



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**



**“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SECADOR SOLAR PARA  
OPTIMIZAR LA HENIFICACIÓN DE PASTOS CULTIVADOS, EN  
EL CENTRO EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO.”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**LEO EDGAR GARCIA MAMANI**

**CRISTIAN JUAN CUTIMBO GOMEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2019**



## DEDICATORIA

Yo Cristian J. Cutimbo Gomez dedico este proyecto de investigación a Dios por su guía y darnos la fe de seguir adelante y haber permitido lograr nuestros objetivos.

A mis padres Juan P. Cutimbo Coila y Nancy A. Gomez Quijo, y mis hermanos por el apoyo incondicional, por los consejos, por la confianza y por la paciencia en todo momento.



## DEDICATORIA

Yo Leo Edgar Garcia Mamani, dedico este proyecto de investigación a mis abuelos Manuel y Vicentina, a mi madre Victoria Mamani, a mi hermana y primos por el apoyo en mi etapa universitaria, y la confianza puesta en mí, para lograr este objetivo.



## AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a nuestro director por la orientación y apoyo para la realización de esta tesis.

A los miembros de jurados por su participación y aporte en este trabajo.

Al Dr. Gregorio F. Argote Quispe y grupo de integrantes del área de pastos y forrajes de la estación experimental Illpa- Puno, agradecerles por permitirnos ser partícipe de sus actividades, por el apoyo de conocimientos y consejos para el proyecto.

A los trabajadores de la estación experimental Illpa-Puno por sus facilidades prestadas y apoyo para realizar este proyecto.

También agradecer a las personas y a los amigos(as) que apoyaron directa o indirectamente en este trabajo de investigación.



# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN .....	13
ABSTRACT.....	14

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.2. Justificación del problema.....	16
1.3. Hipótesis de la investigación.....	17
1.3.1. Hipótesis general.....	17
1.3.2. Hipótesis específico. ....	17
1.4. Objetivos de la investigación. ....	18
1.4.1. Objetivo general. ....	18
1.4.2. Objetivos específicos .....	18

## CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Antecedentes del proyecto. ....	19
2.1.1. Antecedentes regionales.....	19
2.1.2. Antecedentes nacionales. ....	20
2.1.3. Antecedentes internacionales.....	20
2.2. Marco conceptual.....	22
2.2.1. Conservación de forraje en las zonas altoandinas de la región puno.....	22
2.2.2. Métodos de conservación de forraje. ....	22
2.2.2.1. Ensilado.....	22
2.2.2.2. Henificado.....	23
2.2.3. Henificación de forraje en la región puno.....	29



2.2.3.1. Henificado de avena.....	29
2.2.3.2. Henificado de pastos cultivados.....	29
2.2.4. Energías renovables.....	29
2.2.4.1. Energía solar térmica.....	31
2.2.4.2. Energía solar fotovoltaica.....	33
2.2.4.3. Energía eólica.....	33
2.2.5. Secadores solares.....	34
2.2.5.1. Clasificación de secador solar.....	35
2.2.6. Características climáticas locales.....	36
2.2.7. Secado tradicional en la región puno.....	37
2.2.8. Energías renovables aplicados al sector agropecuario en la actualidad....	39
2.2.9. Secadores solares en el Perú.....	39
2.2.10. Secadores solares en la región Puno.....	40
2.2.11. Innovaciones en los secadores solares.....	40
2.3. Mecanismo de transmisión de calor.....	40
2.3.1. Conducción.....	40
2.3.2. Convección.....	41
2.3.3. Radiación.....	41
2.4. Factores que rigen el proceso de secado.....	42
2.4.1. Contenido de humedad.....	42
2.4.2. Temperatura máxima.....	42
2.5. Comportamiento de los secadores solares.....	43
2.5.1. Isoterma de sorción de una materia orgánica.....	44
2.5.2. Secado por ebullición.....	44

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Ubicación y descripción de la población.....	45
3.2. Tipo de investigación.....	45
3.3. Población de investigación.....	45
3.4. Diseño de la investigación.....	46
3.5. Análisis de la situación actual.....	47
3.5.1. Aspectos generales.....	47
3.5.2. Problemáticas de la henificación de alfalfa – dactylis.....	47
3.5.3. Capacitaciones en henificación de forrajes.....	48





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Franja solar de la tierra.....	32
<b>Figura 2.2:</b> Clasificación de los secadores solares.....	35
<b>Figura 2.3:</b> Probabilidad diaria de precipitación.....	37
<b>Figura 2.4:</b> Precipitación de lluvia mensual promedio. ....	37
<b>Figura 3.1:</b> Metodología de desarrollo de tesis.....	46
<b>Figura 3.2:</b> Secador solar tipo gabinete. ....	50
<b>Figura 3.3:</b> Diseño de prototipo modelo media agua.....	51
<b>Figura 3.4:</b> Secador solar tipo túnel.....	53
<b>Figura 3.5:</b> Diseño de prototipo de secador solar tipo túnel. ....	54
<b>Figura 3.6:</b> Análisis de la estructura del secador tipo media agua.....	79
<b>Figura 3.7:</b> Análisis de la estructura del secador tipo túnel.....	89
<b>Figura 3.8:</b> Análisis de la estructura de estantería. ....	98
<b>Figura 4.1:</b> Módulo secador solar tipo media agua.....	116
<b>Figura 4.2:</b> Módulo secador solar tipo túnel.....	117
<b>Figura 4.3:</b> Muestra de secado en la estantería.....	118
<b>Figura 4.4:</b> Grafica de resultados en dos días de secado, secador media agua.....	120
<b>Figura 4.5:</b> Grafica de resultados en dos días de secado, secador túnel.....	121
<b>Figura 4.6:</b> Grafica de resultados en tres días de secado, secador media agua.....	122
<b>Figura 4.7:</b> Grafica de resultados en tres días de secado, secador túnel.....	124
<b>Figura 4.8:</b> Promedio de contenido de humedad para tipos de secadores y cantidad de días de secado. ....	125
<b>Figura 4.9:</b> Promedio de proteína total (%) de heno de alfalfa- dactilys.....	125



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1:</b> Lista de materiales y equipos, prototipo media agua.....	51
<b>Tabla 3.2:</b> Lista de materiales y equipos, prototipo túnel.....	54
<b>Tabla 3.3:</b> Lista de materiales y equipos, estantería 01. ....	56
<b>Tabla 3.4:</b> Lista de materiales y equipos, estantería 02. ....	57
<b>Tabla 3.5:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 01.....	57
<b>Tabla 3.6:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 02.....	58
<b>Tabla 3.7:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 03.....	59
<b>Tabla 3.8:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 04.....	60
<b>Tabla 3.9:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 05.....	61
<b>Tabla 3.10:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 06.....	62
<b>Tabla 3.11:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 07.....	63
<b>Tabla 3.12:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 08.....	63
<b>Tabla 3.13:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 09.....	64
<b>Tabla 3.14:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 10.....	65
<b>Tabla 3.15:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 11.....	66
<b>Tabla 3.16:</b> Evento de pruebas de prototipo, N° 12.....	67
<b>Tabla 3.17:</b> Resumen de resultados del prototipo tipo media agua. ....	68
<b>Tabla 3.18:</b> Resumen de resultados del prototipo tipo túnel.....	69
<b>Tabla 3.19:</b> Factor de forma (C) .....	77
<b>Tabla 3.20:</b> Materiales utilizados en el módulo secador solar tipo media agua. ....	92
<b>Tabla 3.21:</b> Materiales utilizados en el módulo secador solar tipo túnel.....	94
<b>Tabla 3.22:</b> Datos de temperatura y humedad del medio ambiente, evaluación de secado en dos días. ....	101
<b>Tabla 3.23:</b> Datos de temperatura y humedad del secador tipo media agua. Evaluación de secado en dos días.....	101
<b>Tabla 3.24:</b> Resultados experimentales de secado en dos días. Secador tipo media agua. .....	102
<b>Tabla 3.25:</b> Datos de temperatura y humedad del secador tipo túnel. Evaluación de secado en dos días. ....	102
<b>Tabla 3.26:</b> Resultados experimentales de secado en dos días. Secador tipo túnel. ....	103
<b>Tabla 3.27:</b> Datos de temperatura y humedad del medio ambiente. Evaluación de secado en tres días. ....	104



<b>Tabla 3.28:</b> Datos de temperatura y humedad del secador tipo media agua. Evaluación de secado en tres días.....	104
<b>Tabla 3.29:</b> Resultados experimentales de secado en tres días. Secador tipo media agua. ....	105
<b>Tabla 3.30:</b> Datos de temperatura y humedad del secador tipo túnel. Evaluación de secado en tres días. ....	105
<b>Tabla 3.31:</b> Resultados experimentales de secado en tres días. Secador tipo túnel. ....	106
<b>Tabla 3.32:</b> Datos de temperatura y humedad del medio ambiente, Evaluación de secado en cuatro días. ....	107
<b>Tabla 3.33:</b> Datos de temperatura y humedad del secador tipo media agua. Evaluación de secado en cuatro días. ....	107
<b>Tabla 3.34:</b> Resultados experimentales de secado en cuatro días. Secador tipo media agua.....	108
<b>Tabla 3.35:</b> Datos de temperatura y humedad del secador tipo túnel. Evaluación de secado en cuatro días. ....	108
<b>Tabla 3.36:</b> Resultados experimentales de secado en cuatro días. Secador tipo túnel.	109
<b>Tabla 3.37:</b> Costos del módulo secador solar tipo media agua.....	109
<b>Tabla 3.38:</b> Costos de módulo secador solar tipo túnel. ....	111
<b>Tabla 3.39:</b> Costos de estantería para cada módulo.....	113
<b>Tabla 4.1:</b> Resultados de simulación en programa. ....	118
<b>Tabla 4.2:</b> Resumen de resultados de secador media agua, 48 horas. ....	119
<b>Tabla 4.3:</b> Resumen de temperatura y humedad, secador media agua, 48 horas.....	119
<b>Tabla 4.4:</b> Resumen de resultados de secador túnel, 48 horas.....	120
<b>Tabla 4.5:</b> Resumen de temperatura y humedad, secador media agua, 48 horas.....	121
<b>Tabla 4.6:</b> Resumen de resultados de secador media agua, 72 horas. ....	122
<b>Tabla 4.7:</b> Resumen de temperatura y humedad, secador media agua, 72 horas.....	122
<b>Tabla 4.8:</b> Resumen de resultados de secador túnel, 72 horas.....	123
<b>Tabla 4.9:</b> Resumen de temperatura y humedad, secador túnel, 72 horas. ....	123



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

°C	: Grados Celcius.
m	: Metro.
mm	: Milímetro.
Min	: Minuto.
Pulg.	: Pulgada.
Kg	: Kilogramo.
Lb	: Libra.
AWS	: American Welding Society.
LAC	: Laminado en Caliente.
ASTM	: American society for Testing and Materials.
$m^2$	: Metro Cuadrado.
$km$	: Kilometro.
$V_h$	: Velocidad de diseño en la altura h.
s	: Segundo.
V	: Velocidad de Diseño.
h	: Altura.
$P_h$	: Presión de diseño en la altura h.
C	: Factor de forma adimensional.
$Q_v$	: Carga debido al viento.
$P_v$	: Presión del viento.
$g_0$	: Aceleración estándar debido a la gravedad.
$A_F$	: Área de la cara frontal del módulo.



## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Preguntas de encuestas realizadas para la línea base.....	131
ANEXO 2: Resultados de análisis químico.....	133
ANEXO 3: Vista 01-Módulo secador solar tipo media agua. ....	134
ANEXO 4: Vigas y detalles- Módulo secador solar tipo media agua. ....	135
ANEXO 5: Piezas angulares para unión- Módulo secador solar tipo media agua. ....	138
ANEXO 6: Largueros y parantes- Módulo secador solar tipo media agua. ....	144
ANEXO 7: Arandelas- Módulo secador solar tipo media agua.....	152
ANEXO 8: Sujeción de manta agrofilm- Módulo secador solar tipo media agua. ....	154
ANEXO 9: Vista 01-Módulo secador solar tipo túnel.....	158
ANEXO 10: Vigas y detalles- Módulo secador solar tipo túnel.....	159
ANEXO 11: Piezas angulares para unión- Módulo secador solar tipo túnel.....	166
ANEXO 12: Largueros- Módulo secador solar tipo túnel.....	169
ANEXO 13: Arandelas- Módulo secador solar tipo túnel.....	175
ANEXO 14: Sujeción de manta agrofilm- Módulo secador solar tipo túnel.....	177



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación surge de la necesidad de implementar un secador solar para pruebas de henificado de alfalfa-dactilys, en el centro experimental-Illpa del INIA (Institución Nacional de Investigación Agraria). Para el proyecto 153\_IP, con título; “DISEÑO Y PRUEBA DE UTILIZACION DE UN SECADOR SOLAR PARA LA HENIFICACION DE PASTOS CULTIVADOS EN LAS ZONAS ALTOANDINAS DE LA REGION PUNO”. Con el objetivo de diseñar secadores solares para optimizar la calidad y el tiempo de secado de alfalfa-dactilys, y estimar el costo de la estructura del secador solar. En la fase inicial para la ejecución del proyecto, se hace un análisis de la situación actual a partir de las encuestas realizadas en la línea de base que permite conocer la producción, las técnicas de aprovechamiento y primordialmente los problemas de henificado de pastos cultivados. Con la finalidad de determinar el diseño del módulo secador solar se diseñaron prototipos con diferentes configuraciones, los que fueron evaluados, y que precisan los diseños de los módulos, que se denominan; módulo secador solar tipo túnel y módulo secador solar tipo media agua. En el que se realizó experimentos de secado de alfalfa – dactilys con variación de masa de materia verde, para determinar el tiempo óptimo de secado. Para cada experimento realizado se registraron datos de medición de temperatura, humedad y peso final de materia seca. Con el fin de verificar la calidad del heno se enviaron muestras para el laboratorio. Para el caso del secador solar tipo túnel se registró temperaturas de hasta 38.3 °C con 216 kg., de materia verde, obteniendo heno con 20.64 % de humedad, y para el caso del secador solar tipo media agua, se registró temperaturas de hasta 40.3 °C con 216 kg., de materia verde, obteniendo heno con 21.87 % de humedad.

**Palabras clave:** secador solar, energías alternativas, henificación, alfalfa/dactilys, Illpa.



## ABSTRACT

The present research work arises from the need to implement a solar dryer for alfalfa-dactyls haymaking tests, in the experimental center- Illpa of INIA (Institución Nacional de Investigación Agraria). For the 153\_IP Project with Title; “DESIGN AND PROOF OF USE OF A SOLAR DRYER FOR THE HENIFICATION OF CULTIVATED PASTES IN THE ALTOANDIN AREAS OF THE PUNO REGION”. With the aim of designing solar dryers to optimize the quality and drying time of alfalfa-dactyls and estimate the cost of the solar dryer structure. In the initial phase for project execution, an analysis of the current situation is made from the surveys carried out in the baseline that allows to know the production, harvesting techniques and primarily the problems of haymaking of cultivated pastures in order to determine the design of the dryer module prototypes with different configurations were designed, those that were evaluated, and that they need the module designs, that will be called tunnel type solar dryer module and half water type solar dryer module. Mainly built with steel structure and covered with polycarbonate calamine and agrofilm blanket. Measurement data were recorded for each experiment performed of temperature, humidity and final weight of dry matter. In order to verify the quality of the hay samples were sent to the laboratory. In the case of the tunnel-type solar dryer, temperatures of up to 38.3 ° C were recorded with 216 kg., of green matter, obtaining hay with 20.64% humidity, and in the case of the medium water type solar dryer, temperatures of up to 40.3 ° C with 216 kg of green matter were recorded, obtaining hay with 21.87% humidity.

**Keyword:** solar dryer, alternative energy, haymaking, alfalfa/dactyls, Illpa.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El uso de los secadores solares en la conservación de forrajes, es importante, para el mejoramiento de productividad pecuaria en las zonas altoandinas de la región Puno. La conservación de forraje mediante la henificación es el método más conocido y usado por los productores pecuarios de esta zona.

Con la finalidad de mitigar escases de alimentos en los meses de mayo a septiembre, es necesario la conservación de forraje, así también, en el mejoramiento de la calidad y producción del alimento para sus animales. Para garantizar la productividad y calidad en conservación de forraje seco, se incorpora el uso de secadores solares, el cual aislara de las inclemencias climatológicas que se presenta en la zona durante la temporada de henificado que comprende entre enero a abril donde se presenta altas precipitaciones pluviales, a la vez son épocas donde la producción de alfalfa- dactylis es abundante, esto también permitirá que el productor tenga una mayor sostenibilidad y rentabilidad al aplicar el uso de los secadores solares.

Se diseña dos módulos de secadores solares que se denominan; módulo secador solar tipo túnel y módulo secador solar tipo media agua. Construidos principalmente con estructura de acero, tubo LAC ASTM A-500 cuadrados y cubiertas con calamina ondulado de policarbonato y manta agrofilm de 200 micras. Dimensiones de, 4.2 metros por 9.0 metros para el secador tipo túnel, y 4.0 metros por 9.0 metros, para el secador tipo media agua.



### **1.1. Planteamiento del problema.**

La región de Puno se ha caracterizado en las últimas décadas por desarrollo de la producción pecuaria, y esto conlleva a mejorar la calidad de alimentos. Gracias a los proyectos de irrigación se llegaron a sembrar grandes extensiones de pastos cultivados, pero estos pastizales no llegan a producir suficiente forraje en épocas de helada, para alimentar a los animales. Teniendo como principal problema los escasos de alimentos en épocas de seca, y en épocas de lluvia abundancia, debido a las prácticas tradicionales de manejo en la conservación, se llega a perder gran cantidad de forrajes, disminuyendo la capacidad de producción de heno, consecuencia de las continuas precipitaciones pluviales, limitando la cantidad y calidad de heno.

### **1.2. Justificación del problema.**

Este trabajo de investigación tiene como finalidad suplir el secado tradicional para aumentar la cantidad y mejorar la calidad de heno para el almacenaje correspondiente y posteriores manejos, aprovechando las energías alternativas que están cobrando mayor importancia en las últimas décadas.

Debido al calentamiento global se ha impulsado la investigación en el uso de las energías renovables. El sol, viento, mareas son opciones principales para obtener energía eléctrica. Pero hay distintos métodos de usar estas energías, como por ejemplo colectores solares para calentar agua y aire. Este último método es el principio de los secadores solares, que se pueden aprovechar con diferentes configuraciones, por convección natural, convección forzada y radiación.

Los secadores solares se muestran como una alternativa para la henificación de pastos cultivados. Al diseñar una estructura aislada, el problema de las lluvias será



resueltas, y utilizando para el recubrimiento de la estructura manta agrofilm, aprovecharemos la energía fototérmica logrando una temperatura adecuada en el flujo de aire, para el secado de los pastos cultivados, en el menor tiempo posible.

De esta manera se aprovechara la abundancia de pastos cultivados en temporadas de lluvia, para obtener heno necesario para mitigar la alimentación de los animales en épocas de sequía, obteniendo mayor producción y productividad en los animales.

### **1.3. Hipótesis de la investigación**

#### **1.3.1. Hipótesis general.**

Mediante la experimentación, evaluación y análisis se optimiza el tiempo de secado, aprovechando las fuentes renovables, en un secador solar, que permite el rendimiento en la obtención de heno.

#### **1.3.2. Hipótesis específico.**

- La construcción del secador solar, nos permite obtener heno de mejor calidad en épocas de lluvia.
- La construcción de estantería nos ayuda en la cantidad de producción de heno y disminuir el tiempo de secado



## **1.4. Objetivos de la investigación.**

### **1.4.1. Objetivo general.**

Desarrollar el diseño de un secador solar, para aumentar la producción de heno a partir de alfalfa- dactylis, en las épocas de lluvia, para asegurar la disponibilidad forrajera en épocas secas.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un secador solar eficiente capaz de aumentar la velocidad y cantidad de secado de pastos cultivados.
- Estimar el costo de la estructura del secador solar para la henificación de pastos cultivados.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes del proyecto.

##### 2.1.1. Antecedentes regionales.

W. Sanches and X. Coarite, “mejoramiento del proceso de henificación de forraje mediante el diseño y construcción de una máquina segadora - acondicionadora.” universidad nacional del altiplano, 2017.

En la presente tesis se ha diseñado, construido y realizado las pruebas de una máquina segadora acondicionadora de forraje para su secado y empaquetado, con la finalidad de reducir en parte el problema ocasionado por el desperdicio del forraje al momento de la cosecha. Utilizando una metodología adecuada se seleccionaron las alternativas para el diseño y construcción de los principales sistemas considerándose varios criterios de esencial importancia. El proceso de corte se realiza mediante cuchillas, el forraje es trasladado con un molinete hacia un tornillo sin fin, el molinete además contiene unas garras para fracturar el tallo. Finalmente, el forraje es expulsado por el tornillo sin fin en hileras para luego ser empaquetado, la máquina es de fácil mantenimiento y puede ser operada con facilidad por el personal que conozca del manejo de un tractor agrícola. Las pruebas realizadas en la máquina fueron de: tamaño de corte, capacidad de trabajo, tiempo de trabajo y secado. Además, la eficiencia de la máquina llegó a obtener una producción de hasta 0.33 Ha/h, con una velocidad de avance de 2 km/h, Con estos resultados se concluye que el empleo de esta máquina reduce el desperdicio del forraje al ser cortado y un rápido rebrote de la planta disminuyendo el tiempo empleando para su cosecha.

**Palabras Claves:** Máquina segadora, heno, forraje, acondicionadora, Mañazo, Puno.



### 2.1.2. Antecedentes nacionales.

L. R. Valer and R. Zilles, “Utilización de la energía fotovoltaica en pequeñas actividades productivas en zonas rurales,” *IV Conf. Lat. Am. Energía Sol. (IV ISES\_CLA)* y *XVII Simp. Peru. Energía Sol. (XVII- SPES)*, pp. 1–5, 2010.

Proyectos de uso productivo de la energía fotovoltaica para pequeñas actividades agrícolas vienen siendo implementados alrededor del mundo desde hace varios años. En zonas rurales no electrificadas, proyectos con componentes de uso productivo de la energía podrían permitir el uso de equipos que incrementen la producción, permitan dar valor agregado al producto y diversifiquen las fuentes de ingreso. El diseño de estos proyectos debe superar las barreras inherentes a las tecnologías renovables y seguir algunas directrices nacidas de experiencias pasadas para garantizar una adecuada transferencia de tecnología. En ese sentido, las orientaciones descritas en el presente trabajo pueden servir como guía para futuros proyectos de aplicación productiva de la energía.

**Palabras-clave:** Energía solar, Uso productivo, Desarrollo rural

### 2.1.3. Antecedentes internacionales.

COLECTOR SOLAR TIPO INVERNADERO PARA SECADO#

1. S. Bistoni, A. Iriarte<sup>1</sup>, V. Garcia, C. Rodríguez<sup>2</sup>, M. Lara<sup>1,3</sup> y V. Luque  
INENCO, Catamarca. Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa  
M. Quiroga 93 - 4700 Catamarca, Argentina, [sbistoni@fcasuser.unca.edu.ar](mailto:sbistoni@fcasuser.unca.edu.ar)

RESUMEN: En el presente trabajo se presenta el diseño de un secadero solar que utiliza un invernadero como parte componente del colector solar. Se describen aspectos constructivos del colector de plástico interior al invernadero y de la cámara de secado y los resultados experimentales del funcionamiento del colector, como así también los resultados de un ensayo de secado de tomate. La distribución del flujo de aire en el



colector y a través de las bandejas en la cámara de secado fue uniforme. Las temperaturas máximas obtenidas a la salida del colector fueron del orden de 60 °C para una radiación solar de 900 W m<sup>2</sup>. Se realizó una modelización usando la analogía térmica – eléctrica utilizando el programa SIMUSOL.

**Palabras clave:** deshidratación, secadero solar, invernadero.

2. JAHN B., Ernesto; AVILES R., Rodrigo y BARRALES V., Luis. velocidad de secado de alfalfa bajo diferentes condiciones de secado artificial. Agric. Téc. [online]. 2004, vol.64, n.2, pp.163-171. ISSN 0365-2807. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072004000200005>.

El objetivo del presente estudio fue determinar la tasa de secado de alfalfa (*Medicago sativa* L.), simulando en laboratorio diferentes condiciones de temperatura, ventilación y densidad de hilerado. La pradera de alfalfa fue segada manualmente y las muestras obtenidas se dispusieron en horno con y sin ventilación forzada a tres densidades: 4,78; 3,62; y 2,17 kg m<sup>-2</sup>, y a tres temperaturas: 20, 30 y 40°C. Se evaluaron 18 tratamientos con cuatro repeticiones, a las que se determinó MS cada 3 h durante el día y se evaluó por un total de 53 h. Se utilizaron seis hornos. El aumento de la densidad del forraje produjo una disminución en la tasa de secado (TS) ( $P < 0,0001$ ), además la TS se incrementó con el aumento de la temperatura y la ventilación. La TS fue de 1,83; 2,20; y 3,25% MS h<sup>-1</sup> para las densidades de 4,78; 3,62 y 2,17 kg m<sup>-2</sup>, respectivamente, cuando la temperatura fue de 30°C. La TS fue de 1,49; 2,20 y 3,11% MS h<sup>-1</sup> para las temperaturas de 20, 30 y 40°C respectivamente, cuando la densidad fue de 3,62 kg m<sup>-2</sup>. La ventilación aumentó la TS entre 2 y 2,5 veces, dependiendo de la temperatura. A medida que aumentó la MS del forraje la TS disminuyó. Los datos obtenidos en laboratorio son una herramienta útil para elaborar modelos de simulación, ya que permiten estudiar diferentes factores climáticos sin interacciones entre ellos.



**Palabras clave:** *Medicago sativa* L.; velocidad; secado; temperatura; densidad del forraje.

## **2.2. Marco conceptual.**

### **2.2.1. Conservación de forraje en las zonas altoandinas de la región puno.**

La crianza de ganado vacuno lechero, en las últimas décadas ha generado un desarrollo en la actividad económica importante en los pobladores de las zonas alto andinas de la región Puno.

Este desarrollo ganadero, conlleva a la problemática de la producción de leche en forma constante en todos los meses del año. Esta problemática es primordialmente generada debido a la carencia de alimentos en épocas de sequía.

En nuestros días, con el desarrollo de una ganadería intensiva, las tareas de la alimentación del ganado encaminan sus esfuerzos e imponen como premisas la explotación máxima y eficiente de los recursos naturales tan valiosos como los pastos y forrajes. Es por ello la importancia de la conservación de alimentos para las épocas de escasez.

### **2.2.2. Métodos de conservación de forraje.**

En la actualidad existen diferentes métodos de conservar forraje, los más aplicados en las zonas alto andinas de la región Puno, son; el ensilado y henificado.

#### **2.2.2.1. Ensilado.**

Según, McDonald, Edwards, Greenhalgh, & Morgan, (1999), el ensilado es el producto obtenido en la fermentación controlada de los cultivos de alto contenido de humedad. Los productos más empleados para el ensilaje en la región Puno, en un alto



porcentaje, es la avena, en sus diferentes variedades; y en un porcentaje mínimo, la alfalfa – dactylis.

