,93	41,77	31,14
<i>9</i>	8,5	3,7	5,10	6,30	124,81	164,10	41,20	18,98
<i>10</i>	7,8	3	8,48	9,47	109,29	124,73	46,00	34,65
<i>11</i>	9,2	3	9,26	7,73	95,64	144,70	46,82	34,82

C*_{ab}: Croma; h*_{ab}: Tono; ΔE: Diferencia global de color

Elaborado por: Proaño (2018)

En la Tabla 11 se presenta el análisis multifactorial que incluye la variable respuesta (luminosidad), el cual determinó que el análisis de varianza (ANOVA) mostraran diferencias significativas ($p < 0,05$) en todos los tratamientos con excepción del tiempo de forma cuadrática, debido a que se tomó un rango extenso del tiempo de experimentación (Tabla 12); sin embargo, este no afecta en la determinación de las condiciones óptimas ni a la ecuación resultante.

Tabla 11.- Análisis multifactorial para la determinación del pH óptimo de acción del peróxido de hidrógeno (50%) en el blanqueado de la carnaza (pelambre) que incluyen la respuesta observada.

<i>Tratamientos</i>	<i>Factores</i>		<i>Luminosidad (L*)</i>
	<i>pH</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Observada</i>
1	8	2,5	81,22 ± 3,64
2	8	3,5	77,20 ± 5,31
3	9	2,5	72,01 ± 2,56
4	9	3,5	77,57 ± 6,70
5	8,5	3	78,83 ± 6,21
6	8,5	3	77,95 ± 2,34
7	8,5	3	78,60 ± 5,63
8	8,5	2,3	69,95 ± 3,72
9	8,5	3,7	82,22 ± 5,56
10	7,8	3	66,31 ± 2,43
11	9,2	3	66,01 ± 1,93

Elaborado por: Proaño (2018)

Tabla 12.- Análisis de varianza (ANOVA) del modelo polinomial de segundo orden para la optimización del blanqueamiento de la carnaza (pelambre).

<i>Factor</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F (modelo significativo)</i>	<i>Valor p</i>
<i>pH (L)</i>	65,7746	1	65,7746	2670,147	0,000374
<i>pH (Q)</i>	163,9256	1	163,9256	6654,626	0,000150
<i>Tiempo (L)</i>	73,6270	1	73,6270	2988,918	0,000334
<i>Tiempo (Q)</i>	0,2358	1	0,2358	9,572	0,090510
<i>Error puro</i>	0,0493	2	0,0246		

Valores significativos (p<0,05)

Elaborado por: Proaño 2018, (STATISTICA software)

La ecuación resultante (Ec.11) del análisis estadístico fue la siguiente:

$$z = -910,9634 + 300,8307 * x - 21,8449 * x^2 - 182,3881 * y + 0,8285 * y^2 + 21,59 * x * y + 0$$

Donde z es la luminosidad de la carnaza, x: pH e y: tiempo en horas.

Las condiciones óptimas de acción del peróxido de hidrógeno en el blanqueado del pelambre se obtuvieron a pH de 7,5 y 1 hora de paleteo dando como resultado una luminosidad de 85,16; estimando un tiempo de 18 min a un caudal de 27 l/s de llenado de agua limpia en el lavador acidulador en el proceso para obtener el pH óptimo.

La Figura 5 muestra los resultados de forma tridimensional relacionando los factores propuestos y diferenciando el valor de luminosidad (L*). En ella da a conocer que para

obtener valores de L^* superiores a 80 se debe usar tiempos menores a 2 horas y pH de entre 7 a 8,5; mientras que al usar pH mayores a 9 el proceso de blanqueado se torna deficiente ($L^* < 60$) ya que la cantidad de peróxido en la solución se reduce a mayor velocidad con pH altos

