

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE BIOSISTEMAS**

**“DISEÑO DE EQUIPO DE IRRADIACIÓN CON RAYOS ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA (UV-C) PARA EL TRATAMIENTO DE ENFERMEDADES EN CORONAS DE BANANO (*Musa sp.*)”**

Trabajo final de graduación para optar por el grado de  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y DE BIOSISTEMAS


**Silene María Vargas Garita**


Ciudad Universitaria Rodrigo Facio


San José, Costa Rica

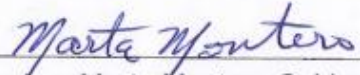
2022

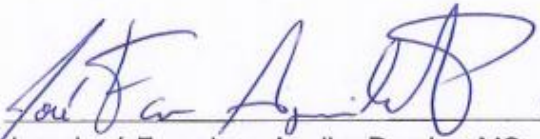
Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar al grado y título de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas.

  
Ing. Juan Roberto Mora Chaves, MSc  
Director, Comité Asesor

  
Ing. Marco Vinicio Sáenz Murillo, MSc  
Miembro, Comité Asesor

  
Ing. Mauricio Bustamante Román, PhD  
Miembro, Comité Asesor

  
Ing. Marta Montero Calderón, PhD  
Presidente, Tribunal Examinador

  
Ing. José Francisco Aguilar Pereira, MSc  
Miembro, Tribunal Examinador

  
Silene María Vargas Garita  
Estudiante

## AGRADECIMIENTOS

---

*A mi familia, por el apoyo y amor brindado durante todos estos años y por darme la oportunidad de estudiar y crecer como persona.*

*A Randall, por estar siempre presente cuando más lo necesitaba, por motivarme a seguir adelante y a ser mejor persona, por todos los consejos y conocimientos brindados.*

*A Juan Roberto, por confiar en mí y darme la oportunidad de desarrollar este proyecto, por la motivación brinda, por la disposición de ayudarme cuando lo necesitaba y por su amistad.*

*A Marco, por aceptar ser parte del proceso, por los consejos brindados y por la amistad brinda dentro del laboratorio de Poscosecha.*

*Al personal docente de Poscosecha por los consejos y por siempre recibirme con los brazos abiertos e incluirme en sus actividades.*

*A Mauricio, por aceptar ser parte del proceso, por las recomendaciones brindadas.*

*A Luis Diego, por el apoyo en el proyecto y por los conocimientos brindados para su desarrollo.*

*A mis amigos de la universidad, Hellen, Natalia y Óscar por su compañía, por su alegría y por hacer de la universidad una experiencia bonita.*

## RESUMEN

El banano es uno de los principales productos comercializados en Costa Rica, donde el rechazo de la fruta debido a enfermedades en las coronas genera grandes pérdidas económicas a nivel industrial. La búsqueda de alternativas que permitan reducir o eliminar la cantidad de químicos aplicados en poscosecha para el tratamiento de enfermedades en las coronas como la radiación ultravioleta de onda corta (UV-C), ha tomado fuerza debido su eficiencia.

Uno de los retos en la aplicación de radiación UV-C es evitar el oscurecimiento de la cáscara de la fruta y la disponibilidad de equipos que permitan procesar grandes cantidades de banano evitando este efecto de la radiación. Es por esta razón que el objetivo de este trabajo final de graduación es diseñar un equipo para tratar las coronas de banano con radiación UV-C ajustándose a las necesidades en plantas empacadoras y del producto para mantener la calidad del banano.

En el diseño del equipo y la tapa de protección de las manos de banano se determinaron las dimensiones tanto de las manos de banano como de las coronas. Se realizaron pruebas a la tapa de protección diseñada para asegurar una cobertura adecuada en las manos evitando el oscurecimiento de la cáscara y permitiendo una fácil implementación en planta. Además, se analizó el proceso del acondicionamiento de la fruta para definir parámetros constructivos y operativos del equipo.

El diseño del equipo para el tratamiento de coronas se basó en un túnel de radiación con iluminación en la parte superior del equipo para irradiar únicamente las coronas

de banano, el cual está constituido de cuatro elementos básicos: la tapa para la protección de las manos, las cámaras de paso, la cámara de radiación y la banda transportadora.

Este equipo fue diseñado con el propósito de que pueda procesar como mínimo un contenedor de bananos diario. Además, trabaja de manera continua con una capacidad de procesamiento de una caja cada 5,19 segundos en comparación a la utilización de cámaras de aspersion que procesa una caja cada 7 segundos. Se estimó que el costo de inversión requerido en la implementación del equipo para el tratamiento de las coronas con radiación UV-C es de ₡ 7 750 497,49, presentado al segundo año la recuperación de esta incluyendo costos operativos.

Este proyecto abarca únicamente la etapa inicial en el proceso de diseño, que corresponde a la propuesta del equipo basado en la estimación de dimensiones a partir de datos de la fruta, datos del proceso del acondicionamiento del banano y datos teóricos en cuanto a la dosis a aplicar para el tratamiento con radiación UV-C. Para futuras investigaciones se deben desarrollar las etapas de simulación del equipo para validar la dosis aplicada y los tiempos de operación del equipo y por último la etapa de construcción del equipo.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE CUADROS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
1. INTRODUCCIÓN .....	12
1.1. Justificación .....	14
1.2.1. Objetivo General .....	16
1.2.2. Objetivos Específicos .....	16
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Cultivo de banano .....	17
2.1.1. Poscosecha de banano .....	17
2.1.2. Tratamiento de pudriciones de coronas convencionales .....	20
2.1.3. Tratamiento de pudriciones de coronas con radiación UV-C .....	21
2.2. Radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) .....	25
2.2.1. Equipos para tratamiento germicida con radiación ultravioleta .....	27
2.2.2. Tipos de lámparas.....	29
3. METODOLOGÍA .....	32
3.1. Evaluación de línea de producción en plantas empacadoras de banano .....	32
3.2. Determinación de parámetros constructivos y técnicos .....	32
3.2.1. Dimensionamiento de las manos de banano .....	33
3.2.2. Dimensiones de las coronas de banano .....	35
3.2.3 Determinación de la masa de las manos de banano .....	35
3.2.4 Determinación de la potencia de la lámpara.....	35
3.2.5 Determinación de la capacidad de carga de la banda transportadora .....	37
3.2.6 Determinación de la potencia de la banda transportadora.....	39
3.3. Diseño del equipo para irradiar las coronas de banano.....	41
3.3.1. Diseño de tapa de protección .....	41
3.3.1.1. Prueba preliminar de protección .....	41
3.3.1.2 Prueba de protección .....	43
3.3.2. Diseño del diagrama eléctrico de las lámparas y del motor de la banda transportadora.....	45
3.4. Evaluación financiera y técnica .....	46
4. RESULTADOS.....	48

4.1. Evaluación de la línea de producción en planta empacadoras de banano .....	48
4.2. Determinación de parámetros constructivos y técnicos.....	53
4.2.1 Dimensionamiento de las manos y coronas de banano.....	53
4.2.3. Determinación de la capacidad de carga y potencia de la banda transportadora. .....	55
4.3. Diseño del equipo para irradiar las coronas de banano .....	57
4.3.1 Diseño de la tapa de protección .....	58
4.3.2. Diseño del túnel para el tratamiento de coronas con radiación UV-C .....	74
4.3.3 Diseño del diagrama eléctrico del equipo .....	82
4.3.3.1. Diseño eléctrico del sistema de lámparas UV-C .....	82
4.3.3.2. Diseño eléctrico del sistema de potencia.....	84
4.4. Análisis financiero y técnico .....	85
4.4.1. Estimación de costos de implementación .....	85
4.4.2. Estimación de ingresos de implementación.....	92
4. CONCLUSIONES .....	95
5. RECOMENDACIONES .....	97
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99
7. ANEXOS .....	105
Anexo A. Flujo de caja para el equipo para el tratamiento de coronas con radiación UV- C.....	105
Anexo B. Planos del equipo para irradiar las coronas de banano con radiación UV-C y tapas de protección. ....	107
Anexo C. Resultado de prueba de coberturas, con tres configuraciones distintas a diferentes alturas. ....	118

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 3-1.</b> Pruebas realizadas para configuraciones de cobertura.....	44
<b>Cuadro 4-1.</b> Criterios de diseño para el equipo de tratamiento de coronas de banano con radiación UV-C.....	52
<b>Cuadro 4-2.</b> Dimensiones de las manos de banano.....	53
<b>Cuadro 4-3.</b> Dimensiones de las coronas de banano.....	54
<b>Cuadro 4-4.</b> Datos para el diseño de la banda transportadora.....	57
<b>Cuadro 4-5.</b> Dimensiones de la tapa de protección de manos de banano.....	64
<b>Cuadro 4-6.</b> Costo de inversión del equipo para el tratamiento de coronas con radiación UV-C.....	86
<b>Cuadro 4-7.</b> Depreciación de activos.....	88
<b>Cuadro 4-8.</b> Costos de insumos.....	89
<b>Cuadro 4-9.</b> Consumo eléctrico del equipo para el tratamiento de coronas con radiación UV-C.....	91
<b>Cuadro 4-10.</b> Ahorro del consumo eléctrico.....	92



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2-1.</b> Esquema de una planta de empaque convencional (con una capacidad para 250 ha de cultivo). Modificado de [11].....	17
<b>Figura 2-2.</b> Cabina de desinfección y esterilización de radiación UV-C [15].....	22
<b>Figura 2-3.</b> Cámara de radiación UV-C (modelo GR30T8 Techno Lite) [9].....	24
<b>Figura 2-4</b> Espectro electromagnético [19].....	26
<b>Figura 2-5.</b> Tambor rotatorio UV-C para el procesamiento de papa [20].....	28
<b>Figura 2-6.</b> Túneles de desinfección UV-C [20]-[23].....	28
<b>Figura 2-7.</b> Ejemplo de una lámpara UV quemada (abajo) con respecto a una lámpara nueva (arriba) [26].....	31
<b>Figura 3-1.</b> Perfiles de la mano de banano, (1) vista superior, (2) vista lateral izquierdo y (3) vista lateral derecho.....	33
<b>Figura 3-2.</b> Dimensiones de las variables evaluadas de las manos de banano, (1) vista lateral izquierdo, (2) vista superior y (3) vista lateral derecha.....	34
<b>Figura 3-3.</b> Metodología utilizada para el cálculo de curvatura de las frutas, modificado de [28].....	34
<b>Figura 4-1.</b> Diagrama de flujo del manejo poscosecha de la fruta de banano.....	48
<b>Figura 4-2.</b> Manejo poscosecha del tratamiento de las coronas en banano en plantas de empaque, (a) cámara de aspersion y (b) tratamiento con brocha.....	50
<b>Figura 4-3.</b> Cerdas de nylon para la protección de las coronas (1) cerdas utilizadas en el diseño y (2) ejemplo de una banda de cerdas [39].....	58
<b>Figura 4-4.</b> Prueba preliminar de cobertura de las manos de banano, (a)-(d) vistas de los perfiles de manos sin tratar, (e)-(h) vistas de los perfiles de manos tratadas sin cobertura, (i)-(l) vistas de perfiles de manos tratadas con cobertura.....	60

<b>Figura 4-5.</b> Tapa diseñada para la protección de las bandejas de manos de banano ((A) vista interna de la tapa y (B) vista externa de la tapa); donde: (1) canal con cobertura de cerdas, (2) canal con cobertura de cerdas y hule y (3) canal con cobertura de hule.....	62
<b>Figura 4-6.</b> Variables de dimensionamiento de la tapa de protección, donde: (a) ancho de la tapa, (L) longitud de la tapa, (l1) longitud del canal para la colocación de las coronas, (a1) ancho del canal, (e1), (e2), (e3) y (e4) espaciamiento entre canales y extremos de la tapa, (1), (2) y (3) canales de la tapa de protección.....	63
<b>Figura 4-7.</b> Montaje de tapa de protección para prueba de coberturas.....	64
<b>Figura 4-8.</b> Resultados de cobertura a alturas de 10 cm en configuraciones de (a) 2 bandas de cerdas, (b) 2 bandas de cerdas y hule y (c) hule.....	67
<b>Figura 4-9.</b> Resultados de cobertura a alturas de 25 cm en configuraciones de (a) 2 bandas de cerdas, (b) 2 bandas de cerdas y hule y (c) hule.....	68
<b>Figura 4-10.</b> Resultados de cobertura con hule a 35 cm de altura en configuraciones de (a) 2 bandas de cerdas, (b) 2 bandas de cerdas y hule y (c) hule.....	70
<b>Figura 4-11.</b> Resultados de cobertura con 4 bandas de cerdas a 25 cm de altura, (a) vista de los perfiles de manos antes de ser irradiadas UV-C y (b) vista de los perfiles de manos después de ser irradiadas con UV-C.....	72
<b>Figura 4-12.</b> Diseño de tapa de protección para manos de banano.....	73
<b>Figura 4-13.</b> Diseño de perfil en h para la sujeción de la banda de cerdas con la estructura de acople en la tapa de protección de coronas [39].....	74
<b>Figura 4-14.</b> Túnel de radiación UV-C para el tratamiento de coronas de banano, (1) vista frontal del túnel, donde (a) y (c) cámaras de paso y (b) cámara de radiación, (2) vista interna de cámara de radiación y de cortinas del equipo.....	75
<b>Figura 4-15.</b> Banda transportadora del túnel de radiación UV-C para el tratamiento de coronas de banano.....	77

<b>Figura 4-16.</b> Faldón de la banda transportadora del túnel de radiación UV-C para el tratamiento de coronas de banano.....	78
<b>Figura 4-17.</b> Estructura base para el montaje de la banda transportadora.....	79
<b>Figura 4-18.</b> Tapa de faldones y base de acople de las tapas de las cámaras, (a) tapa posterior, (b) tapa frontal que indica el área de acople con las cámaras de paso y radiación.....	80
<b>Figura 4-19.</b> Cámaras de paso, (a) estructura de acople de tapa-base (vista frontal de la tapa), (b) estructura de acople tapa-base (vista posterior de la tapa) y (c) estructura de acople de cortina (vista inferior de la tapa).....	81
<b>Figura 4-20.</b> Cámara de radiación UV-C, (a) tapa de cámara de radiación (vista inferior) y (b) estructura de sujeción de las lámparas (vista inferior) .....	82
<b>Figura 4-21.</b> Diagrama eléctrico del sistema de iluminación.....	83
<b>Figura 4-22.</b> Diagrama eléctrico del sistema de potencia de la banda transportadora.....	84

## 1. INTRODUCCIÓN

El banano es un cultivo de alta importancia para el comercio a nivel mundial. Se ha estimado que la exportación mundial de banano alcanzó un récord de 22,2 millones de toneladas en el 2020, lo cual representa un crecimiento de un 1,7% con respecto al 2019. Se proyecta que la producción de banano aumente un 1,4% anual, hasta alcanzar los 138 millones de toneladas para el 2030 [1]. Costa Rica es el tercer exportador mundial de banano, con una tasa de crecimiento anual de 2% desde el 2016 al 2020 [2], lo que evidencia la importancia a nivel económico de la industria bananera. Se estima que en Costa Rica el banano representa un 8,93% de las exportaciones totales del 2020, lo que se traduce en un aporte de 1118 millones de dólares [3].

En la industria bananera el aseguramiento de la calidad de la fruta para su exportación se da durante todo el proceso de producción de la fruta, que abarca desde la siembra hasta el transporte del banano al mercado destino. En las plantas de empaque de banano, uno de los retos es el control de enfermedades, donde la pudrición de las coronas toma relevancia ya que genera pérdidas de 10% hasta un 60% en bananos con tratamiento aplicado y de un 86% sin tratamiento [4].

Para el tratamiento de pudrición de las coronas en poscosecha se han utilizado, debido a su elevada efectividad, los fungicidas benzimidazoles como el benomil, tiabendazol y carbendazim. En Costa Rica el fungicida imazalil, solo y en mezcla con tiabendazol, ha sido usado comercialmente con resultados satisfactorios. Sin embargo, con frecuencia se ha tenido que incrementar las dosis para controlar el

problema, sobre todo en los periodos de mayor presión del inóculo. Esto hace necesario contar con alternativas de diferente modo de acción o mayor eficacia, que se puedan alternar y mezclar, para reducir el riesgo del desarrollo de resistencia y asegurar la sanidad del producto [5].

Además, debido a una creciente preocupación por los consumidores con respecto a los residuos químicos tanto en los alimentos como en el ambiente, así como, la resistencia que se ha generado en los patógenos tratados ha aumentado la necesidad de generar tecnologías a base de tratamientos alternativos, ya sean biológicos o físicos que puedan reemplazar parcial o totalmente el uso de fungicidas [6]. Una alternativa de tratamiento físico que se ha investigado actualmente es el uso de rayos ultravioleta, siendo la de onda corta (UV-C) la más efectiva para reducir o eliminar los patógenos causantes de enfermedades en los alimentos [4].

El efecto antimicrobiano de la luz ultravioleta se debe principalmente a la interacción de la radiación con el material genético de los microorganismos. Cuando el ácido desoxirribonucleico (ADN) absorbe la luz UV-C se genera cambios en su estructura. Dichas alteraciones limitan las funciones metabólicas, produciendo la muerte celular y disminución de la capacidad de reproducción según la dosis, tiempo y distancia de la radiación a la que se someta el producto [7].

La principal fuente de luz ultravioleta es el sol; sin embargo, la absorción de la radiación de onda corta por parte de la capa de ozono de la tierra impide que cantidades significativas de UV-B y UV-C alcancen la superficie de la Tierra. Por

ello las aplicaciones de UV-C dependen de fuentes artificiales, la fuente más común son lámparas de arco de mercurio de baja y mediana presión. [8].

Tratamientos germicidas con radiación UV-C sobre superficies se aplican mediante cámaras de radiación con lámparas de mercurio que aplican la irradiación a todo el producto, dando resultados desfavorables en cuanto al color del alimento, como en el caso del banano [4] y papaya [9], lo que en términos comerciales perjudica la calidad. Es por esta razón que en este proyecto se trabajó el diseño de un equipo que permita la aplicación del tratamiento con radiación UV-C de forma localizada en las coronas de banano para aprovechar el uso de esta tecnología y así sustituir o disminuir el uso de químicos en la industria bananera.

### **1.1. Justificación**

Los tratamientos de desinfección con radiación UV-C, es una tecnología que se ha aplicado por años en la desinfección de líquidos (agua principalmente), aire y superficies. En la industria alimentaria esta tecnología ha tomado popularidad debido a su potencial germicida, la cual tiene ventajas sobre la calidad de los productos agrícolas en comparación a tratamientos químicos y térmicos [7].

El reto del uso de la radiación UV-C como tratamiento alternativo en la industria alimentaria está en el producto con que se trabaja, ya que esta tecnología debe adaptarse a las necesidades de cada producto para asegurar la calidad de este para su comercialización.

Para el banano, el uso de la radiación UV-C ha mostrado resultados prometedores para el tratamiento en las pudriciones de las coronas. Por lo que podría ser una

alternativa al uso de fungicidas en el área de poscosecha en la industria bananera. Sin embargo, existe una limitante debido al oscurecimiento ocasionado en el banano a los días de ser tratado con radiación UV-C, afectando el valor comercial de la fruta [4].

La búsqueda de un método de aplicación de esta tecnología en banano a nivel industrial implicaría un gran avance en cuanto a la reducción de químicos utilizados en esta operación en las plantas de empaque. Equipos utilizados hasta el momento para el tratamiento de las coronas de banano se ha limitado a cámaras de radiación estáticas con capacidad de procesamiento bajas. Aunque existen equipos móviles que pueden ser utilizados en la irradiación de las coronas, estos no aplican la radiación de manera puntual, ocasionando que siga existiendo el problema del oscurecimiento de las cáscaras de banano.

Razón por la cual, la importancia de este proyecto radica en el diseño de un equipo de radiación UV-C para el tratamiento de las coronas a nivel industrial, asegurando la calidad del producto. El diseño consiste en un túnel de radiación que consta de cuatro partes fundamentales para su correcto funcionamiento: dos cámaras de paso, una cámara de radiación, una banda transportadora y una tapa de protección para las bandejas de manos de banano.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseñar un equipo de irradiación con rayos ultravioleta de onda corta (UV-C) para el tratamiento de enfermedades en las coronas de bananos (*Musa sp.*) de exportación.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar líneas de proceso en plantas empacadoras de banano para adaptar el diseño del equipo a la infraestructura existente.
- Investigar parámetros constructivos y técnicos necesarios para diseñar el equipo de irradiación con UV-C.
- Establecer un equipo para la irradiación de las coronas de banano cumpliendo con los requerimientos técnicos para garantizar un tratamiento adecuado.
- Evaluar la factibilidad económica y técnica del equipo diseñado para analizar la posibilidad de la implementación del equipo a nivel industrial.



## **2. MARCO TEÓRICO**

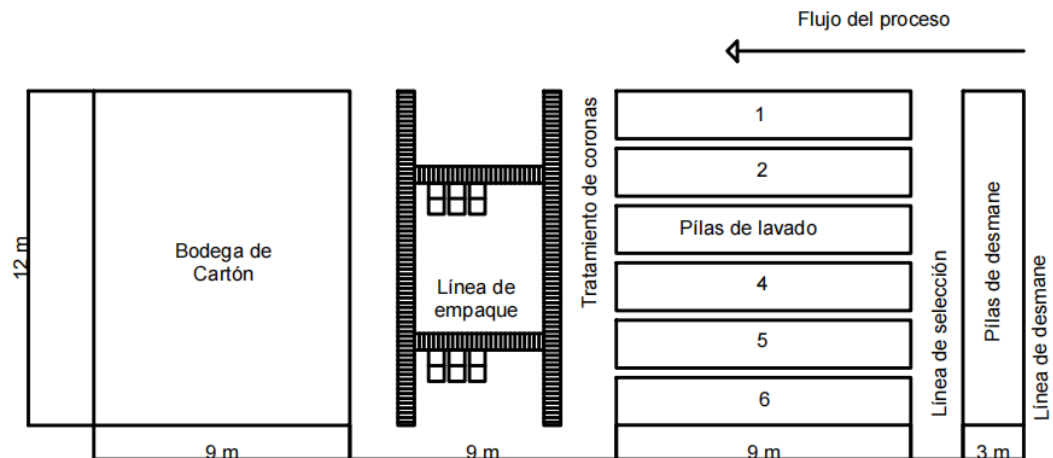
### **2.1. Cultivo de banano**

El banano pertenece a la familia de las musáceas y se conoce con el nombre científico de *Musa sp.* El nombre banano es originario de África y se aplica principalmente a los cultivares cuya fruta es de consumo fresco como el *Gros Michel* y el *Cavendish*. Anatómicamente la planta de banano está compuesta por un sistema radicular, un cormo (tallo subterráneo del banano), el seudotallo, las hojas y el fruto de la planta [10].

La fruta de la planta de banano es un producto que ha sido altamente comercializado en Costa Rica, donde actualmente este ocupa el segundo lugar con respecto a los productos con mayor exportación para el año 2020, con un aporte de un 8,93%. Esto muestra la importancia que se debe de tener en el manejo poscosecha de la fruta, con el fin de garantizar la calidad de este a la hora de su exportación.

#### **2.1.1. Poscosecha de banano**

La poscosecha de banano es llevada a cabo en las plantas de empaque. Una planta de empaque convencional (figura 2-1), está dividida en cinco secciones, las cuales constan de una sección de calibración, peso y desflore, una sección de desmane, una sección de selección y lavado, una sección para el tratamiento de coronas, una sección de empaque (en donde se realiza el sellado, el pesado y empaque en cajas) y por último una sección de bodega de cartón [11].



**Figura 2-1.** Esquema de una planta de empaque convencional (con una capacidad para 250 ha de cultivo). Modificado de [11].

El inicio de la poscosecha de banano inicia con la entrada del racimo en los patios de recibo en las plantas de empaque. En esta etapa del proceso, una muestra del 8% (2 racimos de cada 25) es analizada para determinar la calibración del grosor del dedo de banano, masa del racimo, tamaño de la fruta y tipos de defectos como manchas, cortaduras y deformaciones [11].

Posterior al recibo y muestreo, los racimos de banano son llevados a la línea de desmane (figura 2-1), en donde las manos son separadas del raquis central y colocadas en la pila de desmane para el lavado y eliminación de látex generado del corte. Luego de ser colocadas las manos en las pilas de desmane, se da la operación de selección y lavado, que dependiendo del mercado destino y de las especificaciones establecidas por la empresa comercializadora, se presentan diferentes tolerancias a los defectos que pueda presentar la fruta con respecto al largo, grado de la fruta, el tipo de empaque y material utilizado para este.

La fruta que no cumple con las especificaciones del cliente, son eliminadas mediante bandas transportadoras ubicadas sobre las pilas de lavado. Una vez seleccionada y separada en gajos la fruta, se realiza su lavado en las pilas de selección, con el propósito de limpiar el látex y transportar la fruta hasta la línea de empaque [10].

Al inicio de la línea de empaque se da la operación para el tratamiento de las coronas el cual es importante debido a que la corona al ser un área expuesta por los cortes realizados en el área de selección y desmane tiene una alta probabilidad de incidencia de enfermedades durante el resto del proceso de producción y transporte de la fruta [11]. Para el control de la pudrición de las coronas de banano se debe utilizar fungicidas que protejan la corona tan pronto la fruta sea retirada de las pilas de selección [10].

Dentro de la línea de empaque (figura 2-1) se da la operación de etiquetado y pesado de la fruta, en donde cada compañía empacadora de banano dispone de sus respectivos sellos con el fin de establecer la marca e identificar la calidad de la fruta. En cuanto al pesado, al final de la línea de empaque se verifican las masas de las cajas, las cuales rondan alrededor de los 18,18 kg para cajas con dimensiones de 52,5 x 39 x 25,5 cm de largo, ancho y alto, respectivamente [10].

El empaque de la fruta en cajas es el paso final en la presentación del producto en el mercado. Esta labor consiste en acomodar las manos de banano en las cajas, siguiendo especificaciones definidas que constituyen un patrón de empaque para

cada cliente y para cada mercado. El objetivo de esta operación es que la fruta no sufra deterioro durante su transporte [11].

### **2.1.2. Tratamiento de pudriciones de coronas convencionales**

La pudrición de las coronas en banano genera pérdidas de entre 10% a 60% en fruta con tratamiento químicos aplicados, y de un 86% sin tratamientos [4]. La mala formación de las coronas, heridas y separación de los gajos en el proceso de selección favorecen a la dispersión y penetración de patógenos causantes de las pudriciones de las coronas, debido a que los tejidos expuestos de la corona se vuelve un sustrato apropiado para su desarrollo [12], [5].

Desafortunadamente la pudrición de coronas es un problema que se observa cuando la fruta ya ha avanzado en el proceso de maduración y en consecuencia se transforma en una enfermedad de mercado o poscosecha [12]. Por lo cual se siguen utilizando tratamientos que han sido aplicados por años debido a su efectividad, como es el uso de los fungicidas benzimidazoles como el benomil tiabendazol y carbendazim. También, se introdujeron fungicidas inhibidores de la biosíntesis del ergosterol, como imazalil, prochloraz, propiconazol, flusilazol, miclobutanil, bitertanol y el fluazinam [5].

Las mezclas aplicadas de estos fungicidas varían de una empresa a otra, al igual que varias sus métodos de aplicación de dichos tratamientos. En la actualidad existen varios métodos para la aplicación de fungicidas, entre los cuales se encuentran: los sistemas de inmersión, los sistemas de aspersion abierta, los

sistemas de aspersión cerrados, las cámaras electrostáticas, los sistemas de cascada y la aplicación mediante brocha [13].

Aún hoy en día, existen empresas que aún utilizan el método de aplicación con brocha, debido a que su uso disminuye en un 50% el consumo de fungicidas con respecto a otros métodos. Sin embargo, su efectividad está siendo cuestionada, debido a que deja desprotegida una gran parte del fruto. Lo que muestra la aspersión con boquillas como un método atractivo para la aplicación de estos tratamientos con la única desventaja de que consume más fungicidas que el método de la brocha [13].

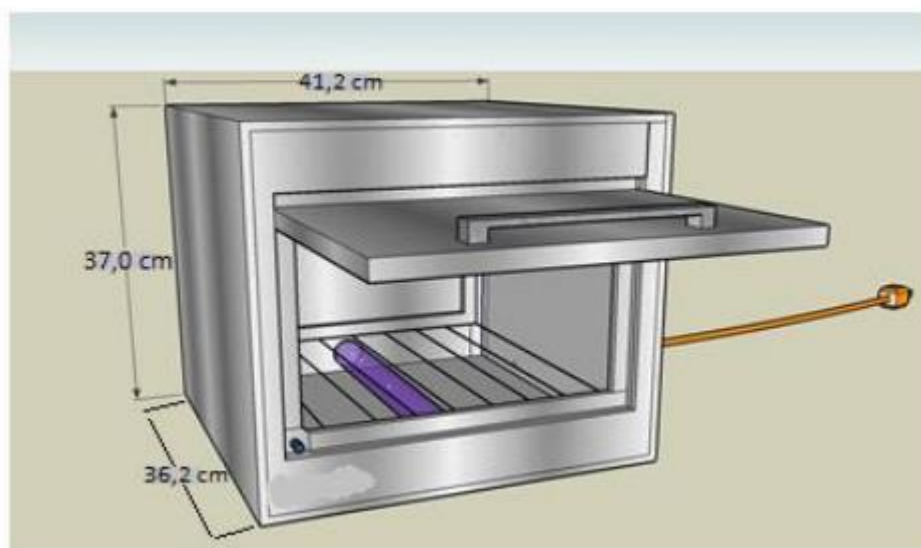
A pesar de que los fungicidas han sido utilizados por un largo tiempo, actualmente estos han perdido popularidad debido a daños a la salud y al ambiente, por los residuos que sus métodos de aplicación pueden generar [14]. Además, se han reportado resistencia de ciertos patógenos a los químicos debido a su uso continuo [13]. Por lo cual se ha vuelto necesario el uso de nuevas tecnologías para garantizar el tratamiento de las coronas como es el caso de la utilización de radiación ultravioleta de onda corta.