El objetivo esencial para conservar el forraje por la fermentación natural, es lograr condiciones anaeróbicas dentro del silo, evitando la reentrada y circulación de aire durante la conservación. Durante la siega, se pica el forraje, para llenar rápidamente el silo, con una adecuada compactación y cierre hermético. Este proceso se realiza cuando el forraje está en grano lechoso, cuando el forraje tiene mayor humedad se le puede agregar melaza, por lo general se le agrega sal. Se debe evitar la actividad de microorganismo indeseables, como los clostridios y enterobacteria, que dan lugar a la formación de productos de fermentación que han de eliminarse.(McDonald et al., 1999).

### **Tipos de ensilado.**

- Tipo parva: consiste en compactar el forraje, en el suelo, sobre una manta de plástico, y alavés cubierta con mantas de plástico, y tierra sobre ello, de tal manera que el forraje quede aislado del medio ambiente.
- Tipo salchicha: en este método consiste en compactar en una bolsa de plástico gruesa, y almacenada en un ambiente adecuado.
- Tipo trinchera: en este tipo consiste en preparar un ambiente o una excavación en la superficie (suelo), este método es el más empleado en la región puno.

#### **2.2.2.2. Henificado.**

El método tradicional de conservación de los forrajes verdes ha sido la henificación, cuyo éxito ha sido, hasta hace poco tiempo, totalmente dependiente de la suerte al elegir un periodo de buen tiempo, sin embargo, la introducción de técnicas de desecación rápida y maquinaria, ha mejorado considerablemente la eficiencia del proceso y reduciendo la dependencia del clima, (McDonald et al., 1999).



El henificado es otro proceso importante de conservación de forraje para mitigar la escasez de alimentos, aún más accesible que el ensilado, porque conlleva menos costo de producción, con la desventaja de no mantener sus propiedades nutritivas, en un alto porcentaje.

El heno se obtiene de la deshidratación de los pastos y forrajes verdes, por acción de los rayos solares y el viento, es decir eliminando el agua contenida en los forrajes frescos hasta en un 15 % a 20 %, que permita almacenarlo con la humedad adecuada, para evitar posible enmohecimiento, (Nestares, 2014). McDonald et al., (1999), dice que la finalidad de henificación consiste en reducir el contenido de los forrajes verdes hasta un nivel, lo suficientemente bajo para inhibir la actividad de las enzimas vegetales y microbianas.

Nestares, (2014), menciona que los forrajes conservados en forma de heno, evitan la escasez de alimentos durante la época de estiaje, donde desaparecen por completo los forrajes verdes, que se usan en la alimentación del ganado. La alternativa es aprovechar la abundancia de forraje, en épocas de lluvia, con el método de henificado. Nestares, (2014), también hace referencia que, se ha observado que los henos bien elaborados mantienen la mayor cantidad de nutrientes necesarios para la alimentación del ganado.

Pero no se puede evitar la pérdida de nutrientes en el proceso de henificación. La magnitud de dichas pérdidas depende, fundamentalmente, de la rapidez de la desecación, (McDonald et al., 1999). La pérdida de agua en el campo de la hierba segada, depende de la resistencia biológica natural de las hojas y cordones a la pérdida de agua, de las condiciones climáticas del momento y del microclima de los cordones, así como del tratamiento mecánico del forraje durante la recolección y acondicionamiento. McDonald et al., (1999), dice que la pérdida de nutrientes durante la henificación, se debe a la acción



de las enzimas vegetales y microbianas, la oxidación química, el lavado por la lluvia y las pérdidas físicas.

Según, Miranda & Terrones, (2002), para la henificación se destina todas las especies forrajeras desde anuales hasta perennes, así tenemos:

En forrajes: avena forrajera, cebada forrajera, triticale, trigo invernal, centeno forrajero.

En pastos: alfalfa, trébol, phalaris, dactylis, rye grass.

En pastos asociados: avena/vicia dacicarpa, alfalfa/dactylis, trébol/rye grass.

La técnica más eficaz de superar la baja disponibilidad de alimentos para la actividad pecuaria en épocas de sequía que comprenden de mayo a septiembre, y mantener la producción uniforme, es mediante el empleo de heno con un contenido alto en proteínas.

Nestares, (2014), nos hace mención que antes de iniciar un programa de producción de heno para suplementar animales en la época de escasez de forraje se debe tener en cuenta:

- Tener claro que el heno no está asociado a las pajas. Es un error considerar heno como paja. El heno de leguminosas forrajeras (16 % o más de contenido proteico) puede ser casi equivalente en valor nutritivo a los llamados “concentrados”.
- Las especies forrajeras tienen una extraordinaria potencialidad de producción de biomasa por unidad de área. En este contexto la fertilización y prácticas adecuadas de manejo son de gran importancia en relación a otros cultivos donde las respuestas a la fertilización son limitadas.

El forraje se debe cortar cuando aún está verde, con la finalidad de conservar la mayor cantidad de sus nutrientes, y cuando ésta se encuentre en su punto óptimo. La siega del forraje debe realizarse cuando los primeros rayos solares hayan caído en el cultivo y



la escarcha o rocío se haya evaporado; esto nos permite un oreado rápido, (Nestares, 2014).

### **Deshidratación natural de los forrajes.**

Silveira & Franco, (2006), en el método de henificación natural, la hierba cortada y extendida se deseca en el campo mediante el concurso del sol. Este procedimiento resulta económico, pero depende estrechamente de las condiciones ambientales. Se deben seguir las recomendaciones siguientes:

- La henificación debe realizarse de manera tal que el forraje no se decolore, que no pierda sus elementos nutritivos. Para obtener un heno de buena calidad debe hacerse de plantas cortadas en un estado de madurez conveniente, que conserve las hojas en abundancia, tallos blandos y plegadizos, color verde, pocas materias extrañas (que esté libre de mohos) y que tenga la fragancia típica del cultivo de que está hecho.
- Se elegirá para realizar la henificación un período de varios días de buen tiempo, pues si la época de secamiento se extiende durante varios días y el material sufre lavados por las lluvias o fuertes rocíos, se producen pérdidas por lixiviación que reducen el valor nutritivo del heno, que pueden ser elevadas.
- Es aconsejable segar por las mañanas, después que haya desaparecido el rocío (a las 9:00 am), pues el agua se seca con dificultad sobre la hierba segada y depositada sobre el terreno. Sin embargo, algunos investigadores han señalado que esto no ofrece ninguna ventaja, ya que ha sido comprobado que cuando se corta temprano por la mañana, las plantas se henifican más rápido que cuando se cortan después, y que, además, las pérdidas de caroteno (provitamina o precursor de la vitamina A) son menores.



- El área a cortar se debe adaptar bien a las restantes operaciones (henificación, volteo, empaçado, transporte, etc).
- Cuando la parte superior de la hierba aparece un poco seca (poco tiempo después de la siega) es conveniente esparcirla y voltearla; en cambio, por la tarde es preferible reunir el forraje, con el objetivo de impedir que absorba humedad durante la noche. La hierba debe virarse cada 3 a 4 horas para que se seque uniformemente hasta que alcance un 20% o menos de humedad. Diversos ensayos han demostrado que no es necesario más de dos volteos al día con buen tiempo y tres con tiempo regular.

Una vez alcanzada la sequedad requerida, el forraje se recoge para su almacenamiento. La recogida se puede hacer a granel, en rollos o empaçado. El proceso de empaçado exige que el forraje previamente se hile (con hiladora), siendo aconsejable realizar esta operación después que la hierba ha perdido el rocío. El grado de sequedad requerido para efectuar la recogida del heno depende de la densidad de la prensa de la empaçadora.(Silveira & Franco, 2006).

En la región Puno, además de usar las empaçadoras accionadas por un tractor, se utiliza en un alto porcentaje también, el uso de parvas, y con mínimo de uso de empaçadores accionados por el hombre.

### **Deshidratación artificial de los forrajes.**

El proceso de la deshidratación artificial, aunque caro, es un método muy eficiente de conservación de forrajes. El secado se realiza poniendo en contacto con aire a alta temperatura, que varía con el tipo de deshidratadora que se emplea. En los tipos de “baja temperatura”, el aire se calienta a 150 °C aproximadamente, y el tiempo de secado varía entre 20 y 50 minutos, dependiendo del diseño de la máquina, el contenido de humedad

del forraje. En las deshidratadoras de “alta temperatura”, la temperatura del aire se sitúa inicialmente entre 500-1000 °C, y el tiempo necesario para atravesar la deshidratadora varía entre 0.5-2 minutos.

En ambos procesos, la temperatura y el tiempo de secado se controlan cuidadosamente, de manera que el forraje nunca se deshidrata totalmente. Mientras el material contenga algo de humedad, la temperatura del producto no supera los 100 °C. no obstante, es evidente que si el material se deja en contacto con el aire caliente durante mucho tiempo, se llega a convertirse en ceniza, (McDonald et al., 1999).

### **Características de un buen heno.**

Según, Nestares, (2014), la calidad del heno se determina por evaluación del color y olor, verificando la consistencia del tallo y conservación de la hoja de una muestra representativa del heno. En estos casos tener en cuenta lo siguiente:

- Coloración verde del forraje, signo de buen heno.

Esto nos indica mayor cantidad de caroteno y vitamina B, los colores indeseables son el amarillo claro producido por el exceso de días al medio ambiente en el secado, el color castaño es debido a la presencia de lluvias durante el secado.

- Alto contenido de hojas adheridas, pues contiene la mayor cantidad de nutrientes.

Es bastante importante esta característica ya que las dos terceras partes de las proteínas se encuentra en las hojas, además contiene calcio y fósforo.

- Los tallos deben ser flexibles y blandos

Los tallos flexibles indican que el secado ha sido rápido, y habrá menos pérdida de hojas en el momento de manipular el heno.

- De olor agradable para el buen apetito del ganado.

El olor del heno debe ser bastante agradable y palatable con buen valor nutritivo.



### **2.2.3. Henificación de forraje en la región puno.**

#### **2.2.3.1. Henificado de avena.**

En la región Puno, el henificado de avena cobra mayor importancia, para la conservación de forraje para épocas de estiaje. Es la más aplicada en el almacenamiento para las épocas secas, principal suplemento para combatir la escases de forraje para estas épocas.

El proceso de henificado se realiza, corte de avena, secado al sol y viento, y posterior empacado.

#### **2.2.3.2. Henificado de pastos cultivados.**

El henificado de pastos cultivados no está muy desarrollado en las zonas alto andinas de la región Puno. Debido principalmente a, que, el forraje de pastos cultivados alcanza su mayor producción en épocas de lluvia. A consecuencia de que no existe un método de combatir la presencia de lluvias en el secado, llegando a una mayor o total pérdida del forraje.

El proceso de henificado de pastos cultivados se realiza similar al henificado de avena, con la diferencia que el forraje se corta en etapa de floración.

### **2.2.4. Energías renovables.**

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado (Torres, 2008). El Sol, de forma directa o indirecta, es el origen de todas las energías renovables, exceptuando la energía mare-motriz y la geotérmica. La energía del Sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética,



llegando una parte de esta energía a la atmósfera. De esta energía que llega a la atmósfera, una parte es absorbida por la atmósfera y por el suelo, y otra parte es reflejada directamente al espacio desde el suelo. Es por esto por lo que menos de la mitad de la radiación solar llega efectivamente a la superficie terrestre, siendo esta parte la que podemos utilizar con fines energéticos en nuestro planeta.

Torres, (2008) señala que la radiación solar llega a nuestro planeta de formas distintas:

- A. Radiación directa: es la radiación que nos llega directamente del Sol; sin haber incidido con nada por el camino y, por tanto, sin haberse desviado ni cambiado de dirección.
- B. Radiación difusa: es la radiación que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera (polvo, nubes, contaminantes, etc.), por lo que ha cambiado de dirección.
- C. Radiación reflejada o albedo: es la radiación reflejada por la superficie terrestre; cobra importancia
- D. Atmósfera directa Radiación extraterrestre dispersión absorción reflejada difusa  
β La radiación solar en las zonas con nieve, con agua (como cerca del mar o de una presa) o cualquier otra zona donde la reflexión.

Los recursos energéticos renovables (RER) comprenden diferentes fuentes de energía (eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, biomasa y pequeñas centrales hidráulicas) que se caracterizan por generar impactos ambientales significativamente inferiores en comparación a las energías que proceden de los combustibles fósiles como el petróleo o el carbón. La razón es que su empleo comprende tecnologías de baja emisión de carbono, lo que contribuye a mitigar los efectos del cambio climático y sus consecuencias negativas para el ambiente y la sociedad.



#### 2.2.4.1. Energía solar térmica.

La radiación solar se capta y el calor se transfiere a un fluido (generalmente agua o aire). Para aprovechar la energía solar térmica se usa el captador solar, también denominado colector o placa solar. El fluido calentado se puede usar directamente (por ejemplo, para calentar agua en piscinas) o indirectamente mediante un intercambiador de calor.

El principio de funcionamiento del secador solar es similar al de un colector, pero con aplicación distinta, en este caso, la materia verde absorberá el calor, y mediante transferencia de calor este empezará a expulsar líquido desde el interior.

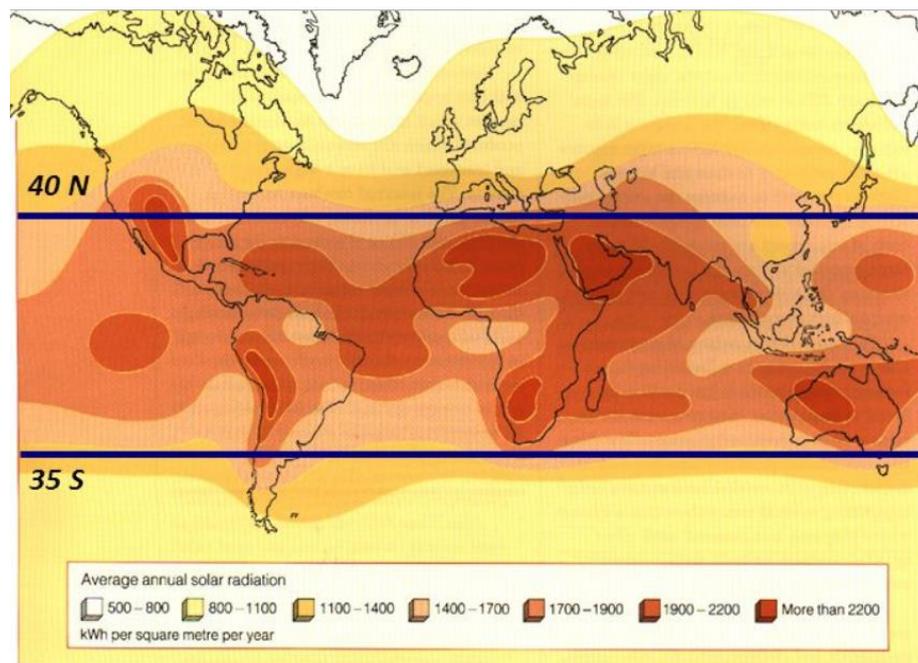
El colector solar basa su funcionamiento en el efecto invernadero: la radiación solar –rayos solares– (onda corta) incide en el vidrio o un material transparente, lo atraviesa y es absorbida por una superficie que se calienta. Esta superficie emite, a su vez, calor –radiación térmica– (onda larga); no obstante este tipo de onda no puede atravesar el vidrio, por lo que se queda atrapada dentro del colector, calentando el fluido en el interior (Torres, 2008).

El uso de la energía solar térmica pertenece al de baja temperatura, ya que esta no superará los 50°C en el interior de módulo.

Novoa P. & Horn M., (2010) resalta el privilegio que tiene el Perú en relación a la disponibilidad de energía solar; aclarando que en casi todo el país es alta y muy constante durante todo el año, con valores típicos de promedios mensuales de 4 – 6 KWh/m<sup>2</sup> día, y con fluctuaciones menores de  $\pm 20\%$  durante todo el año, por otro lado, una gran parte de la energía que se requiere es el calor a temperaturas relativamente bajas, muchas veces menos de 30 – 50 °C encima de la temperatura ambiental, y se puede obtener con tecnologías simples de la energía solar, sin embargo, todavía se usa poco en el Perú.

Solo como un ejemplo de la abundancia de las fuentes de los RER, baste decir que la energía solar recibida cada 10 días sobre la Tierra equivale a todas las reservas conocidas de petróleo, carbón y gas. La fig., 2.1., muestra la distribución de energía solar incidente en la Tierra dada en términos de la insolación diaria promedio anual medida en kWh por m<sup>2</sup> por año (Estrada G. & Arancibia B., 2011).

**Figura 2.1: Franja solar de la tierra.**



*Fuente: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).*

En las zonas urbanas podemos detectar algún uso limitado de energía solar en las “termas solares” para calentar agua. En Arequipa existe una tradición de más de 50 años y actualmente se estima que hay más de 30,000 termas solares. En otras zonas del país el uso de termas solares es aún muy reducido: existen en algunos hoteles ubicados en Puno, en Cusco, etc., poquísima frente al gran potencial y la gran demanda de calentadores de agua (Novoa P. & Horn M., 2010). Además, el autor alega que, en las zonas rurales el uso de la energía solar térmica se limita prácticamente al secado tradicional de productos agrícolas, exponiéndolos sobre la tierra o sobre una losa de cemento o similar, directamente al sol.



#### **2.2.4.2. Energía solar fotovoltaica.**

La energía solar se puede transformar directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica (Torres, 2008, p. 64).

Como se sabe, la forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia de foto-voltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil (Estrada G. & Arancibia B., 2011).

El material más utilizado en la actualidad para la fabricación de células fotovoltaicas es el silicio, que es el material más abundante en la Tierra después del oxígeno.

Torres, (2008) señala tres tipos de células de silicio.

- Silicio monocristalino: utiliza lingotes puros de silicio. Son los más eficientes, con rendimientos superiores al 12%.
- Silicio policristalino: se fabrica a partir de restos de piezas de silicio monocristalino. Su rendimiento es algo inferior pero su menor coste ha contribuido enormemente a aumentar su uso.
- Silicio amorfo: se obtiene por deposición de capas delgadas sobre vidrio. El rendimiento es bastante menor que los anteriores, por lo que su uso se limita a aplicaciones de pequeña potencia como calculadoras, relojes, etc.

#### **2.2.4.3. Energía eólica.**



El Sol calienta de forma desigual las diferentes zonas del planeta, provocando el movimiento del aire que rodea la Tierra y dando lugar al viento (Torres, 2008, p. 82). La rotación terrestre, la diferencia de temperatura y la presión atmosférica influyen en la dirección del viento. La energía del viento depende de su velocidad y, en menor medida, de su densidad (disminuye con la altitud).

El aprovechamiento de la energía del viento por el ser humano forma parte de las primeras civilizaciones. La navegación a vela y los molinos para la molienda de grano son algunas aplicaciones pretéritas (Jara T., 2006, p. 17). También menciona que la energía cinética del viento puede aprovecharse tanto como energía mecánica o como energía eléctrica.

#### **2.2.5. Secadores solares.**

El secado al sol, aprovechando la corriente de aire, además de utilizar la energía de la radiación solar, es un procedimiento conocido desde épocas de civilizaciones antiguas. Las que se usaron como método de preservación de alimentos, evitando de este modo, la descomposición de una materia orgánica. Además, esta operación representa, en la industria actual, en el proceso de alimentos deshidratados.

Debido al elevado consumo energético requerido en la evaporación del agua líquida dentro del producto, se plantea el secado térmico solar como una alternativa renovable, no contaminante y económica (Bayona R., 2011, p. 8).

El secado de diversos productos agrícolas y alimenticios como método de conservación tiene gran demanda, sin embargo, este secado tradicional presenta una serie de inconvenientes, y el uso de secadores solares tecnificados puede reducirlos. En particular el aminorar mermas y aumentar la calidad del producto (Novoa P. & Horn M.,

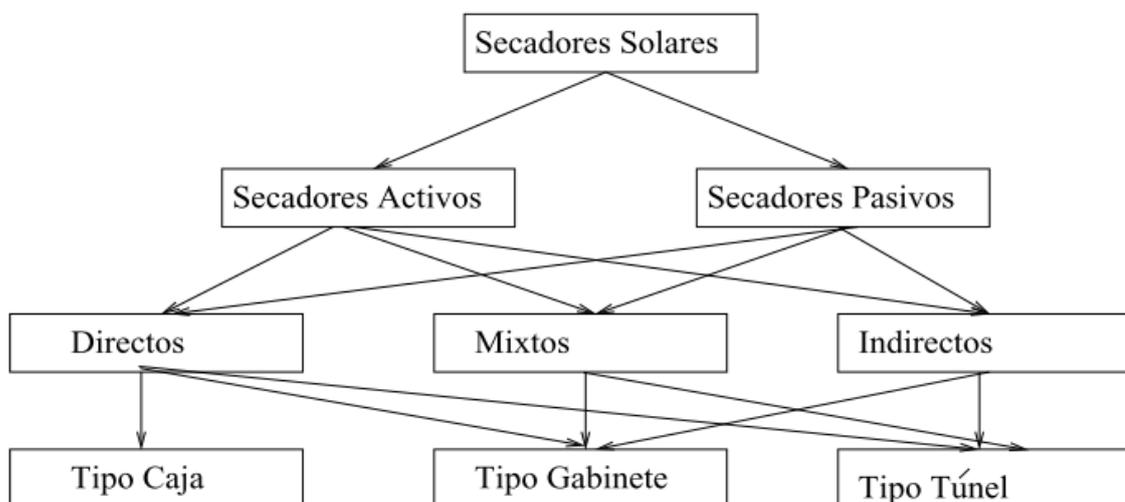
2010). Al respecto el autor hace hincapié en el tema, mencionando que el su uso de secadores solares, es todavía muy limitado.

Además Novoa P. & Horn M., (2010) hace mención de los diferentes proyectos pilotos que han demostrado la viabilidad técnica y económica de los secadores solares, y entre estos el principal fue la cooperación técnica alemana, realizado por las universidades UNI, UNALM, UNSAAC (Cusco), UNJGB (Tacna) Y UNASAM (Huaraz). El autor resalta como, el proyecto que demostró que muchos productos agrícolas se pueden secar técnicamente y con ventajas.

### 2.2.5.1. Clasificación de secador solar.

Los secadores solares se pueden clasificar en directos, indirectos o mixtos.

**Figura 2.2: Clasificación de los secadores solares.**



*Fuente: (Bayona R., 2011, p. 9).*

En los secadores directos el producto se encuentra en exposición directa a la radiación solar, lo cual puede ser problemático al no poder controlar las condiciones de radiación e incurrir en una sobreexposición o insuficiencia en el secado. Los secadores solares en los cuales el producto se encuentra expuesto a la radiación y también conectado a un colector solar se denominan secadores de tipo mixto. En contraste, los secadores indirectos protegen la sección de secado de la radiación solar directa, pero poseen un



colector solar que aumenta la temperatura del aire de secado (Bayona R., 2011, p. 9). Según el autor, los secadores solares también pueden ser pasivos o activos. Los secadores activos impulsan el aire de secado a través del colector y del secador mediante un ventilador que permite realizar el proceso de secado por medio de la convección forzada del aire sobre el producto. La circulación del aire en el interior de la cámara de secado es muy importante ya que si el flujo de aire no es el adecuado puede afectar considerablemente en la calidad de secado. La temperatura y la corriente de aire decaen conforme avanza la deshidratación (Guevara B. & Sabas S., 2017).

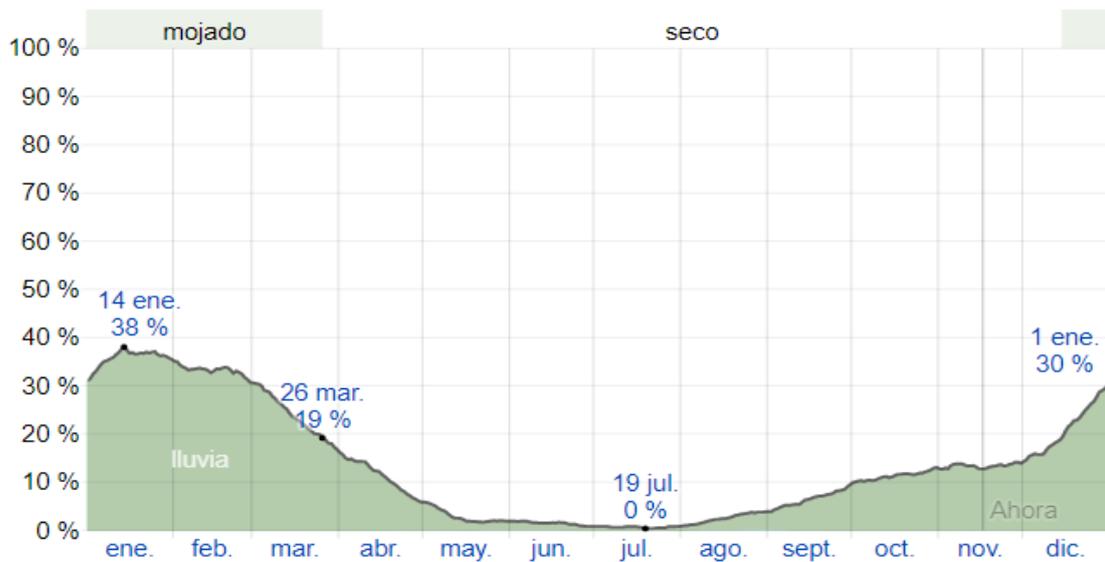
### **2.2.6. Características climáticas locales.**

En general el clima de Puno es frío alpino, moderadamente lluvioso y con amplitud térmica moderada, además el clima es frío y semiseco, debido a su ubicación geográfica y a su altitud, que varía desde los 3,827 m.s.n.m hasta los 6,000 m.s.n.m. La temperatura promedio es de 8°C, alcanzado una máxima de 15°C y una mínima de 1°C, en el invierno. La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 28 de septiembre; dura 6,8 meses y se termina aproximadamente el 22 de abril. El 16 de enero, el día más nublado del año, el cielo está nublado o mayormente nublado el 84 % del tiempo y despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 16 % del tiempo.

#### **Precipitación**

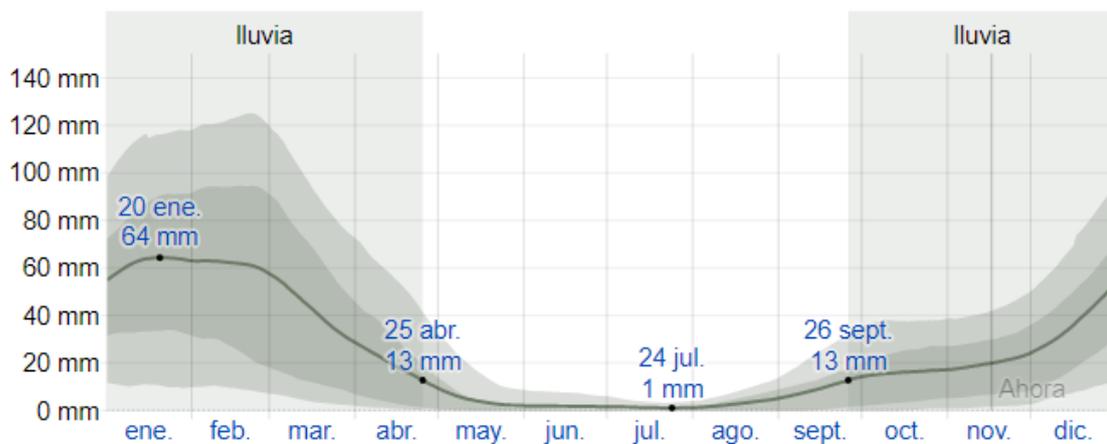
La temporada más mojada dura 3,4 meses, de 15 de diciembre a 26 de marzo, con una probabilidad de más del 19 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 38 % el 14 de enero.