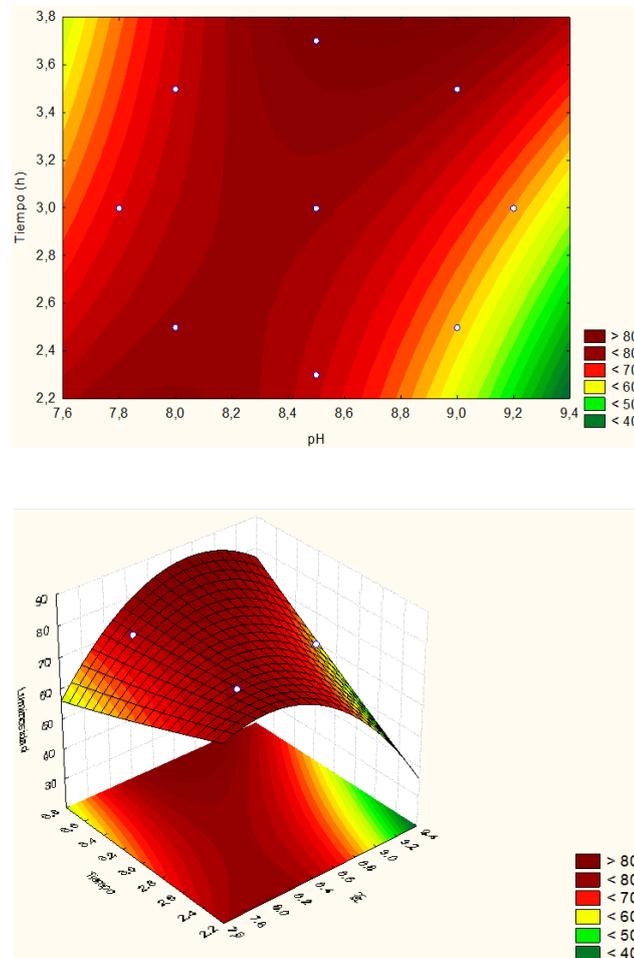


Figura 5.- Representación gráfica de la RSM que muestra la relación entre pH de la solución y tiempo de paleteo sobre la luminosidad de la carnaza “pelambre”.

3.1.3 Descomposición del peróxido de hidrógeno

En la Tabla 13 se observa la descomposición en porcentaje del H_2O_2 (50%), en la que se observa que el tratamiento 9 y 11 para descarnado y pelambre respectivamente, son los tratamientos con el que se tiene menor valor de peróxido residual en la solución de blanqueo debido a su alto valor de pH, concordando con autores como **Gacén Guillén, (2009) & Trabal, (2002)**. Al usar pH de la solución altos, ayuda a la planta de

tratamiento de agua de la propia empresa a que su proceso de purificación sea eficiente, ya que al tener valores bajos de H₂O₂ este no afecta a los microorganismos que ayudan a la limpieza del agua en su tratamiento (**Ramalho, 1990**).

Tabla 13.- Porcentaje de descomposición del peróxido de hidrógeno (50%) para cada tratamiento utilizado.

<i>Tratamientos</i>	<i>Descarne (%)</i>	<i>Pelambre (%)</i>
T1	17,68	24,93
T2	21,85	32,47
T3	36,07	25,70
T4	39,64	31,08
T5	68,71	33,04
T6	68,71	33,04
T7	68,71	33,04
T8	56,03	31,18
T9	81,18	35,76
T10	16,44	22,95
T11	39,74	36,41

Elaborado por: Proaño (2018)

El lavador acidulador al mantenerse en movimiento continuo con la solución alcalina e impurezas como el hierro presente en la carnaza bovina (**González Sáenz, 1998**), ayuda a que se acelere la descomposición del peróxido de hidrógeno generando así un ahorro de recursos.

La investigación también ayudó a reducir la cantidad de peróxido para el blanqueado ya que la concentración en los tanques de encalado era de 5000 ppm y en lavadores aciduladores se redujo aproximadamente a 3200 para pelambre y 2500 para descarne, obteniendo mejores resultados de blanqueado concordando con **García et al., (2004)** que concluyó que la cantidad de H₂O₂ introducido en el medio, no influye al blanqueado del material de experimentación, ya que la reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno es de orden cero, para cualquier temperatura de operación y porcentaje de hidróxido de sodio en la solución.