### **2.1.3. Tratamiento de pudriciones de coronas con radiación UV-C**

Tratamientos físicos para la pudrición de las coronas se han investigado como alternativa para el control químico en poscosecha con el objetivo de disminuir la cantidad de residuos potencialmente generados en aplicaciones químicas.

Román [15] realizó una investigación del uso de la radiación ultravioleta para la reducción de patógenos en diferentes productos frescos como la piña, el banano y

el melón. En el banano utilizó frutas con grados de maduración 4-5, que fueron inoculadas con *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes*, *Fusarium spp* y expuestas a radiación UV-C en tiempos de 5, 20, 45, 90, 180 y 360 segundos. Para irradiar la fruta, utilizó una cabina de desinfección y esterilización de radiación UV-C, con una intensidad de emisión utilizada fue de  $620 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$  (figura 2-2).



**Figura 2-2.** Cabina de desinfección y esterilización de radiación UV-C [15].

Su investigación, determinó que en la superficie del banano es donde se obtienen mayores reducciones del patógenos *Fusarium spp* en comparación a la piña y el melón, logrando una reducción de más de 2 log con cualquiera de los seis tiempos. La Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) estipula que una desinfección debe reducir como mínimo 2 log (99%) de la población de patógenos de frutas y hortalizas [16]. Sensorialmente no se detectaron diferencias significativas en el sabor del banano en ninguno de los tiempos aplicados. Sin embargo, uno de los problemas que presentó el banano irradiado,

fue el pardeamiento de la cáscara, lo cual implica un inconveniente para su exportación [15].

En la misma base de investigación, Mohamed et al. [17] realizó una investigación sobre los efectos antifúngicos de la radiación UV-C en dosis de 0,01 kJ/m<sup>2</sup> a 0,30 kJ/m<sup>2</sup> para controlar la pudrición de las coronas en poscosecha. Para la aplicación del tratamiento, utilizó una cámara de acero inoxidable con lámparas de mercurio de baja presión (90 cm de longitud, 220 V y 36 W). Obteniendo una reducción de un 62,51% con respecto a la gravedad de la enfermedad en dosis de 0,30 kJ/m<sup>2</sup>. Sin embargo, al igual que la investigación anterior, todas las dosis aplicadas causaron oscurecimiento en la cáscara del banano, excepto en dosis de 0,01 kJ/m<sup>2</sup>.

En la investigación de Uribe [4], se compara el tratamiento de radiación UV-C con respecto a un testigo comercial, en donde se miden variables de color, sólidos solubles, firmeza, contenidos de fenoles, tasa respiratoria, fuga de electrolitos, incidencia de enfermedades y severidad de enfermedades. Para la aplicación del tratamiento, se trabajó con fruta de grado de maduración de 4-5 y con fruta verde lista para exportar. Se aplicaron dosis de 0,20, 0,60, 1,00 y 1,30 kJ/m<sup>2</sup> y se utilizó una espuma tipo “foam” con el fin de evitar escaldaduras en las cáscaras de banano. Además del uso de la cobertura, el experimento se realizó con una cámara hermética de material reflectivo compuesta por tres lámparas de mercurio de 30 W y longitud de onda de 254 nm (figura 2-3). Para mantener la radiación constante se mantuvo la distancia de aplicación a 25 cm con respecto al área a aplicar el tratamiento.



**Figura 2-3.** Cámara de radiación UV-C (modelo GR30T8 Techno Lite) [9].

Resultados obtenidos en esta investigación mostraron que no hubo diferencias significativas en las variables medidas con respecto a los testigos comerciales y muestras tratadas con dosis de 1,00 y 1,30 kJ/m<sup>2</sup>, excepto para las muestras con grado de maduración de 4-5 con inóculo. Al igual que en otras investigaciones, en esta se observa un oscurecimiento de la cáscara una vez almacenado en producto [4].

El uso de la radiación UV-C como alternativa para el tratamiento de las coronas de banano aún sigue en investigación. Sin embargo, los resultados mostrados son alentadores en cuanto a su respuesta de reducción de patógenos. Hay ciertos parámetros que se pueden rescatar dentro de las investigaciones realizadas como

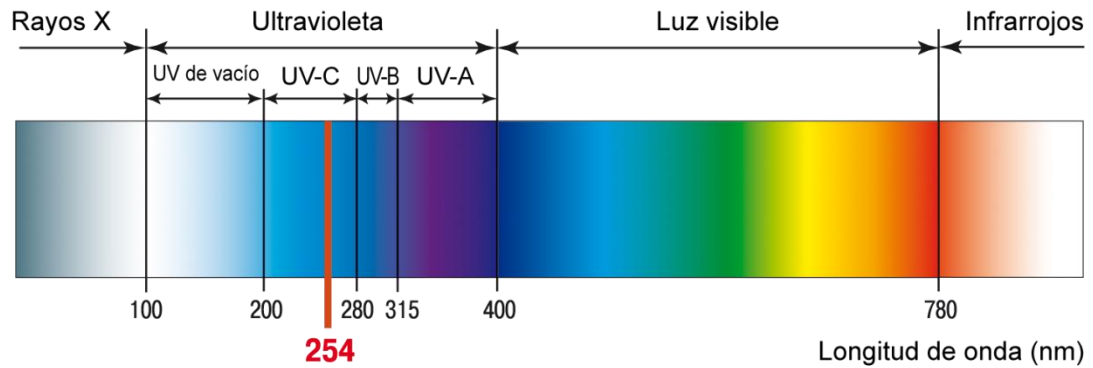


la aplicación de dosis de 1,00 y 1,30 kJ/m<sup>2</sup> con respecto a tratamientos químicos utilizados actualmente, lo que deja la posibilidad de utilizar esta tecnología tomando en consideración la calidad del producto.

## **2.2. Radiación ultravioleta de onda corta (UV-C)**

El espectro luminoso es la parte del espectro electromagnético comprendido entre los 300-1500 nm, donde se engloba el espectro visible y el espectro luminoso no visible. El espectro visible, comprende desde los 380 nm, aproximadamente hasta los 780 nm. Por encima de los 780 nm se encuentra las radiaciones infrarrojas y por debajo de los 380 nm se encuentra las ultravioletas [18].

La luz ultravioleta es la porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos X y la luz visible (figura 2-4). Es una radiación no ionizante con una longitud de onda entre 100 a 400 nm. Se han definido cuatro regiones del espectro: UV-vacío (entre 100 y 200 nm) que puede ser transmitido por casi todas las sustancias, UV-C (entre 200 y 280 nm) llamado rango germicida, ya que inactiva eficazmente bacterias y virus, UV-B (entre 280 y 315 nm) que puede causar quemaduras en la piel y eventualmente provocar cáncer de piel y UV-A (entre 315-400 nm) que es el responsable de los cambios en la piel humana como el bronceado [7],[15].



**Figura 2-4** Espectro electromagnético [19].

La aplicación de radiación UV-C con efectos germicidas ha sido utilizada en tres áreas: para desinfección del aire, esterilización de líquidos y la inhibición de microorganismos en superficies [15]. Se ha determinado que la longitud de onda específica de 253,70 nm es la más efectiva en términos de inactivación, debido a una mayor absorción de fotones de la luz UV-C por parte del material genético de los microorganismos afectados [9].

Dentro de las ventajas del uso de la luz UV-C en productos agrícolas frescos están el ser un tratamiento no térmico sin residuos tóxicos, olores o sabores residuales sobre los productos, así como una menor cantidad de energía requerida para su aplicación en comparación a métodos como la pasteurización o esterilización de alimentos. A la vez prolonga, mantiene e inclusive aumenta el valor nutricional de los productos frescos en términos de contenidos fenólicos, antocianínico, vitamínico y antioxidante [9].

Es importante recalcar, que muchos microorganismos tienen un sistema metabólico con varios mecanismos de reparación de los ácidos nucleicos dañados. De modo

que es posible que ocurra una reactivación dado a que al ADN puede ser reparado por factores proteicos cuando las células dañadas se exponen a longitudes de onda superiores a 300 y 500 nm para activar la partición del dímero. Sin embargo, en un ambiente oscuro se puede evitar la fotoreactivación de productos tratados con radiación UV-C o restaurar las células expuestas [15].

### **2.2.1. Equipos para tratamiento germicida con radiación ultravioleta**

La utilización de radiación ultravioleta para la desinfección tiene diferentes áreas de aplicación. Dependiendo del área de aplicación así varían la disponibilidad de equipos existentes para su uso. Algunos equipos son utilizados para la desinfección del aire, del agua o de las superficies.

El uso de equipos para irradiar frutas frescas, son reducidas, ya que muchos de estos productos aún están en fase de investigación. Sin embargo, en el mercado existen algunos equipos que se basan en tambores rotatorios, cámaras de radiación y túneles de irradiación que permiten la utilización de esta tecnología para la desinfección de productos empacados, artículos personales, carnes, entre otros.

Un ejemplo de estos equipos se muestra en la figura 2-5. Este equipo es un tambor rotatorio con 32 lámparas UV-C de mercurio de baja presión (60 a 70 W), que permite procesar más de 6 toneladas de producto por hora. Es utilizado en papa y logra una reducción de 3 log (99,9 %) de la contaminación microbiológica inicial [20].



**Figura 2-5.** Tambor rotatorio UV-C para el procesamiento de papa [20].

Hay una gran variedad de túneles de desinfección como los que se muestran en la figura 2-6. Estos suelen ser de acero inoxidable con lámparas distribuidas alrededor del producto logrando una eficiencia del 99 al 99,9%. Estos túneles de desinfección son utilizados en productos como: huevo, mariscos, productos lácteos, productos cárnicos, cosméticos, productos médicos, maletas entre otros [20].



**Figura 2-6.** Túneles de desinfección UV-C [20]-[23].

Aunque en el mercado existen equipos para irradiar diferentes productos agrícolas frescos con radiación UV-C, la utilización de estos depende mucho del producto a tratar. En general tanto túneles de radiación como tambores rotatorios coinciden en

una característica en particular y es la disposición de las luces alrededor de toda la estructura del equipo, permitiendo irradiar el producto que ingresa al equipo en su totalidad. Para el caso del banano, la utilización de estos equipos se limita ya que solo existe el interés de irradiar las coronas de banano para así evitar el oscurecimiento de las cáscaras de la fruta.

### **2.2.2. Tipos de lámparas**

La radiación ultravioleta se genera mediante lámparas especiales, entre las fuentes de emisión más utilizadas se encuentran las lámparas de vapor de mercurio, de luz pulsada y de LED ultravioleta. En la selección de la fuente de luz a utilizar, se debe considerar aspectos como la eficiencia eléctrica, el método de emisión de radiación UV-C, la intensidad de la luz, la temperatura, el espesor de emisión y la vida útil de la lámpara. También es importante tomar en cuenta propiedades ópticas de dispersión y absorbancia del alimento que influyen en la eficiencia de los tratamientos [24], además de variables como tiempo de exposición y el tipo de tratamiento que se desea generar [25].

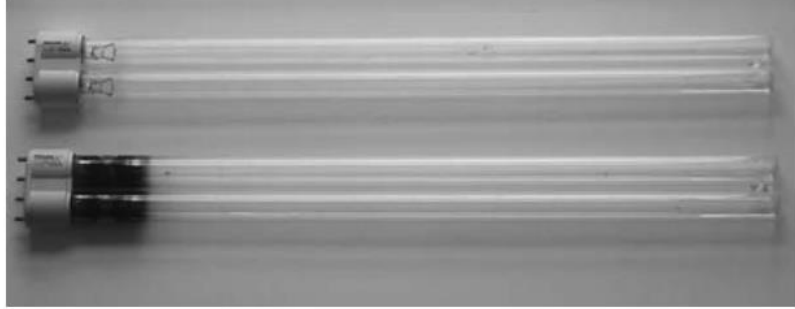
Existen lámparas UV-C cuya longitud de onda fundamental es de 185 nm, estas son como las lámparas de mercurio de baja presión a diferencia que solo producen longitudes de onda UV-C [26]. Por tanto, funcionan igual que las lámparas de fluorescencia tradicionales y para su funcionamiento necesitan de un balasto electrónico.

También, se presentan con los mismos formatos (tipo de lámpara) y casquillos (zona de la lámpara que encaja con el portalámpara) que las lámparas fluorescentes

tradicionales, T8 y TC-L, principalmente, en potencias que van desde 5 a 75 W según el fabricante. Es importante destacar que el rendimiento de estas lámparas es alrededor del 30%, esto quiere decir que no toda la potencia eléctrica se transforma en radiación. Las lámparas UV-C tienen una vida de alrededor de 9000 horas y su radiación UV-C disminuye en más de un 15% a la mitad de su vida útil. Es conveniente tener este dato en cuenta para asegurar el efecto germicida en toda la vida útil de la lámpara [27].

En cuanto al mantenimiento de las lámparas UV, estas se remplazan una vez al año o cada 9 o 10 mil horas de uso continuo, ya que algunas lámparas especialmente las lámparas ultravioleta pequeñas, pueden tener una vida útil corta. Las condiciones de trabajo a las que son expuestas las lámparas (altas o bajas temperaturas) también afectan su vida de utilidad, al igual que lo hace el constante encendido y apagado de estas [26]-[27].

Por esta razón es importante la inspección visual de las lámparas como método de mantenimiento regular. Alternativamente, se puede utilizar un radiómetro, con las precauciones adecuadas y vestimenta, para verificar que las lámparas UV estén funcionando cerca de su salida de diseño. También se puede verificar si estas se han quemado, ya que tendrán áreas oscuras cerca de los electrodos, como se muestra en la figura 2-7 [26].



**Figura 2-7.** Ejemplo de una lámpara UV quemada (abajo) con respecto a una lámpara nueva (arriba) [26].

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Evaluación de línea de producción en plantas empacadoras de banano**

El diseño para un equipo de tratamiento de coronas de banano debe cumplir determinados requisitos específicos necesarios para poder ser incorporados en una planta empacadora de banano.

Conocer el nivel tecnológico con el que se aplican actualmente los tratamientos de coronas en la planta de empaque, así como el proceso total de la línea de producción es importante ya que permite trabajar sobre una base de parámetros constructivos, de distribución en planta y de capacidad del equipo.

En esta parte del proyecto, se realizó un análisis de la dinámica del proceso en cuatro plantas de empaque ubicadas en la provincia de Limón, donde se observó el funcionamiento de los equipos utilizados en la línea de producción (en el tratamiento de coronas), se hizo un levantamiento de equipos, se observó el flujo del proceso, se determinó capacidad de producción por línea de trabajo y tiempos de operación de los equipos utilizados en el área del tratamiento de las coronas. Es importante recalcar que la visita a las plantas de empaque fue limitada debido a la crisis sanitaria que vive en país por el Covid-19.

#### **3.2. Determinación de parámetros constructivos y técnicos**

Conocer las dimensiones y la masa de las manos y coronas, permite determinar la carga del equipo, así como las dimensiones por donde es transportada e irradiada la corona del banano. Esta parte de la investigación fue realizada en el Laboratorio



de Poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica ubicada en San Pedro de Montes de Oca, provincia de San José, Costa Rica.

### 3.2.1. Dimensionamiento de las manos de banano

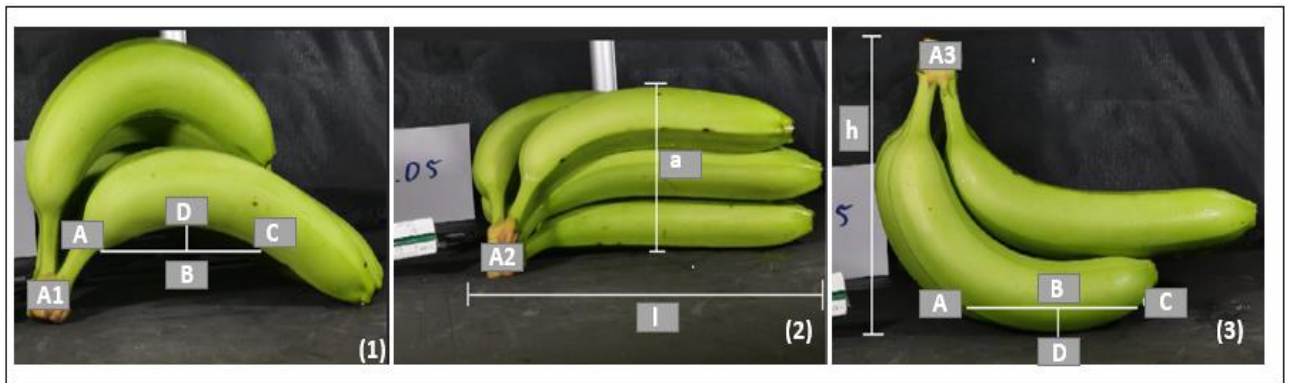
Las dimensiones de las manos de banano se tomaron mediante la utilización del programa ImageJ 1.52p. Este programa es una herramienta utilizada para el procesamiento de imágenes que permite calcular los valores de área y píxel. También permite medir distancias, ángulos, crear histogramas de densidad y funciones estándar de procesamiento de imágenes. Para el análisis de las imágenes de banano, se utilizó un total de 62 manos (cuatro cajas de banano) en estado de exportación (verdes) a las que se tomó fotos de 3 perfiles diferentes (figura 3-1), con el objetivo de poder abarcar todas las áreas de la fruta.



**Figura 3-1.** Perfiles de la mano de banano, (1) vista superior, (2) vista lateral izquierdo y (3) vista lateral derecho.

Las dimensiones determinadas en el programa, como se muestra en la figura 3-2, fueron el área de la corona (A1, A2 y A3), el ancho de la mano (a), el largo de la

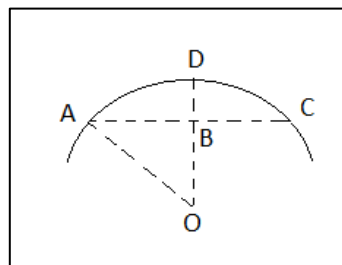
mano ( $l$ ), la altura de la mano ( $h$ ) y las variables para el cálculo de la curvatura interna y externa ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ). Para poder medir las dimensiones mostradas se necesitó un escalímetro para indicar una distancia conocida en la imagen y así asignarle la cantidad de píxeles que representa esa distancia para obtener un valor real de las variables medidas.



**Figura 3-2.** Dimensiones de las variables evaluadas de las manos de banano, (1) vista lateral izquierdo, (2) vista superior y (3) vista lateral derecha.

La curvatura interna y externa de la mano de banano se determinó mediante la ecuación (3-1) y utilizando la metodología mostrada en la figura 3-3.

$$R = \frac{(AC)^2}{8(BD)} + \frac{(BD)}{2} \quad (3-1)$$



**Figura 3-3.** Metodología utilizada para el cálculo de curvatura de las frutas, modificado de [28].

### **3.2.2. Dimensiones de las coronas de banano**

Las dimensiones de las coronas de banano se realizaron mediante la utilización de un vernier digital Truper con una resolución de  $\pm 0,05$  mm. Debido a que la corona del banano no posee una forma regular, se midió el ancho y la altura de la parte frontal y posterior de la corona. Estas variables fueron consideradas para conocer al tamaño de la corona y no para determinar el tamaño del corte en la corona. En total se utilizó una muestra de 62 coronas de banano de exportación.

### **3.2.3 Determinación de la masa de las manos de banano**

La masa es una variable que se debe considerar a la hora de determinar la carga de producto que debe soportar el equipo. Para la determinación de la masa se utilizó una balanza digital OCONY ES-300H con una resolución de  $\pm 0,005$  g. En total se analizó la masa de 62 manos de banano de exportación.

### **3.2.4 Determinación de la potencia de la lámpara**

El equipo diseñado opera de manera continua para poder garantizar los tiempos de exposición de la fruta. Para determinar la velocidad de trabajo de la banda transportadora primero se deben conocer los tiempos de operación del equipo a diseñar en base a tiempos de operación de equipos que se utilizan en plantas empacadores y a tiempos de procesamiento por operación en el acondicionamiento del banano. A partir de ese valor se determina la potencia de las lámparas para poder garantizar el tratamiento a la dosis recomendada de  $1,30$  kJ/m<sup>2</sup> [4].

La potencia de la lámpara es calculada según la ecuación (3-2). La dosis se calculó a partir del producto del tiempo de exposición, en este caso el tiempo que duró el equipo en irradiar una bandeja para no retrasar la operación en planta, y la irradiancia [29]. La irradiancia tiene las unidades de W/m<sup>2</sup>, mientras que la dosis de ultravioleta tiene las unidades de kJ/m<sup>2</sup> [30].

$$D = I \times t \times 10^3 \quad (3-2)$$

Donde D: dosis (kJ/m<sup>2</sup>), I: irradiancia (W/m<sup>2</sup>), t: tiempo de exposición (s).

La irradiancia está dada por la ecuación (3-3) [26].

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (3-3)$$

Donde I: irradiancia (W/m<sup>2</sup>), P: potencia (W), r: distancia de la fuente de luz respecto al objetivo a irradiar (m).

La potencia de la lámpara se calculó mediante las ecuaciones (3-2) y (3-3). Sin embargo, estas ecuaciones se modificaron con el objetivo de obtener un conjunto de lámparas (n), como se muestra en la ecuación (3-4). La utilización de un número mayor de lámparas permite una mejor distribución de la luz dentro del equipo y además permite la selección de lámparas con menores potencias, que facilitarán la utilización de componentes eléctricos para su operación.

La potencia de la lámpara está dada por la ecuación (3-4) [26].

$$P = \frac{4\pi r^2 \times D}{n \times t \times 10^{-3}} \quad (3-4)$$

Donde P: potencia (W), D dosis (kJ/m<sup>2</sup>), n: número de lámparas, r: distancia de la fuente de luz respecto al objetivo a irradiar (m), t: tiempo de exposición (s).

Con la potencia de la lámpara para aplicar el tratamiento, se determinó el largo del área de exposición en la banda transportadora. En esta distancia se tiene que garantizar el tiempo de exposición de la fruta, por lo que la velocidad va en función a el largo del área expuesta a la radiación y no necesariamente al largo total de la banda. El tiempo que se utilizó para el cálculo de la velocidad se determinó a partir de la selección de la lámpara de catálogos comerciales.

### **3.2.5 Determinación de la capacidad de carga de la banda transportadora**

La capacidad de transporte de la banda está dada por la ecuación (3-5), donde la capacidad de transporte es el producto de la capacidad volumétrica de la banda por el peso específico del material transportado [31].

$$Q_m = \gamma \times Q_v \quad (3-5)$$

Donde Q<sub>m</sub>: capacidad de transporte de la banda (t/h), Q<sub>v</sub>: Capacidad volumétrica (m<sup>3</sup>/h),  $\gamma$ : peso específico del material transportado (t/m<sup>3</sup>).

El peso específico se determinó a partir de la ecuación (3-6), donde se utilizó el peso de un conjunto de frutas en un empaque [32].

$$\gamma_r = \frac{M_p}{V_r} \quad (3-6)$$

Donde  $\gamma_r$ : peso específico del recipiente (t/m<sup>3</sup>), M<sub>p</sub>: masa del producto o conjunto de productos (t), V<sub>r</sub>: volumen del recipiente o del empaque (m<sup>3</sup>).

La masa del conjunto de productos con que se trabajó se basó en la suma de las masas de 16 manos de banano, la bandeja donde son colocadas las manos de banano y la tapa de protección diseñada para operar el equipo. El volumen del empaque se determinó a partir de las dimensiones de la tapa de protección en la que es contenida una bandeja de manos de banano.

La capacidad volumétrica está dada por la ecuación (3-7).

$$Qv = 3600 \times v \times A \times k \quad (3-7)$$

Donde Qv: capacidad (m<sup>3</sup>/h), v: velocidad de la banda (m/s), A: Sección transversal del material sobre la banda (m<sup>2</sup>), k: coeficiente de reducción de capacidad por inclinación.

La sección transversal (A) se determinó a partir del espacio ocupado por la tapa de protección ya que este abarca en su interior el conjunto de la bandeja con las manos de banano que ocuparan el espacio de una caja de exportación. El coeficiente de reducción de capacidad por inclinación esta dado por la ecuación (3-8).

$$k = 1 - 1,64 \times \left( \frac{\varphi \times \pi}{180} \right)^2 \quad (3-8)$$

Donde k: factor de inclinación de la banda,  $\varphi$ : ángulo de inclinación de la banda. Para el diseño del equipo se determinó que el ángulo de inclinación de la banda es de 0°, por lo que k tiene un valor de 1.

### 3.2.6 Determinación de la potencia de la banda transportadora

La potencia mecánica del equipo diseñado va enfocado a la operación de la banda transportadora. Para el cálculo de la potencia del motor, se utilizó la ecuación (3-9), que se utiliza para el cálculo total de la potencia de la banda [31].

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \quad (3-9)$$

Donde P1: potencia necesaria para mover la cinta en vacío y cargada, con desplazamiento horizontal de la cinta (kW), P2: potencia necesaria para elevar la carga hasta una cierta altura (kW), P3: potencia necesaria para vencer rozamientos de elementos auxiliares, dispositivos de limpieza y guías (kW).

En la ecuación (3-10) se observa el cálculo de la potencia 1 [31].

$$P_1 = \frac{Cb \times v + Qm}{Cl \times kf} \quad (3-10)$$

Donde Cb: factor ancho de la banda (kg/m), v: velocidad de la banda (m/s), Qm: Capacidad de transporte de la banda (t/h), Cl: factor de longitud de la banda (1/m), kf: factor de servicio. Tanto el factor ancho de la banda, el factor de longitud de la banda y el factor servicio son determinados a partir de tablas para el cálculo de bandas transportadoras.

En la ecuación (3-11) se calculó la potencia 2 [31].

$$P_2 = \frac{H \times Qm}{367} \quad (3-11)$$

Donde H: altura de la banda transportadora (m), Qm: capacidad de transporte de la banda (t/h). Para el caso del diseño del equipo, se consideró que la potencia necesaria para elevar la carga hasta cierta altura es de 0, ya que no es necesario realizar esta operación en el diseño.

En la ecuación (3-12) se calculó la potencia 3 [31].

$$P_3 = \sum(P_a + P_b + P_c) \quad (3-12)$$

Donde Pa: potencia debida a los trippers (kW) (elemento móvil que se desplaza por la banda transportadora a través de unos raíles situados sobre el bastidor, permitiendo la descarga del producto en cualquier punto de la banda), Pb: Potencia debida a los dispositivos de limpieza (kW), Pc: Potencia debida a dispositivos guía de carga y faldones (kW).

Además de la potencia necesaria para el accionamiento de la banda transportadora, el equipo para el tratamiento de coronas fue diseñado con base a que variables como la potencia de las lámparas, el número de lámparas y la distancia (r) que existente entre las fuentes de luz y las coronas se mantendrían fijos. Por lo que la única variable modificable es el tiempo para así poder variar las dosis aplicadas.

Por eso se consideró la utilización de un motorreductor, con el fin de poder modificar las dosis a aplicar según lo requiera la empresa. Para la selección del motorreductor, se utilizó el diámetro del rodillo motor dado por la ecuación (3-13) [31].



$$DT_{min} = \frac{36 \times Ft}{\rho \times \pi \times \alpha \times B} \quad (3-13)$$

Donde Ft: la fuerza tangencial en el régimen de giro estacionario (N),  $\alpha$ : ángulo de contacto entre la banda y el tambor ( $^{\circ}$ ), B: ancho de la banda de la cinta (m),  $\rho$ : capacidad de transmisión tambor/banda. Este valor suele estar comprendido entre 1600-2000 kg/m<sup>2</sup>.

### **3.3. Diseño del equipo para irradiar las coronas de banano**

Para el desarrollo del diseño se utilizó el software Autodesk Inventor Professional 2020 [33] para modelar el equipo y la tapa de protección de las manos de banano. La selección de los materiales de los diseños se basó en la aplicación del equipo en la industria alimentaria, ambiente de exposición, uso de radiación ultravioleta, costos y resistencias a las cargas expuestas.

Para el diseño del equipo, inicialmente se realizó el diseño de una cobertura para dejar expuestas las coronas de banano y evitar el oscurecimiento de la cáscara de la fruta.

#### **3.3.1. Diseño de tapa de protección**

##### **3.3.1.1. Prueba preliminar de protección**

Para preservar el color de las manos de banano expuestas a la radiación UV-C, se realizó un diseño preliminar de la protección a utilizar en el equipo para determinar los efectos del tratamiento en las manos sin ningún tipo de cobertura y para probar la eficacia de las cerdas y de la tapa utilizada como protección de las manos.

En la prueba preliminar de protección, se utilizó una caja de cartón que pudiera abarcar en su interior un total de dos manos de banano; a esta caja de cartón se le realizó un canal por donde se expuso únicamente las coronas del banano. Para una mayor protección de las manos, al canal de la caja se le colocó grupos de cerdas de nylon de color negro para evitar el paso de la radiación por medio del canal al interior de la caja.

Esta prueba consistió en la utilización de cinco manos de banano, donde a una mano de banano no se le aplicó radiación UV-C, a dos manos se les aplicó el tratamiento sin la protección de la caja de cartón y a las otras dos manos se les aplicó radiación con la protección. En esta prueba no se utilizó un grado específico de maduración de la fruta ya que solo se observó el grado de afectación producto de la radiación

Para la irradiación de la luz ultravioleta se utilizó una lámpara de mercurio de 30 W (philips TUV 4WG4T5). Las manos irradiadas en esta prueba fueron expuestas por un tiempo de 7 minutos, en este caso no se determinó la dosis a las que fueron expuestas, ya que la prueba consistió en ver la eficiencia de las cerdas y caja como protección de las manos.

Para el análisis de la prueba preliminar se realizó fotografías de las manos de banano en cuatro perfiles distintos (frontal, posterior, lateral derecho y lateral izquierdo). Las fotografías fueron tomadas antes de aplicar la radiación y luego de ser tratadas con radiación y almacenadas durante 2 semanas en cámaras de refrigeración a 14°C.