**Figura 2.3: Probabilidad diaria de precipitación.**



Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/26593/Clima-promedio-en-Puno-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

**Figura 2.4: Precipitación de lluvia mensual promedio.**



Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/26593/Clima-promedio-en-Puno-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

### 2.2.7. Secado tradicional en la región puno.

La henificación es el proceso de conservación para estabilizar el material vegetal por evaporación de la mayor parte del agua que contiene.

Cuando en un vegetal se separamos su raíz, esta queda privada del suministro de agua y de elementos nutritivos. Pero sus células aún permanecen vivas durante un cierto período



de tiempo a expensas de sus principios nutritivos, que permiten la respiración e, incluso, procesos de síntesis.

En el secado tradicional la evaporación de humedad se realiza sobre el propio terreno. Consta de las siguientes fases:

### **Siega.**

Esta operación consiste en separar el tallo de la raíz, mediante diferentes tipos, por ejemplo; manual, motoguadaña o segadoras acopladas a un tractor.

La siega con una segadora acondicionadora por ejemplo mejora el tiempo de secado del forraje, esta máquina tiene como objetivo; segar, fracturar los tallos y acondicionarlo para que ingrese aire en el interior de la hilera (Sanches & Coarite, 2017).

### **Secado.**

Según, Miranda & Terrones, (2002), El secado consiste en reducir el agua contenida del forraje hasta que contenga de 15 a 20% de humedad. En nuestro medio el secado del forraje se realiza a medio ambiente, es decir el forraje cortado se expone al sol. El tiempo promedio para un buen secado es de 4 a 6 días, dependiendo del volteado manual del forraje y de la especie que se está elaborando.

Los factores que determinan la rapidez de la pérdida de agua del forraje a henificar son: el clima principalmente, la cantidad y disposición del forraje.

A nivel de planta individual, la pérdida de agua se produce a través de las hojas, mientras que el agua de los tallos se elimina en parte después de su translocación a las hojas. También existen diferencias de secado entre las dos especies, la alfalfa es la que tarda en su proceso de deshidratación, mientras que el dactilys presente un tiempo menor de secado.



El clima, en épocas de lluvia, es muy desfavorable en la región Puno. Al representar las mayores cantidades disponibles de forraje de alfalfa- dactilys en los meses de febrero a marzo, a su vez estos meses representan mayor frecuencia de precipitaciones.

#### **2.2.8. Energías renovables aplicados al sector agropecuario en la actualidad.**

Una ventaja de la energía fotovoltaica es que permite la generación local de electricidad independiente, lo cual la convierte en una inversión atractiva en locales donde llevar las redes de transmisión y distribución de la red eléctrica no compensa financieramente la inversión realizada (Valer M. & Zilles, 2011).

Algunos ejemplos de aplicaciones productivas de la energía solar fotovoltaica en el sector agropecuario son el cercado eléctrico, el bombeo de agua para riego o uso de abrevaderos y la refrigeración de productos.

#### **2.2.9. Secadores solares en el Perú.**

El Perú al ubicarse en la zona intertropical de Sudamérica comprendida entre la Línea de Ecuador y el Trópico de Capricornio, cuenta con diferentes regiones naturales, y la aplicación de los secadores solares es de acuerdo a los productos que predominan ya seca para consumo propio o comercialización.

En la selva por ejemplo la aplicación de los secadores solares es para el café y cacao; en la costa para diversos productos como para frutas disecados, secado cochinilla, etc.; y en la sierra es más limitado el uso de los secadores solares, ya que la producción pecuaria está de acuerdo a las condiciones climáticas de cada mes. Solo se conoce de proyectos de uso de secadores solares para la producción de maca.



### **2.2.10. Secadores solares en la región Puno.**

Los secadores solares en la región de Puno más esta direccionado al secado de café, en las zonas de cafetaleras, que se encuentran en las provincias de Sandia y Carabaya, y en algunas ocasiones se emplea para secado de cacao.

### **2.2.11. Innovaciones en los secadores solares.**

La innovación de los secadores solares más se da por el aprovechamiento de las energías no convencionales, que sean de fácil operación y amigables con el medio ambiente.

## **2.3. Mecanismo de transmisión de calor.**

### **2.3.1. Conducción.**

La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones de las mismas (Incropera & DeWitt, 1999). Además, recomienda, para un mejor entendimiento de la conducción, pensar en un gas en el que existe un gradiente de temperatura y suponer que no hay movimiento global.

Las temperaturas más altas se asocian con las energías moleculares más altas y, cuando las moléculas vecinas chocan, como lo hacen constantemente, debe ocurrir una transferencia de energía de las moléculas más energéticas a las menos energéticas (Incropera & DeWitt, 1999). Esta transferencia de energía ocurre en un gradiente de temperatura.

El mecanismo de la conducción térmica en un gas se puede explicar a un nivel molecular a partir de los conceptos básicos de la teoría cinética de los gases. Las moléculas en una región a alta temperatura tienen velocidades mayores que las que se



encuentran en una región a baja temperatura. Al chocar con otras moléculas más lentas, cede parte de esta energía y aumenta la energía de las moléculas con un contenido de energía menor (Kreith, Mancglik, & Bohn, 2012). La conductividad térmica del aire es 0.026 W/m K.

### **2.3.2. Convección.**

El modo de transferencia de calor por convección se compone en dos mecanismos que operan de manera simultánea. El primero es la transferencia de energía generada por el movimiento molecular. Superpuesta a este modo se encuentra la transferencia de energía por el movimiento macroscópico de fracciones de fluido. El movimiento de fluido es un resultado de fracciones de fluido, donde cada una consiste en una gran cantidad de moléculas, en forma colectiva o como agregados, que se mueven por la acción de una fuerza externa. Esta fuerza extraña puede ser el resultado de un gradiente de densidad, como en la convección natural, o por una diferencia de presión generada por una bomba o un ventilador, o posiblemente por una combinación de las dos. Se acostumbra utilizar el término de convección cuando se hace referencia a este transporte acumulado y el término advección cuando se habla del transporte debido al movimiento volumétrico del fluido (Incropera & DeWitt, 1999), (Kreith et al., 2012).

### **2.3.3. Radiación.**

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Esta radiación también puede provenir de líquidos y gases. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas (Incropera & DeWitt, 1999).



Kreith et al., (2012) menciona también que la cantidad de energía que sale de una superficie como calor radiante depende de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie.

### **Transferencia de masa por difusión.**

Un gradiente de concentración de especies en una mezcla proporciona el potencial de impulso para el transporte de esas especies o componentes. Aunque la masa ciertamente se transfiere siempre que haya un movimiento global de fluido. Pero solo se usa estos términos para describir el movimiento relativo de especies en una mezcla debido a la presencia de gradientes de concentración (Incropera & DeWitt, 1999).

## **2.4. Factores que rigen el proceso de secado.**

### **2.4.1. Contenido de humedad.**

Es el porcentaje de masa de agua sobre la masa total del producto. Se lo identifica como  $M$  y se diferencia entre el contenido de humedad inicial al comenzar el secado ( $M_i$ ) y el contenido de humedad final de conservación ( $M_f$ ). Ambos parámetros dependen de la estructura interna del material (Vázquez, Arnéz C., Fernández, & Fernández, 1997). El contenido de humedad final ( $M_f$ ) del producto, no es cero sino el valor máximo que permite su conservación. Secar más allá significa pérdida económica.

### **2.4.2. Temperatura máxima.**

El valor más alto de temperatura que puede soportar un producto, sin pérdidas significativas en sus principios activos o componentes nutricionales característicos, recibe el nombre de temperatura máxima (Vázquez et al., 1997). Cada producto soporta una temperatura máxima que depende del uso, del tipo de producto, de la humedad y del grado



de madurez. También depende del tiempo durante el cual el producto está sometido a esa temperatura.

## 2.5. Comportamiento de los secadores solares.

Para describir adecuadamente el comportamiento del secador solar es necesario verificar la velocidad y la presión del aire interior. Estas variables que describen el flujo de aire en el interior del módulo juegan un papel importante en el correcto manejo del proceso de secado. Para un mejor entendimiento del comportamiento de los secadores solares, se maneja modelamientos matemáticos. Los componentes de velocidad son regidos por las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento lineal, las cuales son casos particulares de la ecuación general diferencial de convección-difusión. Las primeras soluciones comúnmente adoptadas en los métodos para resolver el flujo, obtuvieron una solución directa simultánea de la linealización de las ecuaciones de continuidad y momento. Esa solución requiere una gran capacidad de cálculo computacional en cada iteración, en tiempo y en memoria (Bayona R., 2011).

Chaverri & Moya, (2008) menciona que uno de los parámetros importantes que caracterizan el comportamiento del secador es la relación entre la humedad relativa interna y externa. La humedad relativa interna tiene un comportamiento que depende de la etapa en la que se encuentra el proceso de secado. En las primeras etapas del proceso de secado la humedad relativa interna aumenta, debido a que el producto libera la mayor cantidad de vapor de agua. Al pasar los días el forraje va perdiendo humedad, y la humedad del aire en el interior del módulo se va equilibrando con la humedad del aire del medio ambiente.

El análisis del secador solar puede ser abordado de dos formas; por medio de una descripción experimental o por medio de una descripción matemática. La descripción



experimental conlleva un proceso de recolección de datos que muchas veces resulta costoso y dispendioso. Por otra parte, el modelamiento matemático permite la representación en el espacio y el tiempo de los fenómenos físicos que ocurren al interior del secador, posibilitando el estudio del proceso de secado y mejorando el diseño y la operación del equipo de una forma práctica (Bayona R., 2011).

### **2.5.1. Isoterma de sorción de una materia orgánica.**

El contenido de humedad de equilibrio de un producto higroscópico, se refiere al contenido de humedad del producto después de haber sido expuesto a un ambiente particular por un periodo indefinidamente largo de tiempo. Para el caso de la humedad de equilibrio la presión de vapor ejercida por la humedad dentro del producto es igual a la presión de vapor del aire circundante (Bayona R., 2011).

### **2.5.2. Secado por ebullición.**

Cuando la presión de vapor del agua pura es igual a la presión barométrica local, el agua hierve y se evapora (Tecante, 2009). Se disuelven solutos en el agua, la presión de vapor de la solución resultante es inferior a la del agua pura y por lo tanto su punto de ebullición es superior al del agua pura para una misma presión barométrica.

Para los casos de ebullición y condensación, los efectos del calor latente asociados con el cambio de fase son significativos. El cambio del estado líquido al de vapor debido a la ebullición se sostiene por la transferencia de calor desde la superficie sólida (Incropera & DeWitt, 1999).

La cantidad de energía en forma de calor que se requiere para evaporar el agua está determinada por, el calor latente de evaporación. Este aporte calórico puede efectuarse mediante los diferentes mecanismos de transferencia de calor; conducción, radiación y convección (Tecante, 2009).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### **3.1. Ubicación y descripción de la población.**

El trabajo de investigación se realizó en la estación experimental Agraria Illpa que está ubicada en el km 22 de la carretera Juliaca-Puno a una altitud de 3827 m.s.n.m., en el distrito de Paucarcolla, provincia Puno y departamento Puno.

Latitud: 15°41'0"

Longitud: 70°5'0"

#### **3.2. Tipo de investigación.**

Este proyecto de investigación es de tipo aplicada y experimental, con alcance aplicativo referente al henificado de pastos cultivados.

El estudio del secador solar, se diseñó y construyó, para su posterior puesta en prueba evaluando el secado con variaciones de masa y tiempo.

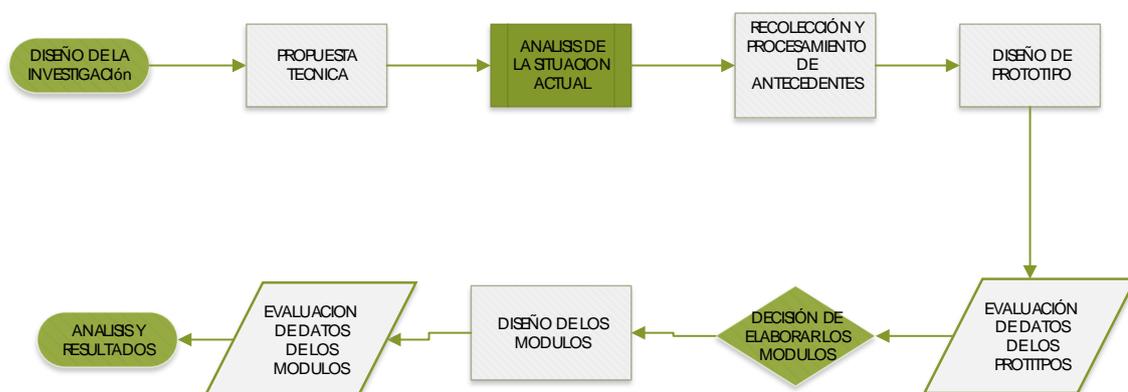
#### **3.3. Población de investigación.**

La población que se tomó para esta investigación fue la Estación Experimental agraria-Illpa, perteneciente al Instituto Nacional de Innovación Agraria.

### 3.4. Diseño de la investigación.

Para el diseño del módulo de secador solar se basa en una propuesta elaborada para el proyecto 153\_PI, de desarrollar un diseño y puesta en prueba de secador solar, que resolverán las dificultades de la formulación del planteamiento del problema. Se hace un análisis de la situación actual a partir de las encuestas realizadas en la línea de base que permite conocer la producción, las técnicas de aprovechamiento y primordialmente los problemas de henificado de pastos cultivados, mediante este análisis se determina que sí, es necesario la implementación de una tecnología de henificado, que sea amable con el medio ambiente. Luego se procede a la recolección y procesamiento de antecedentes para determinar los modelos de prototipos de secador solar, mediante el análisis anterior se establece los diseños de prototipos con los que se realiza pre-experimentos. Mediante la evaluación de los datos de los prototipos se toma una decisión para el diseño de los módulos secadores solares. Los módulos entran en operación a fin de evaluar el proceso de henificación, donde se toma registro de las variables, en el análisis se evalúa los datos de las variables registradas que determina el diseño con mejores resultados. Las encuestas y entrevistas, ver anexo N° 01 y anexo N° 02.

**Figura 3.1: Metodología de desarrollo de tesis.**



*Elaborado por el equipo de trabajo*

### **3.5. Análisis de la situación actual.**

#### **3.5.1. Aspectos generales.**

La región Puno está caracterizada por tener como principal actividad económica la ganadería, que resulta claramente, ser la más productiva que las actividades agrícolas, porque tienen menor riesgo de pérdidas, frente al factor climático.

En la primera etapa se obtiene resultados sobre el manejo de pastos cultivados, con altos contenidos alimenticios para la actividad pecuaria.

Según las encuestas de la línea de base, realizadas para el proyecto N° 153-PI PNIA, INIA-PUNO, en los aspectos generales nos permite conocer; los pastos cultivados que más resalta para los productores, con 64 % de alfalfa. Además de la extensión de forraje instalado, el 60 % tiene sembrado 1000 m<sup>2</sup> de la asociación de alfalfa/dactylis. El 94 % conoce o realiza la henificación de estos forrajes. El 57 % distingue y son conocedores de los beneficios del heno de buena calidad.

#### **3.5.2. Problemáticas de la henificación de alfalfa – dactylis.**

En esta etapa se recaba información sobre los principales problemas que presentan los productores agropecuarios, al momento del procesamiento del forraje para su respectiva henificación, almacenamiento y su posterior disponibilidad.

Los principales problemas que presentan los productores agropecuarios al momento de la henificación. El 55% presenta problemas en el proceso de henificación a causa de las lluvias. El 33% demora cinco días para la henificación. El 80 % obtiene de color amarillo el heno. El 49 % señala que la causa de la mala henificación es la granizada.

Las técnicas de manejo en la henificación de la alfalfa, el 51 % informa que realiza el corte de alfalfa hasta en dos ocasiones por año. El 43 % señala que realiza el corte de alfalfa en el mes de abril. El 92 % realiza el secado al aire libre.



La disponibilidad forrajera. El 100 % indica que utiliza el heno en la época seca. El 69 % indica que es más conveniente el pastoreo.

### **3.5.3. Capacitaciones en henificación de forrajes.**

Esta etapa está dirigida a las capacitaciones recibidas por parte de las entidades encargadas del mejoramiento agropecuario de la región Puno. A su vez sobre los métodos conocidos y empleados a las mejoras del proceso de henificado de pastos cultivados. El 70 % no conoce de ningún método de conservación de forraje. El 99 % no conoce las nuevas tecnologías de secado. El 97 % está dispuesto a adoptar nuevas técnicas de secado de alfalfa.

## **3.6. Ingeniería de diseño del secador solar.**

### **3.6.1. Planteamiento de estudio.**

El estudio realizado es experimental, donde evaluaremos el desempeño de los prototipos de secadores solares.

Para este proyecto se empleó técnicas de grupos focales, y encuestas, permitiéndonos conocer, las limitaciones en la optimización, aprovechamiento, y conservación de pastos cultivados en el uso de secadores solares. Para ello se construye prototipos de prueba, que nos muestren el funcionamiento del secador solar directo e indirecto, de convección natural y forzada.

Para el desarrollo experimental se basa en información recabada de los antecedentes, eligiendo dos modelos de secador solar, con diseños más empleados, como son el de tipo parabólico (tipo túnel) y del tipo gabinete (media agua), estos diseños son, simples en su aplicación y construcción. De las cuales se toman las medidas de temperaturas en diferentes puntos del secador solar. También se procede a evaluar el peso



inicial y final de la materia verde, determinando el tiempo de secado, y la cantidad de materia verde que ingresara para un metro cuadrado de secador solar.

### **3.6.2. Diseño de prototipos de secadores solares y estantería.**

Para lograr el diseño de los prototipos de secador solar se procede a la revisión literaria requerida, de investigaciones relacionados con el tema (antecedentes revisados). De dicha información consultada se toma la decisión de realizar dos prototipos solares con diferente diseño. Los que serán de tipo media agua y tipo túnel.

A partir de los diseños ya seleccionados se procede a determinar las dimensiones de los prototipos, estas dimensiones son determinadas con la participación de Área de pastos y forrajes, el cual nos permitirá proceder con los experimentos, para poder determinar el volumen óptimo de materia verde que ingresará para el secado.

A si también se toma la decisión de realizar distintas modificaciones en los prototipos, estas modificaciones son de acuerdo a la consulta de investigaciones similares. Para el almacenamiento de la materia verde en el interior del prototipo para su respectivo secado, se realizó dos tipos de repisas, se elaboró con una sola repisa y otra con varias repisas. Para determinar la repisa de mejor opción.

Con respecto a los materiales utilizados, se tuvo en consideración la economía y la reutilización de materiales útiles para los prototipos disponibles en el almacén.

El uso del prototipo permitirá proceder con experimentos, con la finalidad de determinar si es funcional o no, a las distintas situaciones del medio ambiente durante la temporada de lluvia. Además, determinar la cantidad de forraje que es capaz de secar, y el tiempo de secado.

## Diseño N° 1

### Diseño de prototipo media agua.

Para el diseño del prototipo tipo media agua, se tuvo como referencia el siguiente diseño.

**Figura 3.2: Secador solar tipo gabinete.**



*Fuente: (Bond, Espinoza, & Araman, 2011).*

### Dimensionamiento del prototipo media agua.

Las dimensiones por decisión propia son:

Ancho: 1.00 metros.

Largo: 1.20 metros.

Altura 01: 0.50 metros.

Altura 02: 0.80 metros.

**Figura 3.3: Diseño de prototipo modelo media agua.**



*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Materiales y equipos utilizados.**

**Tabla 3.1: Lista de materiales y equipos, prototipo media agua.**

MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.	
MATERIALES.	DETALLE
Perfil cuadrado de acero.	1 x 1 pulg., con 1.2 mm de espesor
Triplay.	6 mm de espesor
Manta agro film.	250 micras
Vidrio.	Semidoble.
Tornillos	Punta broca de ½ pulg. x 5/16 pulg.



(continuación...)

Electrodo recubierto.	AWS E6011.
Pintura.	Esmalte sintético color negro mate.
Silicona.	Para aplicado para vidrio
Plancha metálica.	1/64 pulg., de espesor
Disco de corte.	carburo de silicio
<b>EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DEL PROTOTIPO MEDIA AGUA.</b>	
<b>EQUIPOS</b>	<b>DETALLE</b>
Termómetro.	Analógico ambiental con escala en °C
Balanza.	Digital de 30 kg.
Ventilador.	Axial de 3 pulg., de diámetro
Amoladora.	Manual de 4 pulg.
Máquina de soldar.	De arco eléctrico
Destornillador.	Manual de ½ pulg.
Compresora de pintado	portátil
Extensiones eléctricas.	Conductor de doble aislamiento.

*Elaborado por el equipo de trabajo*

## Diseño N° 2

### Diseño de prototipo túnel.

Para el diseño del prototipo túnel, se tuvo como referencia el siguiente diseño.

**Figura 3. 4: Secador solar tipo túnel.**



*Fuente: (Besora M., n.d.).*

### Dimensionamiento del prototipo túnel.

Las dimensiones por decisión son:

Ancho: 1.00 metros.

Largo: 1.20 metros.

Altura: 0.60 metros.

**Figura 3. 5. Diseño de prototipo de secador solar tipo túnel.**



*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Materiales utilizados.**

**Tabla 3.2: Lista de materiales y equipos, prototipo túnel.**

PROTOTIPO SECADOR SOLAR TIPO TÚNEL.	
Perfil cuadrado de acero.	1 x 1 pulg., con 1.2 mm de espesor
platina	$\frac{3}{4}$ de pulg., x 3 mm de espesor
Triplay.	6 mm de espesor
Manta agro film.	250 micras
Tornillos	Punta broca de $\frac{1}{2}$ pulg. x $\frac{5}{16}$ pulg.



(continuación...)

Electrodo recubierto.	AWS E6011.
Pintura.	Esmalte sintético color negro mate.
cinta	Para manta agrofilm.
Disco de corte.	carburo de silicio
<b>PROTOTIPO SECADOR SOLAR TIPO TÚNEL.</b>	
Termómetro.	Analógico ambiental con escala en °C
Balanza.	Digital de 30 kg.
Ventilador.	Axial de 3 pulg., de diámetro
Amoladora.	Manual de 4 pulg.
Máquina de soldar.	De arco eléctrico
Destornillador.	Manual de ½ pulg.
Compresora de pintado	portátil
Extensiones eléctricas.	Conductor de doble aislamiento.

*Elaborado por el equipo de trabajo*

### **Diseño n° 3**

#### **Diseño de estantería tipo 01.**

Construcción de estantes con dos niveles de repisa, para cada modelo de prototipo, con dimensiones de; 1m x 0.8m cada repisa.



**Tabla 3.3: Lista de materiales y equipos, estantería 01.**

MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTANTERÍA 01	
MATERIAL	DETALLE
Madera	2pulg. x 1 pulg.
Clavo	2 ½ pulg.
Clavo	1 pulg.
mallá	Acero.
Disco de corte	Diamantado para madera.
EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTANTERÍA 01	
EQUIPO	DETALLE
Amoladora	Manual de 4 pulg.
martillo	Manual de 16 Lb.

*Elaborado por el equipo de trabajo*

#### **Diseño n° 4**

#### **Diseño de estantería tipo 02.**

Construcción de 03 estantes; 02 estantes de 6 niveles de repisas y 01 estante con 07 niveles de repisas. Con dimensiones de 0.2m x 1m cada repisa. Las tres repisas ingresan en un solo prototipo.

**Tabla 3.4: Lista de materiales y equipos, estantería 02.**

MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTANERÍA 02	
MATERIAL	DETALLE
Fierro corrugado	½ pulg.
Alambre galvanizado	4.5 mm de diámetro
Malla de nylon	N° 08
EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTANERÍA 02	
EQUIPO	DETALLE
Amoladora.	Manual de 4 pulg.
Máquina de soldar.	De arco eléctrico

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**3.6.3. Reporte de experimentos realizados en los prototipos de secadores solares.**

**Tabla 3.5: Evento de pruebas de prototipo, N° 01.**

EVENTO N° 01	PRUEBA DE PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA.
OBJETIVO	Determinar la temperatura promedio, alcanzada en el interior del prototipo.
PROCESO	<p>El prototipo se recubrió los laterales y cara posterior, utilizando triplay, los cuales fueron fijados con tornillos punta broca de ½” x 5/16”. La cubierta frontal y superior se utilizó manta agro film, las cuales fueron fijadas con tornillo punta broca de ½” x 5/16”.</p> <p>El prototipo se orientó en dirección al norte magnético.</p> <p>Se toma registro de las temperaturas en tres puntos en el interior del prototipo. Las mediciones realizadas están desde las 8:00 antes del mediodía, hasta las 16:00 horas pasado el mediodía.</p>

(continuación...)

MATERIALES	3 piezas de triplay para las caras; laterales y posterior, manta agro film para el recubrimiento de las caras superior y frontal y tornillos punta broca de ½” x 5/16”.
INSUMOS Y HERRAMIENTAS	Destornillador, GPS y Termómetro.
INICIO Y TÉRMINO	26 de Octubre al 27 de Octubre del 2018
UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA.
RESULTADOS	Se determinó la temperatura promedio de 38 °C en el interior del prototipo.

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.6: Evento de pruebas de prototipo, N° 02.**

EVENTO N° 02	PRUEBA DE PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA CON PINTADO DE INTERIOR Y FORRADO POR LA CARA INFERIOR.
OBJETIVO	Determinar la temperatura promedio, alcanzada en el interior del prototipo.
PROCESO	Se realiza la cubierta inferior con triplay, y se procede al pintado con pintura color negro, posteriormente se realiza la toma de datos de temperatura en los diferentes puntos. Las mediciones realizadas están desde las 8:00 antes del mediodía, hasta las 16:00 horas pasado el mediodía.

(continuación...)

MATERIALES	Triplay, Pintura sintética color negro.
INSUMOS Y MATERIALES	Compresora, soplete, destornillador y termómetro.
INICIO Y TÉRMINO	29 de Octubre al 30 de Octubre del 2018
UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA.
RESULTADOS	Se determinó la temperatura promedio de 40 °C en el interior del prototipo.