3.2 Verificación de la hipótesis

Una vez realizados los análisis correspondientes, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, ya que el pH de la solución y el tiempo de paleteo de la carnaza en el lavador acidulador variaron significativamente entre los tratamientos de blanqueado. Se determinó así que el pH de la solución es el parámetro que más influyó en el valor de luminosidad de la carnaza en el proceso de blanqueado.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Al usar pH cercanos al neutro y tiempos bajos de paletado de la carnaza en el prototipo del lavador acidulador para el material descarnado se obtiene aproximadamente el 91% en el porcentaje de blanqueado en comparación al obtenido en los tanques de encalado y para el pelambre se obtuvo aproximadamente el 85% en comparación al 70% que se obtenía en el procesos anterior.

- Los valores bajos de las coordenadas a^* y b^* dan a conocer que el color inicial del material descarnado y pelambre se aproxima al color gris, sin embargo, se ubican en cuadrantes diferentes; el Cfe en el segundo cuadrante y el CuAp en el tercero debido a sus diferentes estructuras.

-En los tratamientos se observó los valores de luminosidad, determinado así que todos los tratamientos presentan una mejora en el proceso de blanqueado del material descarnado, siendo el tratamiento 2 (pH: 8 y Tiempo: 3,5 horas) el más eficiente (48,42 % de blanqueado) con respecto al proceso anterior usado en planta (10,96 % de blanqueado). Por otro lado, los valores de luminosidad del CuAp comparado con la muestra control (79,86) mostró que no todos los tratamientos mejoraron el proceso de blanqueado, a diferencia del tratamiento 1 y 9 los cuales dieron los valores más altos de L^* (81,22 y 82,22 respectivamente) con respecto al blanqueado de la carnaza con el proceso anterior (blanqueado en piscinas de encalado).

-En el Cfe la cromaticidad indicó que hay mayor intensidad de color en la muestra del tratamiento 4 después de ser blanqueada (7,52) con respecto al valor del control (4,30) y con respecto al tono, el tratamiento 4 presentó el valor más alto, lo cual da entender que el color final es más vivo que el resto de tratamientos y que la muestra control. Por otro lado, en el CuAp los valores de croma en el tratamiento 10 se obtuvo un resultado de 9,47 siendo este el más alto; sin embargo, la muestra control mostró un valor lejano de 8,79 lo que corresponde que la diferencia entre saturación de color entre la muestra control y el tratamiento 10 varía significativamente.

-Se determinó las condiciones óptimas de acción del peróxido de hidrógeno dando como resultado una optimización en tiempo del proceso de blanqueado, el cual para el material descarnado se redujo de 4 días de blanqueado en tanques de encalado a 2,4 horas en el lavador acidulador el cual mantiene un proceso continuo utilizando un pH de 7 de la solución y para pelambre se redujo de 6 días a 1 hora en los lavadores utilizando un pH de 7,5.

-Valores bajos de peróxido residual se obtuvo al trabajar con pH altos (8,5 y 9,2) lo cual se relacionó con las investigaciones de autores que mencionan que factores como pH alcalinos e impurezas como el hierro, descomponen el peróxido de hidrógeno a mayor velocidad

-En el caso del material descarnado para obtener un pH de 7 en la solución de blanqueo, se estimó un tiempo de ingreso de agua limpia de 22 minutos a un caudal de 27 l/s y para el material pelambre el ingreso de agua limpia para llegar a un pH de 7,5 es de 18 minutos al mismo caudal en el lavador acidulador ubicada ya en planta.

4.2 RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo un análisis de la carnaza utilizada en la empresa PRODEGEL S.A. para obtener información de las impurezas que la materia prima tiene en su estructura, como puede ser la cantidad de hierro u otros metales que ayudan a catalizar la descomposición del peróxido de hidrógeno.

- Llevar a cabo un estudio de costos para determinar la efectividad que puede tener la investigación aplicada en el proceso.