### **3.3.1.2 Prueba de protección**

Se realizó el diseño de una tapa con tres canales para la exposición de las coronas que abarcó en su interior una bandeja completa de las manos de banano. Esta tapa fue diseñada para que todas las coronas puestas en bandejas en el proceso de poscosecha quedaran expuestas mientras que el resto de las manos quedaran cubiertas. El objetivo de esta prueba consistió en determinar el nivel de protección de las coberturas utilizadas en la tapa de protección mediante la observación del oscurecimiento en las cáscaras de banano después de ser almacenadas e irradiadas con UV-C.

En los canales de esta tapa de protección se utilizó tres configuraciones distintas de cobertura para el canal y así evitar el paso de la radiación al interior de la tapa, a el primer canal se le agregó una cobertura con cerdas de nylon, a el segundo canal se le utilizó una cobertura de cerdas con nylon con un empaque tipo hule (la utilización del hule a nivel industrial para el tratamiento con radiación UV-C implica el uso de aditivos como el negro de carbón para reducir el deterioro causado por la radiación) y para la tercera cobertura se utilizó únicamente un empaque tipo hule. Para el caso de este proyecto, el hule utilizado fue sin aditivos ya que se deseaba observar si el material permitía el ingreso de la radiación a las manos colocadas en el interior de la tapa.

Para la prueba de las 3 configuraciones de las coberturas de los canales, se utilizó una lámpara de mercurio de 30 W (philips TUV 4WG4T5) y un radiómetro marca TIF, mod.TIF3710. Por cada cobertura se realizó 3 pruebas en las que se mantuvo constante el tiempo y se modificó la altura (10, 25, 35 cm) que existe entre la fuente

de luz y el objetivo a irradiar (coronas). Las dosis aplicadas en cada prueba variaron debido a que solo el tiempo se mantuvo constante y las distancias variaron, aunque se reportó la radiación en cada una de las pruebas, el valor a medir en este caso fue la eficacia de las coberturas mediante la presencia de zonas oscuras en las cáscaras de banano causadas por la radiación.

Adicional a las pruebas realizadas en las tres configuraciones, se realizó una prueba a una cuarta configuración del canal que consistió en la utilización de un mayor número de cerdas de nylon para una mayor protección de las manos. En el cuadro 3-1 se muestra las pruebas realizadas para cada configuración de las coberturas implementadas en la tapa de protección. Las pruebas que se realizaron para cada una de las distancias están indicadas en el cuadro. En cada una de las pruebas se utilizó un tiempo de 2 minutos de exposición.

**Cuadro 3-1. Pruebas realizadas para configuraciones de cobertura.**

Configuración de la cobertura	Distancia (cm)		
	10	25	35
2 banda de cerdas	X	x	X
2 banda de cerdas + empaque	X	x	X
Empaque	X	x	
4 banda de cerdas		x	

El análisis de las configuraciones de cobertura se realizó mediante fotografías de las manos de banano en 4 perfiles distintos (frontal, posterior, lateral derecho y lateral izquierdo). Las fotografías fueron tomadas antes de aplicar la radiación con la tapa diseñada y luego se tomaron fotografías de las mismas manos 2 semanas

después de haber sido almacenadas en cámaras de refrigeración a 14°C y tratadas con radiación UV-C.

### **3.3.2. Diseño del diagrama eléctrico de las lámparas y del motor de la banda transportadora**

Para el diseño del diagrama eléctrico del sistema de iluminación y el sistema de potencia de la banda, se utilizó el software AutoCAD 2022. El sistema eléctrico del equipo diseñado se encarga de operar diferentes elementos como las luces y el motor eléctrico. Para el diseño del equipo se trabajó con lámparas ultravioleta, estas funcionan igual que las lámparas de fluorescencia tradicionales y requieren del uso de un balastro electrónico para su funcionamiento correcto. Las lámparas UV que se seleccionó presenta el mismo formato y casquillos de las lámparas T8.

Se consideró que el sistema eléctrico para el control de las lámparas de radiación ultravioleta fuese adaptable a la instalación eléctrica industrial propia de toda planta de producción de banano, así como que su operación fuese sencilla para los operadores en planta.

Se garantizó que el sistema energético cumpla con la capacidad de alimentación para el adecuado funcionamiento de todas las lámparas de radiación ultravioleta, a la vez que se estableció que dicho sistema contará con sistemas de protección (elementos fusibles) que salvaguarden la integridad de balastros, lámparas, entre otros.

Para el diseño de sistema de iluminación del equipo se consideró un indicador visual que permita identificar si las lámparas se encuentran funcionando o por si el

contrario existe un desperfecto en estas; dicho indicador externo es requerido ya que el operador no cuenta con visualización del interior de la cámara de radiación a la hora de su funcionamiento.

En cuanto al diseño del sistema eléctrico para el control motriz de la banda transportadora, al igual que el sistema de control de las lámparas, se consideró que fuese adaptable a la instalación eléctrica industrial propia de toda planta de producción de banano, así como que la operación fuese sencilla para los operadores de planta.

Se garantizó que el sistema energético cumpla con la capacidad de alimentación para el adecuado funcionamiento del motor eléctrico encargado de generar el movimiento de la banda transportadora. Se consideró que el sistema cuente con sistemas de protección (elementos fusibles) que salvaguarden la integridad del motor eléctrico ante picos de voltaje o carga parásitas de la red de alimentación eléctrica.

### **3.4. Evaluación financiera y técnica**

A fin de evaluar la factibilidad económica de la implementación del equipo y la rentabilidad de este proyecto, se determinó los principales costos para la puesta en marcha del equipo en una línea de producción de la planta empacadora del banano, considerando costos de inversión (materiales y mano de obra de fabricación) y costos operativos (mano de obra, mantenimiento, depreciación entre otros).

La evaluación de costos de consumo energético se determinó utilizando la tarifa industrial del kWh vigente al 01 de octubre del 2021 de la Compañía Nacional de

Fuerza y Luz (CNFL) [34]. Los costos de fabricación del equipo considerando materiales y mano de obra se obtuvieron a partir de distintas cotizaciones en taller de mecánica de precisión y proveedores de materiales, tanto locales como en el extranjero. Se utilizó una tasa de cambio del dólar promedio para el año 2021 según datos del Banco Central de Costa Rica (BCCR), para un tipo de cambio de 615,56 colones por dólar estadounidense [35].

Se realizó un flujo base considerando un período de estudio de 10 años para determinar la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN), los cuales son indicadores para evaluar la factibilidad financiera del proyecto, considerando un aumento anual de los costos de 3,75%, valor propio de la inflación promedio en Costa Rica para el período 2010-2020 [36].

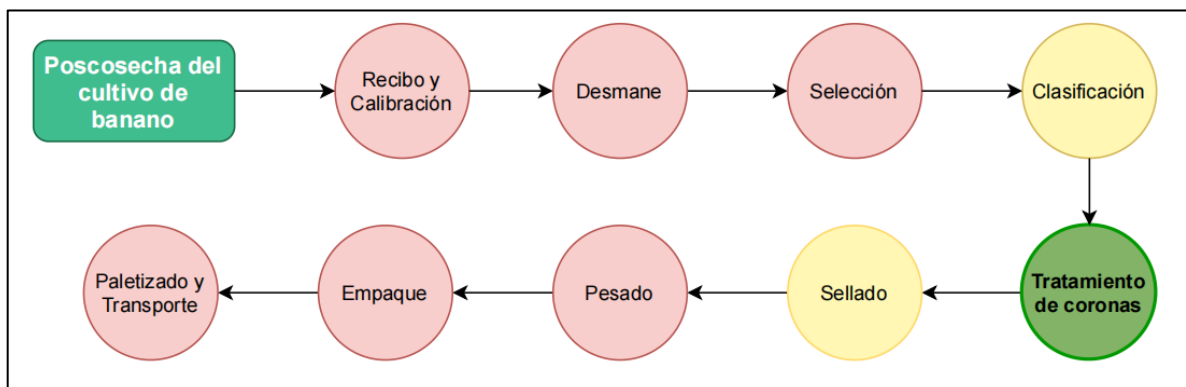
Ya que la implementación de este equipo busca reemplazar otras tecnologías para protección de coronas utilizadas en líneas de producción de plantas empacadoras, el flujo base toma como comparativa, el ahorro e ingreso al reemplazar un equipo de aspersión de productos químicos, considerando rubros de ahorro en consumo eléctrico e insumos químicos [37]-[38].

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Evaluación de la línea de producción en planta empacadoras de banano

Para el diseño del equipo de tratamiento de coronas de banano, el primer criterio se basó en conocer el producto con que se va a trabajar. Se investigó sobre el proceso de producción para el banano de exportación y como al modificar ciertas variables como el manejo de la fruta, la colocación de la fruta, la distribución del equipo diseñado en el flujo del proceso y el tiempo de operación del equipo diseñado dentro del flujo de trabajo puede afectar la construcción e implementación del equipo en planta.

El manejo poscosecha del banano, como se muestra en figura 4-1, está dado por una secuencia de operaciones que se deben seguir para garantizar la calidad de la fruta. En el caso del equipo diseñado, este debe ir en la operación del tratamiento de coronas, donde considerar como ingresa y sale la fruta del equipo puede llegar afectar las operaciones de clasificación y sellado.



**Figura 4-1.** Diagrama de flujo del manejo poscosecha de la fruta de banano.



En primera instancia se analizó el manejo de la fruta, si esta era conveniente procesarla en el equipo de manera individual (por manos) o en bandejas, con el objetivo de determinar el modo de operación y tamaño de la estructura del equipo diseñado. Sin embargo, se definió utilizar el producto en bandejas como se realiza en las plantas de empaque para evitar atrasar el procesamiento, evitar el aumento de las operaciones ya existentes y alterar el orden del flujo en planta.

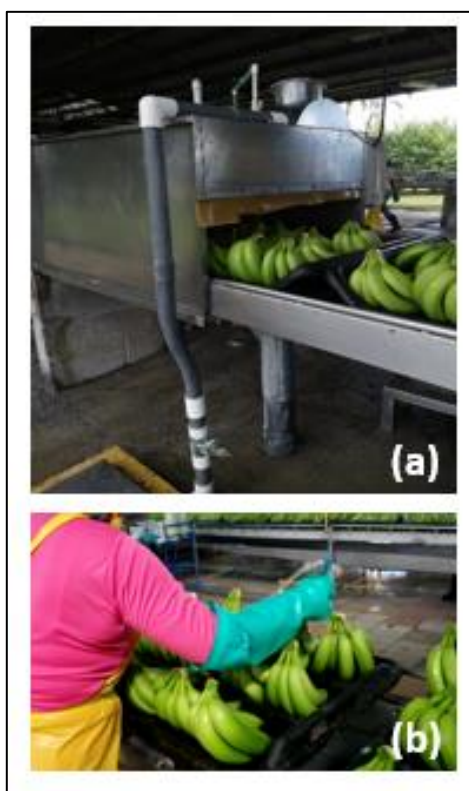
Si se hubieran utilizado las manos de manera individual para la aplicación del tratamiento de las coronas, se tendría que alterar el orden de las operaciones y agregar una operación adicional después de la selección de las manos, que consistiría en la colocación de las manos en la banda transportadora para la aplicación del tratamiento de las coronas. Luego de esta operación adicional, las manos pasarían a el tratamiento de las coronas para seguir con la operación de la clasificación en bandejas y así poder continuar con el flujo normal en planta.

Otro análisis con respecto al manejo de la fruta se basó en si esta debió colocarse con la corona en dirección hacia arriba o hacia abajo. Pero al igual que el caso anterior, esto supondría un aumento de operaciones en el flujo. Donde se debería acomodar las manos hacia abajo inicialmente y luego de finalizado el tratamiento de la corona, debería realizarse un reacomodo de las manos con las coronas hacia arriba para poder realizar la operación de sellado.

Además, la fruta en el manejo poscosecha se maneja en húmedo, por lo que colocar las fuentes de luz para irradiar las coronas por abajo implicarían un mantenimiento constante de las lámparas debido a la exposición de látex y agua. A todo lo

mencionado anteriormente, debe sumársele que hay más riesgo de daño mecánico en la fruta y que debería diseñarse una bandeja o mecanismo especial para la sujeción de la mano hacia abajo.

Luego de analizar cómo afecta el manejo de la fruta en el diseño, se analizó el nivel tecnológico existente actualmente en la operación de tratamientos de coronas en plantas de empaque. Como se muestra en la figura 4-2, hay dos tipos de equipos utilizados para el tratamiento de coronas, uno se basa en el uso de cámaras de aspersión (figura 4-2 (a)) y el otro se basa en el uso de brochas (figura 4-2 (b)).



**Figura 4-2.** Manejo poscosecha del tratamiento de las coronas en banano en plantas de empaque, (a) cámara de aspersión y (b) tratamiento con brocha.

Una planta empacadora, dependiendo de su tamaño puede tener una o más líneas de trabajo donde cada línea incluye las operaciones mostradas en la figura 4-1. En el caso de una línea de trabajo, se observó que esta tiene la capacidad de procesar aproximadamente 960 cajas en las 10 horas laborales diarias (una línea de trabajo procesa un contenedor diario).

Con base a la capacidad de procesamiento por línea de producción y a las horas laborales diarias disponibles, se determinó que cada operación en esa línea de trabajo dispondrá de 30 segundos por caja, lo que indica que para el diseño del equipo de tratamiento de coronas con radiación UV-C, se debe garantizar que no se tardará más de esos 30 segundos en irradiar una bandeja.

Sin embargo, para el diseño se utilizó un tiempo de exposición de 7 segundos por caja, debido a que un equipo de aspersion para la aplicación de fungicidas en plantas de empaque dura aproximadamente ese valor. Si se desea diseñar un equipo competitivo con los equipos usados actualmente, este debe tener la capacidad de procesar la misma o mayor cantidad de fruta por un mínimo de tiempo, garantizando que el procesamiento en planta no será afectado ni abran cuellos de botellas en operaciones anteriores o posteriores ya que el equipo trabajará de manera similar a los equipos utilizados en la actualidad.

En el cuadro 4-1 se encuentran los criterios determinados mediante la evaluación e investigación de las líneas de producción del banano y que fueron utilizados en el diseño del equipo.

**Cuadro 4-1.** Criterios de diseño para el equipo de tratamiento de coronas de banano con radiación UV-C.

Criterio	Descripción
1	Tendrá una capacidad de procesamiento de un contenedor (960 cajas).
2	La cantidad promedio de manos por caja es de 16 manos.
3	Tiempo laboral disponible de 10 h diarias.
4	Dosis del tratamiento de coronas será de 1,30 kJ/m <sup>2</sup> [4].
5	La capacidad mínima del equipo es de una bandeja.
6	Dimensiones de la bandeja es de 87 x 66 x 10,5 cm.
7	Diseño incluirá banda transportadora para garantizar tiempos de producción en planta de empaque de banano.
8	Se tiene 30 segundos máximo para cada operación en planta.
9	El equipo procesará una caja cada 7 segundos.
10	Distancia mínima de la apertura del equipo debe ser mayor a la altura promedio de las manos de 21,5 cm.
11	Se requiere protección de las manos para evitar el oscurecimiento de las cáscaras de banano.
12	Es necesario el uso de materiales resistentes a la radiación UV-C para el diseño de la tapa de protección de las manos y para el equipo.
13	El equipo debe ser de fácil mantenimiento e instalación, tanto para el sistema de iluminación como para la banda transportadora.
14	Se utilizarán lámparas de bajo costo y larga vida útil.
15	El equipo debe ser seguro para el operario.
16	El equipo debe ser seguro para el producto.
17	En planta el manejo del producto es en húmedo. Esto implica el uso de materiales resistentes a la corrosión para el diseño del equipo.
18	El equipo se debe adaptar a la industria actual para su fácil implementación.

## 4.2. Determinación de parámetros constructivos y técnicos

### 4.2.1 Dimensionamiento de las manos y coronas de banano

Otro criterio utilizado en el diseño del equipo es el dimensionamiento de las manos y de las coronas de banano, da una idea clara de determinadas dimensiones en la cámara de radiación, las cámaras de paso y tapa de protección.

En el cuadro 4-2 y el cuadro 4-3, se observan los valores promedios determinados. La altura y la masa de las manos fueron utilizados en el diseño del equipo, estos parámetros dieron un base de las medidas mínimas necesarias para las aberturas de las cámaras de paso y cámara de radiación para que las manos colocadas en las bandejas pudieran pasar a través de estas.

**Cuadro 4-2.** Dimensiones de las manos de banano.

	<b>Altura (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Radio externo (mm)</b>	<b>Radio interno (mm)</b>	<b>Masa (kg)</b>
<b>Promedio</b>	215,52	212,15	214,27	110,99	120,26	1,10
<b>Desviación estándar</b>	47,62	48,80	31,45	32,53	46,80	0,24

De manera inicial, se trabajó con el supuesto de que la altura de la abertura de las cámaras del equipo diseñado debería ser mayor a 21,50 cm y que la masa de las manos es de aproximadamente 1,10 kg. El diseño del equipo debe considerar una altura superior al promedio ya que toda la fruta a tratar debe de pasar por el equipo. En el cálculo de la capacidad de carga en la banda transportadora, se trabajó con

una masa aproximado de 18 kg, correspondiente a un promedio de 16 manos por caja.

En el caso de la tapa de protección de las manos que se diseñó se trabajó el ancho de 3,23 cm de las coronas, esto con el objetivo de tener una base para el diseño de las aberturas por donde se expone únicamente las coronas de la mano.

**Cuadro 4-3.** Dimensiones de las coronas de banano.

	Altura del cuello (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área total (mm <sup>2</sup> )
<b>Promedio</b>	23,49	32,29	17,56	1030,85
<b>Desviación estándar</b>	4,47	7,68	5,52	317,91

#### 4.2.2. Determinación de la potencia de las lámparas

La selección de la lámpara se estimó con la ecuación (3-4), donde se utilizó un número ( $n$ ) de siete lámparas para una mejor distribución dentro de la cámara de radiación, una distancia de aplicación del tratamiento de 0,25 m, una dosis de 1,30 kJ/m<sup>2</sup> [4] y un tiempo de exposición de 7 segundos.

$$P = \frac{4\pi(25)^2 \times 1,3}{7 \times 7 \times 10^{-3}} = 20,84 \text{ W}$$

A la potencia de la lámpara calculada se le aplicó un factor de seguridad de 20%, dando como resultado una potencia necesaria de 25,20 W para irradiar el banano. Se seleccionó una lámpara Philips TUV T8, de 75W con una entrega de potencia de radiación UV-C de 28,10 W.

Con base a el valor de la potencia de la lámpara seleccionada, se recalculó el tiempo de exposición a la que tendría que trabajar el equipo, el cual se estimó en 5,19 segundos por caja. De los datos del fabricante de estas lámparas se tiene que la longitud máxima del fluorescente es de 1,20 m [39]. Por tanto, se estimó una longitud de 1,37 m para la cámara de radiación, tomando en cuenta estructuras internas dentro de esta cámara como las cortinas, estructura de sujeción de las lámparas, portalámparas y cableado eléctrico. Tomando en cuenta la longitud de las dos cámaras de paso, la cámara de radiación y la colocación del motorreductor, se utilizó una longitud total de banda de 3,50 m.

Para el cálculo de la velocidad a la que debe operar la banda, se tomó en cuenta únicamente la longitud de la cámara de radiación, con el objetivo de garantizar el tiempo de exposición del tratamiento para cumplir con la dosis utilizada para el diseño. La velocidad de la banda se calculó a partir de la división de la longitud de la cámara de radiación (1,37 m) con el tiempo de exposición (5,19 s), donde la velocidad de la banda es de 0,26 m/s.

#### **4.2.3. Determinación de la capacidad de carga y potencia de la banda transportadora.**

En el cálculo de la banda se estimó que la capacidad volumétrica está dada por la ecuación (3-7), utilizando una sección transversal ( $A$ ) de 0,08 m<sup>2</sup> (basado en las dimensiones de la tapa de protección) y un factor de índice ( $k$ ) de 1.

$$Qv = 3600 \times 0,26 \times 0,08 \times 1 = 78,39 \text{ m}^3/h$$

La capacidad de carga de transporte de la banda transportadora se estimó utilizando un peso específico de 0,32 t/m<sup>3</sup>, donde la masa del recipiente está dada por la suma

de la masa de las manos, bandeja y tapa de protección y el volumen que ocupa es el de la tapa de protección. En la ecuación (3-5), se muestra el procedimiento utilizado para determinar la capacidad de transporte.

$$Qm = 0,32 \times 78,39 = 25,23 \text{ t/m}^3$$

El cálculo de la potencia de la banda esta dado por la suma de la potencia necesaria para mover la cinta en vacío (P1), la potencia necesaria para elevar la carga (P2) y la potencia para vencer el rozamiento de elementos auxiliares, dispositivos de limpieza y guías (P3). Donde la potencia de P1 es de 0,08 kW, P2 es de 0,00 kW ya que no se eleva la banda y P3 es de 0,23 kW. Dando una potencia final necesaria de 0,31 kW; aplicando una eficiencia mecánica del motor de 85%, la potencia final necesaria es de 0,37 kW. Para el diseño se seleccionó de catálogo un motor con una potencia de 0,75 kW (1,00 hp), ya que el equipo puede trabajar con una carga de tres bandejas en la totalidad de los 3,5 m de banda transportadora.

Para el cálculo del diámetro mínimo del tambor motriz, se utilizó la ecuación (3-13), donde la fuerza tangencial es de 1191,08 N, la capacidad de transmisión tambor/banda es de 1800 kg/m<sup>3</sup>, el ángulo de contacto entre el tambor y la banda es de 180° y se utilizó un ancho de banda de 0,80 m.

$$DT_{min} = \frac{36 \times 1191,08}{1800 \times \pi \times 180 \times 0,08} = 0,05 \text{ m}$$

Al final se utilizó un diámetro del tambor motriz de 0,32 m. Este fue seleccionado del catálogo Codimar para una banda de ancho de 800 mm [40], las medidas de



estos rodillos se utilizaron para el diseño de la banda. En el cuadro 4-4 se observan los valores utilizados para el diseño de la banda transportadora.

**Cuadro 4-4.** Resumen de datos para el diseño de la banda transportadora.

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Dimensiones de la banda</b>		
Longitud final de la banda	L (m)	3,50
Ancho de la banda transportadora	B (m)	0,80
Velocidad de la banda transportadora	v (m/s)	0,26
Longitud del rodillo seleccionado	l (m)	0,95
<b>Datos de la banda</b>		
Capacidad de carga de transporte	Qm (t/m <sup>3</sup> )	25,23
Resistencia de la banda para su selección	R (N/mm)	20,91
Tensión máxima de la banda	T1A (N)	2494,12
<b>Datos del tambor motriz</b>		
Diámetro del tambor seleccionado	DT (mm)	320,00
Velocidad de giro del tambor	nT (rpm)	17,25
<b>Datos del motor</b>		
Potencia del motor seleccionado	PM (kW)	0,75

### 4.3. Diseño del equipo para irradiar las coronas de banano

El diseño del equipo para irradiar las coronas de banano con radiación UV-C consiste en un túnel de radiación compuesto por una cámara de radiación y dos cámaras de paso colocadas sobre una banda transportadora para garantizar tiempos de exposición y de operación. Adicional a esto, se realizó el diseño de una tapa de protección para las manos de banano, necesaria para el tratamiento de las coronas.

### 4.3.1 Diseño de la tapa de protección

Para el diseño de la tapa de protección se realizó una prueba preliminar que consistió en buscar un material que permitiera la cobertura de las manos dejando expuesto únicamente las coronas de banano. Para estas pruebas se utilizaron las cerdas de nylon de un cepillo como el que se muestran en la figura 4-3 (1). Estas cerdas del cepillo fueron colocadas en una banda o tira como las que se muestra en la figura 4-3 (2). Las bandas de cerdas fueron colocadas en una caja de cartón de 38 x 26 cm y con una abertura para la colocación de las coronas de 4 x 35 cm, donde la colocación de las cerdas en la banda fue en grupos y no cerda por cerda.



**Figura 4-3.** Cerdas de nylon para la protección de las coronas (1) cerdas utilizadas en el diseño y (2) ejemplo de una banda de cerdas [41].

Los resultados obtenidos de la prueba preliminar se observan en la figura 4-4, donde transcurrido las dos semanas de almacenamiento, se ve el daño ocasionado por la radiación en las manos tratadas sin cobertura. Para el caso de las manos tratadas y a las que se les colocó la cobertura diseñada, se observó que, existe oscurecimiento en las manos, pero de menor intensidad que en el caso de las que no fueron cubiertas.

Observando el patrón de oscurecimiento de las manos cubiertas, el daño solo se dio en el área del cuello de las manos y en los costados externos de esta, debido a que la banda de cerdas diseñada se colocó en grupo de cerdas y no cerda por cerda individualmente, permitiendo el paso de la radiación entre los espacios de los grupos de cerdas. Por tanto, se determinó necesario buscar la manera de diseñar una banda con las cerdas colocadas una a una generando una mayor protección y flexibilidad para el paso de las coronas.

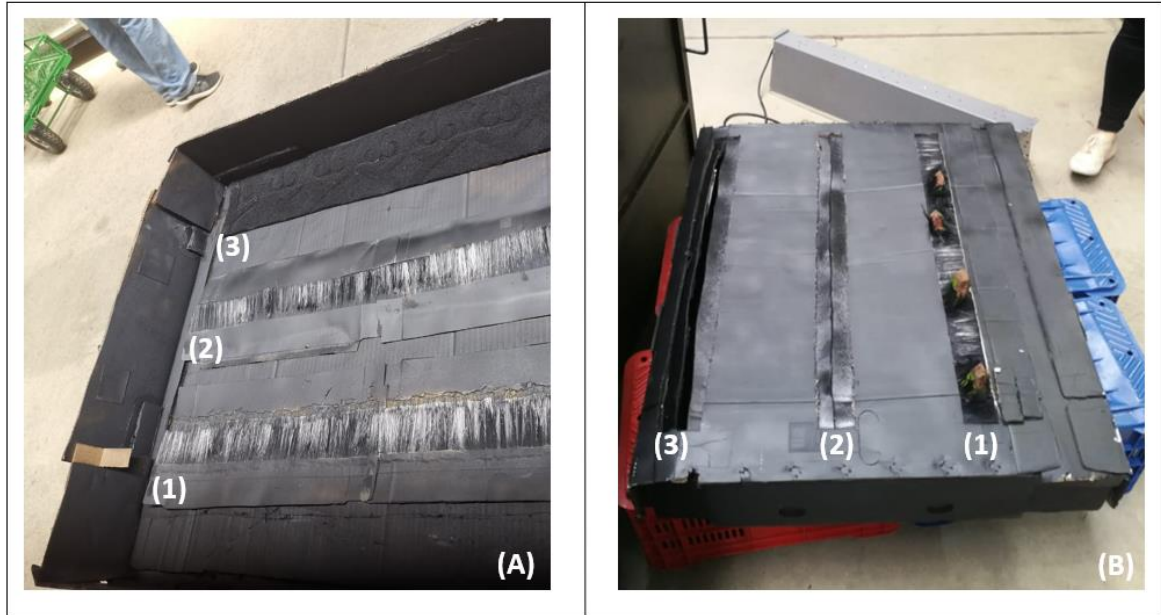


**Figura 4-4.** Prueba preliminar de cobertura de las manos de banano, (a)-(d) vistas de los perfiles de manos sin tratar, (e)-(h) vistas de los perfiles de manos tratadas sin cobertura, (i)-(l) vistas de perfiles de manos tratadas con cobertura.

En la prueba preliminar solo se utilizó cerdas de nylon para probar su cobertura, pero según los resultados obtenidos, se consideró conveniente realizar una prueba final que permitió observar la capacidad de cobertura de las cerdas colocadas en una banda de cerdas individualmente y no en grupos. Además, se decidió probar otro material para la cobertura que funcionara como empaque y permitiera la salida únicamente de la corona (en materiales como el hule, se deben utilizar aditivos como el negro de carbón para prolongar la vida útil del material).

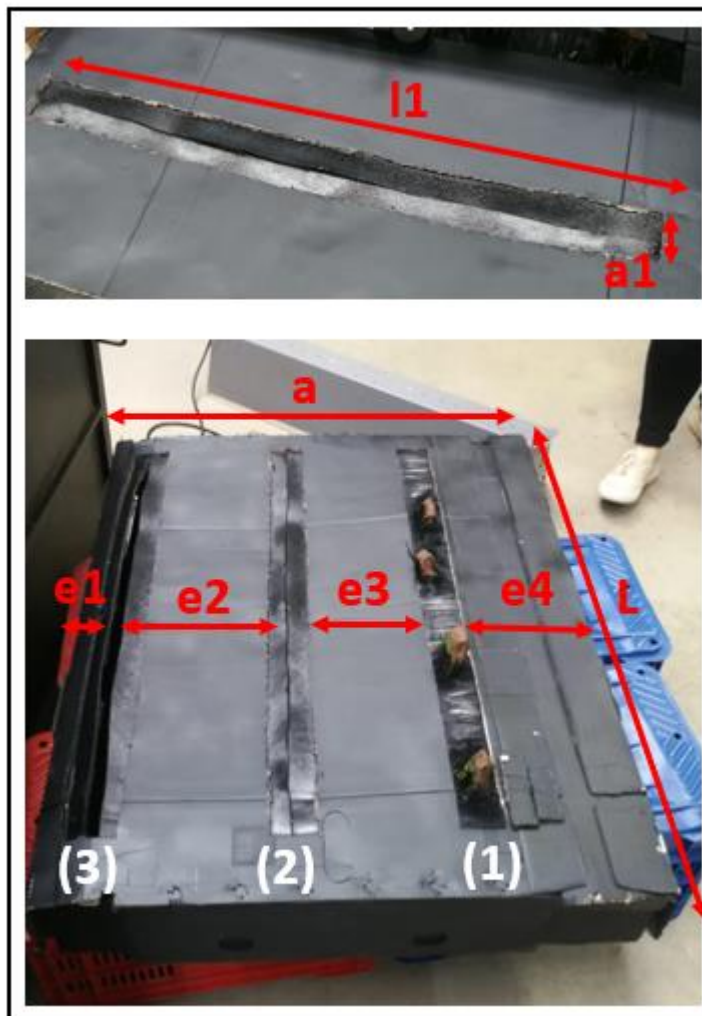
Para esta prueba, a diferencia de la prueba anterior, se diseñó una tapa que permitiera la cobertura de una bandeja de bananos. A esta tapa se le diseñó tres canales para permitir la salida de las coronas y a cada canal se le colocó una configuración distinta de coberturas.