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.7: Evento de pruebas de prototipo, N° 03.**

EVENTO N° 03	PRUEBA DE PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA, CON TECHO DE VIDRIO.
OBJETIVO	Determinar la temperatura promedio en el interior del prototipo.
PROCESO	El prototipo se recubrió los laterales y cara posterior, utilizando triplay, los cuales fueron fijados con tornillos punta broca de ½” x 5/16”. La cubierta frontal se recubrió con manta agrofilm, y para mejorar el paso de la luz solar por radiación por la parte superior, se cubre con vidrio semidoble. Las mediciones realizadas están desde las 8:00 antes del mediodía, hasta las 16:00 horas pasado el mediodía.

(continuación...)

MATERIALES	Triplay para las caras; laterales, posterior e inferior, manta agro film para el recubrimiento de la cara frontal, vidrio semidoble y tornillos punta broca de ½” x 5/16”.
INSUMOS Y EQUIPOS	-Destornillador, GPS y termómetro.
INICIO Y TÉRMINO	31 de Octubre al 01 de Noviembre
UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA.
RESULTADOS	Se determina la temperatura promedio en el interior del prototipo con valores de 43 °C.

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.8: Evento de pruebas de prototipo, N° 04.**

EVENTO N° 04	PRUEBA DE PROTOTIPO TIPO TÚNEL.
OBJETIVO	Determinar la temperatura promedio en el interior del prototipo.
PROCESO	El prototipo se recubrió con manta agrofílm en su totalidad menos la parte inferior las cuales fueron fijadas con tornillos punta broca de ½” x 5/16” y cinta de embalaje.  Las mediciones de temperatura realizadas están desde las 8:00 horas, hasta las 16:00 horas.
MATERIALES	-Manta agro film para el recubrimiento, cinta de embalaje para plástico agrofílm y tornillos punta broca de ½” x 5/16”.

(continuación...)

INSUMOS Y EQUIPOS	-Destornillador, GPS, termómetro.
INICIO Y TÉRMINO	20 de Noviembre al 21 de Noviembre del 2018
UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA
RESULTADOS	Se determina la temperatura promedio en el interior del prototipo con valores de 39 °C.

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.9: Evento de pruebas de prototipo, N° 05.**

EVENO N° 05	PRUEBA DE PROTOTIPO TIPO TÚNEL SELLADO POR LA PARTE INFERIOR, CON TRIPLAY PINTADO DE COLOR NEGRO.
OBJETIVO	Determinar la temperatura promedio en el interior del prototipo.
PROCESO	Se realiza el pintado del triplay, con color negro por el interior del prototipo de secador solar, el cual se colocará en la parte inferior. Las mediciones de temperatura realizadas están desde las 8:00 antes del mediodía, hasta las 16:00 horas pasado el mediodía.
MATERIALES	-Pintura sintética color negro.
INSUMOS Y EQUIPOS	-Compresora, soplete, destornillador y termómetro.

(continuación...)

INICIO Y TÉRMINO		21 de Noviembre al 22 de noviembre del 2018
UBICACIÓN		Centro Experimental Illpa del INIA
RESULTADOS		Se determina la temperatura promedio en el interior del prototipo con valores de 42 °C.

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.10: Evento de pruebas de prototipo, N° 06.**

EVENO N° 06	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA, CON ESTANTERÍA TIPO 01.
OBJETIVO	Determinar el porcentaje de humedad extraído del forraje, después de 24 horas de secado.
PROCESO	Se realizó la prueba de secado de alfalfa dactylis en el prototipo tipo media agua, por convección natural y radiación directa. Con estantería de tipo 01.
MATERIALES	Prototipo tipo media agua y estantería tipo 01.
INSUMOS Y EQUIPOS	Alfalfa – dactylis, termómetro y balanza.
INICIO Y TÉRMINO	22 de Noviembre al 23 de Noviembre del 2018.
UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA.
RESULTADOS	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 36.30 %.

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.11: Evento de pruebas de prototipo, N° 07.**

EVENTO N° 07	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO TÚNEL, CON ESTANTERIA DEL TIPO 01.
OBJETIVO	Determinar el porcentaje de humedad extraído del forraje, después de 24 horas de secado.
PROCESO	Se realizó la prueba de secado de alfalfa - dactylis en el prototipo tipo túnel, por convección natural y radiación directa. Con estantería de tipo 01.
MATERIALES	Prototipo tipo túnel y estantería tipo 01.
INSUMOS Y EQUIPOS	-Alfalfa – dactylis, termómetro y balanza.
INICIO Y TÉRMINO	26 de Noviembre al 27 de Noviembre del 2018.
UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA.
RESULTADOS	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 37.83 %

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.12: Evento de pruebas de prototipo, N° 08.**

EVENTO N° 08	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO TÚNEL, CON COLECTOR SOLAR, Y ESTANTERÍA DEL TIPO 01.
OBJETIVO	Determinar el porcentaje de humedad extraído del forraje, después de 24 horas de secado.

(continuación...)

PROCESO	Se realizó la prueba de secado de alfalfa - dactylis en el prototipo tipo túnel, incorporando colector solar en la entrada de aire a la cámara de secado. Con estantería de tipo 01.
MATERIALES	Prototipo tipo túnel, estantería tipo 01 y colector solar.
INSUMOS Y EQUIPOS	Alfalfa – dactylis, termómetro y balanza.
INICIO Y TÉRMINO	28 de Noviembre al 29 de Noviembre del 2018
UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA.
RESULTADOS	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 39.31 %

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.13: Evento de pruebas de prototipo, N° 09.**

EVENTO N° 09	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA, CON FLUJO DE AIRE FORZADO.
OBJETIVO	Determinar el porcentaje de humedad extraído del forraje, después de 24 horas de secado.
PROCESO	Se realizó la prueba de secado de alfalfa - dactylis en el prototipo tipo media agua, con flujo de aire forzado, con ventiladores axiales de 1.43 m <sup>3</sup> /min de caudal. Con estantería de tipo 01.
MATERIALES	Prototipo tipo media agua, estantería tipo 01 y ventiladores axiales.

(continuación...)

INSUMOS Y EQUIPOS	Alfalfa – dactylis, termómetro, balanza.
INICIO Y TÉRMINO	29 de Noviembre al 30 de Noviembre del 2018
UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA.
RESULTADOS	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 40.26 %

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.14: Evento de pruebas de prototipo, N° 10.**

EVENTO N° 10	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO TÚNEL, CON FLUJO DE AIRE FORZADO.
OBJETIVO	Determinar el porcentaje de humedad extraído del forraje, después de 24 horas de secado.
PROCESO	Se realizó la prueba de secado de alfalfa - dactylis en el prototipo tipo túnel, con flujo de aire forzado, con ventiladores axiales de 1.43 m <sup>3</sup> /min. Con estantería de tipo 01.
MATERIALES	-Prototipo tipo túnel, estantería tipo 01, ventiladores axiales.
INSUMOS Y EQUIPOS	-Alfalfa – dactylis, termómetro y balanza.
INICIO Y TÉRMINO	03 de Diciembre al 04 de Diciembre del 2018

(continuación...)

UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA.
RESULTADOS	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 39.93%

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.15: Evento de pruebas de prototipo, N° 11.**

EVENTO N° 11	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA, CON FLUJO DE AIRE FORZADO, Y ESTANTERÍA DEL TIPO 02.
OBJETIVO	Determinar el porcentaje de humedad extraído del forraje, después de 24 horas de secado.
PROCESO	Se realizó la prueba de secado de alfalfa - dactylis en el prototipo tipo media agua, con flujo de aire forzado, y con tipo de estantería del tipo 02, que cuenta con, estantería del tipo 02, que cuenta con dos estantes con seis niveles de repisas y un estante con siete niveles de repisas, y para el ingreso de aire forzado, se usa, ventiladores axiales de 1.43 m <sup>3</sup> /min de caudal.
MATERIALES	Prototipo tipo media agua, estantería tipo 02 y ventiladores axiales.
INSUMOS Y EQUIPOS	Alfalfa – dactylis, termómetro y balanza.
INICIO Y TÉRMINO	04 de Diciembre al 05 de Diciembre del 2018

(continuación...)

UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA.
RESULTADOS	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 32.59%

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.16: Evento de pruebas de prototipo, N° 12.**

EVENO N° 12	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO TÚNEL, CON ESTANTERIA DEL TIPO 02 Y FLUJO DE AIRE FORZADO.
OBJETIVO	Determinar el porcentaje de humedad extraído del forraje, después de 24 horas de secado.
PROCESO	Se realizó la prueba de secado de alfalfa - dactylis en el prototipo tipo túnel, con flujo de aire forzado, con ventiladores axiales de 1.43 m <sup>3</sup> /min. Con estantería del tipo 02. Se usa dos estantes con seis niveles de repisas y un estante con siete niveles de repisas.
MATERIALES	Prototipo tipo túnel, estantería tipo 02 y ventiladores axiales.
INSUMOS Y EQUIPOS	-Alfalfa – dactylis, termómetro y balanza.
INICIO Y TÉRMINO	04 de diciembre al 05 de diciembre del 2018
UBICACIÓN	Centro Experimental Illpa del INIA.
RESULTADOS	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 33.78%

*Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.6.4. Resumen de experimentos realizados en los prototipos de secadores solares.

#### Cuadros de resumen de los experimentos realizados en los prototipos secadores solares.

Este cuadro remarca los resultados obtenidos, según los objetivos planteados para cada evento. Para cada prototipo se obtuvieron datos que nos permitirán optar por un diseño adecuado, capaz de resolver los problemas planteados con respecto a la henificación de alfalfa/dactilys.

**Tabla 3.17: Resumen de resultados del prototipo tipo media agua.**

EVENTO	DENOMINACION	RESULTADOS
01	PRUEBA DE PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA.	Se determinó la temperatura promedio de 38 °C en el interior del prototipo.
02	PRUEBA DE PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA CON PINTADO DE INTERIOR Y FORRADO POR LA CARA INFERIOR.	Se determinó la temperatura promedio de 40 °C en el interior del prototipo.
03	PRUEBA DE PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA, CON TECHO DE VIDRIO.	Se determina la temperatura promedio en el interior del prototipo con valores de 43 °C.
06	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA, CON ESTANTERÍA TIPO 01.	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 36.30 %.

(continuación...)

09	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA, CON FLUJO DE AIRE FORZADO.	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 40.26 %
11	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO MEDIA AGUA, CON FLUJO DE AIRE FORZADO, Y ESTANTERÍA DEL TIPO 02.	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 32.59%
12	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO TÚNEL, CON ESTANTERIA DEL TIPO 02 Y FLUJO DE AIRE FORZADO.	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 33.78%

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.18: Resumen de resultados del prototipo tipo túnel.**

EVENTO	DENOMINACIÓN	RESULTADOS
04	PRUEBA DE PROTOTIPO TIPO TÚNEL.	Se determina la temperatura promedio en el interior del prototipo con valores de 39 °C.
05	PRUEBA DE PROTOTIPO TIPO TÚNEL SELLADO POR LA PARTE INFERIOR, CON TRIPLAY PINTADO DE COLOR NEGRO.	Se determina la temperatura promedio en el interior del prototipo con valores de 42 °C.



(continuación...)

07	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO TÚNEL, CON ESTANTERIA DEL TIPO 01.	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 37.83 %
08	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO TÚNEL, CON COLECTOR SOLAR, Y ESTANTERÍA DEL TIPO 01.	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 39.31 %
10	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO TÚNEL, CON FLUJO DE AIRE FORZADO.	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 39.93%
12	PRUEBA DE SECADO EN EL PROTOTIPO TIPO TÚNEL, CON ESTANTERIA DEL TIPO 02 Y FLUJO DE AIRE FORZADO.	Se determinó la humedad extraído del forraje en un periodo de 24 horas, con valores de 33.78%

*Elaborado por el equipo de trabajo*

### **Análisis de los experimentos realizados en los prototipos de secadores solares.**

De acuerdo al cuadro de resumen de los experimentos realizados en los prototipos secadores solares, podemos deducir que entre un tipo de secador u otro no existe una gran brecha, que puede determinar con facilidad la elección del modelo adecuado. También se puede definir qué, los prototipos pueden deshidratar el forraje, sin la necesidad de incorporar, ya sea extractores eléctricos y colectores solares. Por la simple razón de que



al agregar un sistema auxiliar el costo de producción de heno se incrementa considerablemente.

Por consiguiente, lo más adecuado será diseñar dos módulos de secadores solares, con las mismas o similares características de los prototipos evaluados. La finalidad es, determinar cuál es el mejor diseño, para la obtención de heno a un menor costo de producción.

### **3.6.5. Diseño de secadores solares y estantería.**

#### **Diseño N° 1**

##### ***3.6.5.1. Diseño de módulo secador solar tipo media agua.***

Para lograr el diseño adecuado del módulo secador solar tipo media agua tomamos en cuenta los resultados obtenidos de los eventos realizados en el prototipo de secador solar tipo media agua. Se consideró además para el dimensionamiento del diseño final, aspectos físicos del forraje, dimensionamiento de estantería y pasillos.

Un diseño dirigido al pequeño y mediano productor agropecuario de la región altiplánica de Puno. Los materiales empleados serán de acuerdo a los más comerciales, que determinan que, el módulo sea desmontable, transportable y de fácil almacenamiento. Además, condiciones de operación de deshidratación de forraje. También se toma en cuenta la economía, al ser dirigido a la industria agropecuaria en desarrollo en los últimos años.

#### **Condiciones de diseño.**

- El secador solar sea desmontable y transportable.
- Que el costo de construcción sea económico.
- Los materiales empleados sean comerciales.



- Los materiales sean de fácil manejo en distintos procesos de fabricación.
- Que sea resistente a las cargas incidentes en el módulo.

El diseño final se realiza con material de acero, los cuales, según el análisis de materiales, resulta más rentable, por los años de uso y además la facilidad con la que se puede trabajar.

Logrando un módulo totalmente desmontable, para su respectivo traslado y almacenamiento cuando este no esté en uso, lo que será un periodo largo que comprende de mayo a diciembre, con la finalidad de preservar el buen estado de los materiales.

### **Dimensionamiento del módulo secador solar tipo media agua.**

El módulo secador solar tipo media agua o (gabinete) tendrá un diseño como su nombre indica, tendrá la particularidad de estar cubierto por el alrededor con manta agrofilm y techo de calamina transparente ondulado de policarbonato, con lo cual, en el interior del módulo provocará el efecto invernadero, principal requisito para la deshidratación de forraje en este caso. Con un ancho de 4.00 m, los que fueron determinados por las dimensiones de los pasadizos, estantes y separación de pared-estante. Las alturas se determinaron por la altura de los estantes y medidas de la manta agrofilm. El largo del módulo fue determinado según requerimiento del proyectista para realizar las pruebas de secado de forraje.

El módulo secador solar tipo media agua tendrá como principales elementos:

- 01 viga frontal.
- 01 viga superior.
- 02 vigas intermedias.
- 05 correas.
- 02 largueros.



Piezas angulares.

Estos elementos, así como la estructura en su totalidad se llevan a un análisis exhaustivo en el programa. Con la finalidad de identificar los puntos críticos.

Para este análisis se establecen las cargas puntuales que actúan sobre la estructura del módulo, tanto frontal como superior.

### **Dimensiones del módulo secador solar tipo media agua.**

La estructura del módulo secador solar tiene las siguientes dimensiones:

Ancho: 4.00 metros.

Largo: 9.00 metros.

Altura 01: 1.65 metros.

Altura 02: 2.15 metros.

### **Dimensionamiento del ancho de la estructura.**

#### **Consideraciones.**

Ancho de estantes ( $w_{esta}$ ): 0.60 metros.

Número de estantes ( $N_{esta}$ ): 03 unidades.

Ancho de los pasillo ( $w_{pas}$ ): 0.95 metros.

Número de pasillos ( $N_{pas}$ ): 02.

Distancia entre estructura y estante ( $w_{dis}$ ): 0.15 metros

Número de distancias entre pared y estante ( $N_{luz}$ ): 02.

Determinamos el ancho total de la estructura ( $w_{est}$ )

$$w_{est} = w_{esta} \times N_{esta} + w_{pas} \times N_{pas} + w_{dis} \times N_{luz}$$

$$w_{est} = 4.00 \text{ metros}$$



## **Dimensionamiento de alturas de la estructura.**

### **Consideraciones.**

Para determina las alturas se tuvo en consideración el ancho de la manta agrofilm y la inclinación del techo, donde la altura máxima de 2.15 metros y la altura mínima de 1.65 metros.

## **Dimensionamiento de longitud de la estructura.**

### **Consideraciones.**

Para el largo de la estructura se toma las consideraciones económicas.  
Para el diseño del secador solar de este proyecto es de 9.00 metros, pero puede variar en razón de 3 metros, de acuerdo al presupuesto destinado.

### **Parámetros de diseño.**

Para la selección del material usado para la construcción de la estructura del secador se tomó en consideraciones las cargas que inciden en la estructura. Con estas cargas se realizó un análisis estructural mediante la simulación de SOLIDWORKS.

### **Cargas muertas.**

Se considerará el peso real de los materiales que conforman y de los que deberán soporta la edificación calculados en base a los pesos unitarios.

El peso real se podrá determinar por medio de análisis o usando los datos indicados en los diseños y catálogos de los fabricantes.

### **Cargas de cubierta.**

Calamina de policarbonato.



Masa compacto por  $m^2$ :

$2.4kg$

Área de cubierta:

$36.46 m^2$

### **Carga total de estructura.**

Tubo de acero LAC ASTM A500.

$93.17 kg$

### **Cargas vivas.**

Se diseñarán los techos y las marquesinas tomando en cuenta las cargas vivas, las de sismo, viento y otras prescritas a continuación.

Para techos con coberturas livianas de planchas onduladas o plegadas, calaminas, fibrocemento, material plástico, etc., cualquiera sea su pendiente, 0,30 kPa (30 kgf/m<sup>2</sup>) (RNE, 2006).

### **Cargas de viento.**

La estructura, los elementos de cierre y los componentes exteriores de todas las edificaciones expuestas a la acción del viento, serán diseñados para resistir las cargas exteriores debidas al viento.

Velocidad del viento

La velocidad del viento de acuerdo a los datos meteorológicos proporcionados por la estación meteorológica- Illpa del senamhi. Se considera como velocidad máxima del viento 9.9 m/s, con dirección de Norte a Sur.



### Velocidad de diseño del viento.

La velocidad de diseño del viento hasta 10 m de altura será la velocidad máxima adecuada a la zona de ubicación de la edificación. La velocidad de diseño del viento en cada altura de la edificación se obtendrá de la siguiente expresión.

$$V_h = V(h/10)^{0.22} \quad \dots (3.1)$$

Donde:

$V_h$ : es la velocidad de diseño en la altura  $h$  en km/h.

$V$ : es la velocidad de diseño hasta 10 m de altura en km/h.

$h$ : es la altura sobre el terreno en metros.

### Carga exterior de viento.

La carga exterior (presión o succión) ejercida por el viento se supondrá estática y perpendicular a la superficie sobre la cual se actúa. Se calculará mediante la expresión:

$$P_h = 0.005 C V_h^2 \quad \dots (3.2)$$

Donde:

$P_h$ : Es la presión de diseño en la altura en km/h.

$C$ : Factor de forma adimensional, ver tabla 3.19.

$V_h$ : Velocidad de diseño a la altura  $h$ , en km/h.

**Tabla 3.19: Factor de forma (C)**

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+0.8	-0.6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas, y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	±0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.7 -0.3	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6
Superficies verticales o inclinadas (planas o curvas) paralelas a la dirección del viento	-0,7	-0,7
* El signo positivo indica presión y el negativo succión.		

Fuente: (RNE, 2006).

Para nuestro diseño tomaremos una velocidad de diseño de 75 km/h, ya que según la norma E.20 CARGAS, no debe ser menor.

$$V_h = 75 \frac{km}{h} \left( \frac{2.15 m}{10 m} \right)^{0.22}$$

$$V_h = 53.48 \frac{km}{h}$$

Entonces la presión del viento a 2.15 m será:

$$P_h = 0.005 \times 0.8 \times \left( 53.48 \frac{km}{h} \right)^2$$

$$P_h = 11.44 \text{ kg/m}^2$$

### **Cargas que influyen en la cara frontal.**

Cargas debido a la presión del viento:

$$Q_V = P_h \times g_0 \times A_F \quad \dots (3.3)$$



Donde:

$Q_V$ : Carga debido al viento.

$P_h$ : Presión del viento.

$g_0$ : Aceleración estándar debido a la gravedad.

$A_F$ : Área de la cara frontal del módulo.

$$Q_V = 11.44 \frac{kg}{m^2} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 14,85m^2$$

$$Q_V = 1664.83 N$$

### **Cargas que influyen en el techo.**

Cargas debido a la presión del viento en el techo:

$$Q_{V,t} = 15.6 \frac{N}{m^2} \times 36.28m^2$$

$$Q_{V,t} = 565.97 N$$

Carga debido a la cubierta del techo ( $Q_{cub}$ ).

$$Q_{cub} = 2.4 \frac{kg}{m^2} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 36.28m^2$$

$$Q_{cub} = 853.31 N$$

Carga debido a la estructura ( $Q_{est}$ )

$$Q_{est} = 20.03 kg \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Q_{est} = 196.9 N$$

### **Cargas que influyen en la cara lateral.**

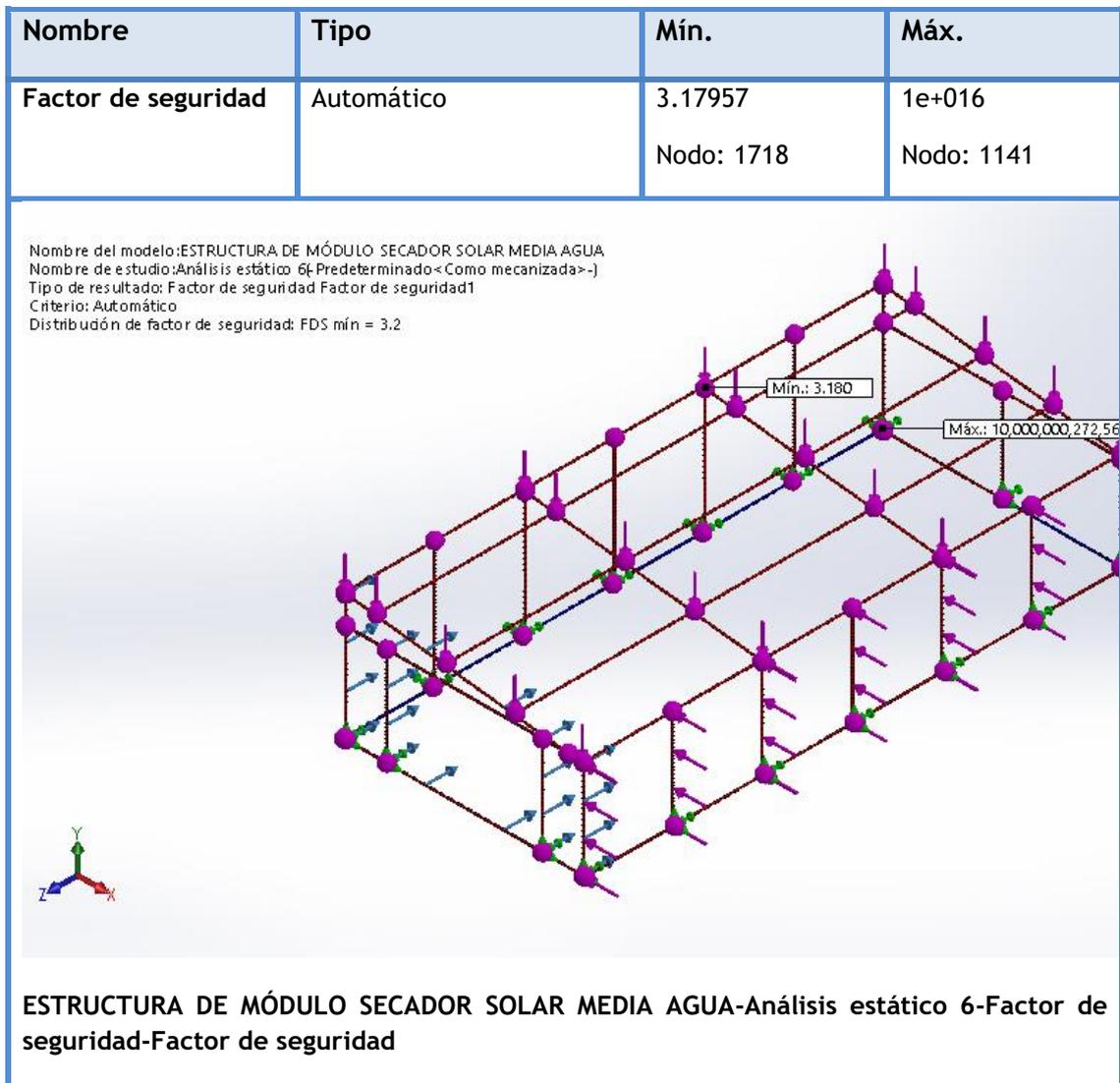
Cargas debido a la presión del viento:

$$Q_V = 112.11 \frac{N}{m^2} \times 7.6 m^2$$

$$Q_V = 852.04$$

## Análisis estructural aplicando las cargas incidentes.

**Figura 3. 6: Análisis de la estructura del secador tipo media agua.**



*Elaborado por el equipo de trabajo*

### Dimensionamiento de la viga frontal.

Elemento estructural que soportara cargas, tiene como principales materiales Tubo LAC ASTM A-500 CUADRADO 1 ½ pulg. x 1.5 mm, la parte más alta mide 2.15 metros y la parte más baja con una medida de 1.65 metros. En esta viga se incorpora estructuras para la puerta, los que estas construidos con tubo de acero LAC de perfil cuadrado de 1



pulgada por 1.5 milímetros, las dimensiones de la puerta son de 1.60 metros de altura y 2.4 metros de ancho.

### **Dimensionamiento de la viga posterior.**

Elemento estructural conformado por tres piezas de Tubo LAC ASTM A-500 CUADRADO 1 1/2 pulg.x1.5 mm con medidas en la parte más alta de 2.15 m y en la parte más baja de 1.65 m, en la parte inferior se agrega una pieza con tubo de acero LAC de perfil cuadrado de 1 pulg x 1.5 mm, el que contribuirá con la rigidez de la viga. Además, en la parte intermedia se forma un “T” con tubo de acero LAC de perfil cuadrado de 1 pulg x 1.5 mm, el que servirá para la sujeción de la manta agrofilm.

### **Dimensionamiento de las vigas intermedias.**

Las vigas intermedias están constituidas por dos vigas, los que estarán unidas mediante los largueros y correas con las vigas frontal y posterior. Al igual que las vigas anteriores estas tienen una altura de la más alta de 2.15 m y en parte más baja de 1,65 m, con la particularidad de que estas no tienen largueros y viguetas en las partes intermedias.

### **Dimensionamiento de correas y largueros.**

Las correas se encargan de distribuir uniformemente la carga a las vigas.

Elemento estructural elaborado con Tubo LAC ASTM A-500 CUADRADO 1 ¼ Pulg.x1.5 mm, y acero LAC de perfil cuadrado de 1 pulg x 1.5 mm, para correas y largueros respectivamente. Las correas son las encargadas de mantener fijo las vigas, además soportaran la carga del techo, que, a su vez, será útil para fijar la calamina. Y los largueros además de sujetar la base del módulo secador, se aprovechará para la sujeción de la manta agrofilm. Estos elementos están constituidos por dos piezas, una de 6 m de longitud, y la otra de 3 m de longitud.