- Ampliar la investigación usando retal, retal grande y careta; carnaza utilizada en la empresa PRODEGEL S.A. como parte de su materia prima para la producción de gelatina pura en polvo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bayas, E. (2015). Diseño de un sistema de información gerencial (SIG) de los procesos productivos de la empresa Productora de Gelatina Ecuatoriana. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/1528>
- Box G E P & Wilson K B. (1981). On the experimental attainment of optimum conditions., 45.
- Box, G. E. P., Hunter, W. ., & Hunter, J. S. (1978). Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis and model building. Barcelona-España: Reverté S.A.
- CIE. (2014). Commission internationale de l'Eclairage proceedings. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Feum. (2016). Gelatina. Farmacopea de los estados unidos mexicanos. Recuperado de <http://www.farmacopea.org.mx/Repositorio/Documentos/408.pdf>
- Figueres, T., & Basés, E. (2015). Revisión de los efectos beneficiosos de la ingesta de colágeno hidrolizado sobre la salud osteoarticular y el envejecimiento dérmico, 32(1), 62-66. <https://doi.org/DOI:10.3305/nh.2015.32.sup1.9482>
- Gacén Guillén, J. (2009). Aspectos químicos del blanqueo de la lana con peróxido de hidrógeno: Modificación química de la queratina. Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/5909/Article02.pdf>
- García, C., Brizard, A., Sánchez, R., & Rincón, P. (2004). Estudio Cinético de la Descomposición del Peróxido de Hidrógeno en Condiciones de Extrema Alcalinidad, II.
- Gelco S.A.S. (2016). GELATINAS DE COLOMBIA S. Barranquilla- Colombia. Recuperado de <http://gelcocolombia.com/wp-content/uploads/2016/12/brochure-esp.pdf>
- Gelita. (2018). Producción | GELITA. Recuperado 19 de mayo de 2018, de <https://www.gelita.com/es/conocimientos/gelatina/que-es-la-gelatina/produccion>
- GME. (2013). Fabricación de Gelatina. Recuperado 18 de mayo de 2018, de <http://www.gelatine.org/es/gelatina/fabricacion.html>

- Gómez Guillén, M. del C., & Montero García, M. del P. (2001). Procedimiento de fabricación de gelatina de origen marino y producto así obtenido. Madrid: OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS". Recuperado de http://digital.csic.es/bitstream/10261/5404/1/2155395_B1.pdf
- Gómez-Guillén, M. C., Giménez, B., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1813-1827. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007>
- González, I. (2009). Las múltiples propiedades de la gelatina. Camflages. Recuperado de <http://www.camfleganes.es/InterPresent2/groups/revistas/documents/binario/264atono.pdf>
- González Sáenz, M. (1998). Valor nutricional de subproductos de piel de bovino, e identificación de sus aminoácidos. Universidad Autónoma de Nueva León, México.
- Goñi Sandro, M., & Salvadori, V. (2015). MEDICIÓN DE COLOR DE ALIMENTOS EN EL ESPACIO CIELAB A PARTIR DE IMÁGENES. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47868/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Gutiérrez, J. (2013). "EFECTO DEL TIPO DE CARNAZA SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL LICOR DE GELATINA PURA DE ORIGEN BOVINO". Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6499/1/AL%20518.pdf>
- Humberto Gutierrez Pulido, R. de la V. (2012). Análisis y diseño de experimentos (Tercera Edición). México: McGraw-Hill.
- Le Farc. (2016). La terminología del cuero. Recuperado 11 de octubre de 2018, de http://lefarc.com/novedades_detalle.php?id=88
- Martín, D. M. (1957). Tappi (Vol. 2).
- Namgoung, S. (2011). Estudio y optimización del método tradicional de blanqueo comparando la efectividad con diferentes tratamientos de blanqueo de algodón. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