En total se probaron 3 configuraciones distintas de coberturas en las aberturas de la tapa como se muestra en la figura 4-5, en (1) se utilizó dos bandas de cerdas de nylon colocadas cerda a cerda (114 cerdas por centímetro, donde el diámetro de la cerda fue de 0,15 mm), en (2) se utilizó dos bandas de cerdas de nylon colocadas cerda a cerda y hule para una mayor cobertura y en (3) solo se utilizó hule para la cobertura de la abertura. Las bandas construidas con nylon fueron diseñadas de manera que se pudiera remover y pegar, por lo que se realizó una prueba adicional en la que se utilizaron cuatro bandas de cerdas para tener una mayor densidad de estas y así lograr una mayor cobertura de las manos.



**Figura 4-5.** Tapa diseñada para la protección de las bandejas de manos de banano ((A) vista interna de la tapa y (B) vista externa de la tapa); donde: (1) canal con cobertura de cerdas, (2) canal con cobertura de cerdas y hule y (3) canal con cobertura de hule.

En la figura 4-6, se observan las variables de las dimensiones de la tapa para protección de las manos. Las dimensiones de las aberturas (1), (2) y (3) fueron diseñadas con el objetivo de que se pudieran colocar la mayor cantidad de manos permitidas según la configuración de las bandejas (87 x 66 x 10,5 cm) utilizadas en plantas de empaque.



**Figura 4-6.** Variables de dimensionamiento de la tapa de protección, donde: (a) ancho de la tapa, (L) longitud de la tapa, (l1) longitud del canal para la colocación de las coronas, (a1) ancho del canal, (e1), (e2), (e3) y (e4) espaciamiento entre canales y extremos de la tapa, (1), (2) y (3) canales de la tapa de protección.

Las dimensiones de la tapa de protección se determinaron a partir del tamaño de la bandeja junto con las manos de banano colocadas en esta. Es importante recalcar que las dimensiones tomadas fueron preliminares y algunas de estas se basaron en las dimensiones determinadas en el dimensionamiento de las manos y coronas. En el cuadro 4-5, se observan los valores preliminares de estas variables.

**Cuadro 4-5.** Dimensiones de la tapa de protección de manos de banana.

Variable	Longitud (cm)	Variable	Longitud (cm)
L	90,00	e2	17,50
a	74,50	e3	17,50
l1	78,00	e4	18,00
a1	6,00	h	13,00
e1	3,50		

En la figura 4-7 se observa el montaje realizado para la prueba de cobertura.



**Figura 4-7.** Montaje de tapa de protección para prueba de coberturas.

Durante las pruebas de coberturas expuestas a radiación, se observó varios aspectos con respecto al diseño de la tapa de protección, como que el uso de esta fue de fácil manipulación, su operación consistió en colocar las manos en los canales de las bandejas y luego en colocar la tapa sobre las bandejas con las



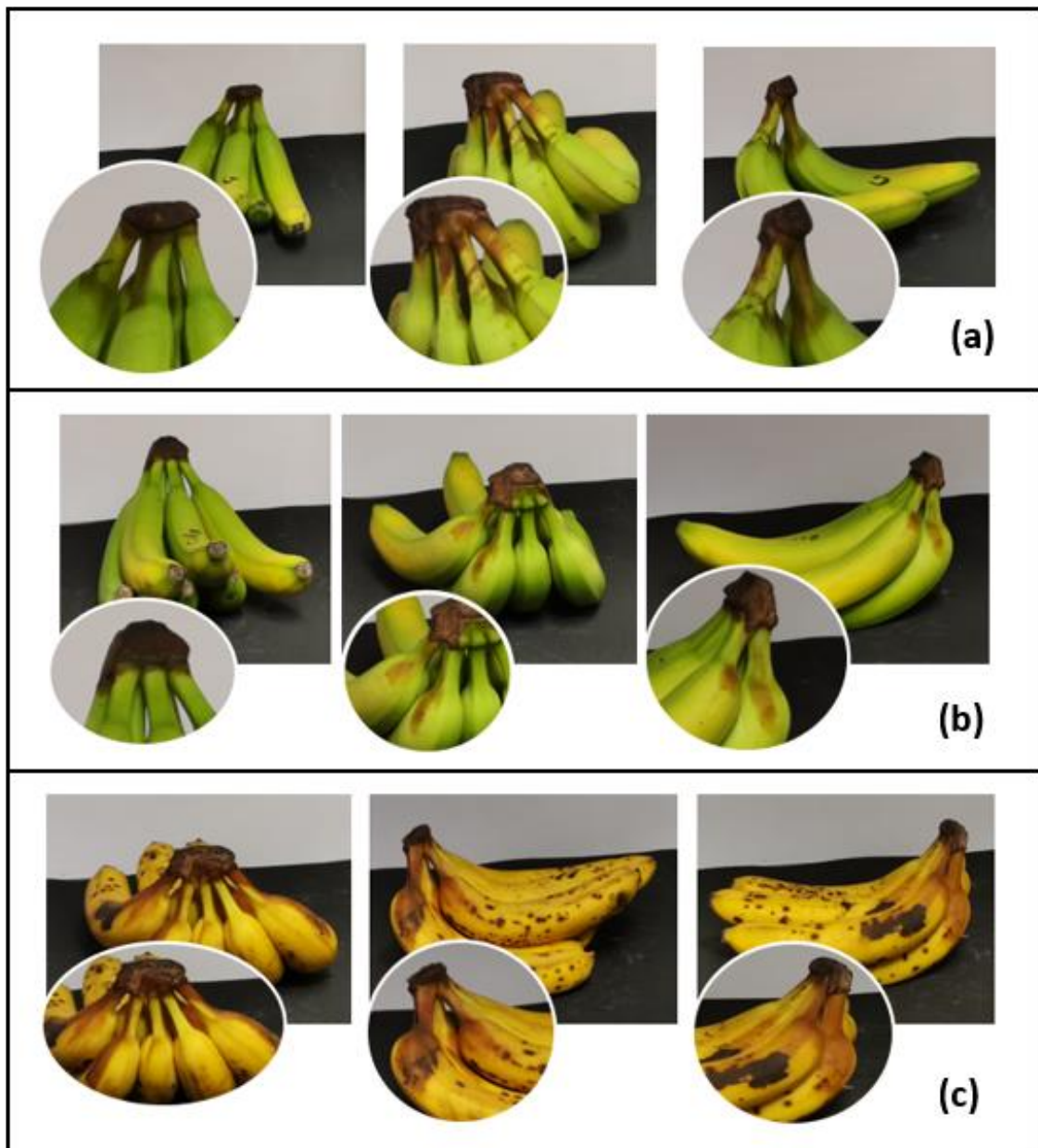
manos, presionando hacia abajo para que las coronas salieran en las aberturas con coberturas.

No existió complicaciones mayores en cuanto a su manipulación. Sin embargo, hubo casos aislados en los que se debió de acomodar algunas coronas que quedaban un poco más atrás respecto a la abertura. En cuanto a las alturas de las manos, no hubo problema ya que la tapa al tener una altura menor a estas permitía presionar la tapa hacia abajo logrando que todas las coronas quedaran expuestas. Debido a estas observaciones, se decidió realizar modificaciones en el diseño evitando que se vuelvan a presentar.

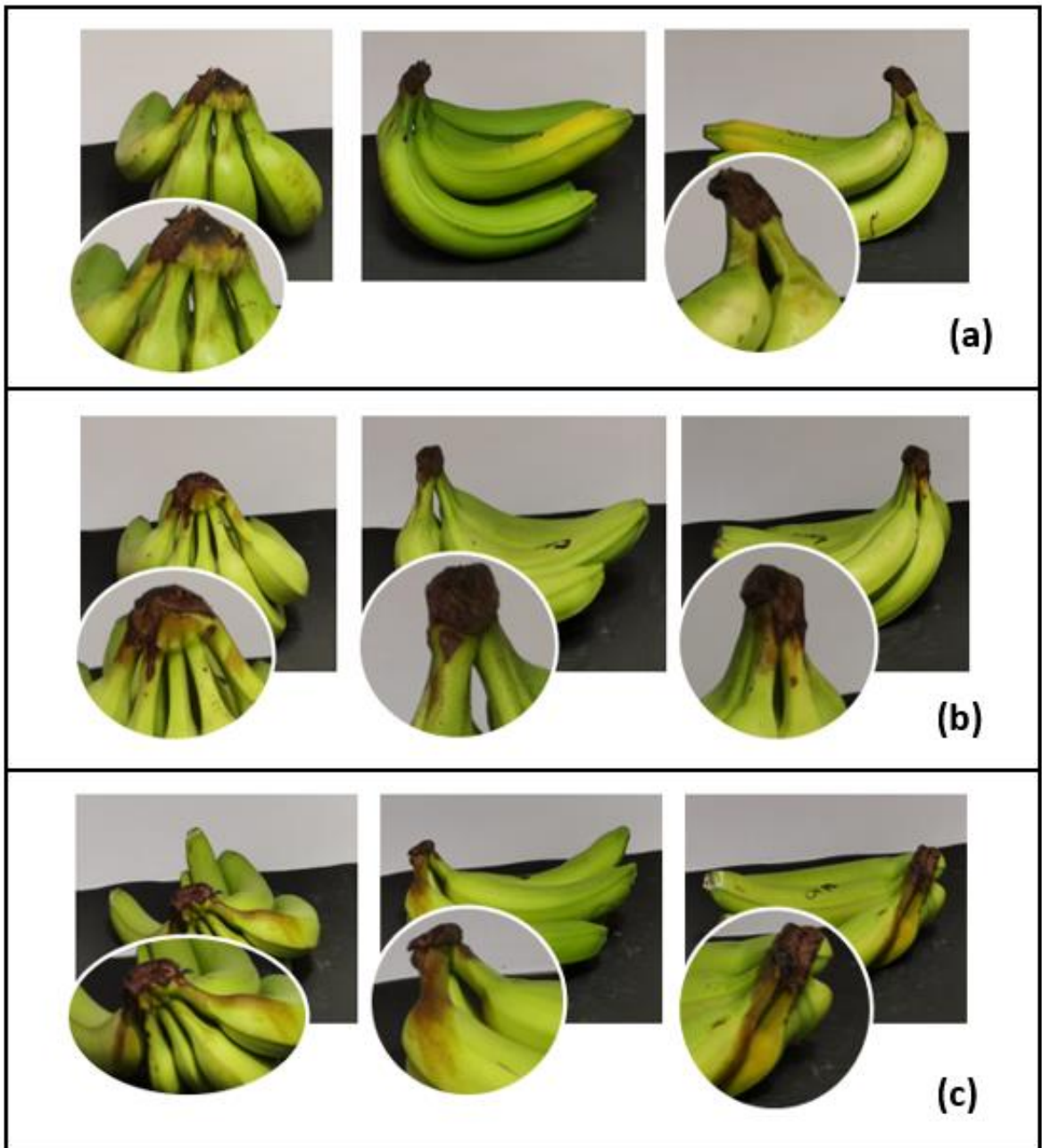
Con respecto a los resultados evaluados en las pruebas de configuraciones a tres alturas distintas (10, 25 y 35 cm) desde la fuente de luz y el área a irradiar (coronas), en la figura 4-8 y en la figura 4-9 se observan los resultados obtenidos en las pruebas a alturas de 10 y 25 cm respectivamente.

Donde la irradiancia medida en las configuraciones colocadas a una altura de 10 cm fue de 15,40 mW/cm<sup>2</sup> para la configuración de dos bandas de cerdas, 12,90 mW/cm<sup>2</sup> para la configuración de dos bandas de cerdas más una banda de empaque (hule), y de 13,40 mW/cm<sup>2</sup> para la configuración de solo empaque (hule). En las configuraciones expuestas a una altura de 25 cm, se obtuvo que la irradiancia fue de 4,52 mW/cm<sup>2</sup> para la configuración de dos bandas de cerdas, 4,32 mW/cm<sup>2</sup> para la configuración de dos bandas de cerdas más una banda de empaque (hule) y de 5,00 mW/cm<sup>2</sup> para la configuración de solo empaque (hule).

Las manos expuestas a 10 cm (figura 4-8) de altura en las tres configuraciones de coberturas propuestas, muestran una mayor incidencia de la radiación dando como resultado un mayor oscurecimiento de las cáscaras a comparación de las configuraciones expuestas a 25 cm (figura 4-9). En ambas alturas, las coberturas en las que solo se utilizó el hule, muestran una mayor afectación por la radiación que en las que se utilizó la configuración de bandas de cerdas y bandas de cerdas más hule.



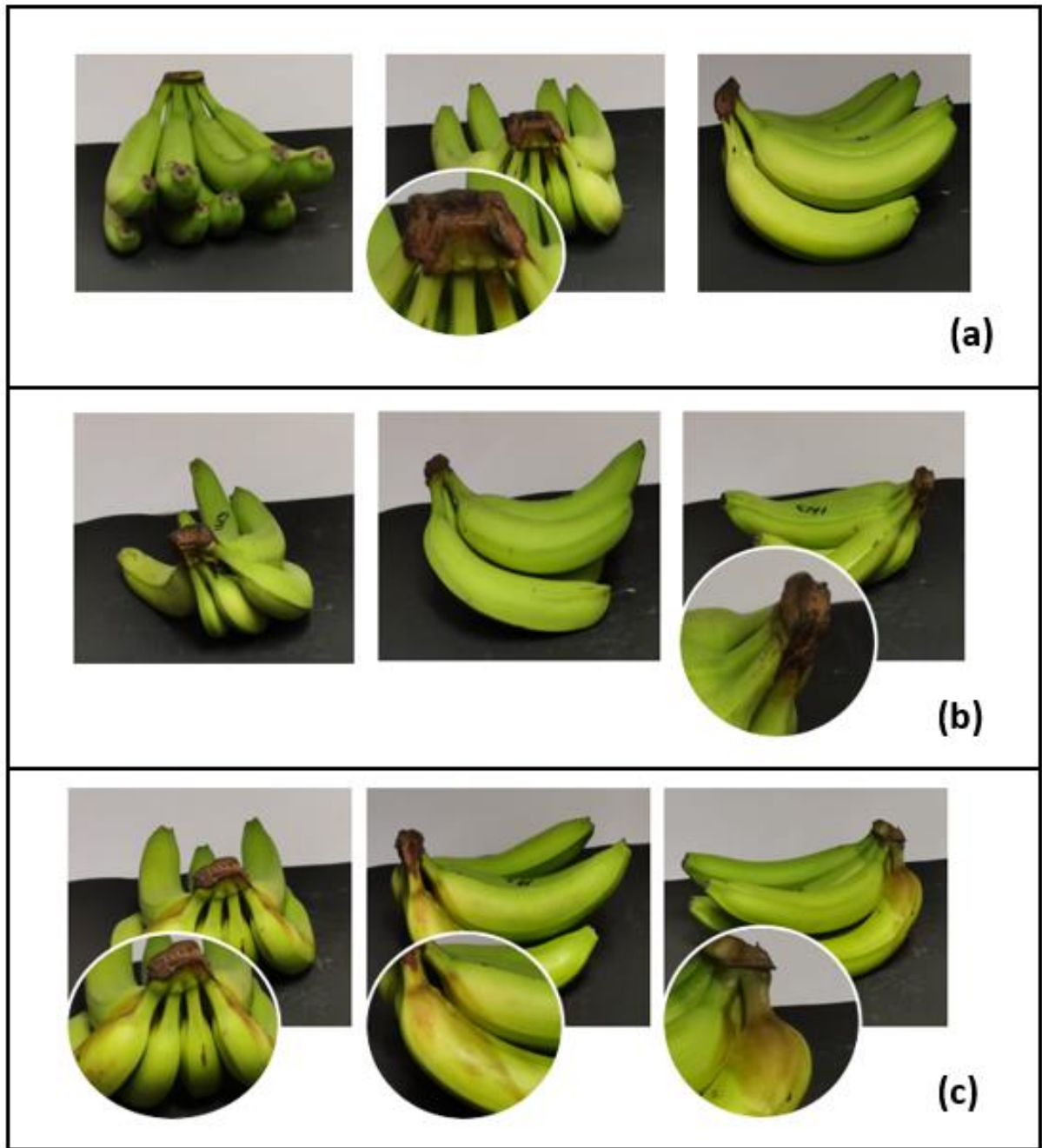
**Figura 4-8.** Resultados de cobertura a alturas de 10 cm en configuraciones de (a) 2 bandas de cerdas, (b) 2 bandas de cerdas y hule y (c) hule.



**Figura 4-9.** Resultados de cobertura a alturas de 25 cm en configuraciones de (a) 2 bandas de cerdas, (b) 2 bandas de cerdas y hule y (c) hule.

En las configuraciones que se utilizó el hule como material de cobertura (figura 4-8 (b y c) y figura 4-9 (b)), se muestra que la afectación se dio en un patrón de oscurecimiento en los costados de los dedos de la mano, debido al levantamiento del material cuando se introduce las corona, dejando huecos por donde ingresa la radiación. También se puede observar que, a diferencia de la prueba preliminar, las configuraciones con solo cerdas (figura 4-8 (a) y figura 4-9 (a)), mostraron mejores resultados. Por tanto, la suposición que la utilización de las cerdas en las bandas colocadas una a una, es mejor que en grupos de cerdas.

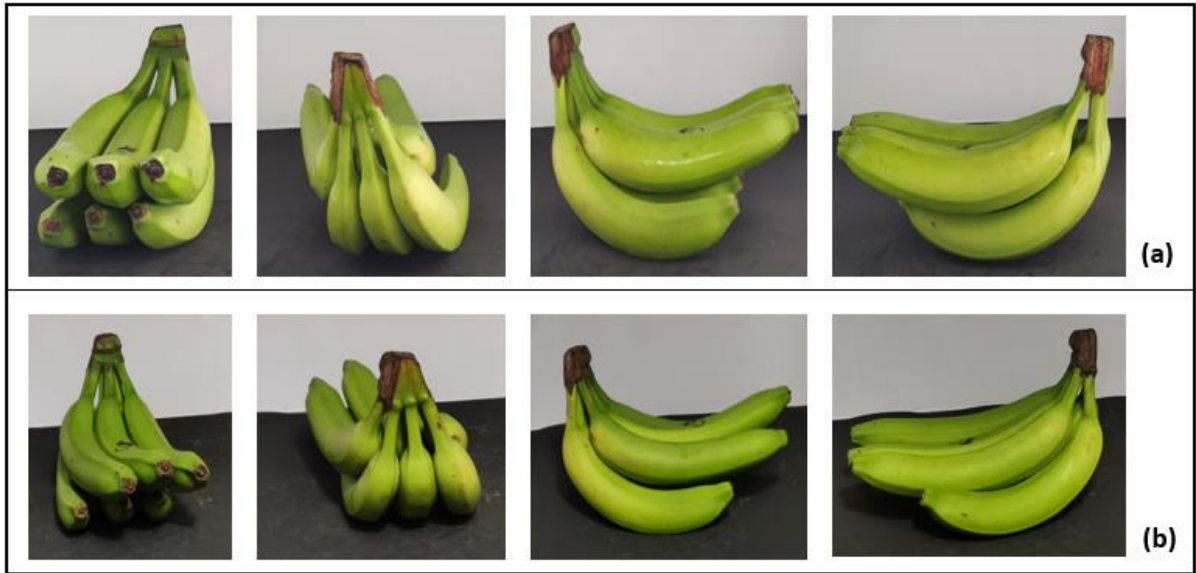
Para el caso de las pruebas realizadas a 35 cm de altura con respecto a la corona, para las configuraciones de solo cerdas y cerdas con hule (figura 4-10 (a) y figura 4-10 (b)), no se presentó oscurecimiento en las manos luego de su almacenamiento. Mientras que para la configuración de solo hule como material de cobertura, si existió ingreso de radiación, generando oscurecimiento en los costados externos de las manos de banano como se muestran en la figura 4-10 (c).



**Figura 4-10.** Resultados de cobertura con hule a 35 cm de altura en configuraciones de (a) 2 bandas de cerdas, (b) 2 bandas de cerdas y hule y (c) hule.

Debido a que, en la prueba realizada, las configuraciones en las que se aplicó solo cerdas tuvieron mejores resultados, se decidió realizar una cuarta configuración donde se aumentó el número de bandas de cerdas, con el propósito de observar el efecto del aumento de la densidad en las cerdas. En este caso se decidió realizar la prueba a una altura de 25 cm, ya que fue la seleccionada para el diseño del equipo. Además, se consideró que a una altura de 10 cm existe más riesgo al oscurecimiento en los cuellos de los dedos de banano, exponiendo de forma directa los parámetros de calidad para exportación. La altura de 35 cm también fue descartada, porque la utilización de alturas mayores implica tener que exponer el producto un tiempo mayor o implica la compra de lámparas con mayor potencia, aumentando costos de construcción.

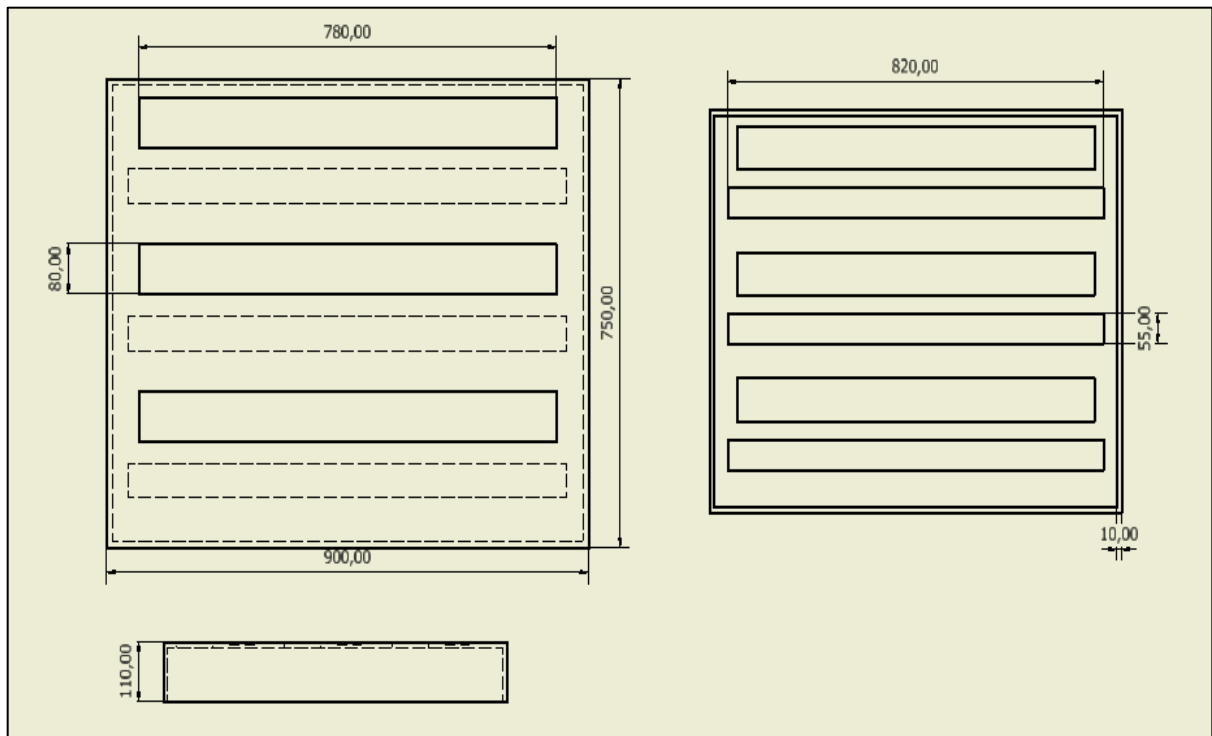
En la figura 4-11 se puede observar que no existió mayor afectación en las manos de banano debido a la exposición de radiación, incluso en comparación a otras configuraciones, no se presentó oscurecimiento en los cuellos de los dedos. Por lo que, manejar una densidad mayor a 144 cerdas por centímetro ayuda a una mejor cobertura de las manos. En comparación a las configuraciones con hules, este material fue descartado ya que causa un levantamiento de la cobertura cuando ingresa la corona a la abertura de la tapa de protección. También el hule al estar ingresando y sacando las coronas, deforman de manera progresiva el material.



**Figura 4-11.** Resultados de cobertura con 4 bandas de cerdas a 25 cm de altura, (a) vista de los perfiles de manos antes de ser irradiadas UV-C y (b) vista de los perfiles de manos después de ser irradiadas con UV-C.

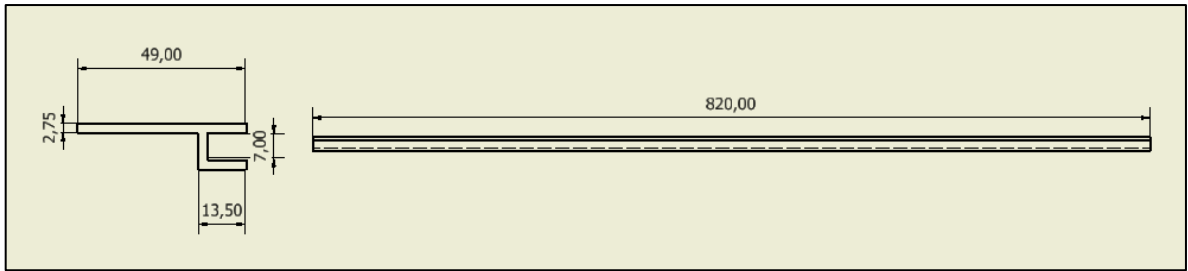
En la figura 4-12, se observa el diseño de la tapa de protección. Al diseño inicial de la tapa de protección se le modificó las aberturas en las que salen las coronas a la hora que se coloca la tapa de protección. Anteriormente el ancho de la abertura correspondía a 6,00 cm y fue modificado a 8,00 cm. El ancho de la abertura fue la medida que aumentó en mayor medida debido a que se quería aumentar el rango de entrada de las coronas. Otra modificación con respecto al diseño inicial fue la altura de la tapa, este paso de ser de 13,00 cm a 11,00 cm, con el propósito de poder bajar la tapa un poco más en caso de ser necesario para permitir la salida de todas las coronas.





**Figura 4-12.** Diseño de tapa de protección para manos de banano (Dimensiones en mm).

En la figura 4-12, también se puede observar las dimensiones de la pieza de acople de las bandas de cerdas, esta posee un ancho de 55,00 mm y una longitud de 820,00 mm para cubrir todo el largo de la abertura. El propósito de esta pieza es permitir el acople del caparazón de la tapa con el perfil de la banda (perfil h, (figura 4-13)) y así poder cambiar la banda de cerdas en caso de que estas se dañen sin tener que remplazar completamente la tapa de protección.

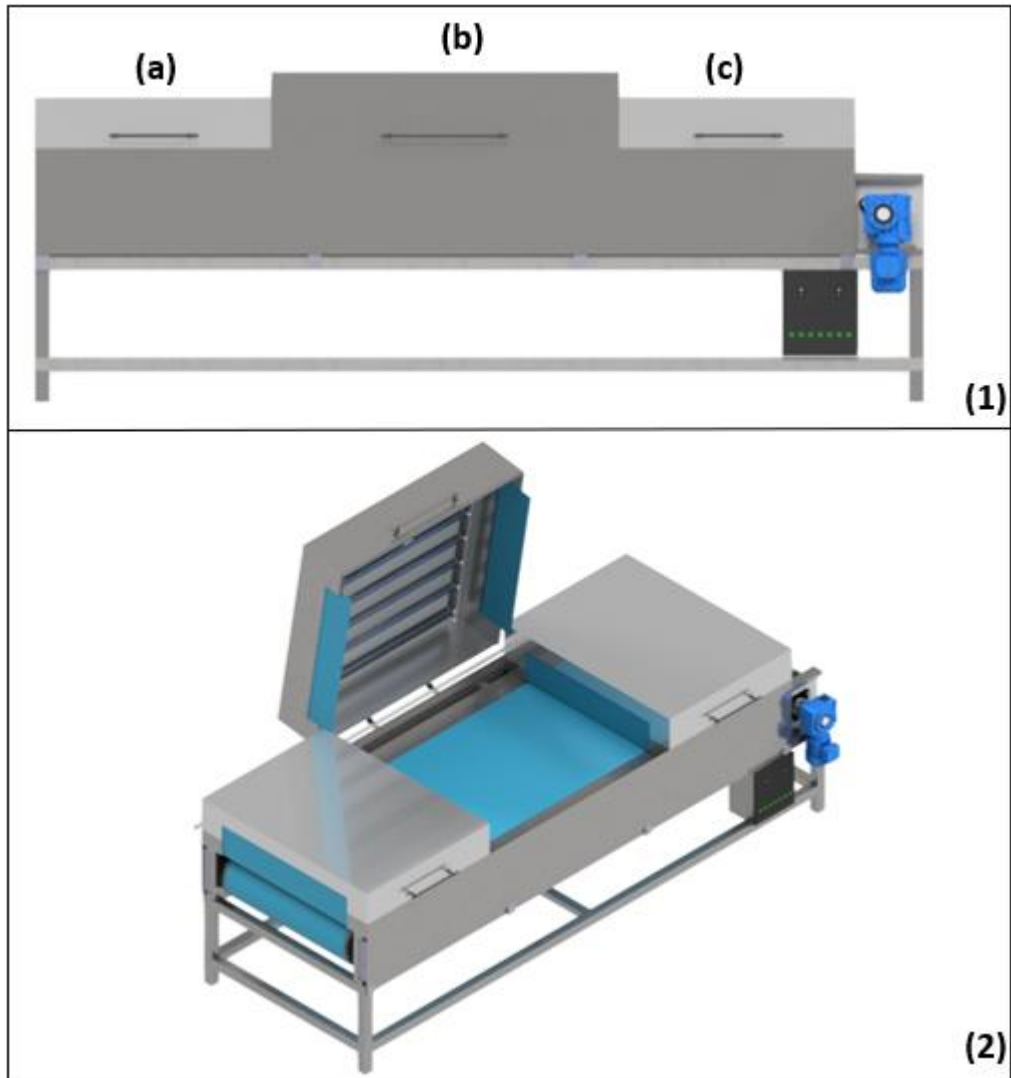


**Figura 4-13.** Diseño de perfil en h para la sujeción de la banda de cerdas con la estructura de acople en la tapa de protección de coronas [41] (Dimensiones en mm).