### **Montaje del módulo secador solar tipo media agua.**

El montaje de la estructura del módulo secador solar tipo media agua, se deberá realizar usando el plano, para identificar las piezas correspondientes a cada punto de la estructura. Procediendo a ubicar y ordenar las piezas adecuadamente par mejor manipulación y seguridad en el trabajo. A continuación, se procede al montaje:

- Levantar verticalmente la viga frontal, y mantenerlo fijo perpendicularmente, con ayuda.
- Colocar los dos largueros que corresponden a las partes inferiores, y asegurar con perno cincado de 5/16 pulg x 1 ½ pulg, arandelas y su respectiva tuerca.
- Levantar una viga intermedia y fijar con los largueros y correas, con los respectivos pernos, arandelas y tuercas.
- Seguidamente levantar la segunda viga intermedia, asegurar con los respectivos pernos, arandelas y tuercas.
- Finalmente, la viga posterior, asegurar con los pernos, arandelas, tuercas y ajustar todas las uniones, hasta que la estructura de módulo secador solar quede inamovible.

### **Dimensionamiento del extractor eólico.**

El extractor eólico intercambia permanentemente el aire desde el interior de la cámara de secado del módulo secador solar, el cual es compensado mediante la entrada de aire por la puerta. Este proceso permite la extracción de la humedad expulsada por el forraje.



### **3.6.5.2. Diseño de módulo secador solar tipo túnel.**

Para lograr el diseño adecuado del módulo secador solar tipo túnel, tomamos en cuenta los resultados obtenidos de los eventos realizados en el prototipo de secador solar tipo túnel. Se consideró, además, para el dimensionamiento del diseño final aspectos físicos del forraje y dimensionamiento de estantería y pasillos.

Un diseño dirigido al pequeño y mediano productor de ganado de la región altiplánica de Puno. Los materiales empleados serán de acuerdo al más comercial, que determinan que el módulo sea desmontable, transportable y de fácil almacenamiento. Además, condiciones de operación de deshidratación de forraje. También se toma en cuenta la economía, al ser dirigido a la industria de ganado en desarrollo en los últimos años.

#### **Condiciones de diseño.**

- El secador solar sea desmontable y transportable.
- Que el costo de construcción sea económico.
- Los materiales empleados sean comerciales.
- Los materiales sean de fácil manejo en distintos procesos de fabricación.
- Que sea resistente a las cargas incidentes en el módulo.

El diseño final se realiza con material de acero, los cuales, según el análisis de materiales, resulta más rentable, por los años de uso y además la facilidad con la que se puede trabajar.

Logrando un módulo totalmente desmontable, para su respectivo traslado y almacenamiento cuando este no esté en uso, lo que será un periodo largo que comprende de mayo a diciembre, con la finalidad de preservar el buen estado de los materiales.



## **Dimensionamiento Del Módulo Secador Solar Tipo Túnel**

El módulo secador solar tipo túnel o (de techo parabólico) tendrá un diseño como su nombre indica. La particularidad de este secador solar es estar cubierto en su totalidad con manta agrofilm, con lo cual, en el interior del módulo provocara el efecto invernadero, principal requisito para la deshidratación de forraje. Tiene un ancho de 4.20 m, los que fueron determinados por dimensiones de los pasadizos, estantes y separación de pared-estante. Las alturas se determinaron por la altura de los estantes. El largo del módulo fue determinado según requerimiento del proyectista para realizar las pruebas de secado de forraje. Estará constituido por:

01 viga frontal.

01 viga superior.

05 vigas intermedias.

03 correas.

02 largueros.

Piezas angulares.

Estos elementos, así como la estructura en su totalidad se llevan a un análisis exhaustivo en el programa. Con la finalidad de identificar los puntos críticos.

Para este análisis se establecen las cargas puntuales que actúan sobre la estructura del módulo, tanto frontal como superior.

### **Dimensiones del módulo secador solar tipo túnel.**

La estructura del módulo secador solar tiene las siguientes dimensiones:

Ancho: 4.20 metros.

Largo: 9.00 metros.

Altura punto máximo: 2.30 metros.



## **Dimensionamiento del ancho de la estructura.**

### **Consideraciones.**

Ancho de estantes ( $w_{esta}$ ): 0.60 metros.

Número de estantes ( $N_{esta}$ ): 03 unidades.

Ancho de los pasillo ( $w_{pas}$ ): 0.95 metros.

Número de pasillos ( $N_{pas}$ ): 02.

Distancia entre estructura y estante ( $w_{dis}$ ): 0.30 metros

Número de distancias entre pared y estante ( $N_{dis}$ ): 02.

Determinamos el ancho total de la estructura ( $w_{est}$ )

$$w_{est} = w_{esta} \times N_{esta} + w_{pas} \times N_{pas} + w_{dis} \times N_{dis}$$

$$w_{est} = 4.20 \text{ metros}$$

## **Dimensionamiento de alturas de la estructura.**

### **Consideraciones.**

Para determina las alturas se tuvo en consideración el ancho de la manta agrofilm.

## **Dimensionamiento de longitud de la estructura.**

### **Consideraciones.**

Para el largo de la estructura se toma las consideraciones económicas.

Para el diseño del secador solar de este proyecto es de 9.00 metros, pero puede variar en razón de 1.5 metros, de acuerdo al presupuesto destinado.



### **Parámetros de diseño.**

Para la selección del material usado para la construcción de la estructura del secador se tomó en consideraciones las cargas que inciden en la estructura. Con estas cargas se realizó un análisis estructural mediante la simulación de SOLIDWORKS.

### **Cargas muertas.**

Se considerará el peso real de los materiales que conforman y de los que deberán soportar la edificación calculados en base a los pesos unitarios.

El peso real se podrá determinar por medio de análisis o usando los datos indicados en los diseños y catálogos de los fabricantes.

### **Cargas de cubierta.**

Área de cubierta:

$$99.86 \text{ m}^2$$

### **Carga total de estructura.**

Tubo de acero LAC ASTM A500.

$$61.93 \text{ kg}$$

### **Cargas vivas.**

Se diseñarán los techos y las marquesinas tomando en cuenta las cargas vivas, las de sismo, viento y otras prescritas a continuación.

Para techos con coberturas livianas de planchas onduladas o plegadas, calaminas, fibrocemento, material plástico, etc., cualquiera sea su pendiente, 0,30 kPa (30 kgf/m<sup>2</sup>).

Cargas de viento.

La estructura, los elementos de cierre y los componentes exteriores de todas las edificaciones expuestas a la acción del viento, serán diseñados para resistir las cargas exteriores debidas al viento.

#### Velocidad del viento

La velocidad del viento de acuerdo a los datos meteorológicos proporcionados por la estación meteorológica- Illpa del senamhi. Se considera como velocidad máxima del viento 9.9 m/s, con dirección de Norte a Sur.

#### Velocidad de diseño

La velocidad de diseño del viento hasta 10 m de altura será la velocidad máxima adecuada a la zona de ubicación de la edificación. La velocidad de diseño del viento en cada altura de la edificación se obtendrá de la siguiente expresión.

$$V_h = V(h/10)^{0.22} \quad \dots (3.1)$$

Donde:

$V_h$ : es la velocidad de diseño en la altura h en km/h.

V: es la velocidad de diseño hasta 10 m de altura en km/h.

h: es la altura sobre el terreno en metros.

#### **Carga exterior de viento.**

La carga exterior (presión o succión) ejercida por el viento se supondrá estática y perpendicular a la superficie sobre la cual se actúa. Se calculará mediante la expresión:

$$P_h = 0.005 C V_h^2 \quad \dots (3.2)$$

Donde:

$P_h$ : Es la presión de diseño en la altura en km/h.

C: Factor de forma adimensional, ver tabla 3.19.

$V_h$ : Velocidad de diseño a la altura h, en km/h.



Para nuestro diseño tomaremos una velocidad de diseño de 75 km/h, ya que según la norma E.20 CARGAS, no debe ser menor.

$$V_h = 75 \frac{km}{h} \left( \frac{2.3 m}{10 m} \right)^{0.22}$$

$$V_h = 53.28 \frac{km}{h}$$

Entonces la presión del viento a 2.3 m será:

$$P_h = 0.005 \times 0.8 \times \left( 53.28 \frac{km}{h} \right)^2$$

$$P_h = 11.79 \text{ kg/m}^2$$

### **Cargas que influyen en la cara lateral.**

Cargas debido a la presión del viento:

$$Q_V = P_h \times g_0 \times A_F \quad \dots \text{Ec.}$$

(3.3)

Donde:

$Q_V$ : Carga debido al viento.

$P_h$ : Presión del viento.

$g_0$ : Aceleración estándar debido a la gravedad.

$A_F$ : Área de la cara frontal del módulo.

$$Q_V = 11.79 \frac{kg}{m^2} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 13.5m^2$$

$$Q_V = 1559.8 \text{ N}$$

### **Cargas que influyen en el techo.**

Cargas debido a la presión del viento en el techo:



$$Q_{v,t} = 44.83 \frac{N}{m^2} \times 19.04m^2$$

$$Q_{v,t} = 853.34 N$$

Carga debido a la cubierta del techo ( $Q_{cub}$ ).

$$Q_{cub} = 0.3 \frac{kg}{m^2} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 72m^2$$

$$Q_{cub} = 208.8 N$$

Carga debido a la estructura ( $Q_{est}$ )

$$Q_{est} = 61.93 kg \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Q_{est} = 606.91 N$$

**Cargas que influyen en la cara frontal.**

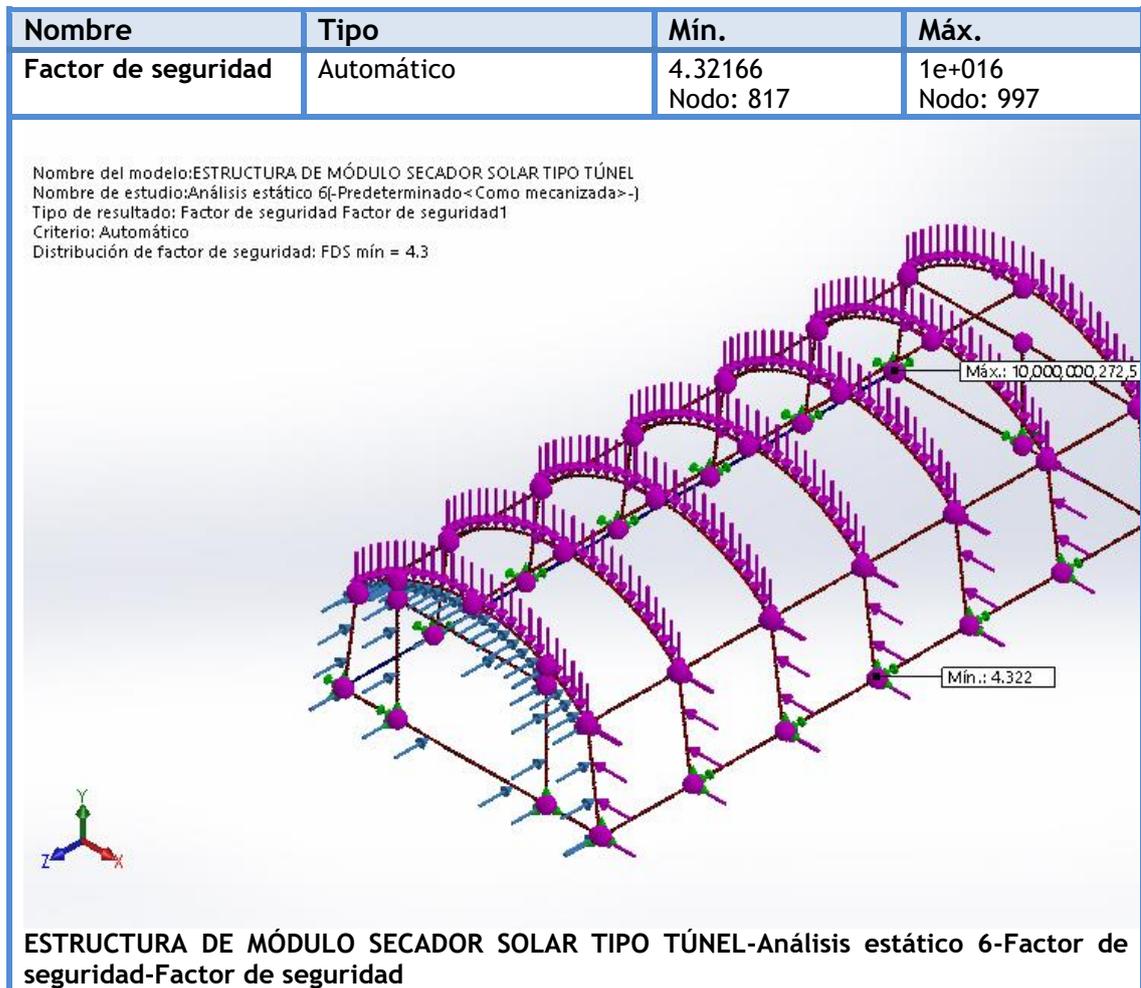
Cargas debido a la presión del viento:

$$Q_v = 115.54 \frac{N}{m^2} \times 8.096 m^2$$

$$Q_v = 853.34 N$$

## Análisis estructural aplicando las cargas incidentes.

**Figura 3.7: Análisis de la estructura del secador tipo túnel.**



*Elaborado por el equipo de trabajo*

### Dimensionamiento de la viga frontal.

Elemento estructural que soportara cargas, tiene como principales materiales tubo LAC ASTM A-500 CUADRADO 1 ½ Pulg x 1.5 mm, la parte más alta mide 2.30 metros y los costados una altura de 1.5 metros con inclinación de 7° con respecto a la perpendicular. En esta viga se incorpora estructuras para la puerta, los que estas construidos con tubo de acero LAC de perfil cuadrado de 1 pulg. x 1.5 milímetros, las dimensiones de la puerta son de 1.70 metros de altura y 2.4 metros de ancho.



### **Dimensionamiento de la viga posterior.**

Elemento estructural conformado, al igual que la frontal, con tubo LAC ASTM A-500 CUADRADO 1 ½ Pulg x 1.5 mm, con la diferencia de la configuración en la parte intermedia, con tubo de acero LAC de perfil cuadrado de 1 pulg x 1.5 mm de esta viga. Formando una “T”, el que facilitará la sujeción de la manta agrofílm.

### **Dimensionamiento de las vigas intermedias.**

Las vigas intermedias están constituidas por cinco vigas, los que estarán unidas mediante los largueros y correas con las vigas frontal y posterior. Estas vigas tienen las mismas dimensiones que las vigas frontal y posterior, con la particularidad de que estas no tienen largueros y viguetas en las partes intermedias.

### **Dimensionamiento de correas y largueros.**

Las correas se encargan de distribuir uniformemente la carga del techo a las vigas. Elemento estructural elaborado con acero LAC de perfil cuadrado de 1 pulg x 1.5 mm, estas piezas son las encargadas de mantener unidos las vigas, además las correas soportarán la carga del techo, y mantener tensado la manta agrofílm. Los largueros además de sujetar la base del módulo secador, servirán para la sujeción de la manta agrofílm. Estos elementos están constituidos por dos piezas, una de 6 m de longitud, y la otra de 3 m de longitud.

### **Montaje del módulo secador solar tipo túnel.**

El montaje de la estructura del módulo secador solar tipo túnel, se deberá realizar usando el plano, para identificar las piezas correspondientes a cada punto de la estructura.



Procediendo a ubicar y ordenar las piezas adecuadamente para mejor manipulación y seguridad en el trabajo. A continuación, se procede al montaje:

- Levantar verticalmente la viga frontal, y mantenerlo fijo perpendicularmente, con ayuda.
- Colocar los dos largueros que corresponden a las partes inferiores, y asegurar con perno cincado de 5/16 pulg x 1 ½ pulg, arandelas y su respectiva tuerca.
- Levantar una viga intermedia y fijar con los largueros y correas, con los respectivos pernos, arandelas y tuercas.
- Seguidamente levantar las siguientes vigas intermedias, asegurar con los pernos, arandelas y tuercas.
- Finalmente, la viga posterior, y asegurar con los pernos, arandelas y tuercas y ajustar todas las uniones, anclar la estructura hasta que la estructura de módulo secador solar quede inamovible.

### **Dimensionamiento del extractor eólico.**

El extractor eólico intercambia permanentemente el aire desde el interior de la cámara de secado del módulo secador solar, el cual es compensado mediante la entrada de aire por la puerta. Este proceso permite la extracción de la humedad expulsada por el forraje.

### 3.6.5.3. Materiales utilizados en los módulos de secadores solares.

**Tabla 3.20: Materiales utilizados en el módulo secador solar tipo media agua.**

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
Viga intermedia	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 ½ pulg. x1.5 mm.
viga frontal	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 ½ pulg. x1.5 mm. Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 Pulg.x1.5 mm.
viga posterior	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 ½ x1.5 mm. Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 Pulg.x1.5 mm.
Larguero longitudinal superior de 6 m.	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 ¼ Pulg.x1.5 mm.
Larguero longitudinal superior de 3 m.	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 ¼ Pulg.x1.5 mm.
Larguero longitudinal lateral inferior de 6 m.	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 ¼ Pulg.x1.5 mm.
Larguero longitudinal lateral inferior de 3 m.	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 ¼ Pulg.x1.5 mm.
Pieza angular para unión de 30 mm.	Ángulo estructural L30 x 2 mm A36.
Pieza angular izquierda de 25 mm	Ángulo estructural L25 x 2 mm A36.
Pieza angular derecha de 25 mm.	Ángulo estructural L25 x 2 mm A36.



(continuación...)

Pieza angular derecha de 30 mm.	Ángulo estructural L30 x 2 mm A36.
Pieza angular izquierda de 30 mm	Ángulo estructural L30 x 2 mm A36.
Parante de 1.678 m	Tubo LAC ASTM A-500 Cuadrado 1 Pulg.x1.5 mm.
Parante de 2.174 m	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 Pulg.x1.5 mm.
Perno de cabeza redonda cincado	5/16 pulg. x 2½ pulg.
Perno de cabeza redonda cincado	5/16 pulg. x 1½ pulg.
Perno de cabeza redonda cincado	5/16 pulg. x 2 pulg.
Perno de cabeza redonda cincado	5/16 pulg. x 3 pulg.
Tuerca hexagonal cincado para perno	5/16 pulg.
Soporte de extractor.	Plancha de acero galvanizado
Extractor eólico.	6 pulg.
Arandela plana cincado	5/16 pulg.
Arandela rectangular doble orificio	Platina de 1 pulg con orificios de 5/16 pulg.
Estacas de anclaje	Fierro corrugado de ½ pulg., por 50 cm.

(continuación...)

Autoperforante de cabeza 5/16	2 pulg.
Autoperforante de cabeza 5/16	1 pulg.
Manta agrofilm.	Con tratamiento térmico 200 micras
Cinta	Para manta agrofilm 75mm
Calamina	Ondulada de policarbonato
cremallera para la puerta	metálicas

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.21: Materiales utilizados en el módulo secador solar tipo túnel.**

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
Viga parabólica.	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 ½ pulg. x1.5 mm.
Viga lateral parabólica frontal	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 ½ pulg. x1.5 mm. Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 Pulg.x1.5 mm.
Viga lateral parabólico posterior	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 ½ pulg. x1.5 mm. Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 Pulg.x1.5 mm.
Larguero longitudinal superior de 6 m.	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 Pulg.x1.5 mm.
Larguero longitudinal superior de 3 m.	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 Pulg.x1.5 mm.



(continuación...)

Larguero longitudinal lateral de 6 m.	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 Pulg.x1.5 mm.
Larguero longitudinal lateral de 3 m.	Tubo LAC ASTM A-500 cuadrado 1 Pulg.x1.5 mm.
Pieza angular para unión.	Ángulo estructural L25 x 2 mm A36.
Pieza angular izquierda.	Ángulo estructural L25 x 2 mm A36.
Pieza angular derecha.	Ángulo estructural L25 x 2 mm A36.
arandela rectangular	Platina de 1 pulg con orificios de 5/16 pulg.
Arandela plana cincado.	5/16 pulg.
Perno cincado	5/16 pulg.x 3 pulg.
Tuerca cincada.	5/16 pulg.
Perno cincado de 1½ pulgadas	5/16 pulg.x 1½ pulg.
Extractor eólico	6 pulgadas.
Soporte de extractor.	Plancha de acero galvanizado.
Autoperforante de cabeza 5/16	1 pulg.
Cinta.	para manta agrofilm de 75mm
Manta agrofilm.	Con tratamiento térmico de 200 micras
Cremallera para la puerta	Metálico.

*Elaborado por el equipo de trabajo*



#### ***3.6.5.4. Diseño de estantería para secadores solares.***

Para lograr un diseño adecuado de la estantería para los secadores solares, nos basaremos en los resultados obtenidos de los eventos realizados en el prototipo de secadores solares y estantería. Obteniendo mejoras realizadas en el periodo de pruebas. Un diseño dirigido a la utilización de las estanterías en ambos secadores solares, sin tener problemas en la identificación de un único modelo para un secador independiente. El material empleado será de acorde a las condiciones climáticas, además condiciones de operación de deshidratación de forraje. También se toma en cuenta la economía, al ser dirigido a la industria de ganado en desarrollo en los últimos años.

El diseño final se realiza con material de acero, los cuales, según el análisis de materiales, resulta más rentable y con mejores ventajas que los demás materiales utilizados en la construcción de estantería, por los años de uso y además la facilidad con la que se puede trabajar.

#### **Dimensionamiento de la estantería para los módulos, secadores solares.**

Apoyándonos en los resultados obtenidos de los eventos realizados de la estantería en el prototipo de secador solar, se diseñan estantes metálicos de almacenamiento estático con repisas regulables, que permite realizar las maniobras experimentales, y una adecuada manipulación del forraje para el secado.

Para las dimensiones de la estantería se toma en cuenta las especificaciones del forraje, como la altura máxima que se puede obtener en condiciones óptimas, la masa por volumen de forraje verde, y condiciones ergonómicas del hombre que se encarga de la manipulación. Según el reglamento de la ley de seguridad y salud en el trabajo de los estibadores terrestres y transportistas manuales, decreto supremo n° 005-2009-TR, que la ley N° 29088 CAP II, peso máximo a estibar, Art. 2, hombres 25 Kg, y mujeres 12.5 Kg.



El material para la construcción de las estanterías, de acuerdo a la consulta literaria y análisis de materiales de construcción, se tiene que el acero es una buena opción para el empleo en este tipo de construcciones.

### **Dimensionamiento de la repisa.**

Para determinar el diseño y las dimensiones del ancho y largo de la repisa, que tendrá la función de soportar el forraje, se tendrá en cuenta las siguientes especificaciones.

- La altura promedio del forraje.
- La capacidad del peso máximo a estibar.
- El peso por volumen del forraje.
- De fácil montaje y desmontaje.

La estructura de las repisas está construida con perfil angular Perfil angular L20 x 2 mm. A36, con dimensiones de 60mm y 150 mm de ancho y largo respectivamente. Los cuáles serán analizados mediante cálculo y a su vez con programa de análisis de estructuras, que determinará el factor de seguridad.

### **Parámetros de diseño.**

Para la selección del material usado para la construcción de la estructura de la estantería se tomó en consideraciones las cargas que inciden en las repisas. Con estas cargas se realizó un análisis estructural mediante la simulación de SOLIDWORKS.

### **Cargas muertas.**

Se considerará el peso real de los materiales que conforman y de los que deberán soportar la estantería.

El peso real se podrá determinar por medio de análisis o usando los datos indicados en los diseños y catálogos de los fabricantes.

### Cargas del forraje.

Peso del forraje máximo por cada repisa: 20 kg.

### Carga por peso de la repisa.

Ángulo estructural L20 x 2 mm A36: 2.45 kg.

### Cálculo de cargas que influyen en las repisas.

Carga debido al peso del forraje ( $Q_{forr}$ ).

$$Q_{forr} = 22.22 \frac{kg}{m^2} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.9m^2$$

$$Q_{forr} = 196.2 N$$

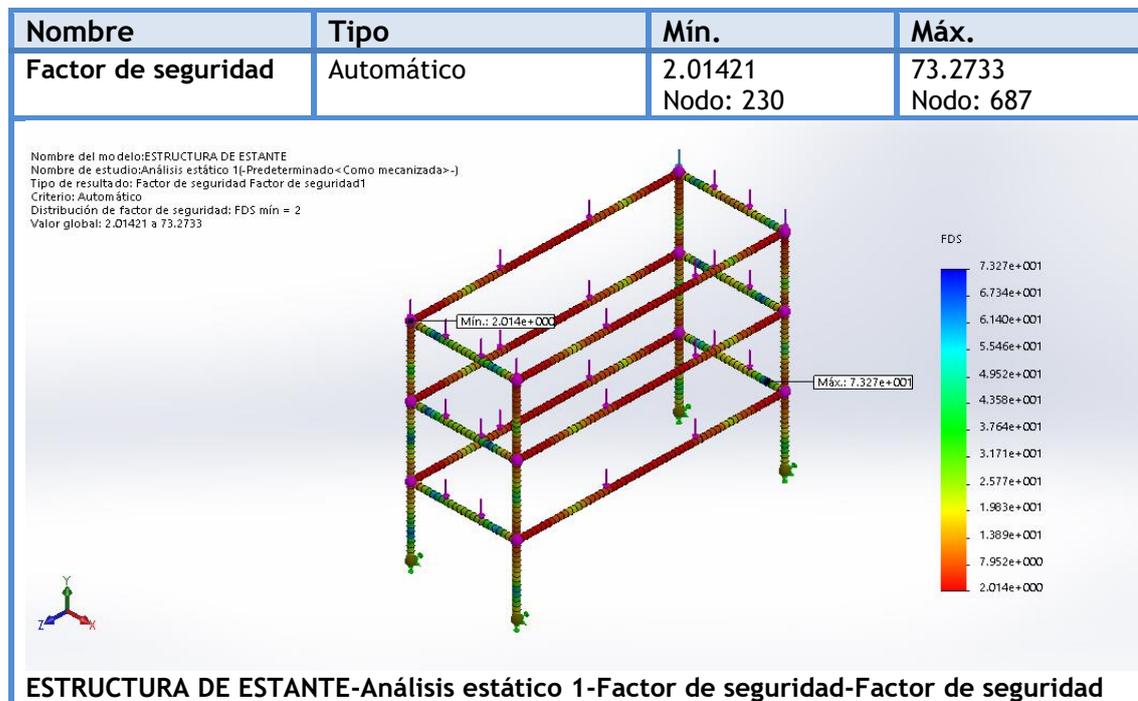
Carga debido a la estructura de la repisa ( $Q_{est,R}$ )

$$Q_{est,R} = 2.45 kg \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Q_{est} = 24.03 N$$

### Análisis estructural aplicando las cargas incidentes.

Figura 3.8: Análisis de la estructura de estantería.