- Navarro, M. (2012). EL MUNDO ANIMAL: COMO SE HACE LA GELATINA. Recuperado 18 de mayo de 2018, de <http://marcos-marcosnavarro-marcos.blogspot.com/2012/08/como-se-hace-la-gelatina.html>
- Olsen, D., Yang, C., Bodo, M., Chang, R., Leigh, S., Baez, J., ... Polarek, J. (2003). Recombinant collagen and gelatin for drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 55(12), 1547-1567. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2003.08.008>
- Quintero, J., & Zapata, J. E. (2017). Optimización de la Extracción del Colágeno Soluble en Ácido de Subproductos de Tilapia Roja (*Oreochromis spp*) mediante un Diseño de Superficie de Respuesta. *Información tecnológica*, 28(1), 109-120. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100011>
- Ramalho, R. S. (1990). *Tratamiento de aguas residuales (Segunda)*. Canada: Reverte.
- Reichert, J. S., Cambell, D. J., & Mills, R. T. (1944). Sodium peroxide bleaching of mechanical pulps, (27), 364-370.
- Segovia, V., & Ramírez-Navas, J. (2017). Characterization of physicochemical and microbiological properties of gelatina blanca de pata de res. *Entre Ciencia e Ingeniería*, ISSN 1909-8367, 21, 50-55.
- Serna-Cock, L., Pineda-Cuervo, D., & Ayala-Aponte, A. (2007). Application of alkaline endopeptidase in bovine hide to improve the quality of the gelatine. *Revista Colombiana de Química*, 36(2), 169-181.
- Serna-Cock, L., Velásquez, M., & Ayala, A. A. (2010). Efecto de la Ultrafiltración sobre las Propiedades Reológicas de Gelatina Comestible de Origen Bovino. *Información tecnológica*, 21(6). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642010000600011>
- Solvay. (2012). *Cuero y Pieles*. Recuperado 19 de mayo de 2018, de <https://www.peroxidos.com.br/es/aplicacoes/couro-e-peles/index.html>
- TÍMAR-BALÁZSY, A., & EASTOP, D. (1998). *Chemical principles of textile conservation*. Butterworth-Heinemann.
- Trabal, E. (2002). *Estabilidad y descomposición de las disoluciones del peróxido de hidrógeno*. Foret S.A.
- Ward, A. G., & Courts, A. (1997). *The Science and technology of gelatin*. London; England: Academic Press; New York.
- X Rite. (2016). *A guide to understanding color*. X Rite. Recuperado de https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/whitepaper_pdfs/110-