#### 4.3.2. Diseño del túnel para el tratamiento de coronas con radiación UV-C

El equipo diseñado para tratar las coronas de banano con radiación UV-C, es un túnel de radiación con flujo continuo como se muestra en la figura 4-14 (1). Este túnel de radiación está constituido por dos cámaras de paso (a) y (c), una cámara de radiación con luces dispuestas en la parte superior del equipo (b) para irradiar únicamente las coronas de la fruta y una banda transportadora para garantizar tiempos de exposición en el tratamiento y de operación en planta.

Para la operación del equipo, antes de que las bandejas de banano ingresen a la primera cámara de paso (a), se debe de colocar la tapa de protección diseñada para garantizar que no se dé el oscurecimiento de las cáscaras de banano después de ser tratadas con radiación UV-C. Una vez que las bandejas con las tapas de protección pasen la última cámara de paso (c), se debe retirar la tapa de protección para continuar con las otras operaciones en planta como el sellado, pesado, empaque, almacenamiento y transporte.



**Figura 4-14.** Túnel de radiación UV-C para el tratamiento de coronas de banano, (1) vista frontal del túnel, donde (a) y (c) cámaras de paso y (b) cámara de radiación, (2) vista interna de cámara de radiación y de cortinas del equipo (Dimensiones en Anexo B).

La función de las cámaras de paso (a) y (b) ubicadas en la entrada y salida del equipo, se basa en la seguridad del personal en planta, ya que al utilizar cámaras de paso con una longitud aproximada a las bandejas (87,00 cm), en este caso a la longitud de la tapa de protección que es mayor (90,00 cm), se garantiza que cuando

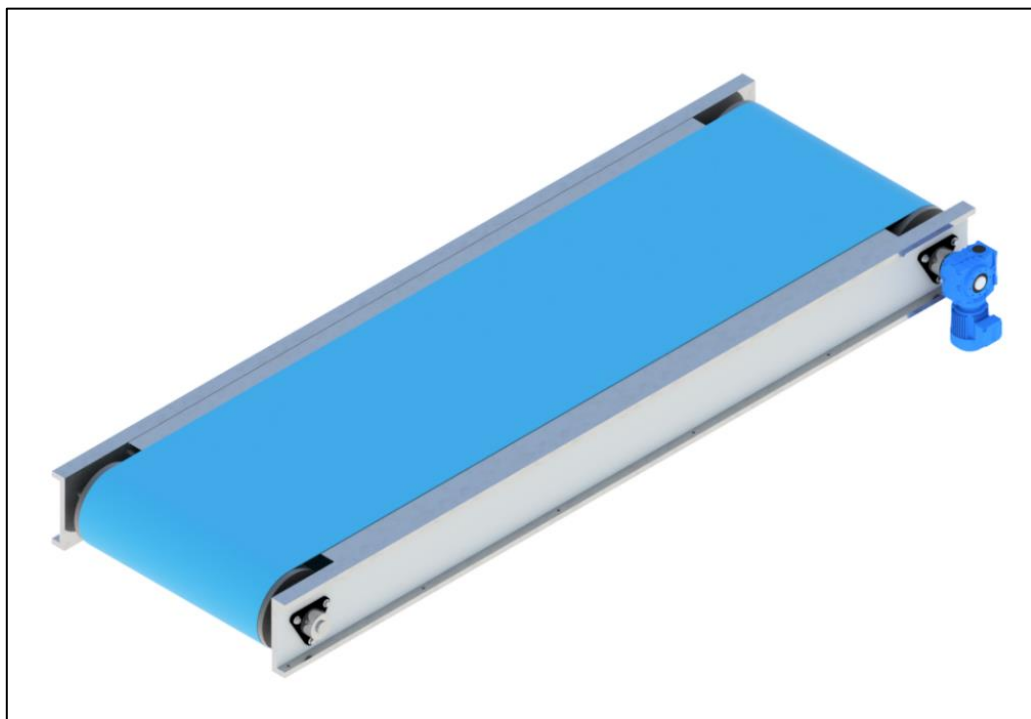
las manos entren a recibir el tratamiento de coronas en la cámara de radiación (b), las cortinas que se encuentran al inicio van a estar cerradas.

En total cada cámara de paso y la cámara de radiación, están configurada con un set de dos cortinas (figura 4-14 (2)), una al inicio de la cámara y otra al final de la cámara. La función de las cortinas es evitar el paso de radiación al exterior del túnel, razón por la cual se dispuso varias de estas en el trayecto de la banda transportadora. Además, el diseño del túnel para irradiar las coronas de banano está basado en la apertura lateral de las cámaras de paso e irradiación, para poder facilitar el mantenimiento (limpieza y el cambio de lámparas) de estas cámaras cuando sea necesario.

Para el diseño de la banda transportadora se optó por el uso de una mesa de deslizamiento en vez de rodillos y una banda lisa resistente a la radiación UV-C (como las bandas de politetrafluoroetileno (PTFE)), estos componentes disminuyen el paso de radiación en la parte baja del equipo y a la parte baja del producto. Para la escogencia de la banda además del material se debe considerar la resistencia de esta, para este diseño se determinó que la banda debe tener una resistencia de 20,91 N/mm (cuadro 4-4).

A diferencia de otros túneles de radiación, este está diseñado para irradiar el producto por arriba. Otros equipos están configurados para irradiar todo el producto, por lo que utilizan bandas de malla y lámparas alrededor del equipo permitiendo el paso de la radiación por arriba y abajo del producto.

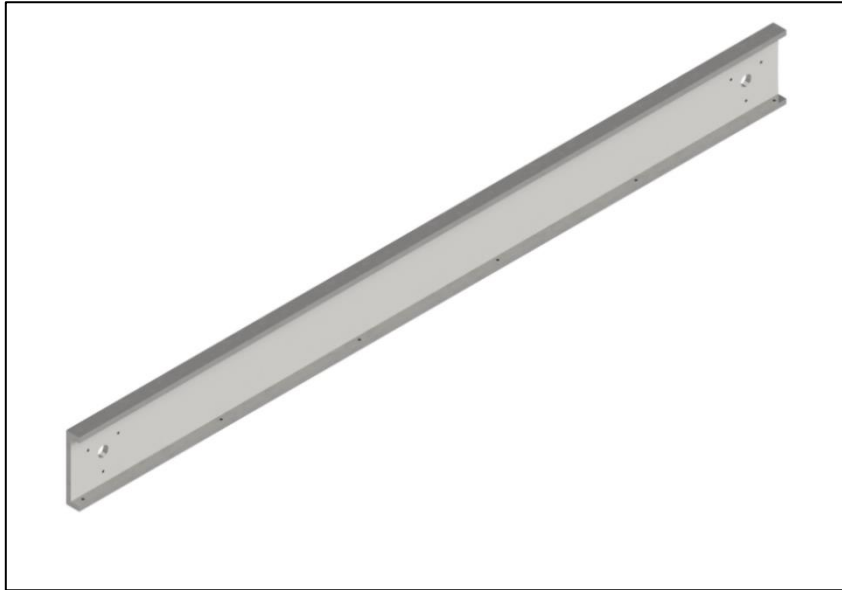
La banda transportadora está constituida por: la banda, los rodillos (tensor y motriz, ambos con un diámetro de 32 cm), la mesa de deslizamiento, los faldones, la estructura base para su montaje, y la tapa de los faldones. A esto hay que sumarle otros componentes como los tensores y chumaceras. En la figura 4-15 se observa la banda transportadora diseñada para el túnel de tratamiento de las coronas.



**Figura 4-15.** Banda transportadora del túnel de radiación UV-C para el tratamiento de coronas de banana (Dimensiones en Anexo B).

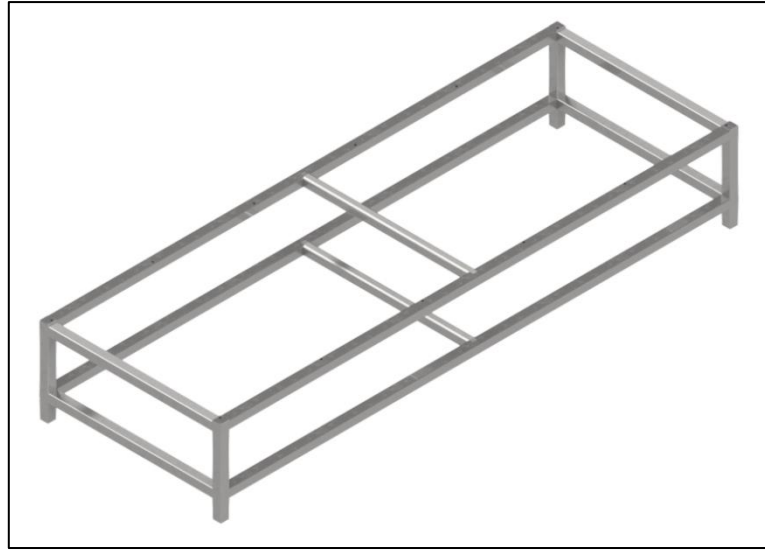
La estructura del faldón fue diseñada para el montaje de la banda sobre la estructura de soporte, para la sujeción de los rodillos y para soldar en su estructura las tapas que une la banda junto a las tapas de las cámaras de paso y la cámara de radiación. Esta estructura está diseñada en acero inoxidable AISI304 debido a las condiciones de trabajo a las que va a ser sometido y a las condiciones ambientales. Las

dimensiones utilizadas para esta estructura son de 3,50 m de longitud, 32 cm de ancho y con un espesor de 2,54 cm (figura 4-16).



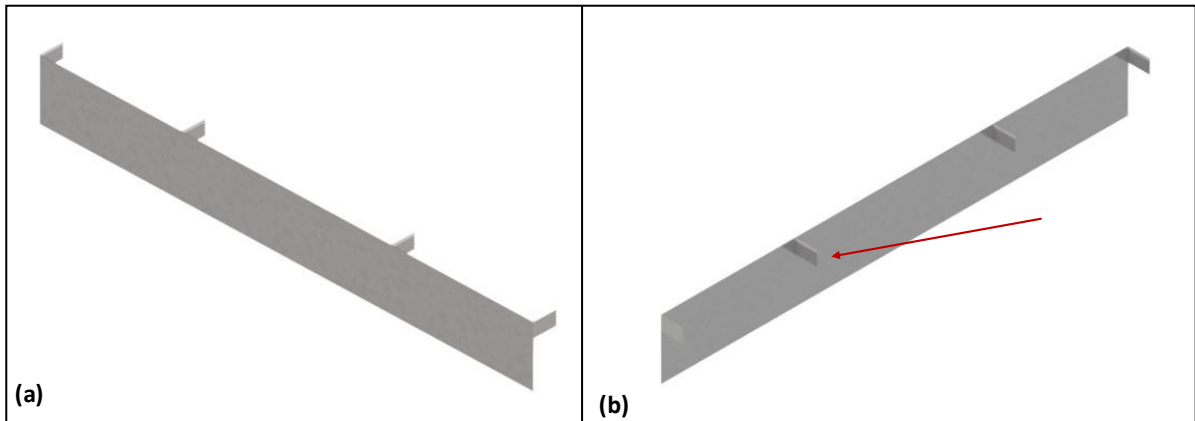
**Figura 4-16.** Faldón de la banda transportadora del túnel de radiación UV-C para el tratamiento de coronas de banano (Dimensiones en Anexo B).

En la figura 4-17 se observa el diseño de la estructura base de soporte del equipo. Esta estructura está diseñada con tubos cuadrados de 60 x 60 x 3 mm de acero inoxidable. Las dimensiones utilizadas para su diseño son de 3,50 m de largo, 1,17 m de ancho, con una altura de 58 cm. La altura de esta estructura junto con la banda es de 90 cm, permitiendo la facilidad de operación del operario. La escogencia de esta altura en conjunto de estas dos partes está dada en base a la altura de los equipos en plantas de empaque.



**Figura 4-17.** Estructura base para el montaje de la banda transportadora  
(Dimensiones en Anexo B).

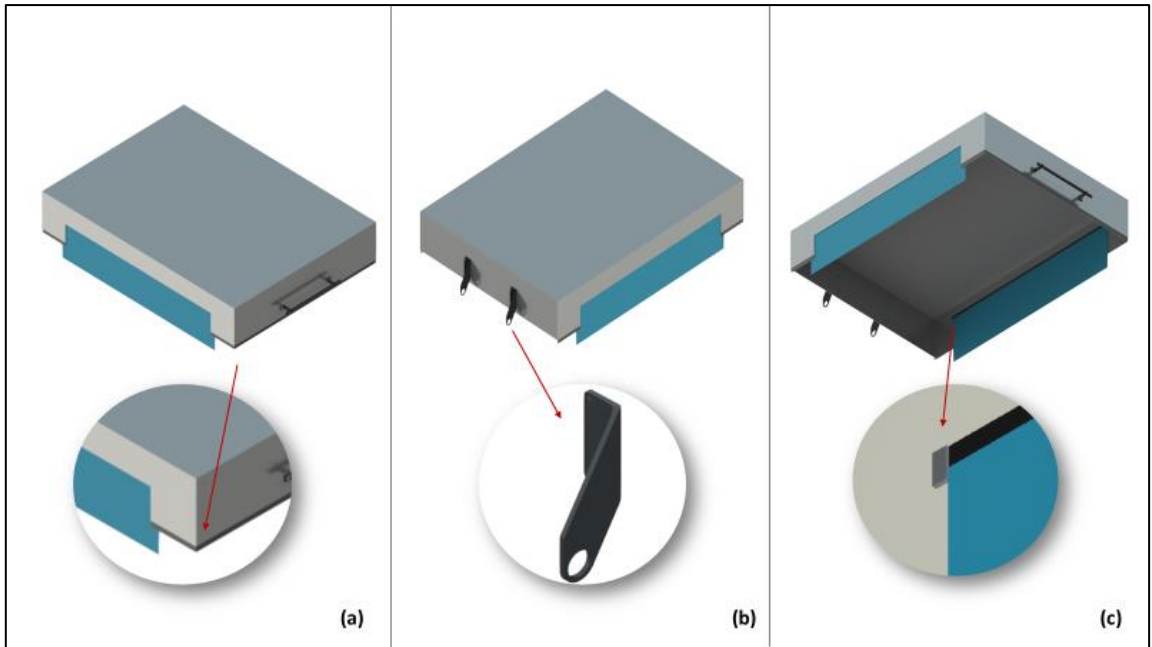
Para el acople de la banda transportadora con las tapas de las cámaras de paso y de radiación, se utilizó la “tapa de los faldones” (figura 4-18). Estas tapas tienen una altura de 42,00 cm, un largo de 3,23 m y un espesor de 3,00 mm (lámina de acero inoxidable de calibre # 11). Sin embargo, como se muestra en la figura 4-18 (b) estas en la parte superior tienen un espesor de 1,50 mm (lámina de acero inoxidable de calibre # 16) para el acople de esta estructura con las cámaras, y así lograr un sello entre las dos estructuras que evite la salida de la radiación una vez que se encuentre operando el equipo. Los componentes de esta estructura (pestañas) estará soldadas y esta pieza a su vez ira soldada al faldón de la banda.



**Figura 4-18.** Tapa de faldones y base de acople de las tapas de las cámaras, (a) tapa posterior, (b) tapa frontal que indica el área de acople con las cámaras de paso y radiación (Dimensiones en Anexo B).

Las cámaras de paso están constituidas por 2 cortinas que evitan el paso de la radiación al exterior como se muestra en la figura 4-19. Estas cortinas están acopladas a las cámaras de paso mediante un canal (figura 4-19 (c)) que permite la remoción de estas en caso de su mantenimiento o para limpieza del equipo. Para el acople de la tapa de la cámara con la base de la banda, se utiliza un perfil en “L” (figura 4-19 (b)) que va introducido a un tubo para permitir la apertura de la tapa. Este perfil de sujeción debe de ser fabricado y sus dimensiones se muestran en el anexo B (figura B-9). La tapa de la cámara al igual que se mencionó con las tapas del faldón estas constituidas de una lámina con un espesor de 1,50 mm (figura 4-19 (c)) que permite el acople y sellado de la estructura de la banda con las cámaras.



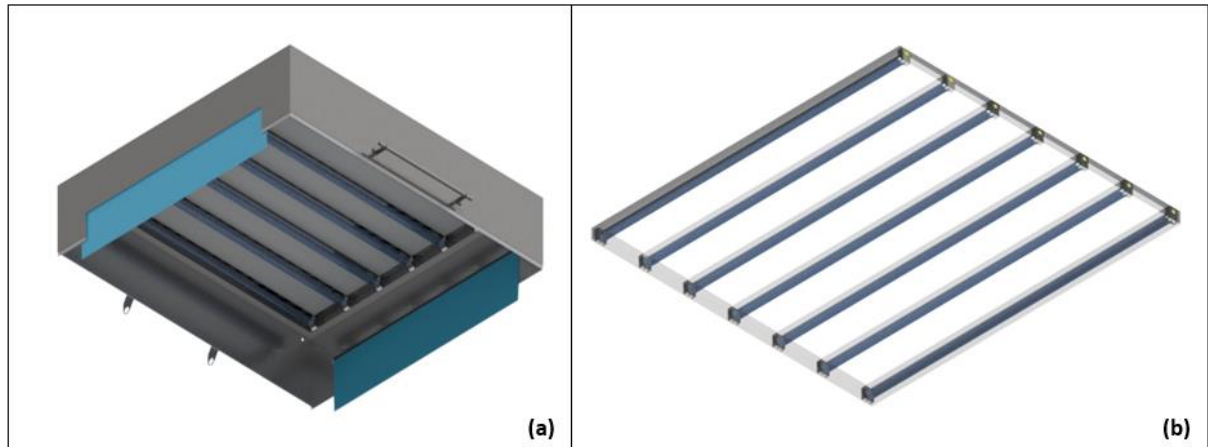


**Figura 4-19.** Cámaras de paso, (a) estructura de acople de tapa-base (vista frontal de la tapa), (b) estructura de acople tapa-base (vista posterior de la tapa) y (c) estructura de acople de cortina (vista inferior de la tapa) (Dimensiones en Anexo B).

Las dimensiones de ambas cámaras de paso son de 93,00 cm de largo, 1,26 m de ancho y una altura de 20,00 cm más 2,00 mm adicionales que corresponden al área de acople con la tapa del faldón. La cámara de radiación a diferencia de la cámara de paso tiene una longitud de 1,37 m, un ancho de 1,26 m y una altura de 30,00 cm más 2,00 mm adicionales que corresponden al área de acople con la tapa del faldón.

En figura 4-20 se observa que en la cámara de radiación a diferencia de las otras cámaras está constituida por un total de siete lámparas colocadas a lo largo de la estructura. Estas estructuras están colocadas sobre una estructura de sujeción que se encuentra soldada en el interior de la cámara (a). La estructura sobre la que van las lámparas (b) tiene en su interior los portalámparas y además tiene tubos de cuarzo con un diámetro de 30,00 mm (diámetro de la lámpara es de 28,00 mm).

Estos tubos de cuarzo fueron utilizados para seguridad de la operación en caso de que se pueda quebrar alguna lámpara, evitando que los residuos caigan sobre la fruta.



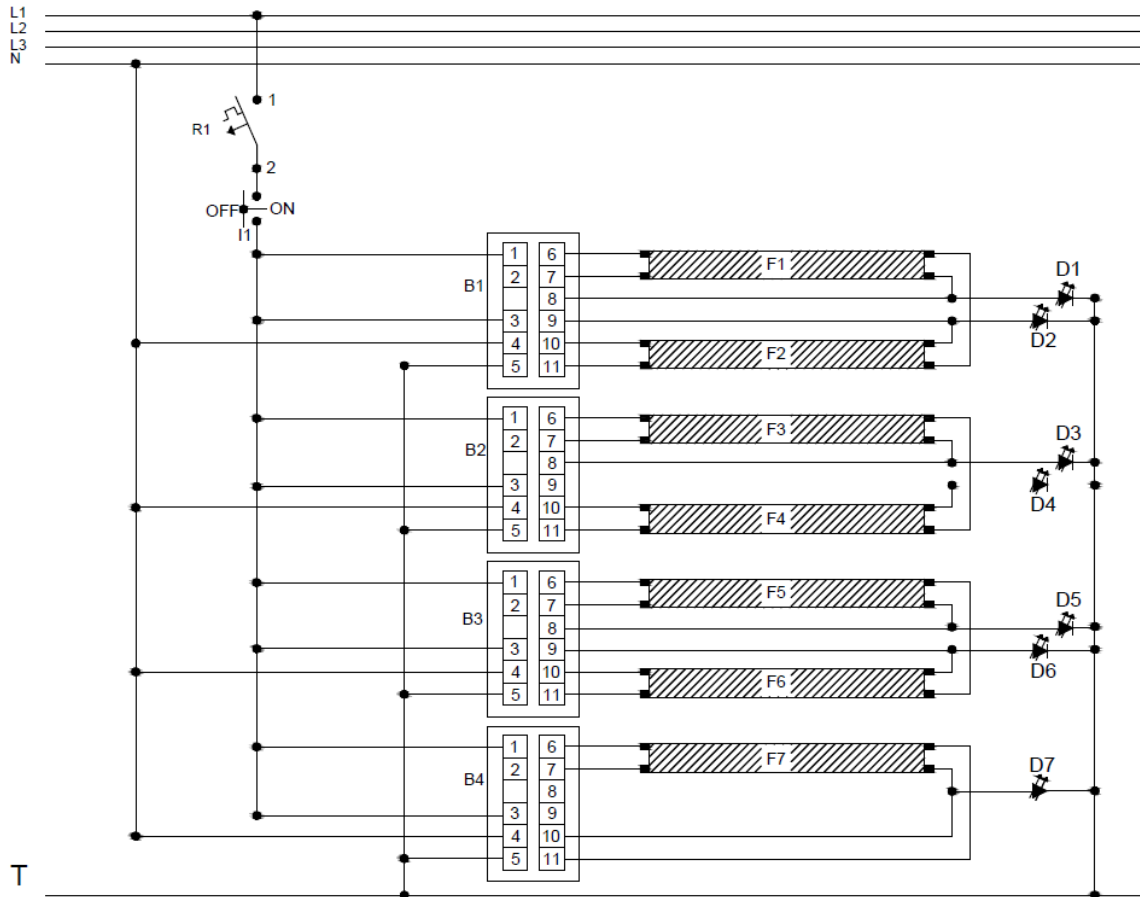
**Figura 4-20.** Cámara de radiación UV-C, (a) tapa de cámara de radiación (vista inferior) y (b) estructura de sujeción de las lámparas (vista inferior) (Dimensiones en Anexo B).

Las dimensiones de la estructura de las lámparas son de 1,22 m de largo, 1,11m de ancho y un espesor de 1,20 mm.

### 4.3.3 Diseño del diagrama eléctrico del equipo

#### 4.3.3.1. Diseño eléctrico del sistema de lámparas UV-C

En la figura 4-21 se presenta el diagrama eléctrico del funcionamiento de las lámparas de radiación ultravioleta; el diseño contempla un voltaje de alimentación de 220 V, obtenido de la fase L1 y neutro de la red de distribución eléctrica.



**Figura 4-21.** Diagrama eléctrico del sistema de iluminación.

Un relevador termomagnético de 15 A (R1) brinda protección al sistema ante sobrecargas y calentamientos. El accionamiento del sistema se da de forma manual, donde un operador mediante una botonera de dos posiciones (I1) controla el funcionamiento de las lámparas.

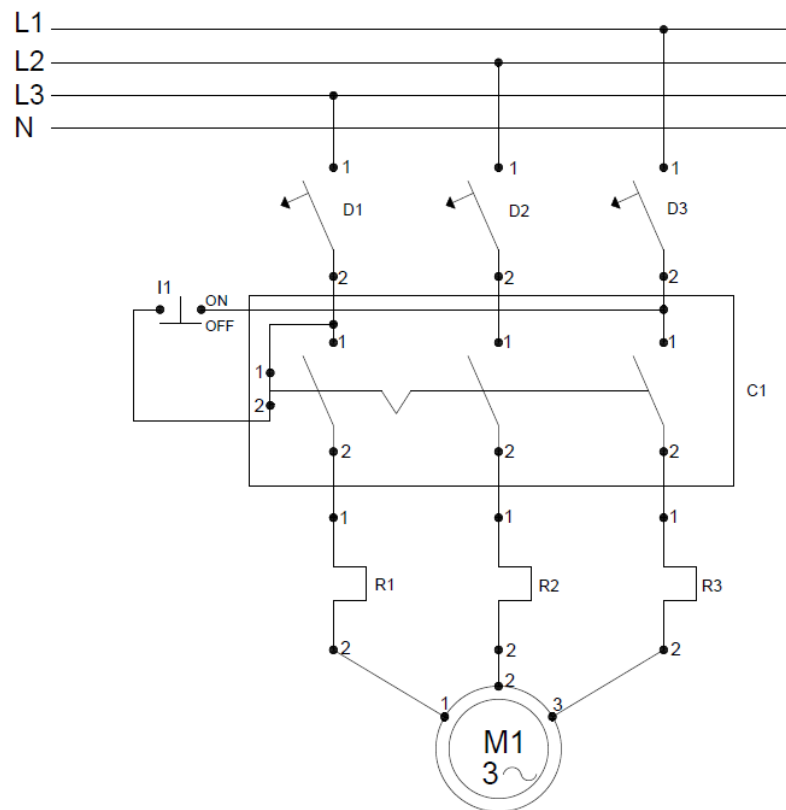
El diseño contempla un total de 4 balastos TUV (B1-B4) con alimentación independiente (en paralelo), cada balastro tiene la capacidad de brindar el suministro eléctrico a dos lámparas fluorescentes de 75 W [42].

Para garantizar la dosis de protección adecuada, se utilizaron 7 lámparas Philips TUV T8 de 75 W y 0,84 A (F1-F7) cada una [39]. En la señal de retorno de cada

lámpara se encuentra conectado en serie un diodo led de 0,02 A (D1-D7), dichos diodos funcionan como indicador visual del funcionamiento de las lámparas ultravioleta. Finalmente, todos los componentes son aterrizados a una línea en común.

#### 4.3.3.2. Diseño eléctrico del sistema de potencia

En la figura 4-22 se presenta el diagrama eléctrico del funcionamiento del motor eléctrico encargado del funcionamiento motriz de la banda transportadora; el diseño contempla un voltaje de alimentación de 480 V, obtenido de las tres fases de la red de distribución eléctrica.



**Figura 4-22.** Diagrama eléctrico del sistema de potencia de la banda transportadora.

El sistema consta de relevadores térmicos y magnéticos trifásicos de 10 A que se encargan de la protección del circuito (D1-D3 y R1-R3 respectivamente) a sobrecargas y calentamientos. El accionamiento del sistema se da de forma manual, donde un operador mediante un interruptor de dos posiciones (I1) controla el funcionamiento del motor eléctrico.

Un contactor de 10 A (C1) se encarga de habilitar el flujo de corriente hacia el motor eléctrico. Dados de los requerimientos de potencia del equipo, se seleccionó un motor eléctrico trifásico de la marca SIEMENS serie 1LE0141 de 1 hp y 1,6 A, configurado en una conexión delta para una tensión de funcionamiento de 440 V [43].

#### **4.4. Análisis financiero y técnico**

##### **4.4.1. Estimación de costos de implementación**

Para el análisis de identificación de costos se consideraron los costos involucrados tanto en la inversión de equipo e insumos, así como los costos operativos anuales de mano de obra y consumo energético. El cuadro 4-6 muestra los principales costos relacionados a la inversión inicial para la puesta en marcha del proyecto. En este caso se consideró una planta empacadora de banano pequeña con una sola línea de trabajo, es decir que solo se realiza la compra de un equipo. Para una empresa como más líneas de trabajo, se tendrá que colocar un túnel de radiación por línea de trabajo como se hace actualmente con los equipos de aspersión con fungicidas.

**Cuadro 4-6.** Costo de inversión del equipo para el tratamiento de coronas con radiación UV-C.

<b>Costo de Inversión</b>				
<b>Materiales</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total (\$)</b>	<b>Costo total (¢)</b>
<b>Banda transportadora</b>				
Estructura y banda transportadora de radiación UV-C [44]	\$ 4 000,00	1	\$ 4 000,00	¢ 2 462 240,00
Motorreductor eléctrico	\$ 545,00	1	\$ 545,00	¢ 335 480,20
<b>Instalación eléctrica</b>				
Balastro para luz T8 TUV de 75 W	\$32,05	4	\$ 128,20	¢ 78 914,79
Lampara UV-C T8 75 W	\$ 18,00	7	\$ 126,00	¢ 77 560,56
Tubo de cuarzo	\$ 40,88	7	\$ 286,16	¢ 176 148,65
Relé térmico	\$ 43,50	4	\$ 174,00	¢ 107 107,44
Interruptor	\$ 12,00	2	\$ 24,00	¢ 14 773,44
Diodos led	\$ 4,00	7	\$ 28,00	¢ 17 235,68
Contactador magnético tripolar	\$ 44,61	1	\$ 44,61	¢ 27 460,13
Relé magnético	\$ 20,00	3	\$ 60,00	¢ 36 933,60
Cable calibre 12 (m)	\$ 2,75	20	\$ 55,00	¢ 33 855,80
Mano de obra instalación eléctrica (h)	\$ 28,00	40	\$ 1 120,00	¢ 689 427,20
<b>Insumos</b>				
Tapas de protección	\$ 300,00	20	\$ 6000,00	¢ 3 693 360,00
<b>Inversión total</b>			<b>\$12 590,97</b>	<b>¢ 7 750 497,49</b>

*Nota:* \$ = US dólares; ¢ = colones.