Elaborado por el equipo de trabajo.



### **Determinación de la altura del estante.**

Para determinar la altura ideal de los estantes se consideran principalmente las condiciones ergonómicas del hombre que se encarga de la manipulación de forraje. La talla promedio de un hombre es de 1.60 m. Para lo cual un máximo de 1.50 m de altura del estante será idóneos para una buena manipulación del forraje para el secado, sin la necesidad de usar algún objeto que sirva de elevación a más altura.

### **Materiales utilizados.**

Para la construcción de las estanterías, se identifica el material primario con el que se trabaja. Inclínándose por el acero como material base, por las propiedades ya mencionadas, los equipos son utilizados los propios del rubro de metal mecánica.

El acero empleado en la construcción es:

Perfil angular L20 x 2 mm.

Perfil angular de L30 X 2 mm.

### **Montaje de la estantería.**

El grupo total de estantería contara con tres filas de seis columnas de repisas cada una. Además, cada columna tiene cuatro repisas, que se modificaran la separación entre repisas de acuerdo a las evaluaciones realizadas con el secado de forraje, para finalmente determinar el número total de repisas que contendrá cada columna. Tener en cuenta que la primera columna de repisas tendrá una menor longitud. Los estantes están ubicados paralelamente a la pared más larga del secador, ver detalles en los planos.

### **Determinación de los pasillos.**

Luego de haberse determinado las dimensiones de los estantes también se determinó la configuración del espacio de los pasadizos. Los cuales permitirán la circulación del personal encargado de cargar el forraje y descargar el heno.



Para determinar el ancho del pasillo, es indispensable verificar, en los reglamentos que indican, como mínimo espacio de 70 cm que debe poseer un pasillo de estas características. En este proyecto se considera de 90 cm, un espacio promedio para poder manipular con facilidad el forraje dentro del módulo, además se puede ingresar con herramientas de apoyo, para trasladar más cantidad de materia, en este caso la carretilla (buggy de 100 l).

### **3.7. Proceso de secado de forraje y costos de secadores solares.**

La aplicación de los secadores solares en el forraje es muy distinta a los aplicados en alimentos para seres humanos, como las frutas desecadas, o el café y cacao, por la simple diferencia que el forraje tiene menor peso por unidad de volumen, y los alimentos sólidos tienen mayor peso por unidad de volumen. Por lo que, el diseño del módulo secador solar está dirigido a deshidratar mayor cantidad de forraje.

Para obtener un punto óptimo entre cantidad y calidad, se realizan pruebas de secado en los módulos secadores solares. Para esto se realizan pruebas de secado con diferentes pesos cargados en cada repisa, de acuerdo al posicionamiento de cada una de estas.

Para la primera prueba tenemos la configuración del estante, con tres filas de 6 grupos de repisas, en vertical, con lo que cada grupo vertical tiene cuatro repisas. La separación entre repisas es de 0.3 metros.

Para las siguientes pruebas se modifica el número de repisas. Reduciendo a tres repisas para cada grupo vertical. En su totalidad el módulo contaría con 54 repisas, aptas para realizar las pruebas experimentales de secado, con respecto al volumen que ingresa al secador solar.

### Tratamiento de secado en un periodo de dos días.

La experimentación del secado se realizó mediante configuraciones de variación de masa de materia verde en cada uno de los módulos secadores solares. Además, se registraron datos de temperatura en dos puntos de módulo, del mismo modo, la humedad me aire en el interior del secador solar.

Estas pruebas se realizaron para dos días, tres días y cuatro días, con el propósito de analizar la humedad extraída del forraje, en los diferentes tiempos.

#### 3.7.1. Evaluación del proceso de secado de forraje.

##### 3.7.1.1. Evaluación de secado en un periodo de dos días.

Estas evaluaciones se realizaron en un periodo de 48 horas, para los cuales también se tomaron datos del medio ambiente de los días; 09 de abril del 2019 y 10 de abril del 2019.

**Tabla 3.22: Datos de temperatura y humedad del medio ambiente, evaluación de secado en dos días.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
09/04/2019	08:00	6.9	84.0
	12:00	15.1	42.0
	16:00	16.4	23.0
10/04/2019	08:00	7.9	60.0
	12:00	16.2	39.0
	16:00	15.7	41.0

*Fuente: senamhi.*

**Tabla 3.23: Datos de temperatura y humedad del secador tipo media agua. Evaluación de secado en dos días.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)	
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
09/04/2019	08:00	22.1	19.8	56.8	45.6
	12:00	35.8	25.4	19.7	37.3
	16:00	27.1	22.1	20.9	19.1
10/04/2019	08:00	18.3	16.2	57.3	56.1
	12:00	22.7	21.7	33.3	38.9
	16:00	15.5	15.0	56.3	60.1

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Tabla 3.24: Resultados experimentales de secado en dos días. Secador tipo media agua.**

TRATAMIENTO	PESO	Rep.	MATERIA VERDE (g)	MATERIA SECA (g)	HUMEDAD EXTRAIDO (%)
I	9 kg	1	9,000.00	3,250.00	63.89
		2	9,000.00	3,450.00	61.67
	12 kg	1	12,000.00	4,650.00	61.25
		2	12,000.00	5,200.00	56.67
	15 kg	1	15,000.00	6,800.00	54.67
		2	15,000.00	6,600.00	56.00
II	9 kg	1	9,000.00	3,250.00	63.89
		2	9,000.00	3,550.00	60.56
	12 kg	1	12,000.00	5,200.00	56.67
		2	12,000.00	5,200.00	56.67
	15 kg	1	15,000.00	6,150.00	59.00
		2	15,000.00	6,600.00	56.00
III	9 kg	1	9,000.00	3,600.00	60.00
		2	9,000.00	3,500.00	61.11
	12 kg	1	12,000.00	5,100.00	57.50
		2	12,000.00	4,800.00	60.00
	15 kg	1	15,000.00	6,200.00	58.67
		2	15,000.00	6,800.00	54.67

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Tabla 3.25: Datos de temperatura y humedad del secador tipo túnel. Evaluación de secado en dos días.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)	
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
09/04/2019	08:00	26.4	25.0	52.2	42.6
	12:00	32.6	23.3	21.8	25.2
	16:00	21.4	19.3	39.4	25.3
10/04/2019	08:00	19.3	17.4	58.2	51.9
	12:00	25.6	23.2	34.5	37.3
	16:00	15.6	15.3	56.5	61.4

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Tabla 3.26: Resultados experimentales de secado en dos días. Secador tipo túnel.**

TRATAMIENTO	PESO	Rep.	MATERIA VERDE (g)	MATERIA SECA (g)	HUMEDAD EXTRAÍDO (%)
I	9 kg	1	9,000.00	3,400.00	62.22
		2	9,000.00	3,550.00	60.56
	12 kg	1	12,000.00	4,800.00	60.00
		2	12,000.00	5,050.00	57.92
	15 kg	1	15,000.00	6,150.00	59.00
		2	15,000.00	6,850.00	54.33
II	9 kg	1	9,000.00	3,950.00	56.11
		2	9,000.00	3,600.00	60.00
	12 kg	1	12,000.00	5,000.00	58.33
		2	12,000.00	5,150.00	57.08
	15 kg	1	15,000.00	6,450.00	57.00
		2	15,000.00	6,575.00	56.17
III	9 kg	1	9,000.00	4,450.00	50.56
		2	9,000.00	3,800.00	57.78
	12 kg	1	12,000.00	6,275.00	47.71
		2	12,000.00	5,500.00	54.17
	15 kg	1	15,000.00	7,100.00	52.67
		2	15,000.00	6,950.00	53.67

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

### **3.7.1.2 Evaluación de secado en un periodo de tres días.**

Estas evaluaciones se realizaron en un periodo de 72 horas, para los cuales también se tomaron datos del medio ambiente de los días; 03 de abril del 2019, 04 de abril del 2019 y 05 de abril del 2019.

**Tabla 3.27: Datos de temperatura y humedad del medio ambiente. Evaluación de secado en tres días.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
03/04/2019	08:00	8.0	93.0
	12:00	10.2	75.0
	16:00	11.0	68.0
04/04/2019	08:00	8.3	60.0
	12:00	12.7	44.0
	16:00	16.6	29.0
05/04/2019	08:00	5.2	66.0
	12:00	13.2	28.0
	16:00	15.2	31.0

*Fuente: senamhi.*

**Tabla 3.28: Datos de temperatura y humedad del secador tipo media agua. Evaluación de secado en tres días.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)	
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
03/04/2019	08:00	28.1	24.1	49.9	34.6
	12:00	37.2	35.8	33.2	28.7
	16:00	14.6	14.6	68.8	64.3
04/04/2019	08:00	21.5	19.4	40.1	43.3
	12:00	40.8	37.8	22.3	28.0
	16:00	18.3	16.6	56.7	53.2
05/04/2019	08:00	26.2	21.7	46.5	43.0
	12:00	35.5	30.1	17.0	15.5
	16:00	15.3	14.9	47.6	45.2

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Tabla 3.29: Resultados experimentales de secado en tres días. Secador tipo media agua.**

TRATAMIENTO	PESO	Rep.	MATERIA VERDE (g)	MATERIA SECA (g)	HUMEDAD EXTRAIDO (%)
I	9 kg	1	9,000.00	2,400.00	73.33
		2	9,000.00	2,500.00	72.22
	12 kg	1	12,000.00	4,100.00	65.83
		2	12,000.00	3,700.00	69.17
	15 kg	1	15,000.00	4,600.00	69.33
		2	15,000.00	4,600.00	69.33
II	9 kg	1	9,000.00	2,550.00	71.67
		2	9,000.00	2,200.00	75.56
	12 kg	1	12,000.00	3,450.00	71.25
		2	12,000.00	3,350.00	72.08
	15 kg	1	15,000.00	4,600.00	69.33
		2	15,000.00	4,650.00	69.00
III	9 kg	1	9,000.00	2,300.00	74.44
		2	9,000.00	2,550.00	71.67
	12 kg	1	12,000.00	3,700.00	69.17
		2	12,000.00	3,800.00	68.33
	15 kg	1	15,000.00	5,000.00	66.67
		2	15,000.00	4,700.00	68.67

*Fuente: Programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Tabla 3.30: Datos de temperatura y humedad del secador tipo túnel. Evaluación de secado en tres días.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)	
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
03/04/2019	08:00	27.2	24.1	42.2	39.5
	12:00	37.3	36.1	34.4	32.5
	16:00	14.1	13.1	77.8	75.0
04/04/2019	08:00	24.0	21.3	33.0	39.3
	12:00	38.2	34.0	10.5	24.0
	16:00	17.5	15.7	43.2	42.6
05/04/2019	08:00	27.0	21.1	30.1	39.1
	12:00	33.0	29.6	25.0	20.3
	16:00	15.1	14.7	37.4	34.1

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Tabla 3.31: Resultados experimentales de secado en tres días. Secador tipo túnel.**

TRATAMIENTO	PESO	Rep.	MATERIA VERDE (g)	MATERIA SECA (g)	HUMEDAD EXTRAIDO (%)
I	9 kg	1	9,000.00	2,000.00	77.78
		2	9,000.00	2,100.00	76.67
	12 kg	1	12,000.00	2,600.00	78.33
		2	12,000.00	2,700.00	77.50
	15 kg	1	15,000.00	3,700.00	75.33
		2	15,000.00	3,700.00	75.33
II	9 kg	1	9,000.00	1,950.00	78.33
		2	9,000.00	1,800.00	80.00
	12 kg	1	12,000.00	2,500.00	79.17
		2	12,000.00	2,700.00	77.50
	15 kg	1	15,000.00	3,750.00	75.00
		2	15,000.00	3,500.00	76.67
III	9 kg	1	9,000.00	2,100.00	76.67
		2	9,000.00	2,900.00	67.78
	12 kg	1	12,000.00	3,000.00	75.00
		2	12,000.00	2,800.00	76.67
	15 kg	1	15,000.00	4,150.00	72.33
		2	15,000.00	3,500.00	76.67

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

### **3.7.1.3. Evaluación de secado en un periodo de cuatro días.**

Estas evaluaciones se realizaron en un periodo de 96 horas, para los cuales también se tomaron datos del medio ambiente de los días; 12 de abril del 2019, 13 de abril del 2019, 14 de abril del 2019 y 15 de abril del 2019.

**Tabla 3.32: Datos de temperatura y humedad del medio ambiente, Evaluación de secado en cuatro días.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
12/04/2019	08:00	8.1	88.0
	12:00	15.4	46.0
	16:00	15.6	43.0
13/04/2019	08:00	7.8	60.0
	12:00	14.7	39.0
	16:00	16.8	30.0
14/04/2019	08:00	8.0	62.0
	12:00	15.4	45.0
	16:00	14.5	44.0
15/04/2019	08:00	8.8	68.0
	12:00	16.3	36.0
	16:00	15.4	42.0

*Fuente: senamhi*

**Tabla 3.33: Datos de temperatura y humedad del secador tipo media agua. Evaluación de secado en cuatro días.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)	
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
12/04/2019	08:00	23.5	20.3	87.4	76.0
	12:00	30.5	28.2	39.9	37.1
	16:00	24.1	24.0	33.3	29.0
13/04/2019	08:00	21.8	20.5	50.2	49.2
	12:00	27.5	23.6	44.5	39.8
	16:00	25.4	23.7	41.3	38.5
14/04/2019	08:00	21.2	20.6	47.3	46.5
	12:00	36.4	35.9	32.4	29.4
	16:00	26.2	25.7	37.2	34.8
15/04/2019	08:00	19.5	23.1	74.2	61.7
	12:00	44.3	44.2	11.3	10.0
	16:00	21.1	22.0	42.4	40.5

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Tabla 3.34: Resultados experimentales de secado en cuatro días. Secador tipo media agua.**

TRATAMIENTO	PESO	Rep.	MATERIA VERDE (g)	MATERIA SECA (g)	HUMEDAD EXTRAIDO (%)
I	9 kg	1	9,000.00	2,500.00	72.22
		2	9,000.00	2,500.00	72.22
	12 kg	1	12,000.00	3,350.00	72.08
		2	12,000.00	3,300.00	72.50
	15 kg	1	15,000.00	4,300.00	71.33
		2	15,000.00	4,350.00	71.00
II	9 kg	1	9,000.00	2,450.00	72.78
		2	9,000.00	2,400.00	73.33
	12 kg	1	12,000.00	3,350.00	72.08
		2	12,000.00	3,300.00	72.50
	15 kg	1	15,000.00	4,425.00	70.50
		2	15,000.00	4,700.00	68.67
III	9 kg	1	9,000.00	2,300.00	74.44
		2	9,000.00	2,500.00	72.22
	12 kg	1	12,000.00	3,400.00	71.67
		2	12,000.00	3,250.00	72.92
	15 kg	1	15,000.00	4,350.00	71.00
		2	15,000.00	4,700.00	68.67

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Tabla 3.35: Datos de temperatura y humedad del secador tipo túnel. Evaluación de secado en cuatro días.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)	
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO
12/04/2019	08:00	27.1	25.7	48.8	41.6
	12:00	30.2	28.7	27.4	22.2
	16:00	22.1	20.7	36.2	30.3
13/04/2019	08:00	22.5	21.7	43.2	42.5
	12:00	28.1	28.0	24.8	30.2
	16:00	25.6	24.8	40.2	38.4
14/04/2019	08:00	20.9	19.7	42.3	41.8
	12:00	37.3	36.5	27.4	26.1
	16:00	31.2	29.4	37.5	36.4
15/04/2019	08:00	25.3	28.5	56.8	48.0
	12:00	43.2	45.3	16.4	19.2
	16:00	22.8	23.4	46.7	45.8

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Tabla 3.36: Resultados experimentales de secado en cuatro días. Secador tipo túnel.**

TRATAMIENTO	PESO	Rep.	MATERIA VERDE (g)	MATERIA SECA (g)	HUMEDAD EXTRAIDO (%)
I	9 kg	1	9,000.00	2,400.00	73.33
		2	9,000.00	2,350.00	73.89
	12 kg	1	12,000.00	3,400.00	71.67
		2	12,000.00	3,450.00	71.25
	15 kg	1	15,000.00	4,500.00	70.00
		2	15,000.00	4,300.00	71.33
II	9 kg	1	9,000.00	2,450.00	72.78
		2	9,000.00	2,550.00	71.67
	12 kg	1	12,000.00	3,250.00	72.92
		2	12,000.00	3,400.00	71.67
	15 kg	1	15,000.00	4,450.00	70.33
		2	15,000.00	4,350.00	71.00
III	9 kg	1	9,000.00	2,425.00	73.06
		2	9,000.00	2,700.00	70.00
	12 kg	1	12,000.00	3,450.00	71.25
		2	12,000.00	3,500.00	70.83
	15 kg	1	15,000.00	4,150.00	72.33
		2	15,000.00	4,550.00	69.67

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Tabla 3.37: Costos del módulo secador solar tipo media agua**

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANT.	PRECIO UNITARIO (S/)	SUB TOTAL (S/)
1	<b>Materiales</b>					
1.001	Viga.	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1½" x 1.5mm	Unidad	2	38.90	77.80
1.002	viga frontal	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1½" x 1.5mm	Unidad	1	85.00	85.00
1.003	viga posterior	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1½" x 1.5mm	Unidad	1	78.30	78.30
1.004	Larguero longitudinal superior de 6 m.	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1¼" x 1.5mm	Unidad	5	25.50	127.50
1.005	Larguero longitudinal superior de 3 m.	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1¼" x 1.5mm	Unidad	5	12.75	63.75

(continuación...)

1.006	Larguero longitudinal lateral inferior de 6 m.	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1" x 1.5mm	Unidad	2	24.50	49.00
1.007	Larguero longitudinal lateral inferior de 3 m.	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1" x 1.5mm	Unidad	2	12.25	24.50
1.008	Pieza angular para unión de 30 mm.	Angulo estructural L30 x 2 mm A36	Unidad	5	0.50	2.50
1.009	Pieza angular izquierda de 25 mm	Angulo estructural L25 x 2 mm A36	Unidad	2	0.50	1.00
1.01	Pieza angular derecha de 25 mm.	Angulo estructural L25 x 2 mm A36	Unidad	2	0.50	1.00
1.02	Pieza angular derecha de 30 mm.	Angulo estructural L30 x 2 mm A36	Unidad	3	0.50	1.50
1.03	Pieza angular izquierda de 30 mm	Angulo estructural L30 x 2 mm A36	Unidad	3	0.50	1.50
1.04	Parante de 1.678 m	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1" x 1.5mm	Unidad	3	6.85	20.55
1.05	Parante de 2.174 m	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1" x 1.5mm	Unidad	3	8.88	26.64
1.06	Perno 2½ pulgadas	Perno de cabeza redonda cincado 5/16 x 2½ "	Unidad	12	2.50	30.00
1.07	Perno de 1½ pulgadas	Perno de cabeza redonda cincado 5/16 x 1½ "	Unidad	8	1.50	12.00
1.08	Perno de 2 pulgadas	Perno de cabeza redonda cincado 5/16 x 2 "	Unidad	16	2.00	32.00
1.09	Perno de 3 pulgadas	Perno de cabeza redonda cincado 5/16 x 3 "	Unidad	2	3.00	6.00
1.1	Tuerca	Tuerca hexagonal cincado para perno 5/16"	Unidad	47	0.50	23.50
1.2	Soporte extractor.	Soporte de 6" de diámetro	Unidad	3	15.00	45.00
1.3	Extractor de 6 pulgadas.	Extractor eólico de 6"	Unidad	3	180.00	540.00
1.4	Arandela plana	Arandela cincada de 5/16"	Unidad	47	0.50	23.50
1.5	Arandela rectangular doble orificio	Arandela rectangular de doble orificio de ¼ "	Unidad	12	1.00	12.00
1.6	Estacas de anclaje	Estacas para sujeción de ½ x 500mm	Unidad	7	5.00	35.00
1.7	autoperforante de 2"	Perno punta broca de cabeza 5/16 x 2"	Unidad	200	0.40	80.00
1.8	autoperforante de 1"	Perno punta broca de cabeza 5/16 x 1"	Unidad	80	0.20	16.00
1.9	Manta agrofilm.	Manta agrofilm de 200 µm	Metros	14	20.00	280.00
1.1	cinta para manta agrofilm	Cinta para unir manta agrofilm de 75mm.	Unidad	1	70.00	70.00

(continuación...)

1.11	Calamina policarbonato	calamina policarbonato de 0.80 x 3.60 m	Unidad	15	85.00	1275.00
1.12	cremallera para la puerta	cierre de plástico N°10	Unidad	2	3.00	6.00
						3046.54
2	<b>Mano de obra</b>					
2.1	Operario y peones	Soldada de partes metálicas, y armado del módulo.	Jornal	18	110	1980.00
	<b>TOTAL</b>					<b>5026.54</b>

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.38: Costos de módulo secador solar tipo túnel.**

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANT.	PRECIO UNITARIO (S/)	SUB TOTAL (S/)
1	<b>MATERIALES</b>					
1.1	Viga parabólica.	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1½" x 1.5mm	Unidad	5	40.00	200.00
1.2	Viga lateral parabólica frontal	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1½" x 1.5mm	Unidad	1	83.20	83.20
1.3	Viga lateral parabólico posterior	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1½" x 1.5mm	Unidad	1	79.60	79.60
1.4	Larguero longitudinal superior de 6 m.	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1" x 1.5mm	Unidad	1	24.50	24.50
1.5	Larguero longitudinal superior de 3 m.	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1" x 1.5mm	Unidad	1	12.25	12.25
1.6	Larguero longitudinal lateral de 6 m.	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1" x 1.5mm	Unidad	4	24.50	98.00
1.7	Larguero longitudinal lateral de 3 m.	Tubo LAC ASTM A500 CUADRADO 1" x 1.5mm	Unidad	4	12.25	49.00
1.8	Pieza angular para unión.	Angulo estructural L25 x 2 mm A36	Unidad	5	0.50	2.50
1.9	Pieza angular izquierda.	Angulo estructural L25 x 2 mm A36	Unidad	4	0.50	2.00
1.10.	Pieza angular derecha.	Angulo estructural L25 x 2 mm A36	Unidad	4	0.50	2.00
1.11	arandela rectangular	Arandela rectangular de doble orificio de ¼ "	Unidad	30	1.00	30.00



(continuación...)

1.12	Arandela plana.	Arandela cincada de 5/16"	Unidad	40	0.50	20.00
1.13	Perno cincado de 3 pulgadas	Perno de cabeza redonda cincado 5/16 x 3 "	Unidad	22	3.00	66.00
1.14	Tuerca cincada.	Tuerca hexagonal cincado para perno 5/16"	Unidad	40	1.00	40.00
1.15	Perno cincado de 1½ pulgadas	Perno de cabeza redonda cincado 5/16 x 1½ "	Unidad	18	1.50	27.00
1.16	Extractor de 6 pulgadas.	Extractor eólico de 6"	Unidad	3	180.00	540.00
1.17	Soporte de extractor.	Soporte de 6" de diámetro	Unidad	3	15.00	45.00
1.18	Autoperforante.	Perno punta broca de cabeza 5/16 x 1"	Unidad	102	0.30	30.60
1.19	Cinta para manta agrofilm	Cinta para unir manta agrofilm de 75mm.	Unidad	1	70.00	70.00
1.20.	Manta agrofilm.	Manta agrofilm de 200 µm	Metros	24	20.00	480.00
1.21	Cremallera para la puerta	cierre de plástico N°10	Unidad	2	4.00	8.00
						1909.65
2	<b>MANO DE OBRA</b>					
2.1	Operario y peones	<b>Soldada</b> de partes metálicas, y armado de estantería	Jornal	24	110	2640
	<b>TOTAL</b>					<b>4549.65</b>

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 3.39: Costos de estantería para cada módulo.**

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANT	PRECIO UNITARIO (S/)	SUB TOTAL (S/)
1.1	Repisa de 1500mm x 600mm	Angulo estructural L20 x 2 mm A36	Unidad	65	10.15	659.75
1.2	Repisa de 1200mm x 600mm	Angulo estructural L20 x 2 mm A36	Unidad	13	8.70	113.10
1.3	Malla	Malla negra de nylon N°8	Metros	130	8.00	1040.00
1.4	Ganchos de sujeción para malla	ganchos de alambón N°8 fijadas en la repisa	Unidad	1690	0.10	169.00
1.5	Perno de 1"	Perno de cabeza hexagonal de 5/16" x 1"	Unidad	182	1.00	182.00
1.6	Tuerca	Tuerca hexagonal de 5/16"	Unidad	182	0.50	91.00
<b>SUB TOTAL</b>						2254.85
2	MANO DE OBRA					
2.1	Operario y peones	Soldada de partes metálicas, y armado de estantería	Jornal	12	110.00	1320.00
<b>TOTAL</b>						<b>3574.85</b>

*Elaborado por el equipo de trabajo*



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados del diseño de los secadores solares.

De acuerdo a la ingeniería de diseño de los módulos secadores solares, se logra construir dos tipos de módulos secadores solares, con la finalidad de comparar el comportamiento durante las evaluaciones de secado de alfalfa/dactilys. Se consideró además para la construcción de estos secadores, los aspectos físicos.

Los diseños de los módulos secadores solares van dirigidos a los pequeños y medianos productores agropecuarios. Por ser estos, simple en su construcción con material de acero comercial en todo el mercado disponible, solo requiere un personal técnico que entienda sobre el área de metal mecánica, para poder construirlo teniendo en cuenta los planos proporcionados por este trabajo de investigación. A su vez se usa la manta agrofilm con tratamiento térmico, para su recubrimiento total en el caso del secador tipo túnel, y el policarbonato para el techo del secador tipo media agua, que son exclusivos para soportar altas temperaturas.

El diseño final se realiza con material de acero, los cuales, según el análisis de materiales, resulta más rentable, por los años de uso y además la facilidad con la que se puede trabajar. Los equipos son utilizados los propios del rubro de metal mecánica.

Logrando un módulo totalmente desmontable, para su respectivo traslado y almacenamiento cuando este no esté en uso, lo que será un periodo largo que comprende de mayo a diciembre, con la finalidad de preservar el buen estado de los materiales.



El módulo secador solar tipo media agua o (gabinete) tendrá un diseño como su nombre indica, con inclinación de su techo a un solo lado, esta inclinación permite la caída de agua del techo que se acumulan por efecto de las precipitaciones. La cubierta por los laterales es con manta agrofilm y techado con calamina transparente ondulado de policarbonato. Las dimensiones del secador son de por el ancho; 4.00 metros, los que fueron determinados por las dimensiones de los pasadizos, estantes y separación de pared-estante. La longitud es de 9.00 metros, un detalle es que esta longitud puede variar a razón de tres metros, de acuerdo al productor que desea adquirir el secador. Las alturas se determinan por la altura de los estantes, los que a su vez depende de las características ergonómicas promedio del hombre andino. Estas medidas están dadas de 2.15 metros en la parte alta del módulo, y 1.65 metros en la parte baja.

El módulo secador solar tipo media agua de este proyecto tiene como principales elementos:

- 01 viga frontal.
- 01 viga superior.
- 02 vigas intermedias.
- 05 correas.
- 02 largueros.
- Piezas angulares.