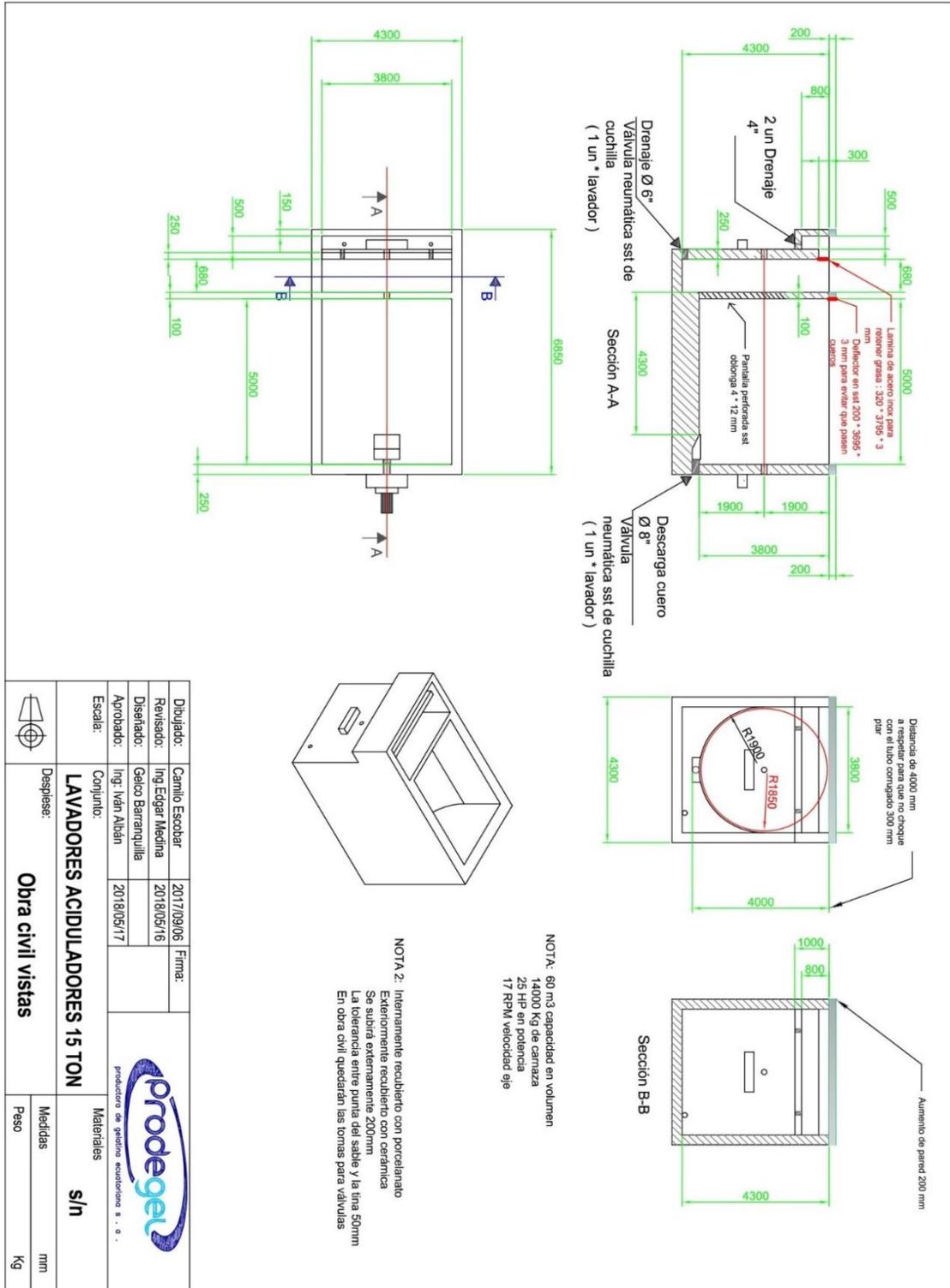
001_a_guide_to_understanding_color_communication/110-
001_understand_color_en.pdf

XRite. (2008). Guía para entender la comunicación del color (Vol. Primero). XRite.