Como parte de las consideraciones realizadas para la cotización de materiales y componentes requeridos para la inversión inicial se valoraron los siguientes aspectos:

- Se tomó como referencia el costo de una banda transportadora UV-C de dimensiones equivalentes al diseño planteado [44], adicional a este se le sumaron los costos del sistema eléctrico según el diseño actual junto a la

mano de obra y por último el costo de las tapas de protección necesarias para el funcionamiento del equipo.

- El costo del equipo tomado como referencia para la inversión inicial se utilizó como supuesto en cuanto al costo en materiales y mano de obra a utilizar para la construcción del equipo, dicho monto puede fluctuar según la estimación de horas de mano de obra requeridas para este diseño en específico y el costo de materiales al momento de la construcción.
- Para una estimación real del costo de construcción del equipo diseñado es requerida la cotización de un taller de mecánica de precisión, donde se evalúen costos de materiales (por volumen) y mano de obra específica (soldadura, laminado, entre otros). Si se realizará una cotización individual de materiales, esto elevaría los costos de construcción ya que no se aprovecha la compra por volumen y se inflaría el costo de mano de obra requerida.
- Para la realización de la instalación eléctrica se estimó el costo de mano de obra con base una cotización brindada por técnicos especialistas en generación eléctrica.
- Las tapas de protección están fabricadas a partir de plástico PTFE, considerado un plástico de buena resistencia a la radiación ultravioleta.
- La estimación del costo unitario de producción de la tapa de protección PTFE fue obtenida a partir de la cotización de una lámina de plástico PTFE de 122 x 122 cm y de 0,317 cm de espesor. Dicho costo incluye el trabajo en molde para la fabricación de las tapas a las medidas requeridas y la inclusión de las bandas de cerdas de nylon resistentes a radiación UV-C.

- Se cotizan un total de 20 tapas de protección PTFE, dicha cantidad se determinó a partir de las visitas realizadas a plantas empacadoras, donde se determinó que cada línea de producción cuenta con un total de 16 bandejas.

El cuadro 4-7 muestra el valor de depreciación anual calculados a partir de método lineal para los activos considerados en la inversión inicial.

**Cuadro 4-7. Depreciación de activos.**

<b>Equipo</b>	<b>Años Vida Útil</b>	<b>Valor Residual</b>	<b>Depreciación anual</b>	<b>Depreciación anual</b>
Banda transportadora	10	0	\$350,00	¢215 446,00
Motorreductor	15	0	\$36,33	¢22 365,35
Instalación eléctrica	15	0	\$839,40	¢ 516 699,83
<b>Total</b>			<b>\$1 225,73</b>	<b>¢754 511,18</b>

El costo de mano de obra anual requerido para la operación del equipo es de ¢3 321 017,16, dicho valor fue estimado considerando un salario mínimo diario de un operario no calificado para una semana de trabajo de 6 días [45].

Para el rubro de mano de obra en el flujo base se consideran los siguientes aspectos:

- Se estima un operario dedicado únicamente la operación de equipo.
- Incremento salarial del 1% anual.
- Cargas salariales correspondientes al 26,17% del salario anual.



El cuadro 4-8 presenta el costo por insumos anuales.

**Cuadro 4-8. Costos de insumos.**

<b>Mantenimiento</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo anual</b>	<b>Costo anual</b>
Luces UV-C	\$ 18,00	\$ 288,00	₡ 177 281,28
Tapas Plástico PTFE	\$ 545,00	\$ 1 090,00	₡ 670 960,40
Cerdas de nylon	\$ 100,00	\$ 100,00	₡ 61 556,00
Grasa	\$ 15,00	\$ 15,00	₡ 9 233,40
<b>Total</b>		<b>\$ 1 493,00</b>	<b>\$ 919 031,08</b>

Para el apartado de insumos se consideraron los siguientes aspectos:

- Todas las lámparas UV-C son reemplazadas una vez por año. Este procedimiento debe de ser llevado a cabo por parte de personal adecuadamente capacitado, tomando en consideración las medidas de seguridad ocupacional para evitar riesgos laborales.
- Se estima un 10% de recambio anual de las tapas de protección ante la posibilidad de un determinado daño físico.
- Se consideran materiales como cerdas de nylon y grasa para el mantenimiento de las tapas de protección y la banda transportadora respectivamente.
- El flujo base mostrado en el anexo A-1 considera el costo por mantenimiento preventivo del equipo, donde semanalmente se debe realizar la limpieza de los componentes internos del equipo y a fin de detectar deterioros prematuros y evitar fallas operativas.

- En el mantenimiento preventivo del equipo se considera la aplicación de un aerosol protector de terminales eléctricas en los componentes del sistema eléctrico del equipo, el cual impida la oxidación prematura de estos componentes ante la posible condensación considerando el ambiente de operación.
- Para los componentes motrices de la banda transportadora se debe de utilizar grasa multiuso de litio, ideal para condiciones de alta humedad y trabajo moderadas. El engrase de estos componentes se debe realizar semanalmente.
- De acuerdo el volumen de trabajo de la planta empacadora se debe de ajustar los intervalos de mantenimiento según la cantidad de horas en funcionamiento del equipo.
- El operador a cargo del equipo debe de reportar cualquier funcionamiento erróneo de los componentes motrices y de potencia del equipo (ruido anormal, vibraciones, altas temperaturas entre otros). Estos componentes deben de ser inspeccionados semestralmente por un técnico especialista, adicionalmente, y según se acostumbra en empresa de producción agrícola, se debe contar con inventario en bodega de componentes (rodamiento, chumaceras, relevadores, entre otros) a reemplazar en caso de una parada inesperada.
- Dentro del presupuesto de mantenimiento establecido se debe de tomar en consideración la capacitación continua del personal en planta, a fin de que el

personal cuente con un protocolo de respuesta ante la necesidad de una parada de emergencia o fallo ocurrido en el equipo.

El cuadro 4-9 presenta el costo por consumo eléctrico anual:

**Cuadro 4-9.** Consumo eléctrico del equipo para el tratamiento de coronas con radiación UV-C.

Componente	Cantidad	Potencia (W)	Consumo mensual (kWh)	Costo anual
Lampara UV-C	7	75	136	₪ 164 995,20
Motorreductor eléctrico	1	1600	416	₪ 504 691,20
<b>Total</b>				<b>₪ 669 686,40</b>

La estimación de los costos anuales por consumo eléctrico se basó en las siguientes condiciones:

- Se estimó un tiempo de trabajo de 10 horas por día, 26 días al mes.
- Se utilizó la tarifa industrial del kWh vigente al 01 de octubre del 2021 de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), correspondiente a un valor de ₪101,10 [46]
- Se utilizó un total de siete lámparas Philips TUV T8 de 75 W, para una mejor distribución dentro de la cámara de radiación con una potencia efectiva de radiación UV-C de 28,1 W.

#### 4.4.2. Estimación de ingresos de implementación

Debido a las características del proyecto, este no genera ingresos por venta de artículos o prestación de servicios, por lo cual, los beneficios o ingresos cuantificables son los que representen a la empresa un ahorro respecto a aspectos de consumo eléctrico, consumo de agua y la no utilización de productos químicos para la protección de las coronas.

El cuadro 4-10 indica el ahorro anual en el consumo eléctrico a partir de la implementación de la tecnología de radiación:

**Cuadro 4-10.** Ahorro del consumo eléctrico.

Componente	Cantidad	Potencia (W)	Consumo mensual (kWh)	Costo anual
Motobomba	1	2420	629,20	¢ 763 345,44
Motor de banda transportadora	1	1600	416,00	¢ 504 691,20
<b>Total</b>				<b>¢ 1 268 036,64</b>

La estimación del ahorro anual por consumo eléctrico se basó en los mismos supuestos dados para la estimación de gastos:

- Se estimó un tiempo de trabajo de 10 horas por día, 26 días al mes.
- Se utilizó la tarifa industrial del kWh vigente al 01 de octubre del 2021 de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), correspondiente a un valor de ¢101,10 [35].

Dentro de esta evaluación también se consideró el ahorro anual en consumo de agua, la estimación del ahorro anual tomó como criterio la tarifa fija del m<sup>3</sup> de agua para industria en el año 2020 de Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA) [46].

Finalmente, el análisis considera el ahorro que implica la no utilización de productos químicos para el tratamiento de las coronas, dicha evaluación comprende las siguientes consideraciones:

- De la investigación en campo producto de la visita a plantas empacadoras, se estima que una línea de producción es capaz de procesar 960 caja de banano, lo que es igual a un contenedor completamente lleno, por lo tanto, a la semana una línea de procesamiento es capaz de producir 6 contenedores.
- El costo en productos químicos por cada contenedor procesado es \$21,10 [38], [39].

El ahorro de mano de obra que supone en no tener que contar con un operario para el control de equipo de aspersion de producto químico es de ₡3 321 017,16. De forma homóloga, para el rubro de mano de obra en el flujo base se consideran los mismos aspectos a considerar incluidos en los costos:

- Se estima un operario dedicado únicamente la operación de equipo.
- Incremento salarial del 1% anual.
- Cargas salariales correspondientes al 26,17% del salario anual.

Con base a la estimación en inversión inicial, costos e ingresos anuales previamente señalados, en el anexo A se presenta el flujo de caja base para el proyecto, el cual indica el flujo acumulado de efectivo a un plazo de 10 años.

A partir del flujo base mostrado en el anexo A, se identifica que el proyecto recupera la inversión inicial y se cubren los gastos operativos a partir del segundo año de implementación, esto considerando que las empresas que vayan a implementar la tecnología van a cubrir el costo de inversión con su presupuesto interno, sin requerir la adquisición de un préstamo, esta condición al período de estudio de 10 años genera un valor actual neto (VAN) = ¢10 977 138,40 con una tasa interna de retorno (TIR) = 59%.

#### 4. CONCLUSIONES

- El análisis del sistema de procesamiento empleado en las plantas empacadoras permitió determinar que el mejor punto para aplicar el equipo para el tratamiento de las coronas es después del proceso de clasificación en bandejas.
- Con base a los cálculos realizados el tiempo de exposición necesario para garantizar la dosis en las coronas es de 5,19 segundos por caja, valor que es un 25,86% menor al tiempo de los equipos de aspersión de fungicidas que tardan 7 segundos por caja en la aplicación del tratamiento.
- La máquina diseñada se ajusta a las condiciones actuales de las líneas de procesamiento de banano en lo que respecta a la capacidad de procesamiento, el tiempo de operación, la distribución en planta, dimensiones y modo de operación, por lo que se facilita su implementación.
- Con base a cálculos realizados el equipo diseñado cuenta con una capacidad máxima de 694 cajas por hora si se mantuviera ocupado en una totalidad de un 100% de su capacidad durante las 10 horas laborales.
- El equipo diseñado tiene la capacidad de procesar un 25,79% más que los equipos de aspersión en plantas empacadoras de banano.
- Se espera que la implementación del equipo diseñado en la industria bananera no generará cuellos de botella o acumulación del producto, ya que operativamente trabaja de manera similar a las cámaras de aspersión de fungicidas.

- Se logró diseñar un equipo para el tratamiento de las coronas de banano con radiación UV-C, evitando el daño causado por el oscurecimiento de la cáscara del banano y cumpliendo con tiempos operativos en plantas de empaque.
- La utilización de la tapa de protección de las manos de banano es indispensable para poder tratar las coronas con radiación UV-C y evita el oscurecimiento de la fruta.
- El equipo diseñado propuesto promueve la disminución o eliminación de agroquímicos para el tratamiento de las coronas de banano.
- El impacto de poner en marcha la utilización del equipo diseñado permitirá la disminución de costos en químicos y manejo de residuos propios de la actividad del tratamiento de coronas, brindando tanto beneficios económicos como de imagen ante mercados mundiales.
- Se determinó que el costo de inversión para la implementación del proyecto es de ¢ 7 750 497,49, presentado al segundo año la recuperación de esta incluyendo costos operativos, con un TIR de 59%.



## 5. RECOMENDACIONES

- Con la etapa del diseño finalizada, queda pendiente para futuras investigaciones continuar con las etapas de simulación y construcción para validar las dosis a aplicar, tiempos de exposición y capacidad de producción, y así a partir de estos realizar modificaciones en el diseño para poder construir un equipo totalmente funcional.
- En la etapa de construcción es fundamental realizar cotizaciones de talleres de mecánica de precisión para obtener un valor real del costo del equipo, así como la factibilidad de la construcción en base al diseño propuesto.
- Es importante tomar en cuenta la colocación de sensores de presión en las tapas de las cámaras de paso y cámara de radiación para que el equipo se detenga completamente cuando se abran las tapas y estas se encuentren en funcionamiento
- Para un mejor aprovechamiento de la capacidad de procesamiento del equipo diseñado y del tiempo que el equipo se encuentra encendido, se debería aumentar el número de operarios en el proceso de clasificación en bandejas, generando una alimentación continua a la máquina o uniendo varias líneas de trabajo a el equipo para lograr un mejor aprovechamiento de la capacidad de este.
- Definir la eficiencia de dosis menores para el tratamiento de coronas implicará una reducción de los costos constructivos y de mantenimiento del equipo al utilizar lámparas con potencias menores o al procesar mayor

cantidad de producto en un menor tiempo con la selección de las lámparas actuales.

- En el tratamiento de las pudriciones de las coronas siempre existe un riesgo de reinfección debido a que es un área expuesta, donde las estructuras de las cámaras de paso diseñadas pueden ser aprovechadas para un tratamiento adicional en las coronas posterior a la radiación.
- Capacitar al personal en planta para un adecuado mantenimiento del equipo y mantener la seguridad laboral. Por seguridad laboral es recomendable la incorporación de pantallas faciales o gafas de protección contra la radiación UV-C.
- En el mantenimiento del equipo se deben limpiar las lámparas periódicamente para evitar la acumulación de polvo además de realizar inspecciones visuales para observar el estado de las lámparas.
- Para el mantenimiento de la banda transportadora se debe considerar previstas que permitan el fácil acceso para el mantenimiento y limpieza de componentes principales, así como la colocación de un limpiador en la parte inferior de la banda que permita eliminar residuos de látex y agua.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LA República, jul. 20, 2021, “Producción de banano de Latinoamérica crecería a 36 millones de toneladas para 2030”, 2021. [Internet]. Disponible en: <https://larepublica.pe/economia/2021/07/26/produccion-de-platano-en-latinoamerica-creceria-36-millones-de-toneladas-para-2030/>
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Censos, *Estadísticas de Comercio Exterior 2020*, San José, Costa Rica: INEC, 2020.
- [3] PROCOMER, jul. 20, 2021, “Producción de banano de Latinoamérica alcanzará 36 millones de toneladas en 2030”, 2021. [Internet]. Disponible en: [https://www.procomer.com/alertas\\_comerciales/exportador-alerta/produccion-de-banano-de-latinoamerica-alcanzara-36-millones-de-toneladas-en-2030/](https://www.procomer.com/alertas_comerciales/exportador-alerta/produccion-de-banano-de-latinoamerica-alcanzara-36-millones-de-toneladas-en-2030/)
- [4] S. Uribe, “Efecto de Tratamientos Hidrotérmicos y UV-C Poscosecha sobre Enfermedades y Calidad de Fruta de Banano (*Musa sp.*, grupo AAA, subgrupo Cavendish)”, Universidad de Costa Rica, 2018.
- [5] R. Villalta, M. Sample, D. Shields y M. Guzmán, “Evaluación de fungicidas y mezclas de fungicidas para el combate de enfermedades poscosecha del banano (*Musa AAA*)”, CORBANA, vol. 32, no. 59, pp. 17-33, 2006.
- [6] G. Alvindia, “Improving control of crown rot disease and quality of pesticide-free banana fruit by combining *Bacillus amyloliquefaciens* DGA14 and hot water treatment,” *European J. of Plant Pathology*, vol. 136, pp. 183-191, 2013.
- [7] T. Koutchma, L. Forney y C. Moraru, *Ultraviolet Light in Food Technology. Principles and Applications*. New York, Estados Unidos: Taylor & Francis Group, LLC, 2009.

- [8] R. Phillips, *Sources and applications of ultraviolet radiation*. New York, Estados Unidos: Academic Press Inc, 1983.
- [9] G. Matamoros, “Aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) como tratamiento poscosecha y su efecto sobre características fisicoquímicas y calidad fitosanitaria en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido “Poccocí””, Universidad de Costa Rica, 2017.
- [10] R. Ortiz, A. López, S. Ponchner y A. Segura, *El cultivo del banano*, San José, Costa Rica: EUNED, 2001.
- [11] M. Soto, *Banana: cultivo y comercialización*, San José, Costa Rica: Litografía e Imprenta LIL, 1992.
- [12] R. Vera, “Fungicida comercial Imazalil para el control de la pudrición de corona en la postcosecha del cultivo de banano (*Musa spp*)”, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2013.
- [13] R. Villalta y M. Guzmán, “Reducción de la dosis de fungicidas para la protección poscosecha del banano, mediante el uso de cuerpos antigoteo con boquilla de cono hueco en un sistema de cámara de aspersion”, CORBANA, vol. 33, no. 60, pp. 29-37, 2007.
- [14] D. Rivera Pastrana, A. Gardea Bejar, M. Martínez Tellez, M. Rivera Domingues y G. Gonzales Aguilar, “Efectos Bioquímicos Postcosecha de la Irradiación UV-C en Frutas y Hortalizas”, *Fitotecnia Mexicana*, pp. 361-372, 2007.
- [15] R. Román, “Efecto de diferentes tiempos de exposición a radiaciones ultravioleta sobre las características sensoriales y la reducción de bacterias patógenas y de deterioro en melón (*Cocumis melo*), piña (*Ananas comosus*) y banano (*Musa Cavendish*)”, Universidad de Costa Rica, 2015.

- [16] L.R. Beuchat, L.J. Harris, T.E. Ward y T.M. Kajs, "Development of a proposed standard method for assessing the efficacy of fresh produce sanitizers," J. of Food Protection, vol. 64, pp. 1103-1109, 2001.
- [17] N. Mohamed, P. Ding, J. Kadir y H. Ghazali, "Potential of UVC germicidal irradiation in suppressing crown rot disease, retaining postharvest quality and antioxidant capacity of *Musa AAA* "Beranga" during fruit ripening", Food Science & Nutrition, vol. 5, no.1, pp. 967-980, 2017.
- [18] A. Sánchez, "Diseño y construcción de una cámara para irradiar rayos ultravioleta tipo A (UV-A) y tipo B (UV-B) para dermatología", Escuela Politécnica Nacional, 2001.
- [19] G. Shama y P. Alderson, "UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization," Trends in Food and Science & Technology, vol. 16, no. 6, pp. 128-136, 2005.
- [20] V. Martín, "Rediseño y evaluación de un equipo de radiación ultravioleta de onda corta para alimentos de origen vegetal", Universidad Nacional de CUYO, 2019.
- [21] Irradiation UV Technology, Mar. 22, 2021, "Túnel de desinfección UV", [Internet], Disponible en: <https://www.nyfdecolombia.com/uv/images/pdf/irradiation-tunnel-desinfeccion.pdf>
- [22] Uvitron International, Mar. 11, 2021, "SunBelt BT9", [Internet], Disponible en: <https://www.uvitron.com/products/light-curing-conveyors/sunbelt-bt9/>
- [23] Uvitron International, Mar. 11, 2021, "SunBelt BT9", [Internet], Disponible en: <https://www.uvitron.com/products/light-curing-conveyors/sunbelt-25/>
- [24] P. Sibaja, "Evaluación del efecto de la aplicación de tecnologías emergentes (ultrasonido y ultravioleta) sobre la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial del jugo

de cas (*Psidium friedrichsthalianum* (Berg.) Niedz.) y agua de pipa (*Cocos nucifera* L.)", Universidad de Costa Rica, 2015.

[25] J.F. Haro y J.A. Guerrero, "Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras", *Temas Selectos de Ing. de Alimentos*, vol. 7, pp. 69-77, 2013.

[26] W. Kowalski, *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*, New York, United States: Springer, 2009.

[27] M. Ballbé, et al., "Guía Técnica de Uso e Instalación de Radiación UV", CICAT.

[28] R. Strohshine, "Physical properties of agricultural materials and food products", Purdue University, 2014.

[29] R. Maharaj, "Effects of Abiotic Stress (UV-C) Inuced Activation of Phytochemicals on the Postharvest Quality of Horticultural Crops", *INTECH*, pp.221-244, 2015. Doi: 10.5772/60050

[30] M. Turtoi, "Ultraviolet Light Treatment of Fresh Fruits and Vegetables Surface: A Review", *Journal of Agrolimentary Processes and Technologies*, vol. 3, no.19, pp. 325-337, 2013.

[31] Conveyor Equipment Manufactures Association, *Belt Conveyors for Bulk Materials*, 5th ed., Estados Unidos: CEMA, 2002.

[32] "Características físicas en productos agrícolas", 2018, [Internet], Disponible en: <https://es.essays.club/Otras/Temas-variados/CARACTERSTICAS-FSICAS-EN PRODUCTOS-AGRCOLAS-39941.html>

- [33] Autodesk. Ene. 20, 2020, "Inventor Overview", 2019. [Internet], Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview#>
- [34] CNFL, oct. 7, 2021, "Tarifa Industrial", [Internet], Disponible en: <https://www.cnfl.go.cr/documentos/transparencia/consolidado-tarifas.pdf>
- [35] Banco Central de Costa Rica, nov. 3, 2021, "Tipo de cambio de compra del dólar de los Estados Unidos de América", [Internet], Disponible en: <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20367>
- [36] Banco Mundial, nov. 3, 2021, "Inflación, deflactor del PIB: series vinculadas (% anual) Costa Rica", [Internet], Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.DEFL.KD.ZG.AD?end=2020&locations=CR&start=2010>
- [37] R. Vargas, "Revisión de la metodología del modelo para la formulación de una recomendación del precio mínimo de salida para una caja de banano", MEIC, 2019.
- [38] P. Rojas, J. Araya, S. Álvarez, G. Fuentes, M. Velázquez y M. Fallas, "Caracterización y Plan acción para el desarrollo de la agrocadena del Cultivo de Plátano en la región Huetar Atlántica", MAG, 2007.
- [39] Philips, ago. 11, 2020, "Philips TUV T8", [Internet], Disponible en: [https://www.lighting.philips.com.mx/prof/lamparas-y-tubos-convencionales/lamparas-especiales/purificationwater-and-air/commercial-and-professional-air/tuv-t8/928049404003\\_NA/product](https://www.lighting.philips.com.mx/prof/lamparas-y-tubos-convencionales/lamparas-especiales/purificationwater-and-air/commercial-and-professional-air/tuv-t8/928049404003_NA/product)
- [40] Codimar, Mar. 20, 2020, "Tambores para transportadores", [Internet], Disponible en: <https://www.rodilloscodimar.com/wp-content/uploads/2020/10/Catalogo-tambores-completo-Rodillos-Codimar.pdf>

[41] Tecnocepillo, Sep. 03, 2020, "Cepillo técnico", [Internet], Disponible en: <https://tecnocepillo.com/cepillos-tecnicos/cepillo-burlete-strip-rigido/>

[42] Lightbest, may. 14, 2021, "Electronic ballast for TUV 75W germicidal lamp ballasts 230V", [Internet], Disponible en: <https://lightbestuv.en.made-in-china.com/product/LOdEYixyElks/China-pH1-425-90-Gph1148t5I-TUV-75W-Factory-254nm-UVC-Lamp-Transformer-55W-TUV64t5-Electronic-Ballast.html>

[43] SIEMENS, ago. 24, 2020, "Motors catalogue", [Internet], Disponible en: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:782b04d0-82f4-488a-936b-514cd8bb5d5f/version:1580149154/arteimpresioncatalogosimotics.pdf>

[44] "UV light sterilizer conveyor UV-C disinfection chamber for bottles" [Internet], Disponible en: <https://m.made-in-china.com/product/UV-Light-Sterilizer-Conveyor-UVC-Disinfection-Chamber-for-Bottles-926666385.html>

[45] Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, nov. 3, 2021, "Lista de salarios mínimos por ocupación año 2021", [Internet], Disponible en: [https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista\\_salarios\\_2021.pdf](https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_salarios_2021.pdf)

[46] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, nov. 3, 2021, "Estructura tarifaria", [Internet], Disponible en: <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Estructura%20tarifaria.pdf>



## 7. ANEXOS

### Anexo A. Flujo de caja para el equipo para el tratamiento de coronas con radiación UV-C.

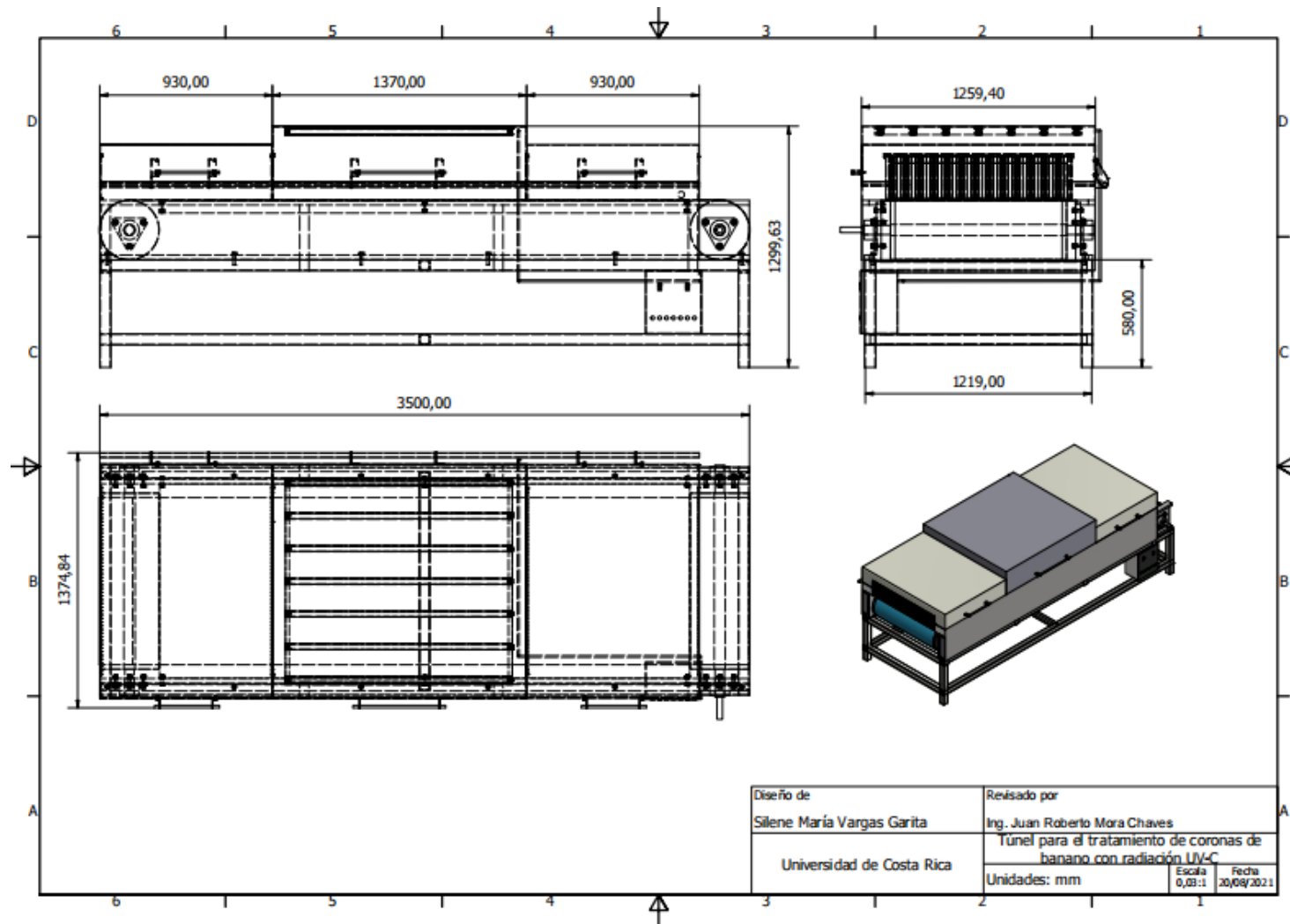
Cuadro A-1. Flujo de caja base del proyecto (Parte 1 de 2).