**Figura 4.1: Módulo secador solar tipo media agua.**



*Elaborado por el equipo de trabajo*

Para el módulo secador solar tipo túnel, las características de construcción son similares al de media agua. La diferencia está en el material de recubrimiento y características del techo. El diseño del techo es de tipo parabólico, y el recubrimiento en su totalidad es con manta agrofilm. Las dimensiones del secador son de por el ancho; 4.20 metros, los que fueron determinados por las dimensiones de los pasadizos, estantes y características del diseño estructural. La longitud es de 9.00 metros, la variación de esta longitud es a razón de 1.5 metros, siempre dependerá del productor que desea adquirir el secador tipo túnel. Las alturas que están determinados por la altura de los estantes, los que a su vez depende de las características ergonómicas promedio del hombre andino, y el diseño del techo.

El módulo secador solar tipo túnel de este proyecto tiene como principales elementos:

01 viga frontal.

01 viga superior.

05 vigas intermedias.

03 correas.

02 largueros.

Piezas angulares.

**Figura 4.2: Módulo secador solar tipo túnel.**



*Elaborado por el equipo de trabajo*

Así lo mismo el diseño y la construcción se realiza con material acero comercial en su presentación, perfil angular L30 A36 para los parantes, y L20 A36 para las repisas. Logrando estanterías de fácil montaje y desmontaje, con variaciones de cantidad de repisas para cada columna. Las dimensiones de la repisa son: 1.50 metros de largo y 0.60 metros de ancho.

**Figura 4.3. Muestra de secado en la estantería.**



*Elaborado por el equipo de trabajo*

### **Cuadro de resultado de los módulos.**

En el siguiente cuadro se da a conocer el resumen los resultados de la simulación en el programa de SOLIDWORKS.

**Tabla 40: Resultados de simulación en programa.**

ESTRUCTURA DE MÓDULO SECADOR SOLAR MEDIA AGUA	ESTRUCTURA DE MÓDULO SECADOR TIPO TÚNEL
NOMBRE: ACERO ASTM A 500	NOMBRE: ACERO ASTM A 500
CRITERIO DE ERROR: TENSIÓN DE VON MISES MÁX.	CRITERIO DE ERROR: TENSIÓN DE VON MISES MÁX.
LIMITE ELASTICO MAXIMO: 78.62 N/mm <sup>2</sup>	LIMITE ELASTICO MAXIMO: 57.84 N/mm <sup>2</sup>
DEZPLAZAMIENTO MAXIMO: 17.15 mm	DEZPLAZAMIENTO MAXIMO: 7.15 mm
FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO: 3.18	FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO: 4.3

*Elaboración propia del equipo.*

## 4.2. Resultados experimentales del proceso de deshidratación.

### 4.2.1. Resultados de evaluación de secado en periodo de dos días.

#### Módulo secador tipo media agua

Resultados obtenidos a partir de las pruebas de secado, realizados en un periodo de 48 horas, en el módulo secador solar tipo media agua, las fechas; 09 de abril del 2019 y 10 de abril del 2019.

**Tabla 41: Resumen de resultados de secador media agua, 48 horas.**

PESO HUMEDO (kg)	PESO SECO (kg)	HUMEDAD EXTRAIDO (%)	MATERIA RESTANTE (%)
9	3.43	61.89	38.11
12	5.03	58.08	41.92
15	6.53	56.47	43.53

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

Promedio de datos de temperatura y humedad en el interior de módulo, obtenidos en el proceso de deshidratación de forraje en 48 horas.

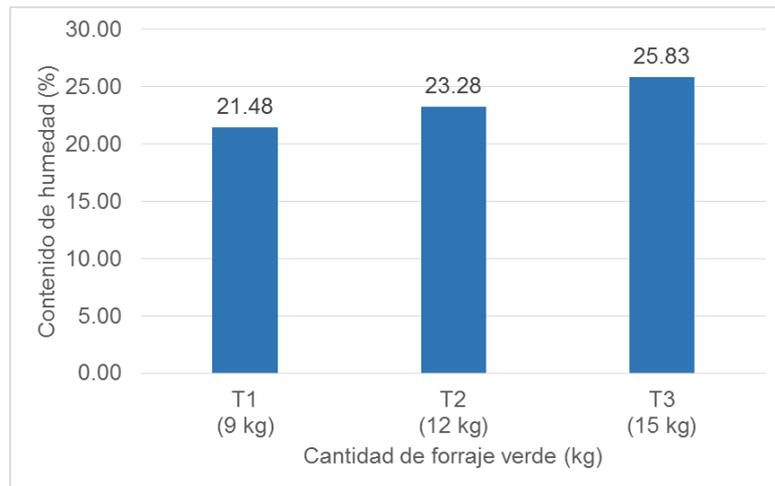
**Tabla 42: Resumen de temperatura y humedad, secador media agua, 48 horas.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
09/04/2019	08:00	21.9	56.8
	12:00	32.6	30.3
	16:00	25.6	20.9
10/04/2019	08:00	22.1	54.3
	12:00	33.1	29.3
	16:00	25.8	21.2

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

Resultado final de las evaluaciones realizadas en el módulo secador media agua, representadas en porcentaje de humedad, de la materia seca.

**Figura 4.4. Grafica de resultados en dos días de secado, secador media agua.**



*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

### Módulo secador tipo túnel.

Resultados obtenidos a partir de las pruebas de secado, realizados en un periodo de 48 horas, en el módulo secador solar tipo túnel, las fechas; 09 de abril del 2019 y 10 de abril del 2019.

**Tabla 43: Resumen de resultados de secador túnel, 48 horas.**

PESO HUMEDO	PESO SECO (kg)	HUMEDAD EXTRAIDO (%)	MATERIA RESTANTE (%)
9	3.79	57.89	42.11
12	5.3	55.83	44.17
15	6.68	55.47	44.53

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

Promedio de datos de temperatura y humedad en el interior de módulo, obtenidos en el proceso de deshidratación de forraje en 48 horas.

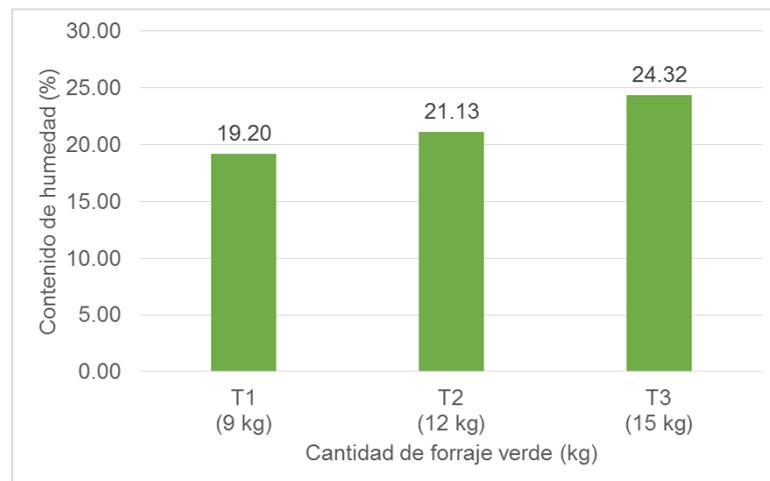
**Tabla 44: Resumen de temperatura y humedad, secador media agua, 48 horas.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA A (°C)	HUMEDAD (%)
09/04/2019	08:00	26.4	52.2
	12:00	32.6	21.8
	16:00	21.4	39.4
10/04/2019	08:00	17.9	44.9
	12:00	27.6	34.5
	16:00	15.6	56.5

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

Resultado final de las evaluaciones realizadas en el módulo secador túnel, representadas en porcentaje de humedad, de la materia seca.

**Figura 4.5. Grafica de resultados en dos días de secado, secador túnel.**



*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

#### **4.2.2. Resultados de evaluación de secado en periodo de tres días.**

##### **Módulo secador tipo media agua.**

Resultados obtenidos a partir de las pruebas de secado, realizados en un periodo de 72 horas, en el módulo secador solar tipo media agua, las fechas; 03 de abril del 2019 al 05 de abril del 2019.

**Tabla 45: Resumen de resultados de secador media agua, 72 horas.**

PESO HUMEDO (kg)	PESO SECO (kg)	HUMEDAD EXTRAIDO (%)	MATERIA RESTANTE (%)
9	2.42	73.11	26.89
12	3.68	69.33	30.67
15	4.69	68.73	31.27

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

Promedio de datos de temperatura y humedad en el interior de módulo, obtenidos en el proceso de deshidratación de forraje en 72 horas.

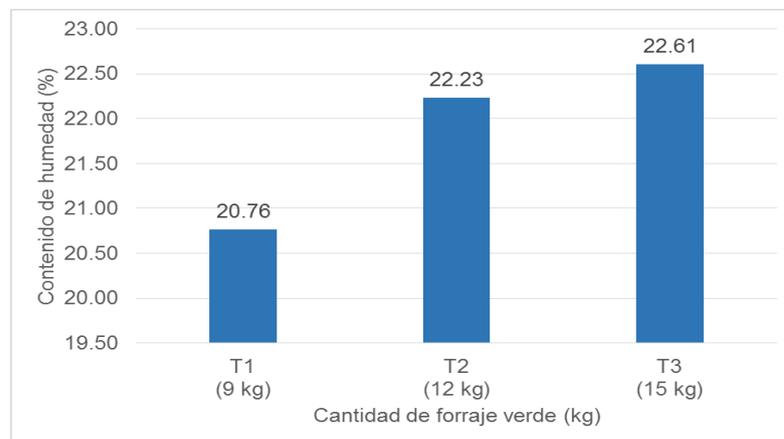
**Tabla 46: Resumen de temperatura y humedad, secador media agua, 72 horas.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
03/04/2019	08:00	28.1	49.9
	12:00	32.2	13
	16:00	14.6	20.9
04/04/2019	12:00	21.5	40.1
	19:12	40.8	22.3
	16:00	16.4	53.2
05/04/2019	08:00	26.2	46.5
	12:00	35.5	17
	16:00	20.3	43.6

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

Resultado final de las evaluaciones realizadas en el módulo secador media agua, representadas en porcentaje de humedad, de la materia seca.

**Figura 4.6: Grafica de resultados en tres días de secado, secador media agua**



*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*



### Módulo secador tipo túnel.

Resultados obtenidos a partir de las pruebas de secado, realizados en un periodo de 72 horas, en el módulo secador solar tipo media agua, las fechas; 03 de abril del 2019 al 05 de abril del 2019.

**Tabla 47: Resumen de resultados de secador túnel, 72 horas.**

PESO HUMEDO (kg)	PESO SECO (kg)	HUMEDAD EXTRAIDO (%)	MATERIA RESTANTE (%)
9	2.14	76.22	23.78
12	2.71	77.42	22.58
15	3.72	75.20	24.80

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

Promedio de datos de temperatura y humedad en el interior de módulo, obtenidos en el proceso de deshidratación de forraje en 72 horas.

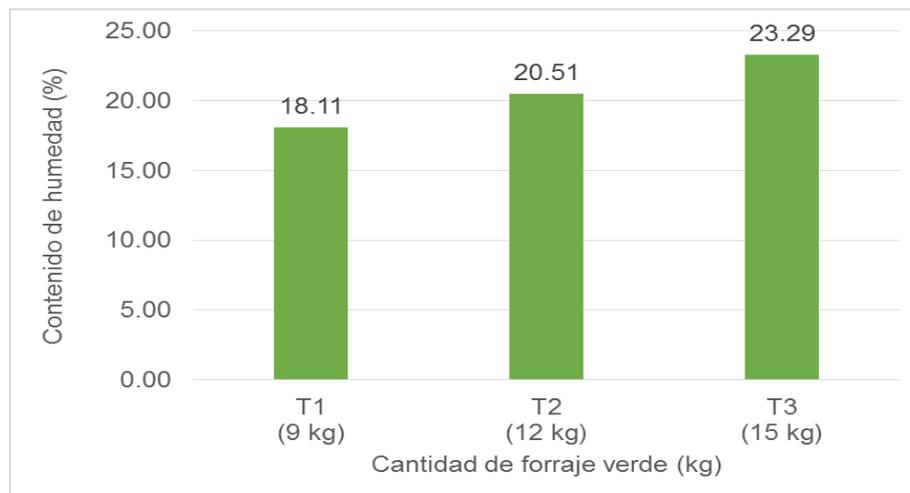
**Tabla 48: Resumen de temperatura y humedad, secador túnel, 72 horas.**

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
03/04/2019	08:00	27.2	42.2
	12:00	38.3	14.8
	16:00	14.1	77.8
04/04/2019	08:00	24.0	43
	12:00	38.2	20.5
	16:00	17.2	54.1
05/04/2019	08:00	27.0	40.1
	12:00	33.0	25
	16:00	21.1	43.9

*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

Resultado final de las evaluaciones realizadas en el módulo secador túnel, representadas en porcentaje de humedad, de la materia seca.

**Figura 4.7: Grafica de resultados en tres días de secado, secador túnel.**



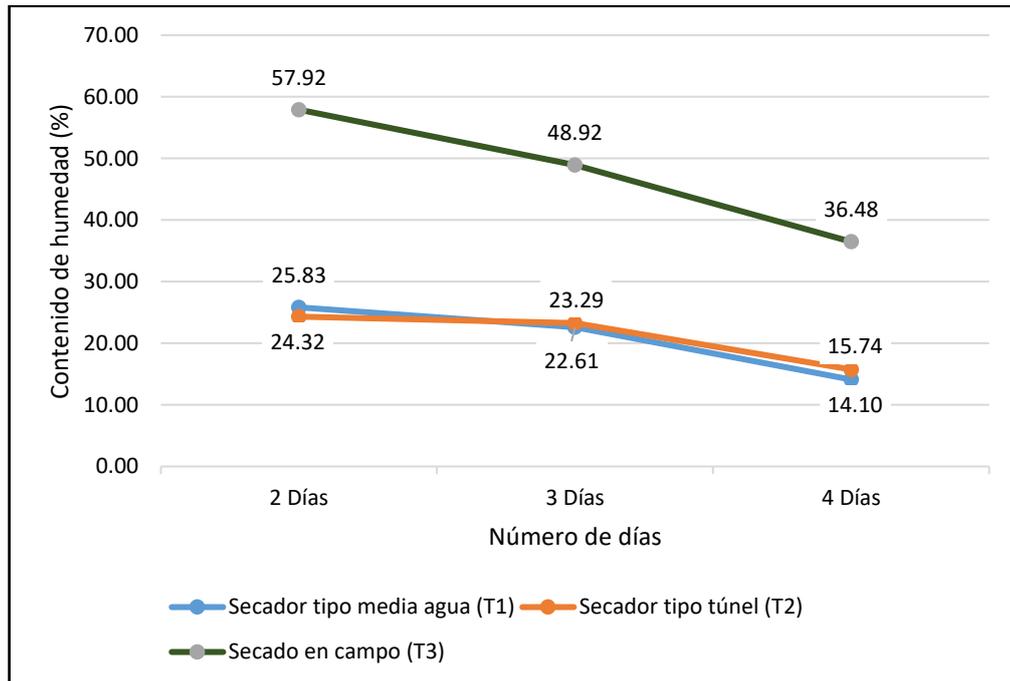
*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

#### **4.2.3. Resultados de análisis químico.**

En el anexo se puede apreciar los resultados del análisis químico, para seis muestras con porcentajes muy favorables de proteína. En los informes se puede ver el contenido de proteína superior al 20 %, para los módulos secadores solares, tanto para el tipo media agua y tipo túnel.

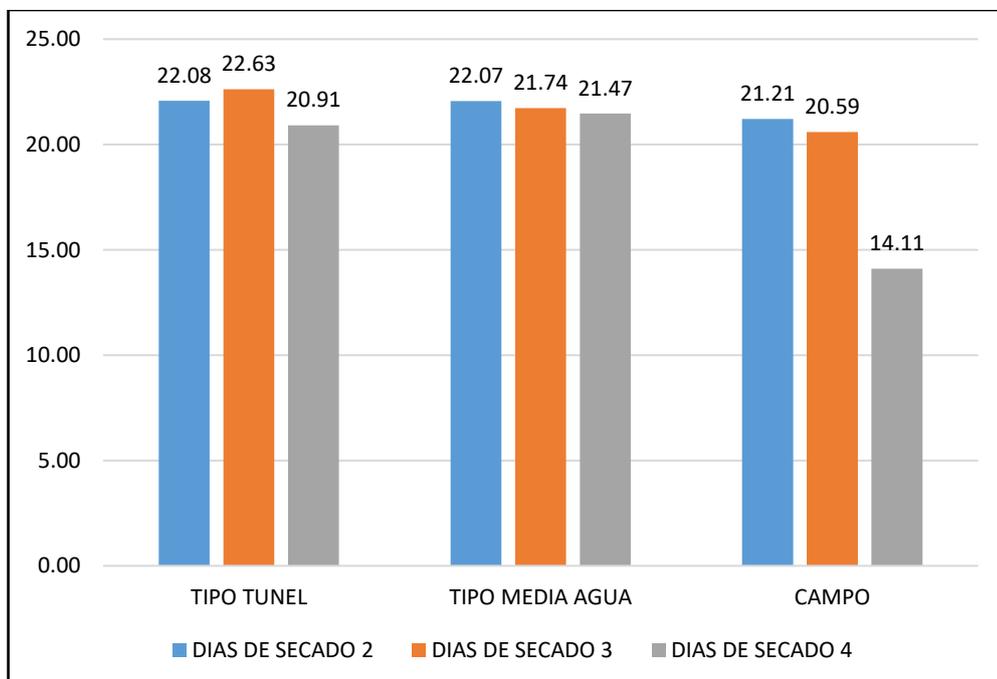
También se aprecian los resultados para el secado tradicional (secado en campo), no muy favorables, por el hecho de que los resultados muestran una gran diferencia de contenido proteico entre muestras. De esto podemos decir que el secado tradicional no es de confianza, pues dependerá mucho de los factores climáticos.

**Figura 4.8: Promedio de contenido de humedad para tipos de secadores y cantidad de días de secado.**



*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*

**Figura 4.9: Promedio de proteína total (%) de heno de alfalfa- dactilys.**



*Fuente: programa de pastos y forrajes, INIA-Puno.*



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Se diseñan dos tipos de módulos secadores solares con diferentes diseños en sus estructuras, que logran aumentar la producción de heno de calidad a partir de alfalfa- dactylis en las épocas de lluvia, con lo que se asegura la disponibilidad forrajera para las épocas secas. Lo que lo hace una opción real en la implementación de esta tecnología para el secado de forraje. El diseño de los secadores solares es simple en su construcción, pero a su vez, es muy práctico, al ser totalmente desmontable, el módulo se puede transportar a lugares del terreno donde se pretende henificar forraje. También permite el fácil almacenamiento de los elementos de la estructura. A su vez la manta agrofilm con tratamiento térmico, es una opción adecuada, en su empleo para los secadores solares.

**SEGUNDO:** De cada tipo de secador solar se obtienen datos experimentales de secado para su respectiva evaluación. Determinando, a partir de estos resultados de laboratorio, que el módulo secador solar tipo túnel, llega a deshidratar una cantidad de 216 kg de materia verde en un periodo de tres días, obteniendo heno con 20.64 % de humedad, y el módulo secador solar tipo media agua con la misma cantidad de materia verde en un periodo de tres días, obtiene heno con 21,87 % de humedad. Según los resultados de pruebas bromatológicas de laboratorio, se puede concluir que los módulos secadores pueden obtener heno con un alto contenido nutricional, dependiendo solo por el momento del corte del forraje, en cambio el secado tradicional, está limitado por las inclemencias climáticas de la zona y el momento de la siega. Este incremento de producción de heno de calidad contribuirá en el mejoramiento de alimentación pecuaria en las zonas altoandinas de la región Puno.



**TERCERO:** El costo de los secadores solares para la henificación de pastos cultivados está relacionado directamente con el tipo del material de construcción. En este proyecto de investigación se desarrolla los secadores con material de acero, por ser un material comercial, y su variada presentación para su aplicación en diferentes construcciones. Por lo que el costo de la estructura del secador tipo túnel de este proyecto asciende a S/. 1909.65 soles. La estructura del secador solar tipo media agua asciende a un costo de S/. 3046.54 soles. Y la estructura de la estantería asciende al costo de S/. 2254.85 soles. De acuerdo a estos datos, podemos deducir que, el secador solar tipo túnel tiene un menor costo de estructura en comparación al secador tipo media agua.



## VI. RECOMENDACIONES.

**PRIMERO:** Se recomienda realizar más investigaciones acerca del material de la estructura, con implementación de materiales que se puedan obtener en la zona, así también la implementación de utilizar materiales reciclables, que permitan disminuir el costo de los materiales, tener en cuenta de usar la manta agro film.

**SEGUNDO:** Para posteriores trabajos se recomienda tener en cuenta la medición del flujo de aire de ingreso y variación de ello, y con estos datos interpretar que cantidad de flujo de aire es conveniente. Además, se recomienda implementar un seguimiento de monitoreo con intervalos más constantes que permita el análisis de más variables como temperatura, humedad, radiación solar, flujo de aire.

**TERCERO:** Se recomienda hacer una investigación que permita otra alternativa de uso durante los tiempos de pare del secador solar, con la finalidad de una mejor rentabilidad en la inversión que permitirá recuperar la inversión de costos en menor tiempo.



## VII. REFERENCIAS

- Bayona R., C. A. (2011). *Modelamiento matemático de un secador solar de plantas aromáticas*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/6219/1/Camiloandresbayonaroa.2011.pdf>
- Besora M., J. (n.d.). *SECADOR SOLAR DE CAFÉ*. Cajamarca. Retrieved from <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-técnico-secador-solar-de-café.pdf>
- Bond, B., Espinoza, O., & Araman, P. (2011). Diseño y Operación de un Secador Solar de Madera para Países Tropicales. *Estación de Investigación Del Sur*. Retrieved from <https://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/38138%5Cnhttp://www.srs.fs.usda.gov/pubs/38138>
- Chaverri, D., & Moya, R. J. (2008). Temperatura Y Humedad Relativas En Un Seca-. *Uniciencia*, 5–9.
- Estrada G., C. A., & Arancibia B., C. A. (2011). Las Energías Renovables : la Energía Solar y sus Aplicaciones. *Revista Digital Universitaria*, 11, 1–27.
- Guevara B., A. R., & Sabas S., J. (2017). Diseño y construcción de un deshidratador solar para fresa. *JOVENES EN LA CIENCIA*, 03(1).
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR*. (P. E. Roig V., Ed.) (4a ed.). México: PRENTICE HALL.
- Jara T., W. (2006). *Introducción a las energías Renovables no convencionales*. (L. S.A., Ed.), 2006 (1a ed.). Santiago de Chile. Retrieved from <http://www.endesa.cl/ES/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEINFORMES/Documents/Libro ERNC versión de imprenta.pdf>
- Kreith, F., Mancglik, R. M., & Bohn, M. (2012). *PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR*. (S. R. Cervantes G. & O. Ramírez R., Eds.) (7a ed.). CENGAGE.
- McDonald, Edwards, Greenhalgh, & Morgan. (1999). *NUTRICIÓN ANIMAL* (5ta ed.). zaragoza: ACRIBIA, S.A.
- Miranda, F., & Terrones, J. (2002, February). CONSERVACIÓN DE PASTOS Y FORRAJES CULTIVADOS EN ELTIPLANO. *INIA*.
- Nestares, A. (2014, May). TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN DE FORRAJES PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL. *INIA*.
- Novoa P., A., & Horn M., M. (2010). Matriz energética en el Perú y energías renovables, (511).
- RNE. (2006). NORMAS LEGALES. *El Peruano*, 6, 200–207.
- Sanches, W., & Coarite, X. (2017). *MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE*



*HENIFICACION DE FORRAJE MEDIANTE EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA SEGADORA - ACONDICIONADORA. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.*

- Silveira, E. A., & Franco, R. (2006). Conservación de forrajes : primera parte ( Conservation of forages : first part ). *REDVET*, VII.
- Tecante, A. (2009). Fundamentos De Secado, Extraccion Solido-Liquido Y Destilacion, 1–73. Retrieved from <https://kardauni08.files.wordpress.com/2009/03/secado.pdf>
- Torres, M. D. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. (S. A. Instituto Tecnológico de Canarias, Ed.) (1a ed.). Canarias.
- Valer M., L. R., & Zilles, R. (2011). *Utilización de la energía fotovoltaica en pequeñas actividades productivas en zonas rurales*. (V. López G., Ed.) (1ra ed.). Lima: GUZLOP. Retrieved from [https://guzlop-editoras.com/web\\_des/ener01/solarvolta/pld0258.pdf](https://guzlop-editoras.com/web_des/ener01/solarvolta/pld0258.pdf)
- Vázquez, T., Arnéz C., S., Fernández, M., & Fernández, J. de D. (1997). *MANUAL DEL SECADO SOLAR TÉCNICO DE ALIMENTOS*. (T. Reblole, M. Dietz, A. Guzmán, & R. Volgger, Eds.). Cochabamba: ENERGÉTICA; FAKT.



## ANEXOS

### ANEXO 1: Preguntas de encuestas realizadas para la línea base.

#### ENCUESTA PARA LÍNEA DE BASE DEL PROYECTO 153-PI PNIA

NOMBRE: ..... D.N.I Nº:.....

Nombre del fundo o predio ganadero:.....Sector:.....

Distrito: CABANILLA

Provincia: LAMPA

Región: PUNO

#### I. ASPECTOS GENERALES

1. ¿Qué pastos cultivados conoce?  
a) Alfalfa ( ) b) Dactylis ( ) c) Trébol blanco ( ) d) Ryegrass ( )
2. ¿Qué extensión de alfalfa-dactylis tiene instalado?  
a) 1000 m<sup>2</sup> ( ) b) 5000 m<sup>2</sup> ( ) c) 1 hectárea ( ) d) Más de 1 hectárea ( )
3. ¿Conoce la técnica de henificación de forrajes?  
a) Si ( ) b) No ( )

Si conoce, ¿Qué especies forrajeras henifica?

.....

4. ¿Conoce las técnicas de henificación de alfalfa-Dactylis?  
a) Si ( ) b) No ( )
5. ¿Conoce los beneficios del heno de buena calidad?  
a) Si ( ) b) No ( )

#### II. PROBLEMÁTICAS DE LA HENIFICACIÓN DE ALFALFA-DACTYLIS

1. En el momento de secado de forraje ¿Qué problemas ha tenido?

.....

2. ¿Cuántos días demora para el secado de la alfalfa-dactylis?  
a) 3 días ( ) b) 5 días ( ) c) 7 días ( ) d) más de 1 semana ( )
3. Durante el secado de la alfalfa-dactylis ¿De qué color obtiene el heno?  
a) Amarillo ( ) b) Verde claro ( ) c) Café oscuro ( )
4. ¿Qué partes de la planta se pierden en la henificación de la alfalfa-dactylis?  
a) Hojas ( ) b) Tallos ( ) c) Ambos ( )
5. ¿Qué factores influyen en la mala henificación de la alfalfa-dactylis?

.....