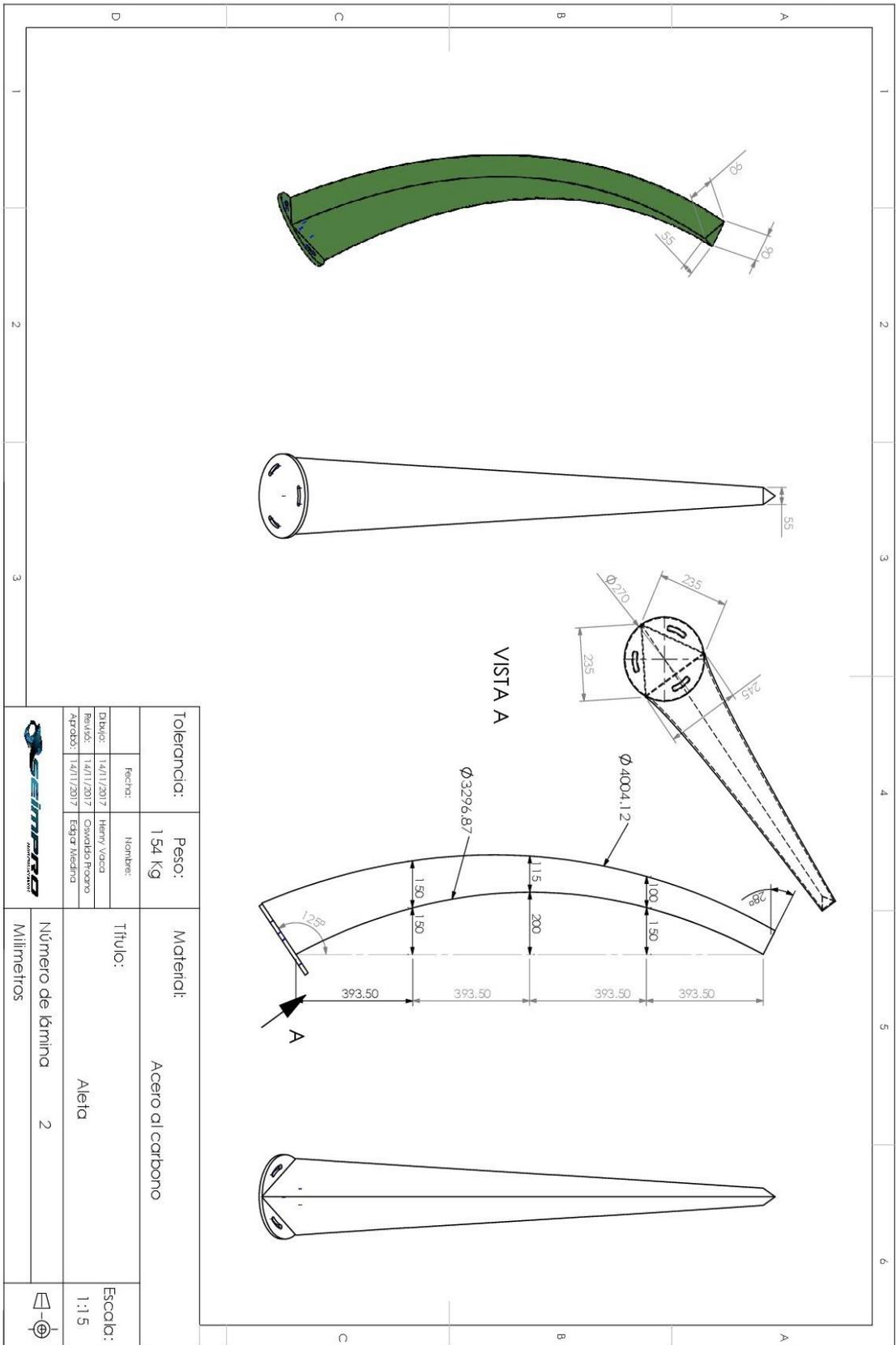
Yumpu. (2014). Determinación permanganométrica de peróxido de hidrógeno.
Recuperado 11 de mayo de 2018, de
<https://www.yumpu.com/es/document/view/14701135/6-determinacion-permanganometrica-de-peroxido-de-hidrogeno>

ANEXOS

Anexo 1. Dimensionamiento de los lavadores-Aciduladores implementados en la planta de PRODEGEL S.A.



Fuente: PRODEGEL S.A. (2018)



Tolerancia:		Peso:		Materiales:		Escala:	
		1 54 Kg		Acero al carbono		1:1.5	
Fecha:		Nombre:		Título:		Número de lámina	
14/11/2017		Henry Vaca		Aleta		2	
Revisó:		Dibujó:		Aprobó:		Unidad:	
14/11/2017		Oswaldo Piroo		Edgar Medina		Milímetros	
14/11/2017							
							

Fuente: PRODEGEL S.A. (2018)

Anexo 2. Prototipo empleado para la investigación.



Fuente: PRODEGEL S.A. (2018)

Anexo 3. Descarne, situación inicial



Fuente: PRODEGEL S.A. (2018)

Anexo 4. Pelambre, situación inicial



Fuente: PRODEGEL S.A. (2018)

Anexo 5. Tanques de encalado



Fuente: PRODEGEL S.A. (2018)

Anexo 6. Aireado de la carnaza en tanques (blanqueamiento)



Fuente: PRODEGEL S.A. (2018)

Anexo 7. Colorímetro Lovibond RM-200



Fuente: UTA (2018)

Anexo 8. Lavador acidulador en planta



Fuente: PRODEGEL S.A. (2018)

Anexo 9. Medición de color de la carnaza inicial



Fuente: UTA (2018)

Anexo 10. Determinación de peróxido residual



Fuente: PRODEGEL S.A. (2018)

Anexo 11.- Carnaza (pelambre) antes y después del blanqueado



Fuente: PRODEGEL S.A. (2018)