Rubro	Periodos (años)					
	0	1	2	3	4	5
<b>Inversión</b>	-C\$ 7 750 497,49					
<b>Gastos</b>						
Mano de obra		-C\$ 3 321 017,16	-C\$ 3 354 227,34	-C\$ 3 387 769,61	-C\$ 3 421 647,31	-C\$ 3 455 863,78
Cargas sociales		-C\$ 869 110,19	-C\$ 877 801,29	-C\$ 886 579,31	-C\$ 895 445,10	-C\$ 904 399,55
Insumos		-C\$ 919 031,08	-C\$ 953 494,75	-C\$ 989 250,80	-C\$ 1 026 347,70	-C\$ 1 064 835,74
Consumo eléctrico		-C\$ 669 686,40	-C\$ 694 799,64	-C\$ 720 854,63	-C\$ 747 886,67	-C\$ 775 932,43
Mantenimiento		-C\$ 1 550 099,50	-C\$ 1 608 228,23	-C\$ 1 668 536,79	-C\$ 1 731 106,92	-C\$ 1 796 023,43
Depreciación anual		-C\$ 754 511,18	-C\$ 754 511,18	-C\$ 754 511,18	-C\$ 754 511,18	-C\$ 754 511,18
<b>Total Gastos</b>		<b>-C\$ 8 083 455,52</b>	<b>-C\$ 8 243 062,43</b>	<b>-C\$ 8 407 502,31</b>	<b>-C\$ 8 576 944,88</b>	<b>-C\$ 8 751 566,10</b>
Imprevistos		-C\$ 808 345,55	-C\$ 824 306,24	-C\$ 840 750,23	-C\$ 857 694,49	-C\$ 875 156,61
<b>Ingresos</b>						
Ahorro consumo eléctrico		C\$ 1 268 036,64	C\$ 1 315 588,01	C\$ 1 364 922,56	C\$ 1 416 107,16	C\$ 1 469 211,18
Ahorro de mano de obra		C\$ 3 321 017,16	C\$ 3 354 227,34	C\$ 3 387 769,61	C\$ 3 421 647,31	C\$ 3 455 863,78
Ahorro en cargas sociales		C\$ 869 110,19	C\$ 877 801,29	C\$ 886 579,31	C\$ 895 445,10	C\$ 904 399,55
Ahorro en consumo de agua		C\$ 456 480,00	C\$ 473 598,00	C\$ 491 357,93	C\$ 509 783,85	C\$ 528 900,74
Ahorro en productos químicos		C\$ 6 211 031,67	C\$ 6 443 945,36	C\$ 6 685 593,31	C\$ 6 936 303,06	C\$ 7 196 414,42
<b>Total Ingresos</b>		<b>C\$ 12 125 675,67</b>	<b>C\$ 12 465 160,00</b>	<b>C\$ 12 816 222,71</b>	<b>C\$ 13 179 286,47</b>	<b>C\$ 13 554 789,67</b>
<b>Flujo</b>		<b>C\$ 3 233 874,60</b>	<b>C\$ 4 222 097,58</b>	<b>C\$ 4 408 720,41</b>	<b>C\$ 4 602 341,59</b>	<b>C\$ 4 803 223,57</b>
(+) Depreciación		C\$ 754 511,18	C\$ 754 511,18	C\$ 754 511,18	C\$ 754 511,18	C\$ 754 511,18
<b>Flujo despues de depreciación</b>		<b>C\$ 3 988 385,78</b>	<b>C\$ 4 976 608,76</b>	<b>C\$ 5 163 231,58</b>	<b>C\$ 5 356 852,77</b>	<b>C\$ 5 557 734,75</b>
<b>Flujo Acumulado</b>	<b>-C\$ 7 750 497,49</b>	<b>-C\$ 3 762 111,71</b>	<b>C\$ 1 214 497,04</b>	<b>C\$ 6 377 728,63</b>	<b>C\$ 11 734 581,40</b>	<b>C\$ 17 292 316,14</b>

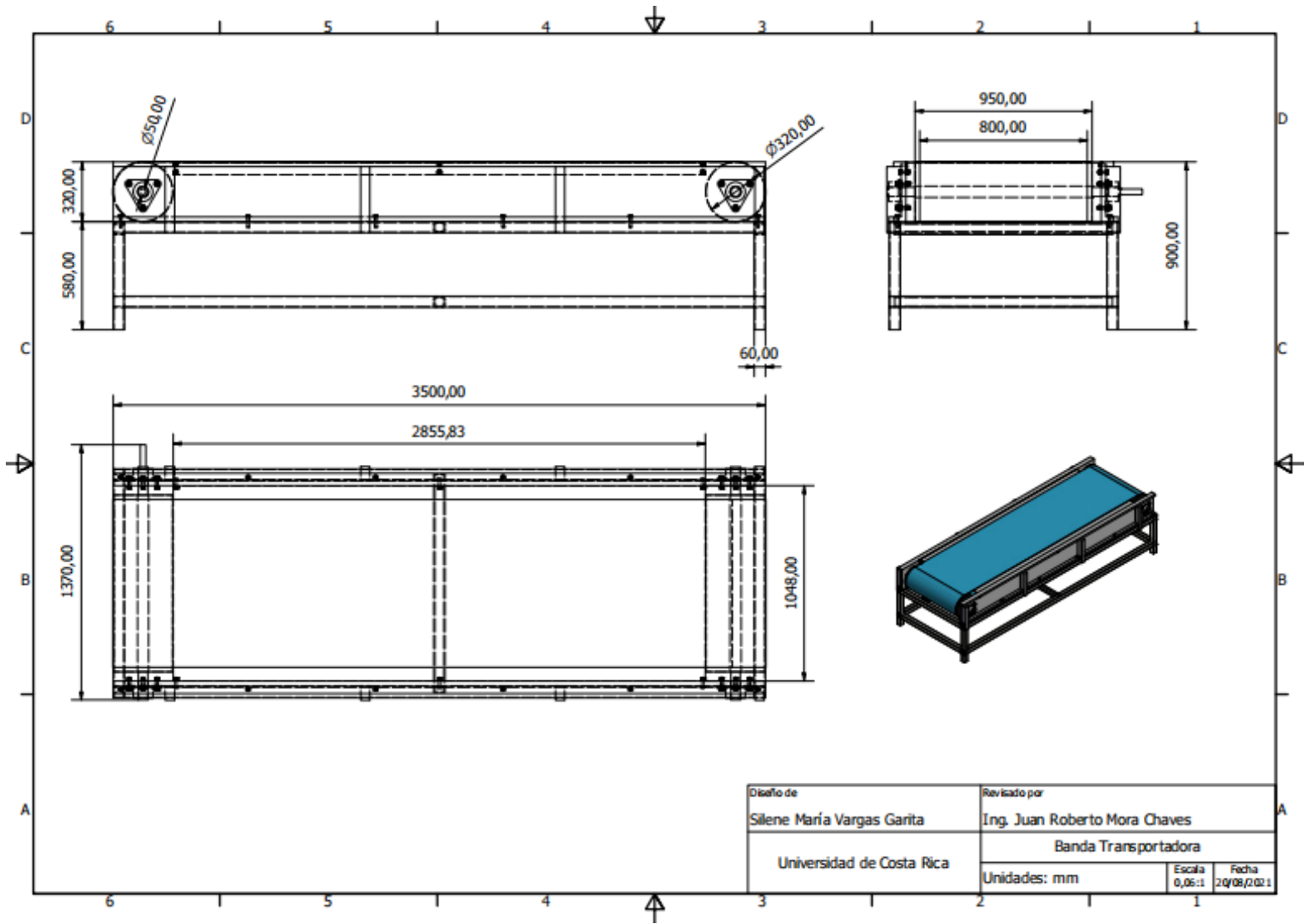
**Cuadro A-2. Flujo de caja base del proyecto (Parte 2 de 2).**

Rubro	Periodos (años)				
	6	7	8	9	10
<b>Inversión</b>					
<b>Gastos</b>					
Mano de obra	-C\$ 490 422,42	-C\$ 525 326,64	-C\$ 560 579,91	-C\$ 596 185,71	-C\$ 632 147,56
Cargas sociales	-C\$ 913 443,55	-C\$ 922 577,98	-C\$ 931 803,76	-C\$ 941 121,80	-C\$ 950 533,02
Insumos	-C\$ 1 104 767,08	-C\$ 1 146 195,85	-C\$ 1 189 178,19	-C\$ 1 233 772,37	-C\$ 1 280 038,84
Consumo eléctrico	-C\$ 805 029,89	-C\$ 835 218,51	-C\$ 866 539,21	-C\$ 899 034,43	-C\$ 932 748,22
Mantenimiento	-C\$ 1 863 374,31	-C\$ 1 933 250,84	-C\$ 2 005 747,75	-C\$ 2 080 963,29	-C\$ 2 158 999,41
Depreciación anual	-C\$ 754 511,18	-C\$ 754 511,18	-C\$ 754 511,18	-C\$ 754 511,18	-C\$ 754 511,18
<b>Total Gastos</b>	<b>-C\$ 8 931 548,42</b>	<b>-C\$ 9 117 081,01</b>	<b>-C\$ 9 308 360,00</b>	<b>-C\$ 9 505 588,78</b>	<b>-C\$ 9 708 978,23</b>
Imprevistos	-C\$ 893 154,84	-C\$ 911 708,10	-C\$ 930 836,00	-C\$ 950 558,88	-C\$ 970 897,82
<b>Ingresos</b>					
Ahorro consumo eléctrico	C\$ 1 498 595,40	C\$ 1 528 567,31	C\$ 1 559 138,66	C\$ 1 590 321,43	C\$ 1 622 127,86
Ahorro de mano de obra	C\$ 490 422,42	C\$ 525 326,64	C\$ 560 579,91	C\$ 596 185,71	C\$ 632 147,56
Ahorro en cargas sociales	C\$ 913 443,55	C\$ 922 577,98	C\$ 931 803,76	C\$ 941 121,80	C\$ 950 533,02
Ahorro en consumo de agua	C\$ 548 734,52	C\$ 569 312,06	C\$ 590 661,27	C\$ 612 811,06	C\$ 635 791,48
Ahorro en productos químicos	C\$ 7 466 279,96	C\$ 7 746 265,46	C\$ 8 036 750,42	C\$ 8 338 128,56	C\$ 8 650 808,38
<b>Total Ingresos</b>	<b>C\$ 13 917 475,85</b>	<b>C\$ 14 292 049,46</b>	<b>C\$ 14 678 934,01</b>	<b>C\$ 15 078 568,56</b>	<b>C\$ 15 491 408,30</b>
<b>Flujo</b>	<b>C\$ 4 985 927,43</b>	<b>C\$ 5 174 968,45</b>	<b>C\$ 5 370 574,01</b>	<b>C\$ 5 572 979,78</b>	<b>C\$ 5 782 430,07</b>
(+) Depreciación	C\$ 754 511,18	C\$ 754 511,18	C\$ 754 511,18	C\$ 754 511,18	C\$ 754 511,18
<b>Flujo despues de depreciación</b>	<b>C\$ 5 740 438,61</b>	<b>C\$ 5 929 479,63</b>	<b>C\$ 6 125 085,19</b>	<b>C\$ 6 327 490,96</b>	<b>C\$ 6 536 941,25</b>
<b>Flujo Acumulado</b>	<b>C\$ 23 032 754,75</b>	<b>C\$ 28 962 234,38</b>	<b>C\$ 35 087 319,58</b>	<b>C\$ 41 414 810,54</b>	<b>C\$ 47 951 751,78</b>

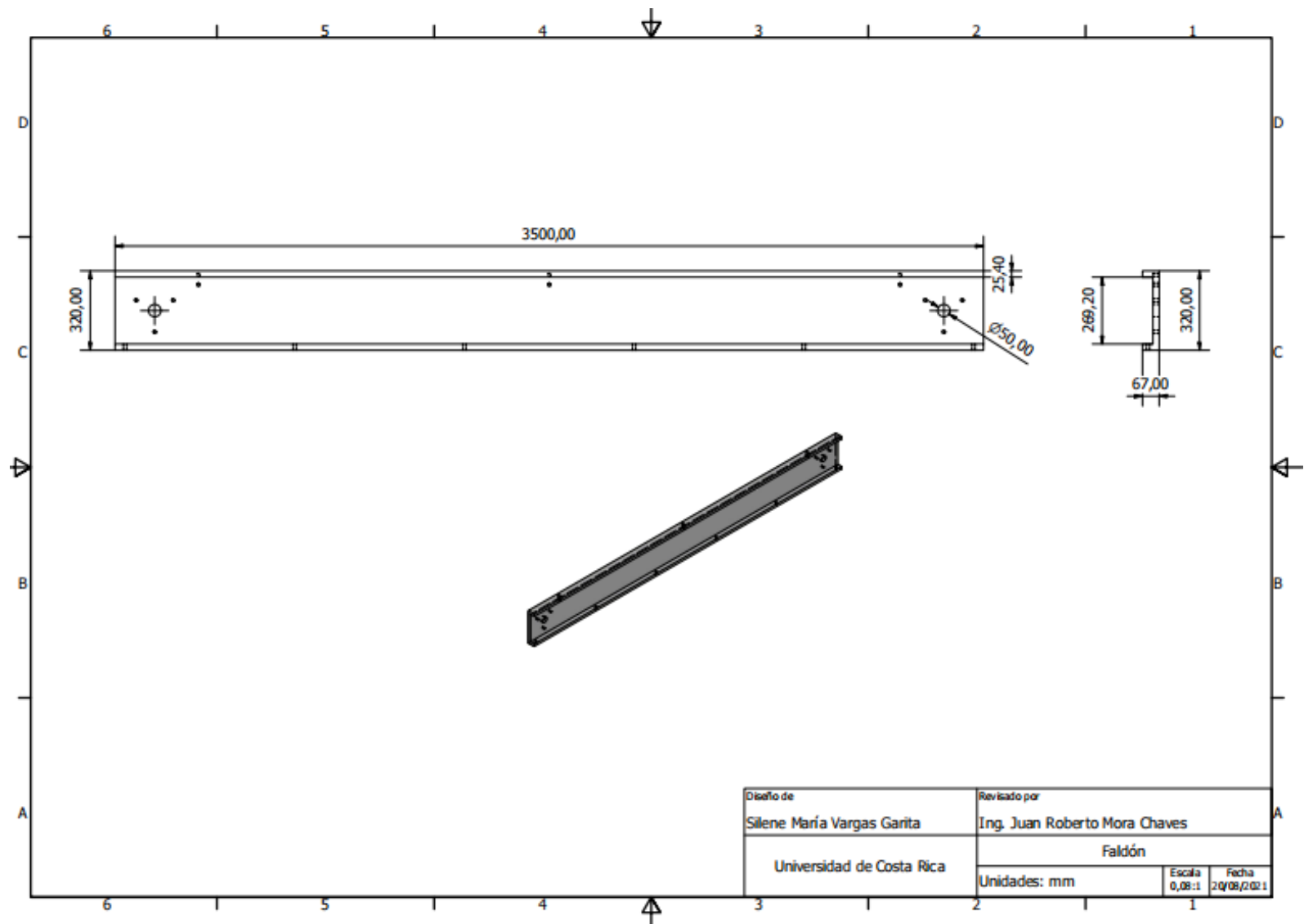
**Anexo B.** Planos del equipo para irradiar las coronas de banano con radiación UV-C y tapas de protección.



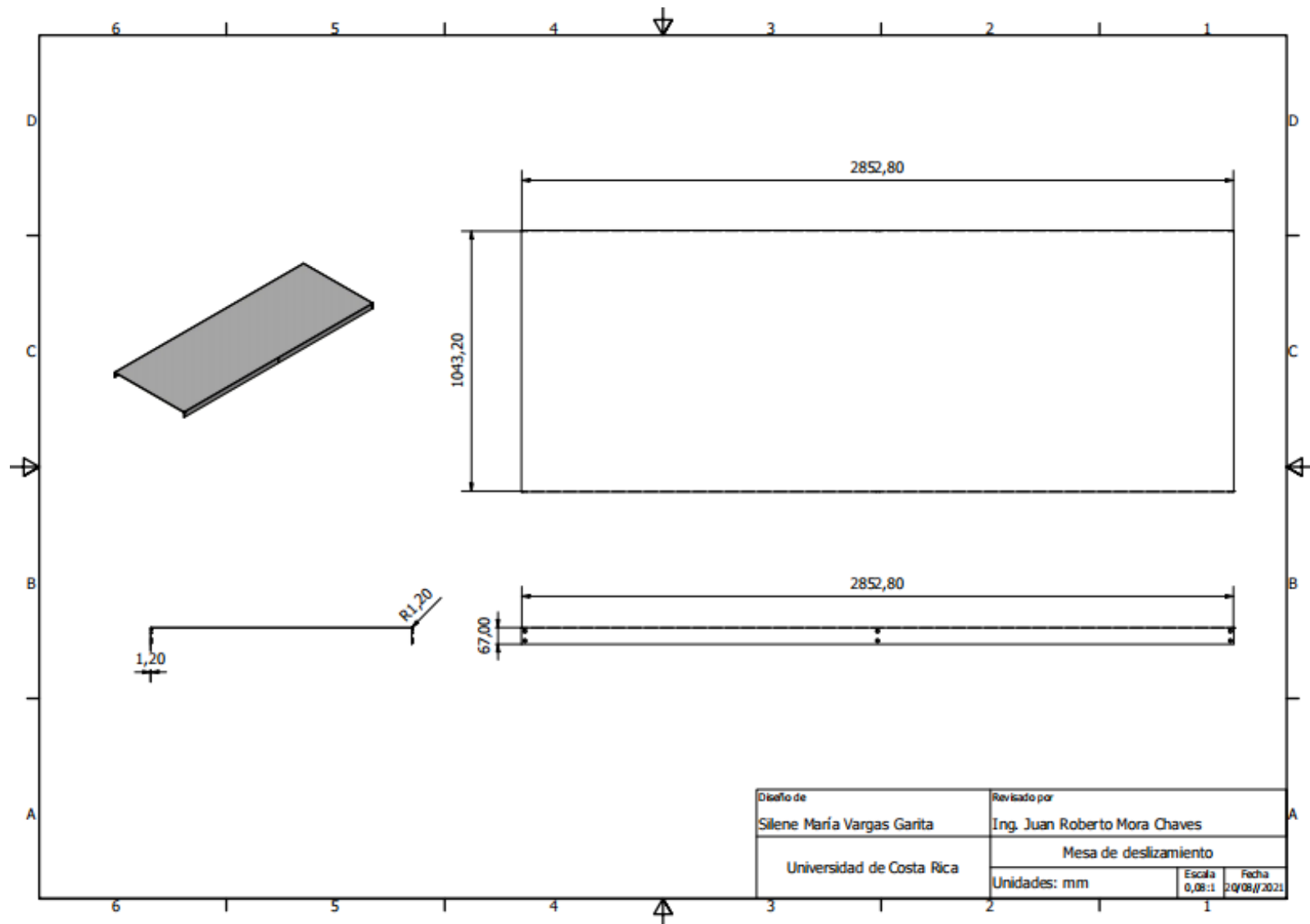
**Figura B-1.** Plano de túnel de radiación UV-C para el tratamiento de coronas.



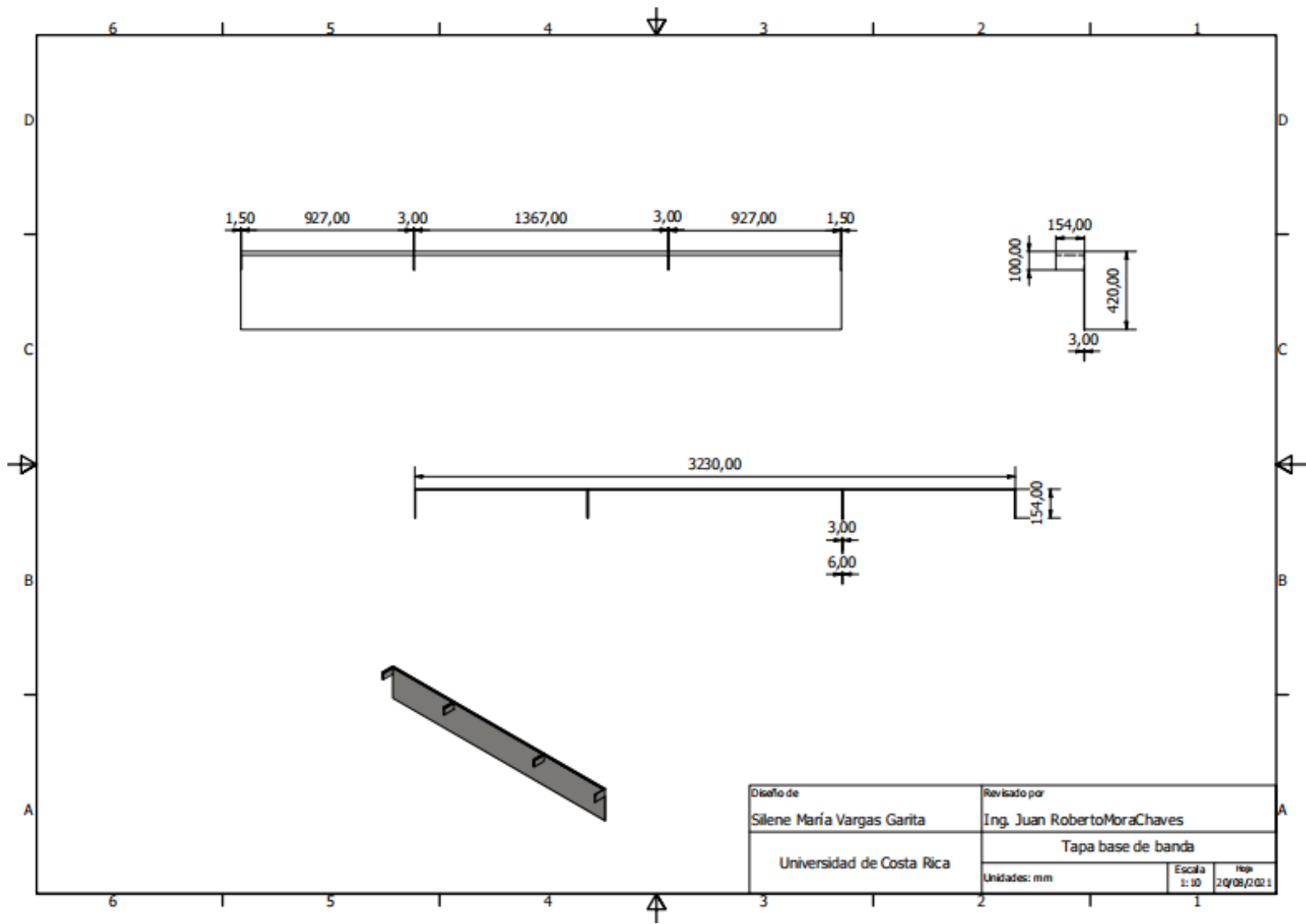
**Figura B-2.** Plano de la banda transportadora para el tratamiento de coronas.



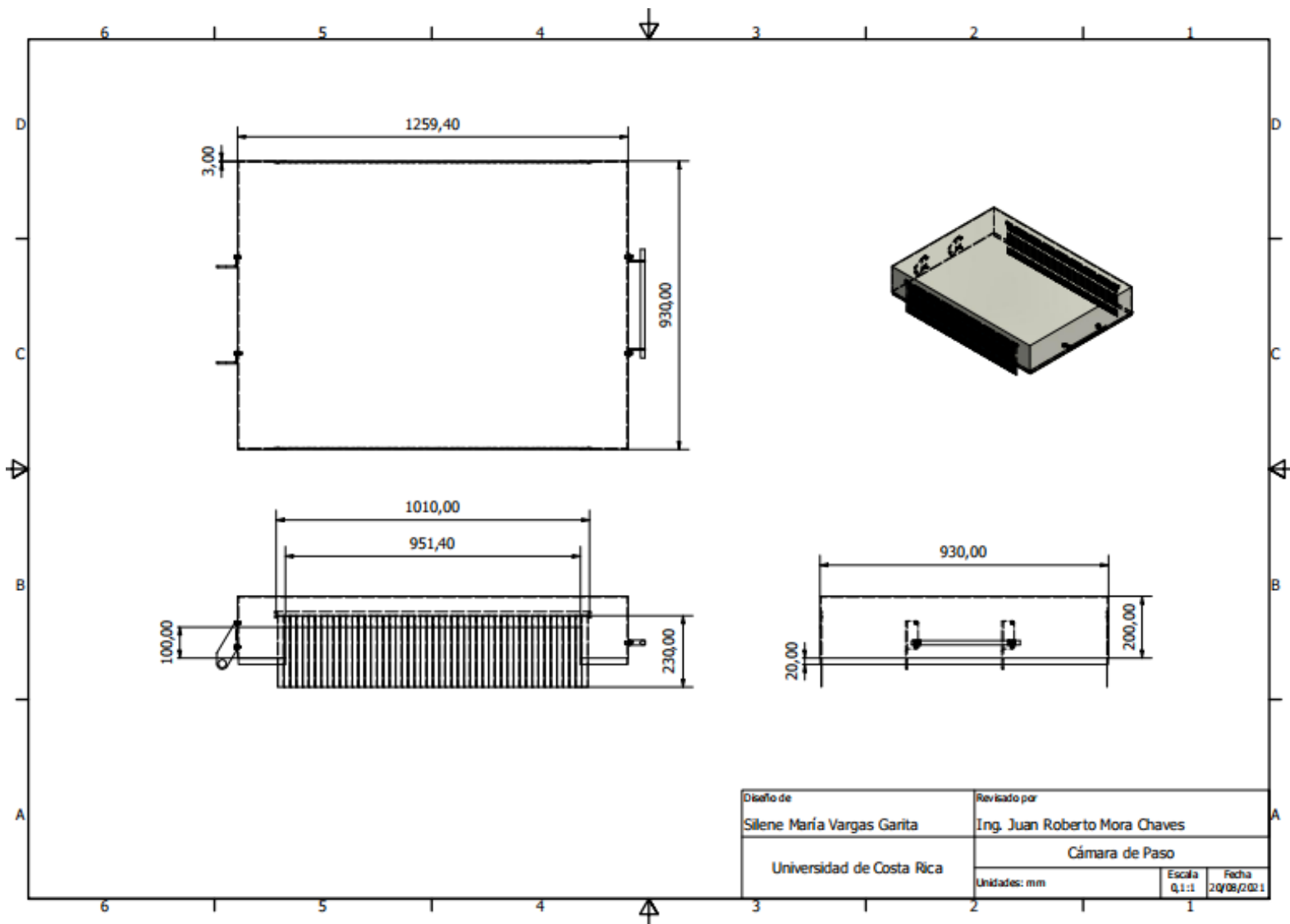
**Figura B-3.** Plano del faldón de la banda transportadora para el tratamiento de coronas.



**Figura B-4.** Plano de la mesa de deslizamiento de la banda transportadora para el tratamiento de coronas.

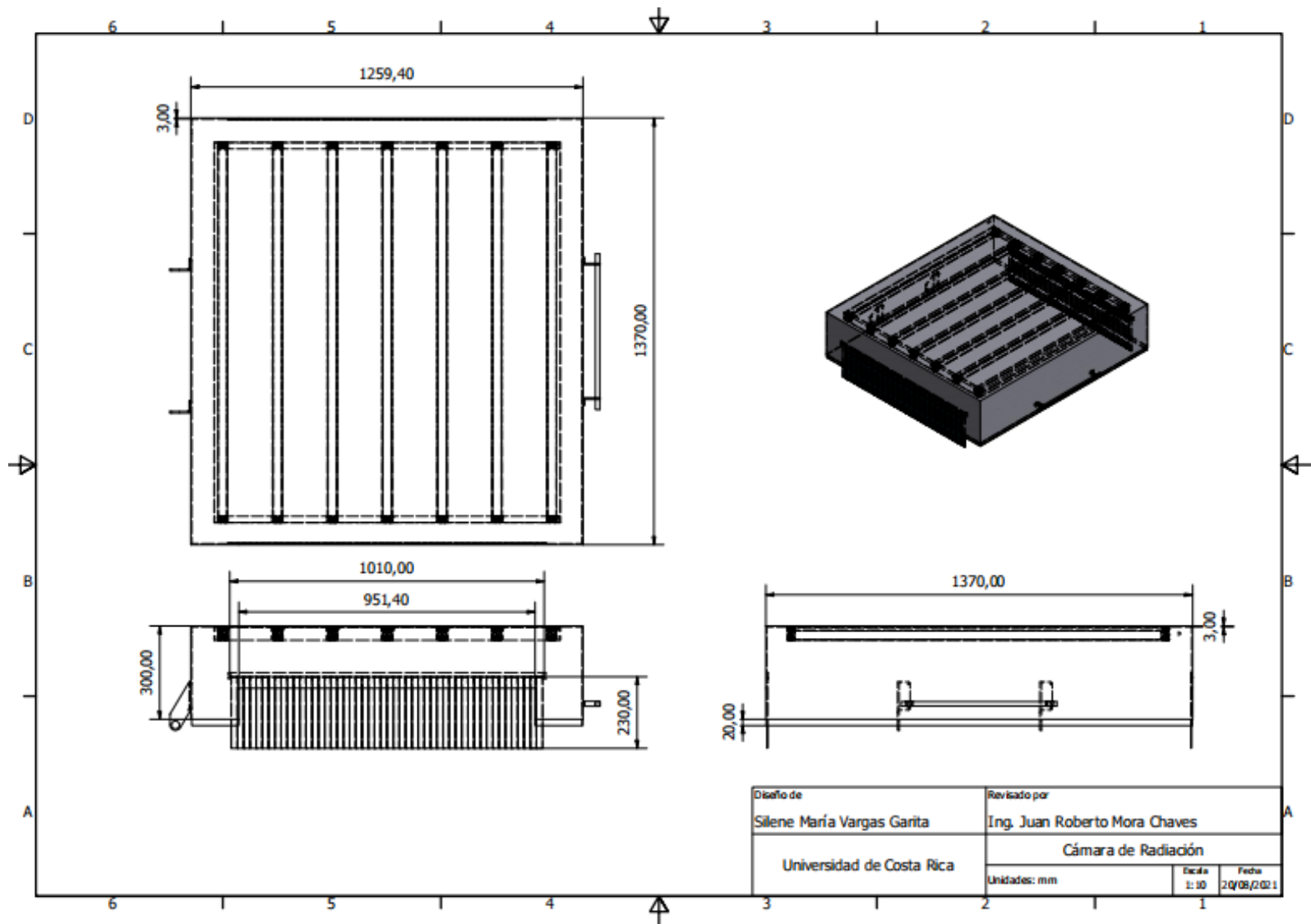


**Figura B-5.** Plano de la tapa base de la banda transportadora para conectar las cámaras con la banda.

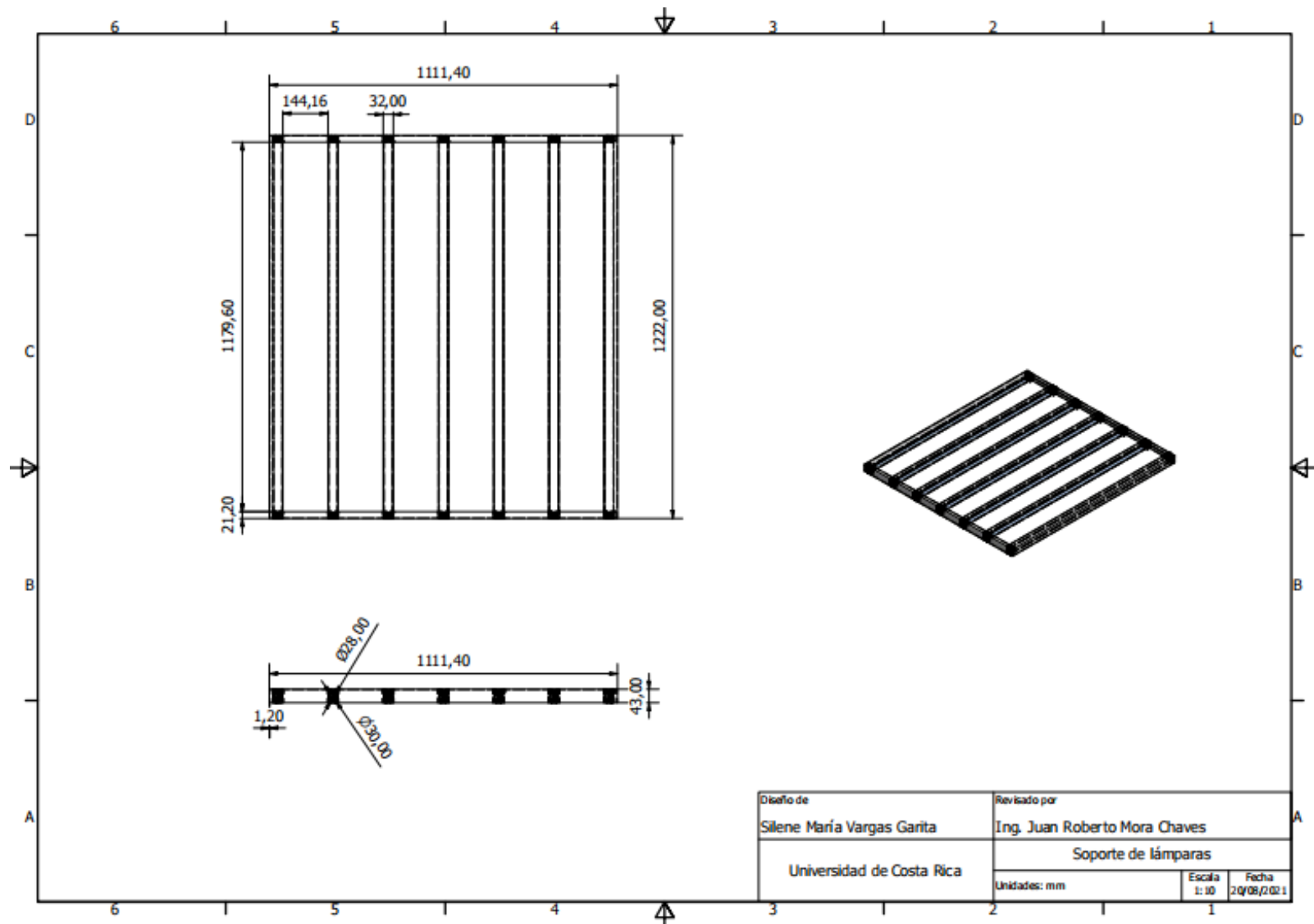


**Figura B-6.** Plano de la cámara de paso del equipo de tratamiento de coronas.

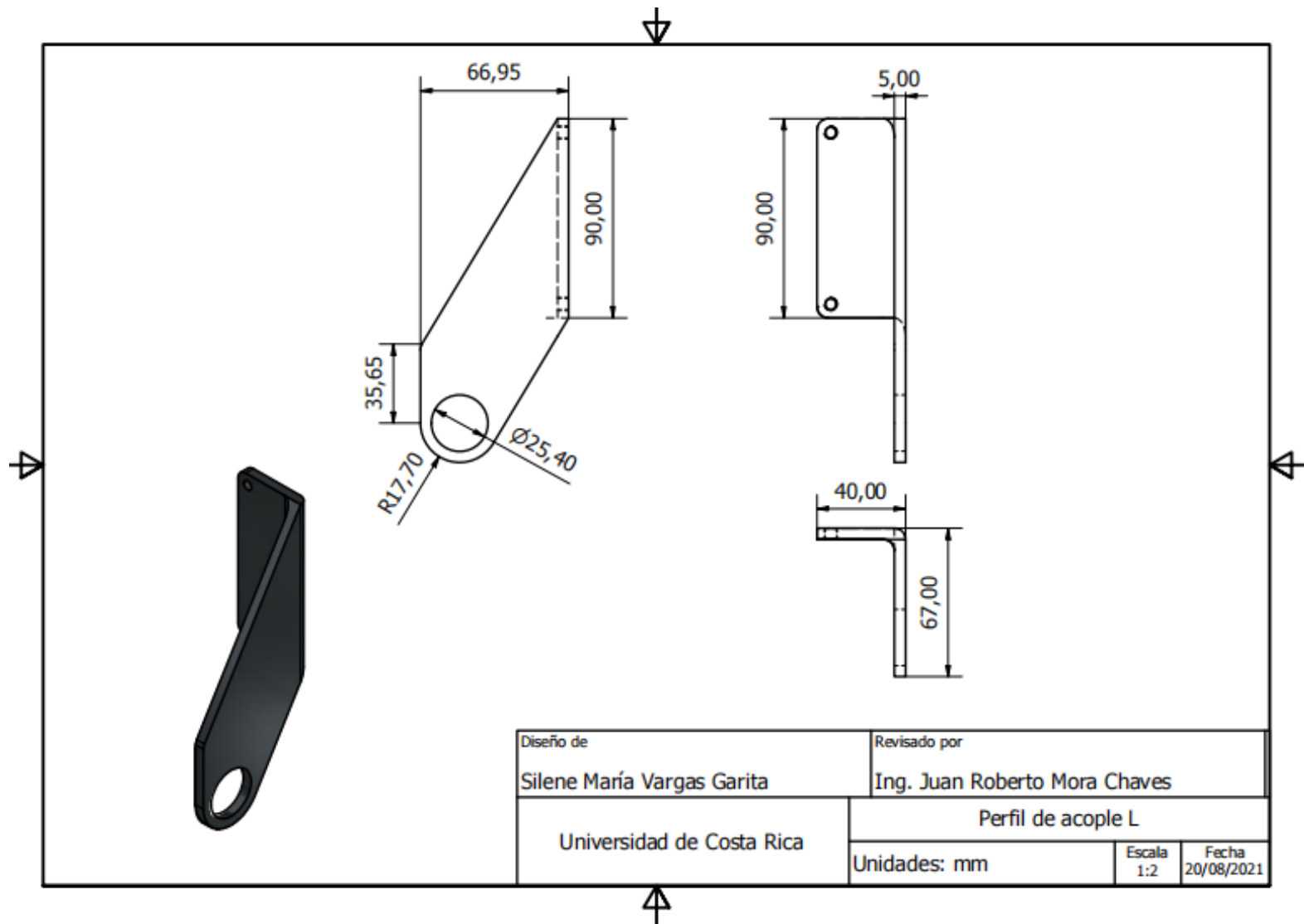




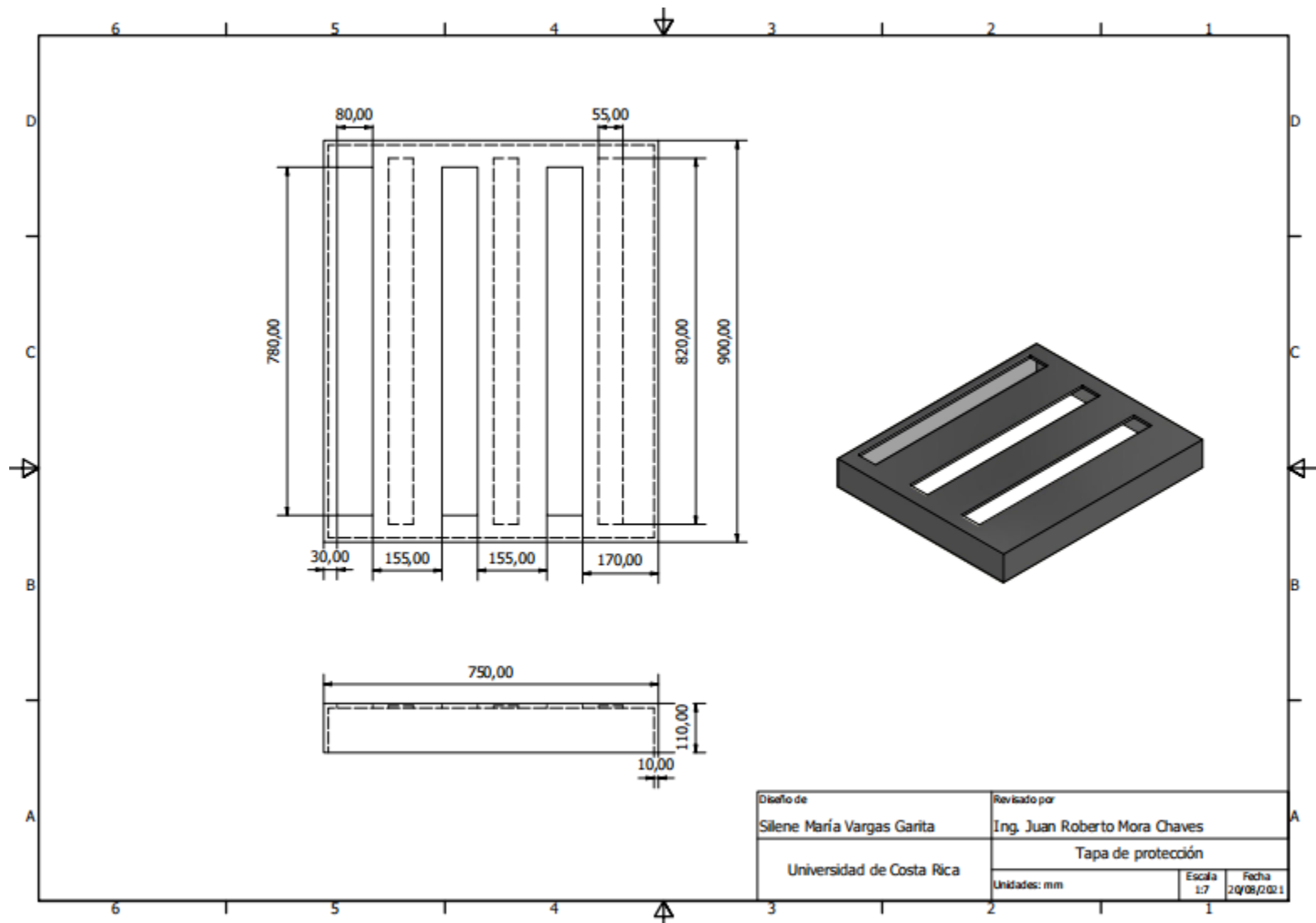
**Figura B-7.** Plano de la cámara de radiación del equipo de tratamiento de coronas.



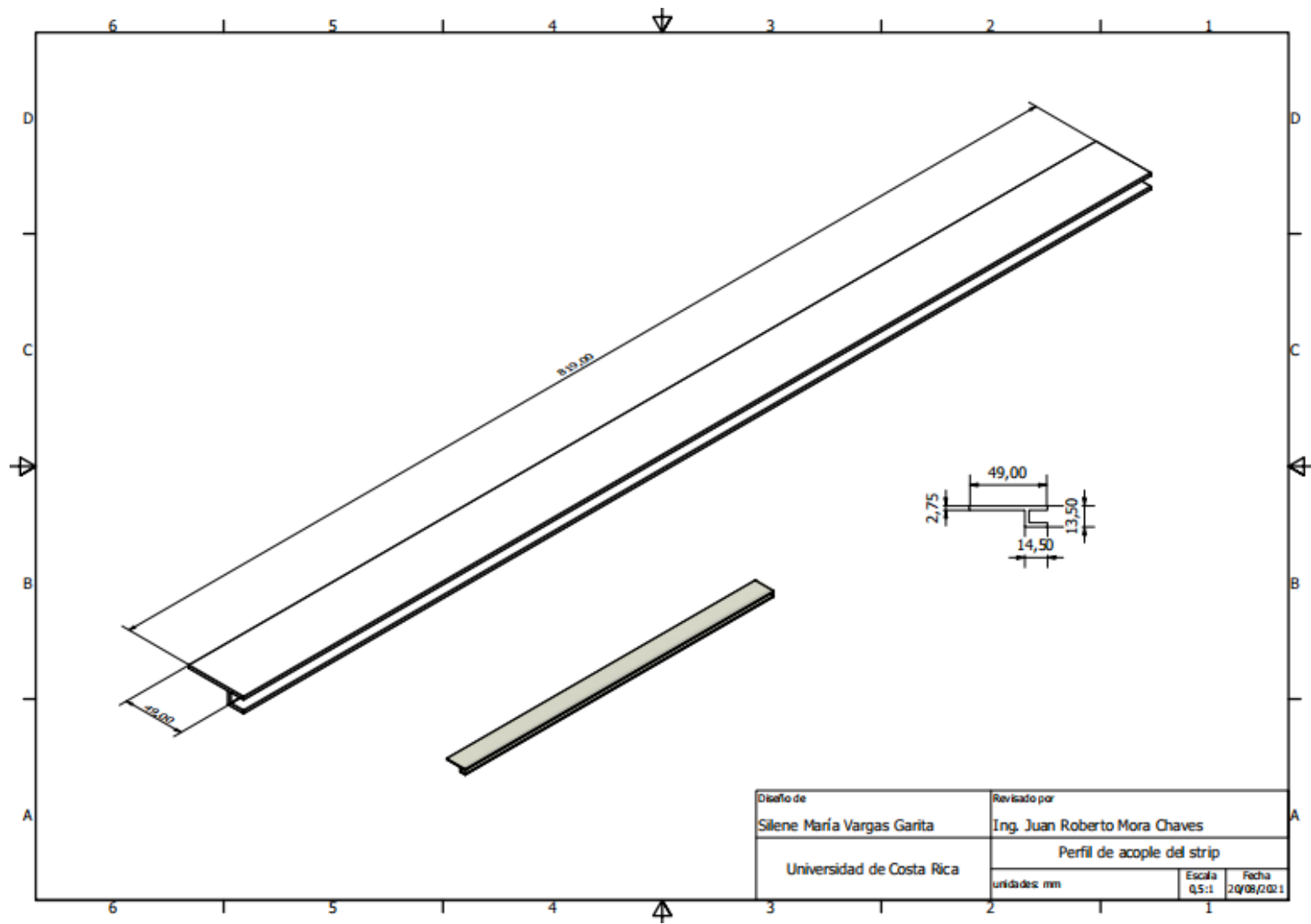
**Figura B-8.** Plano de la estructura de soporte de las lámparas del equipo para el tratamiento de las coronas.



**Figura B-9.** Plano del perfil de acople en L del equipo para el tratamiento de las coronas.

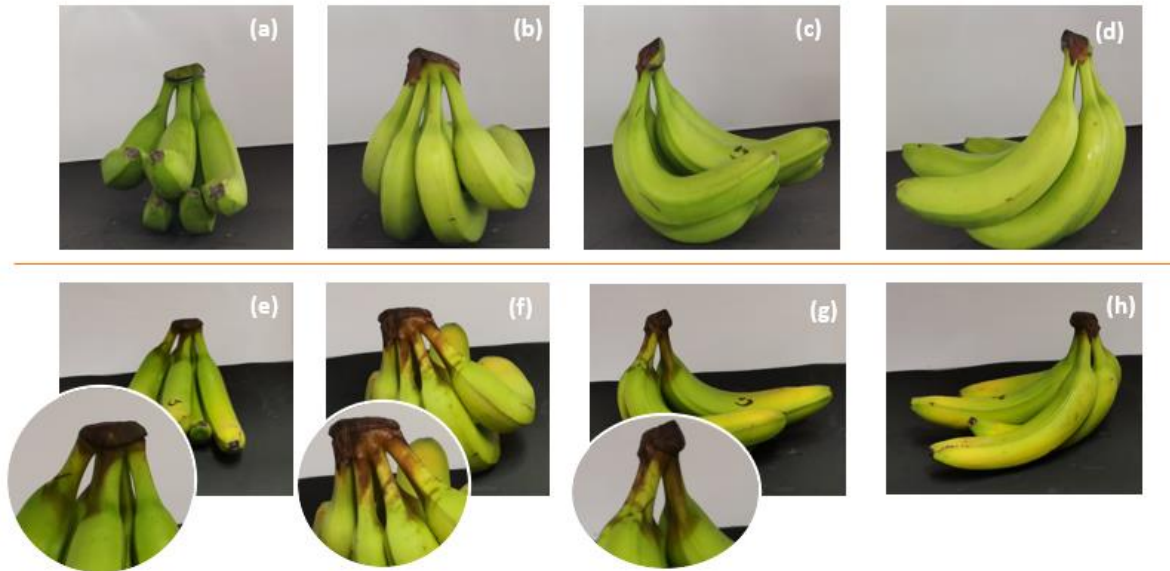


**Figura B-10.** Plano de la tapa de protección de las manos de banana.

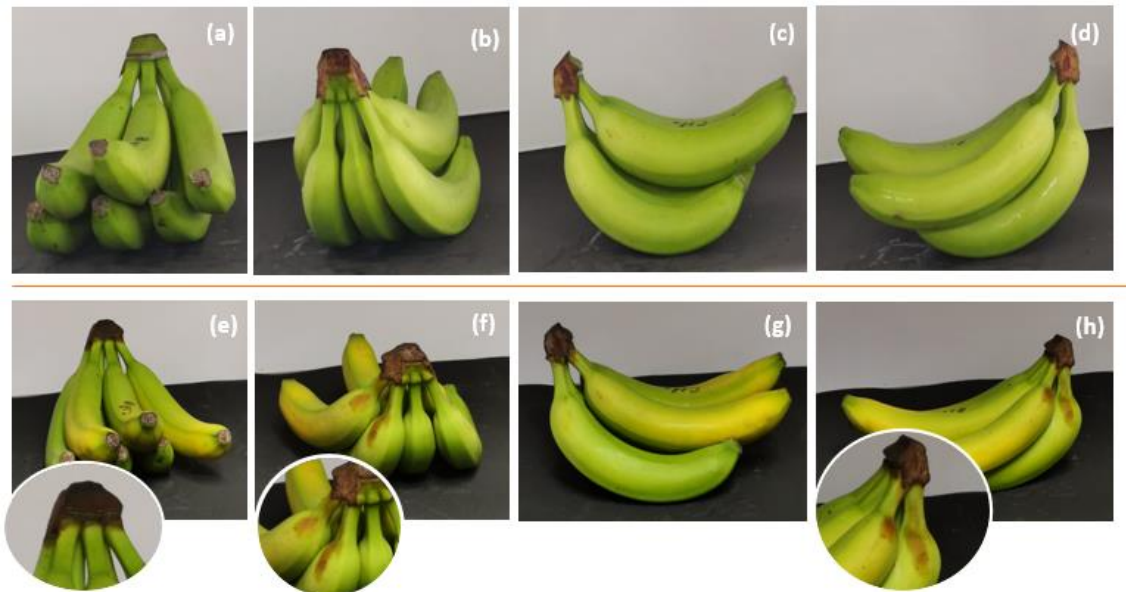


**Figura B-11.** Plano del perfil “h” para el acople de la banda de cerdas con la tapa de protección de las manos de banano.

**Anexo C.** Resultado de prueba de coberturas, con tres configuraciones distintas a diferentes alturas.



**Figura C-1.** Resultado de prueba de coberturas, con configuración de dos bandas de cerdas a una altura de 10 cm, (a)-(b) perfiles de las manos de banano antes del tratamiento, (e)-(h) perfiles de las manos de banano después del tratamiento UV-C.



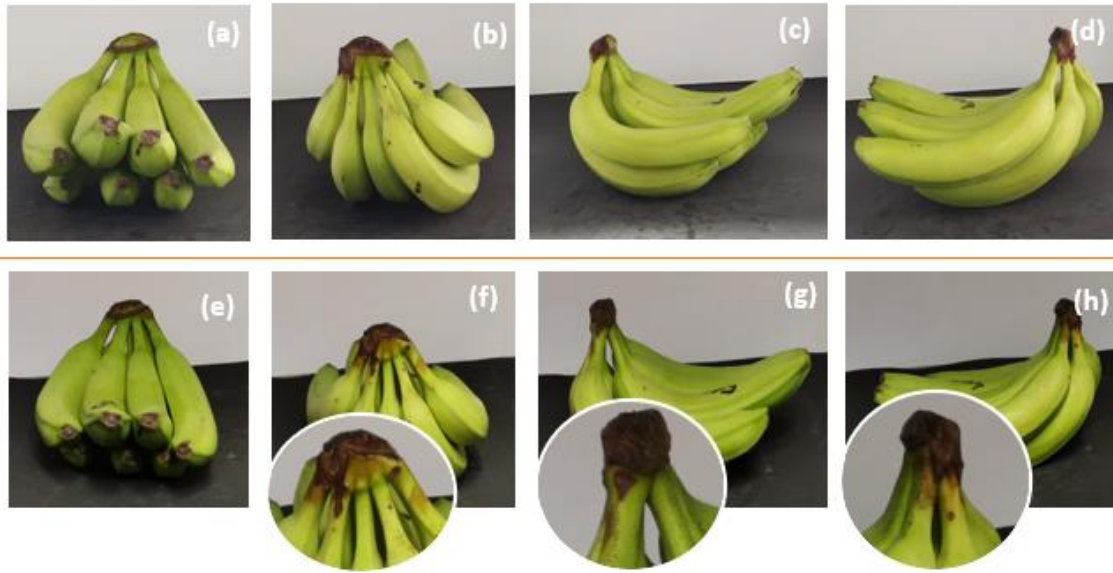
**Figura C-2.** Resultado de prueba de coberturas, con configuración de dos bandas de cerdas y hule a una altura de 10 cm, (a)-(b) perfiles de las manos de banano antes del tratamiento, (e)-(h) perfiles de las manos de banano después del tratamiento UV-C.



**Anexo C-3.** Resultado de prueba de coberturas, con configuración hule a una altura de 10 cm, (a)-(b) perfiles de las manos de banano antes del tratamiento, (e)-(h) perfiles de las manos de banano después del tratamiento UV-C.



**Figura C-4.** Resultado de prueba de coberturas, con configuración 2 bandas de cerdas a una altura de 25 cm, (a)-(b) perfiles de las manos de banano antes del tratamiento, (e)-(h) perfiles de las manos de banano después del tratamiento UV-C.

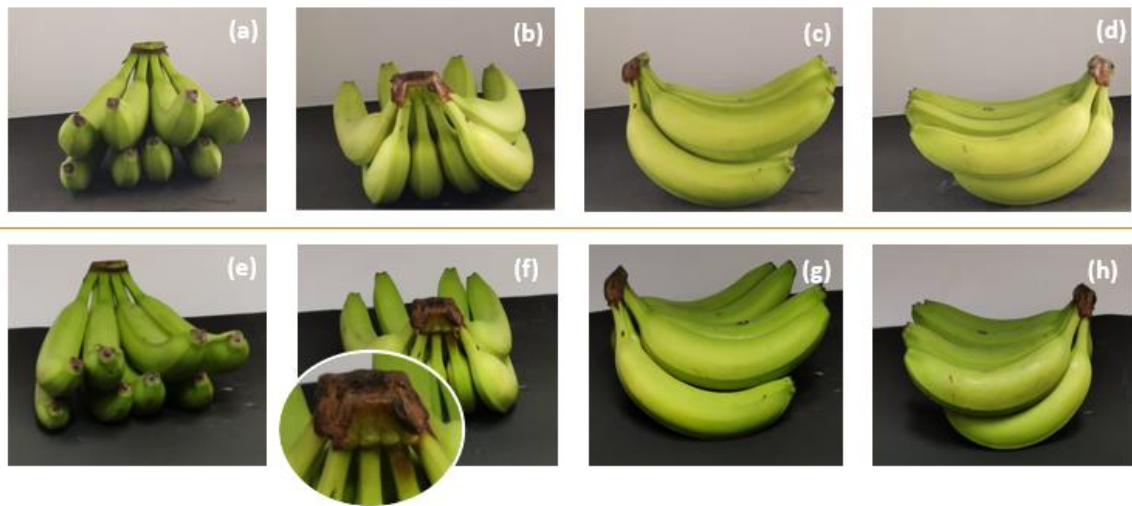


**Figura C-5.** Resultado de prueba de coberturas, con configuración 2 bandas de cerdas y hule a una altura de 25 cm, (a)-(b) perfiles de las manos de banano antes del tratamiento, (e)-(h) perfiles de las manos de banano después del tratamiento UV-C.

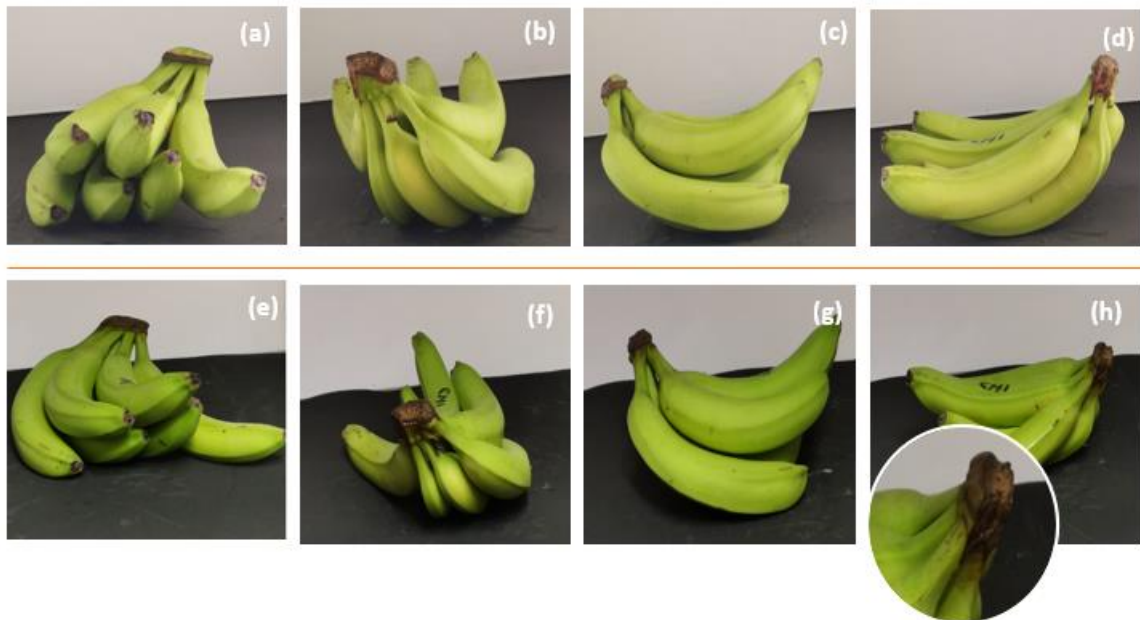


**Figura C-6.** Resultado de prueba de coberturas, con configuración de hule a alturas de 25 cm, (a)-(b) perfiles de las manos de banano antes del tratamiento, (e)-(h) perfiles de las manos de banano después del tratamiento UV-C.

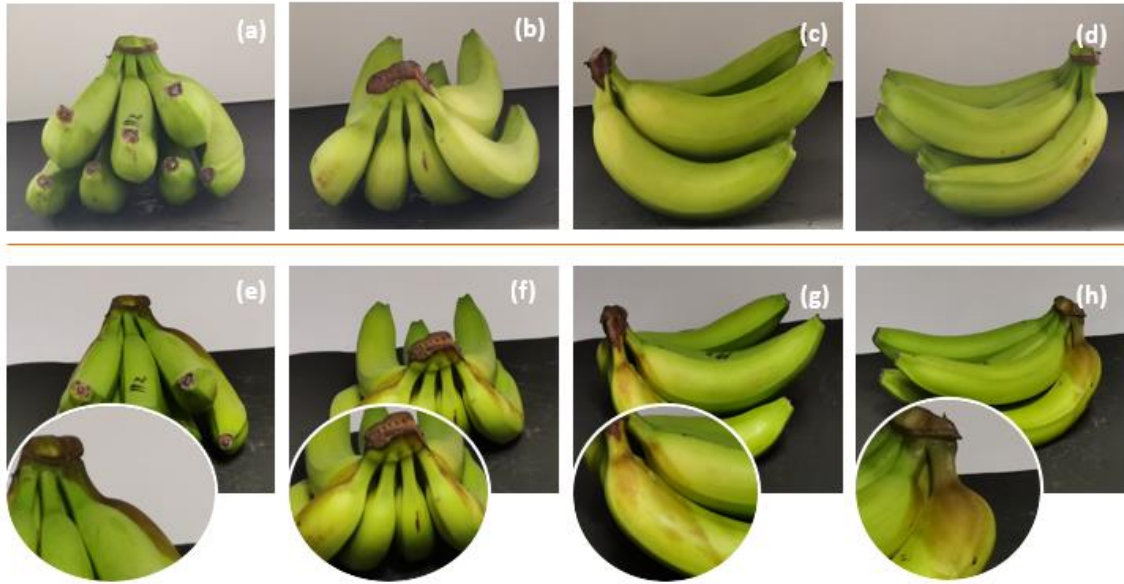




**Figura C-7.** Resultado de prueba de coberturas, con configuración 2 bandas de cerdas a una altura de 35 cm, (a)-(b) perfiles de las manos de banano antes del tratamiento, (e)-(h) perfiles de las manos de banano después del tratamiento UV-C.



**Figura C-8.** Resultado de prueba de coberturas, con configuración 2 bandas de cerdas y hule a una altura de 35 cm, (a)-(b) perfiles de las manos de banano antes del tratamiento, (e)-(h) perfiles de las manos de banano después del tratamiento UV-C.



**Figura C-9.** Resultado de prueba de coberturas, con configuración de hule a una altura de 35 cm, (a)-(b) perfiles de las manos de banano antes del tratamiento, (e)-(h) perfiles de las manos de banano después del tratamiento UV-C.