#### III. MANEJOS EN LA HENIFICACIÓN DE ALFALFA-DACTYLIS

1. ¿Con qué herramienta realiza el corte de alfalfa-dactylis?  
a) Hoz ( ) b) Motoguadaña ( ) c) Segadora ( )
2. ¿A los cuántos días de crecimiento de la planta se realiza el corte de alfalfa-dactylis para la henificación?  
a) 30 días ( ) b) 45 días ( ) c) 60 días ( )
3. ¿Cuántas veces realiza el corte de la alfalfa para la henificación?  
a) 1 vez ( ) b) 2 veces ( ) c) 3 veces ( ) d) Nunca ( )
4. ¿En qué meses realiza el corte de alfalfa-dactylis para la henificación?  
a) Enero ( ) b) Febrero ( ) c) Marzo ( ) d) Abril ( )



5. Durante el secado ¿Realiza el volteado de la alfalfa-dactylis?  
a) Si ( )                      b) No ( )
- Si respondió sí, ¿Cuántas veces?  
a) 1 vez ( )                      b) 2 veces ( )                      c) 3 veces ( )                      d) Ninguna ( )
6. ¿Dónde realiza el secado de la alfalfa?  
a) En el mismo campo ( )                      b) bajo techo ( )

#### IV. ALMACENAMIENTO DEL HENO DE ALFALFA-DACTYLIS

1. Después de realizar el secado de la alfalfa-dactylis ¿En qué forma almacena?  
a) Parvas ( )                      b) Pacas ( )                      c) Bajo cobertizo ( )
2. La recolección de la alfalfa-dactylis henificado ¿En qué momento del día lo realiza?  
a) Madrugada ( )                      b) Medio día ( )                      c) Tarde ( )                      d) Noche ( )
3. ¿En dónde almacena el heno de alfalfa-dactylis?  
a) En el campo – parva ( )                      b) En el campo - pacas ( )                      c) Bajo techo-pacas ( )
4. ¿Por cuánto tiempo almacena el heno de alfalfa-dactylis?  
a) Medio año ( )                      b) 1 año ( )                      c) 2 años ( )
5. ¿Tuvo problemas en el almacenamiento del heno de alfalfa-dactylis?  
a) Si ( )                      b) No ( )

Si la respuesta fue sí, indique cual:.....

#### V. UTILIZACION DEL HENO DE ALFALFA-DACTYLIS

1. El heno de alfalfa-dactylis ¿En qué época del año utiliza frecuentemente?  
a) Época lluviosa ( )                      b) Época seca ( )
2. ¿Para qué especie animal prioritariamente utiliza el heno de alfalfa-dactylis?  
a) Vacunos de leche ( )                      b) vacunos engorde ( )                      c) ovinos en parición ( )
3. ¿Qué actividad considera más conveniente para el manejo de la alfalfa-dactylis?  
a) Pastoreo ( )                      b) Henificado ( )

#### VI. CAPACITACIONES EN HENIFICACIÓN DE FORRAJES

1. ¿ha recibido capacitación de alguna institución sobre la henificación de forrajes?  
a) Si ( )                      b) No ( )

Si la respuesta es sí, ¿De qué institución?.....

2. ¿Conoce otros métodos de conservación de forrajes?  
a) Si ( )                      b) No ( )

Si la respuesta es sí, indique cuales.....

3. ¿Conoce sobre las nuevas tecnologías de secado de forraje?  
a) Si ( )                      b) No ( )
4. ¿Estaría dispuesto a adoptar nuevas técnicas de secado de alfalfa-dactylis?  
a) Si ( )                      b) No ( )



## ANEXO 2: Resultados de análisis químico.

INFORME DE ENSAYO LENA N° 0916/2019

### RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

CÓDIGO	AQ19-0916/07	AQ19-0916/08	AQ19-0916/09	AQ19-0916/10	AQ19-0916/11	AQ19-0916/12
MUESTRA	AD-01-TUN	AD-02-TUN	AD-03-TUN	AD-04-TUN	AD-05-TUN	AD-06-TUN
PESO (gramos)	102	123	164	143	147	150
a.- HUMEDAD, %	8.58	8.36	8.17	8.19	8.34	8.07
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	21.95	22.20	22.45	22.80	20.64	21.17
c.- GRASA, %	1.80	2.49	2.63	2.53	2.48	2.53
d.- FIBRA CRUDA, %	16.62	15.23	14.97	15.05	15.08	16.53
e.- CENIZA, %	7.27	6.43	7.28	7.50	7.54	6.85
f.- ELN, %	43.78	45.29	44.50	43.93	45.92	44.85
g.-FDN, %	31.33	29.22	27.35	27.76	26.84	27.89
h.- ENERGÍA METABOLIZABLE PARA VACUNOS, MCAL/KG. M.S.	2.43	2.52	2.50	2.49	2.48	2.47

INFORME DE ENSAYO LENA N° 0916/2019

### RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

CÓDIGO	AQ19-0916/13	AQ19-0916/14	AQ19-0916/15	AQ19-0916/16	AQ19-0916/17	AQ19-0916/18
MUESTRA	AD-01-MED	AD-02-MED	AD-03-MED	AD-04-MED	AD-05-MED	AD-06-MED
PESO (gramos)	100	126	151	139	162	150
a.- HUMEDAD, %	9.34	8.74	9.16	8.96	9.11	9.94
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	21.98	22.16	21.65	21.82	21.29	21.65
c.- GRASA, %	2.53	3.57	2.66	2.78	2.41	2.30
d.- FIBRA CRUDA, %	14.77	15.48	15.31	14.94	14.95	14.55
e.- CENIZA, %	6.97	7.58	7.21	7.33	6.94	7.28
f.- ELN, %	44.41	42.47	44.01	44.17	45.30	44.28
g.-FDN, %	27.47	28.02	28.82	28.12	26.93	26.92
h.- ENERGÍA METABOLIZABLE PARA VACUNOS, MCAL/KG. M.S.	2.51	2.50	2.49	2.50	2.50	2.49

INFORME DE ENSAYO LENA N° 0916/2019

### RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

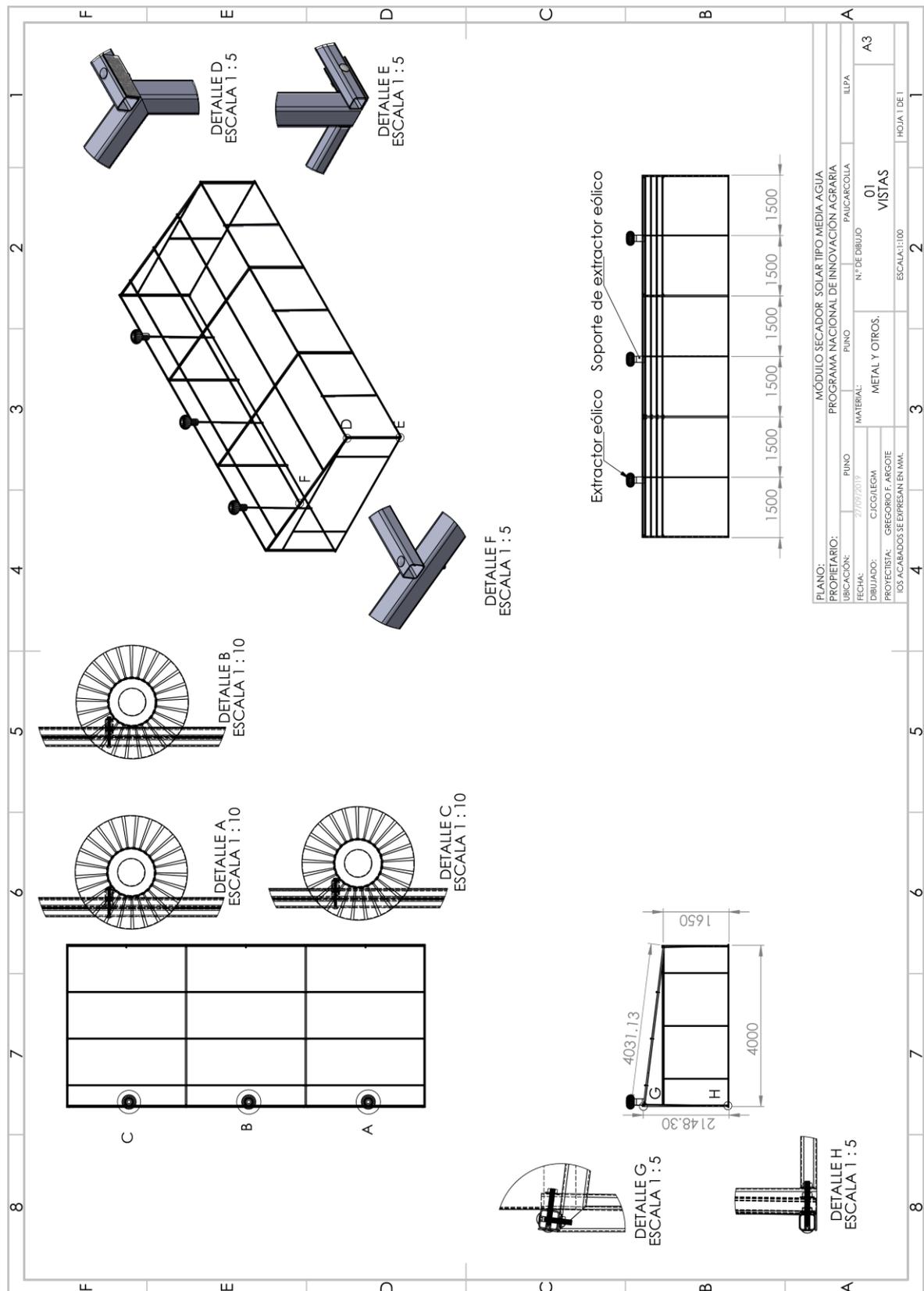
CÓDIGO	AQ19-0916/19	AQ19-0916/20	AQ19-0916/21	AQ19-0916/22	AQ19-0916/23	AQ19-0916/24
MUESTRA	AD-01-CAM	AD-02-CAM	AD-03-CAM	AD-04-CAM	AD-05-CAM	AD-06-CAM
PESO (gramos)	170	97	164	116	147	140
a.- HUMEDAD, %	9.68	10.46	9.79	10.51	9.42	9.81
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	19.57	22.85	18.17	23.01	14.36	13.85
c.- GRASA, %	2.42	2.70	2.21	2.30	2.20	1.54
d.- FIBRA CRUDA, %	16.19	13.69	17.89	13.94	19.41	21.96
e.- CENIZA, %	7.14	7.12	8.13	8.15	6.74	6.03
f.- ELN, %	45.00	43.18	43.81	42.09	47.87	46.81
g.-FDN, %	31.84	26.65	35.67	29.79	38.28	39.78
h.- ENERGÍA METABOLIZABLE PARA VACUNOS, MCAL/KG. M.S.	2.45	2.53	2.36	2.47	2.37	2.32

INFORME DE ENSAYO LENA N° 0916/2019

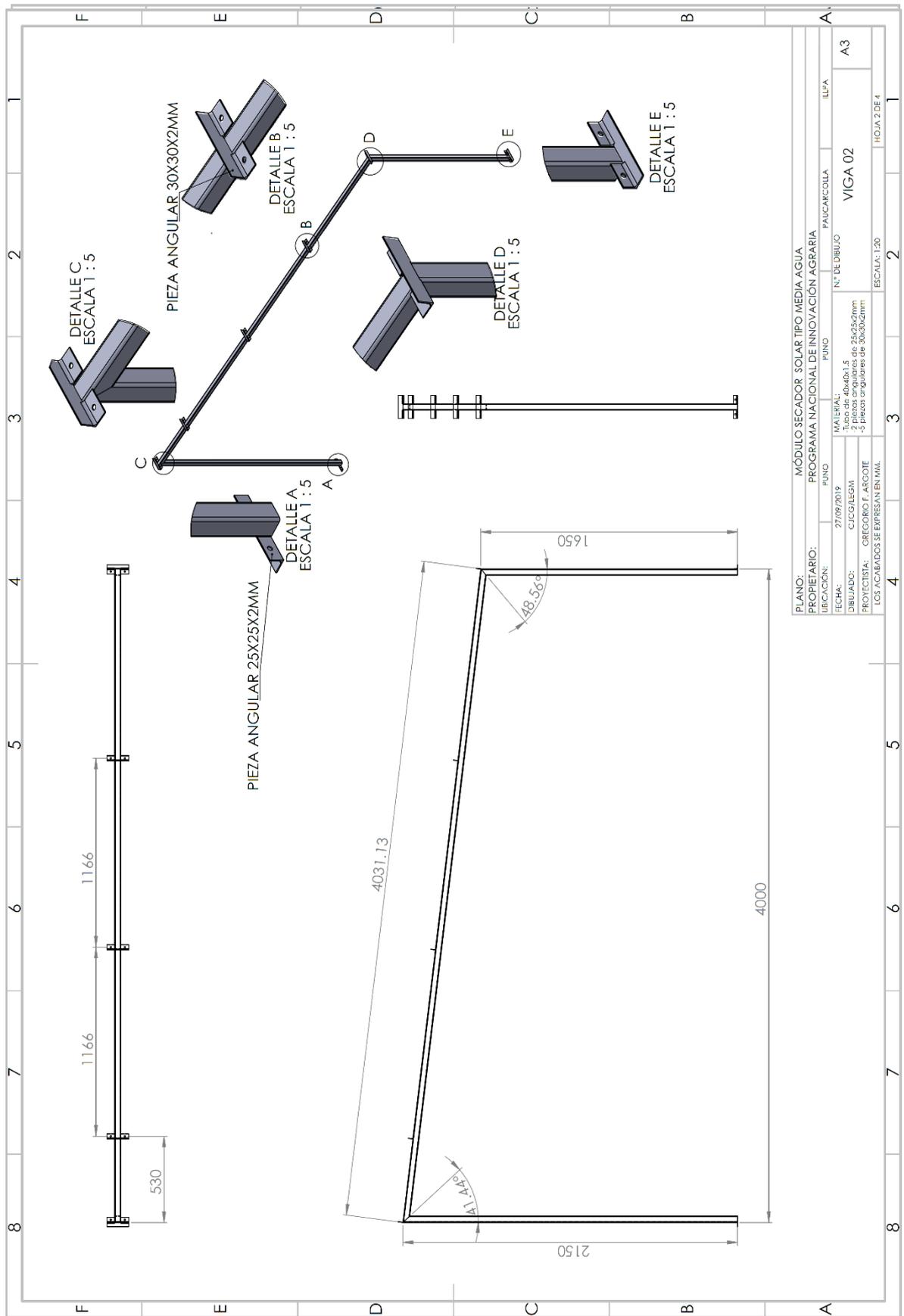
### RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

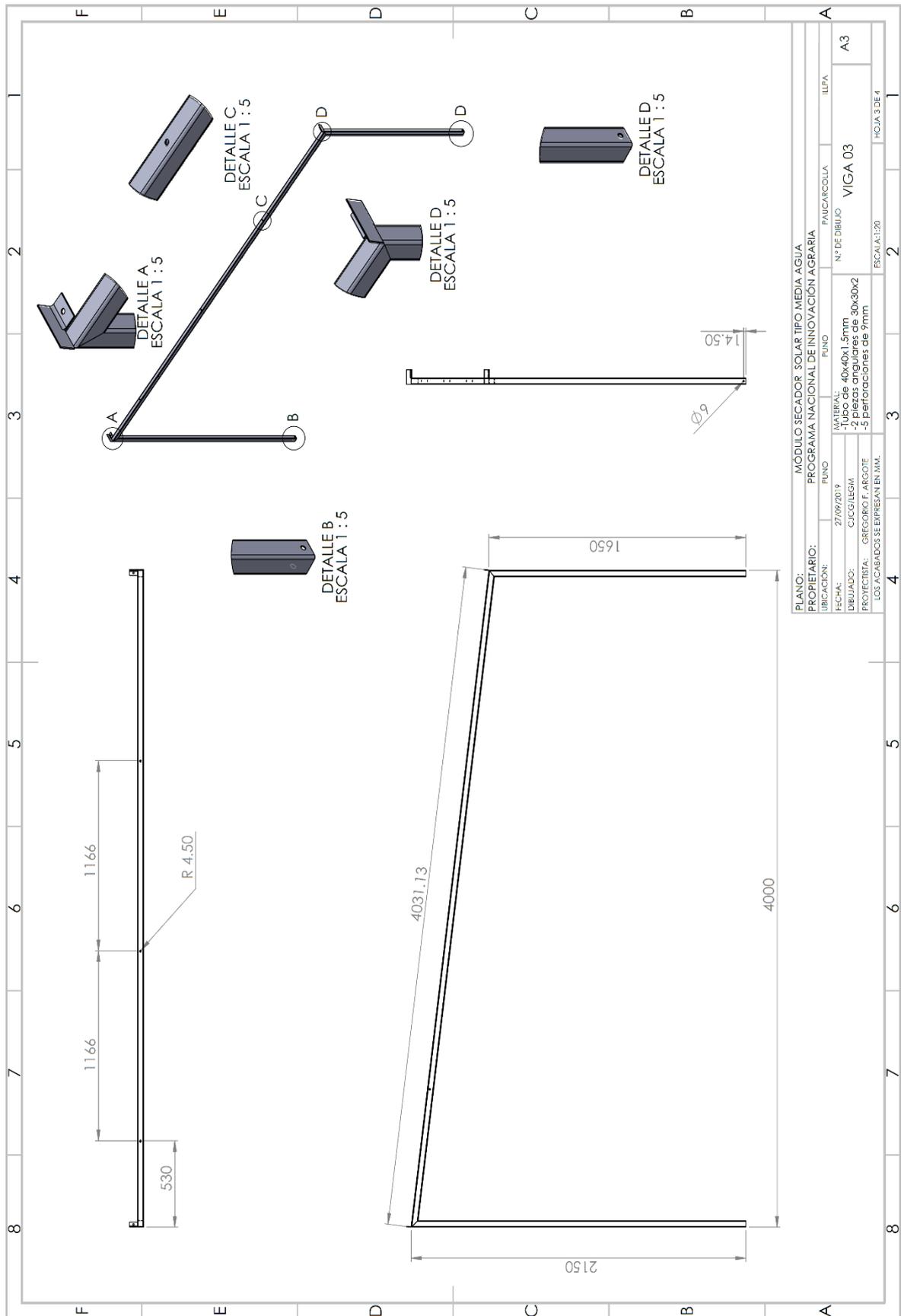
CÓDIGO	AQ19-0916/19	AQ19-0916/20	AQ19-0916/21	AQ19-0916/22	AQ19-0916/23	AQ19-0916/24
MUESTRA	AD-01-CAM	AD-02-CAM	AD-03-CAM	AD-04-CAM	AD-05-CAM	AD-06-CAM
PESO (gramos)	170	97	164	116	147	140
a.- HUMEDAD, %	9.68	10.46	9.79	10.51	9.42	9.81
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	19.57	22.85	18.17	23.01	14.36	13.85
c.- GRASA, %	2.42	2.70	2.21	2.30	2.20	1.54
d.- FIBRA CRUDA, %	16.19	13.69	17.89	13.94	19.41	21.96
e.- CENIZA, %	7.14	7.12	8.13	8.15	6.74	6.03
f.- ELN, %	45.00	43.18	43.81	42.09	47.87	46.81
g.-FDN, %	31.84	26.65	35.67	29.79	38.28	39.78
h.- ENERGÍA METABOLIZABLE PARA VACUNOS, MCAL/KG. M.S.	2.45	2.53	2.36	2.47	2.37	2.32

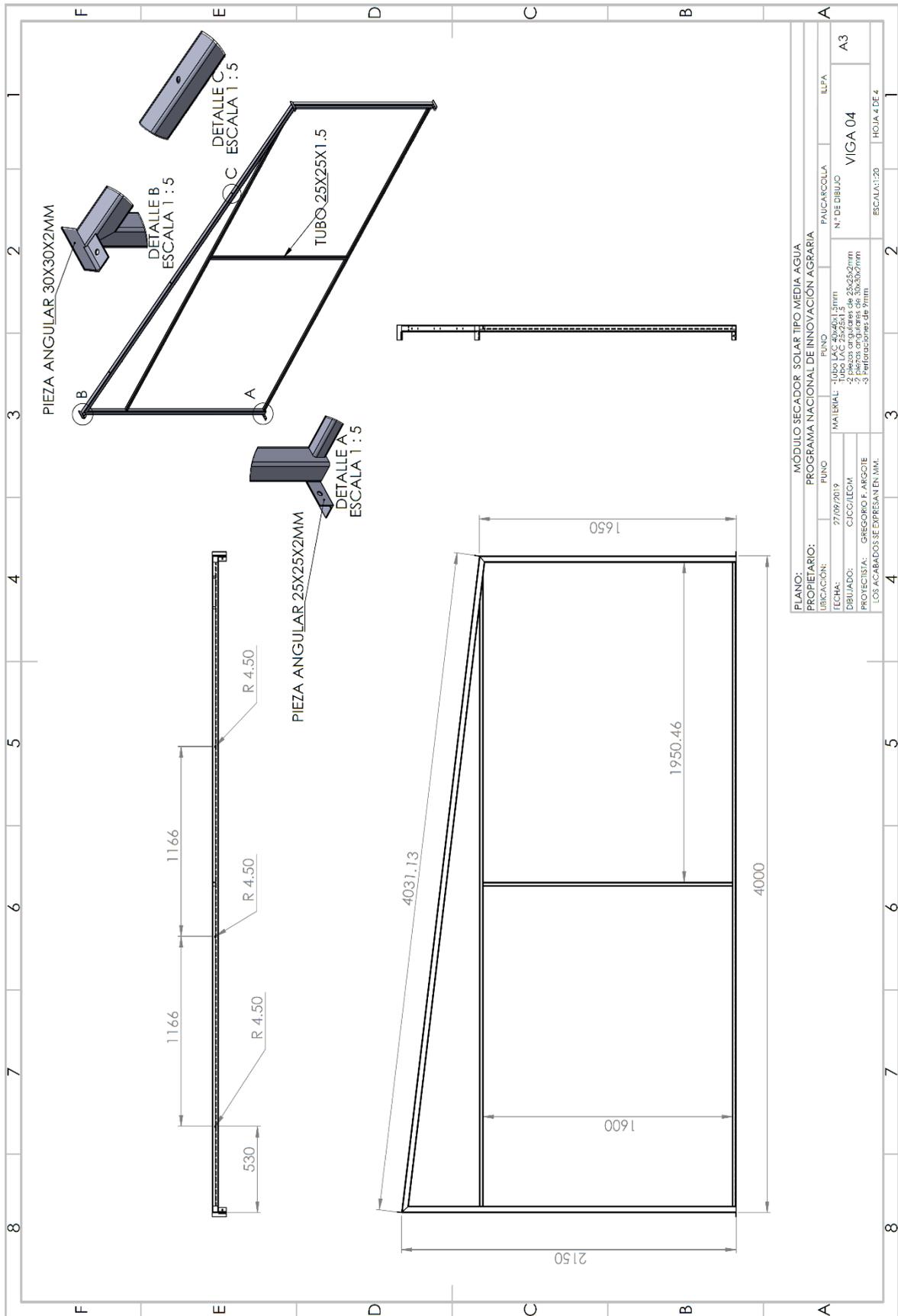
### ANEXO 3: Vista 01-Módulo secador solar tipo media agua.



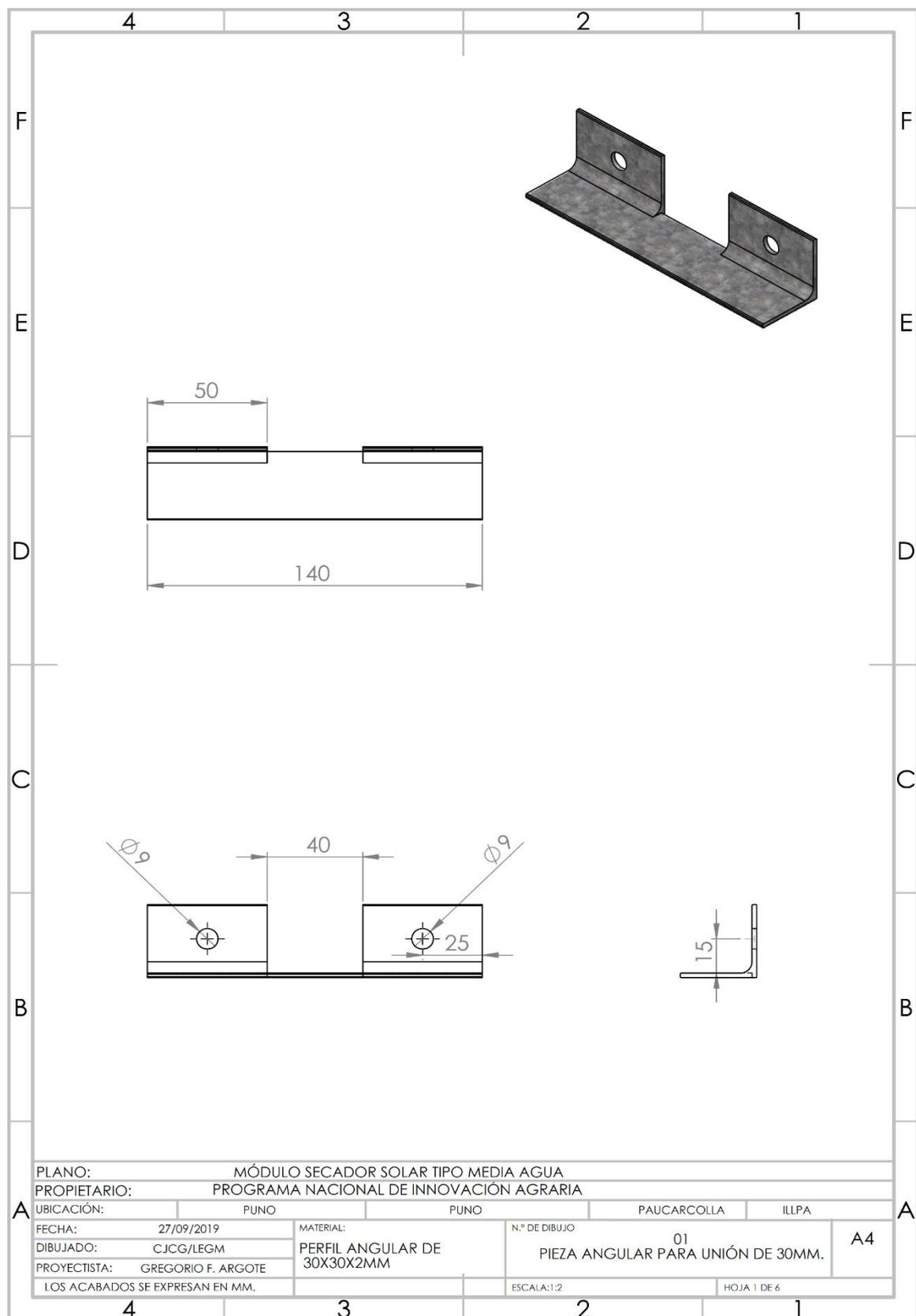
**ANEXO 4: Vigas y detalles- Módulo secador solar tipo media agua.**

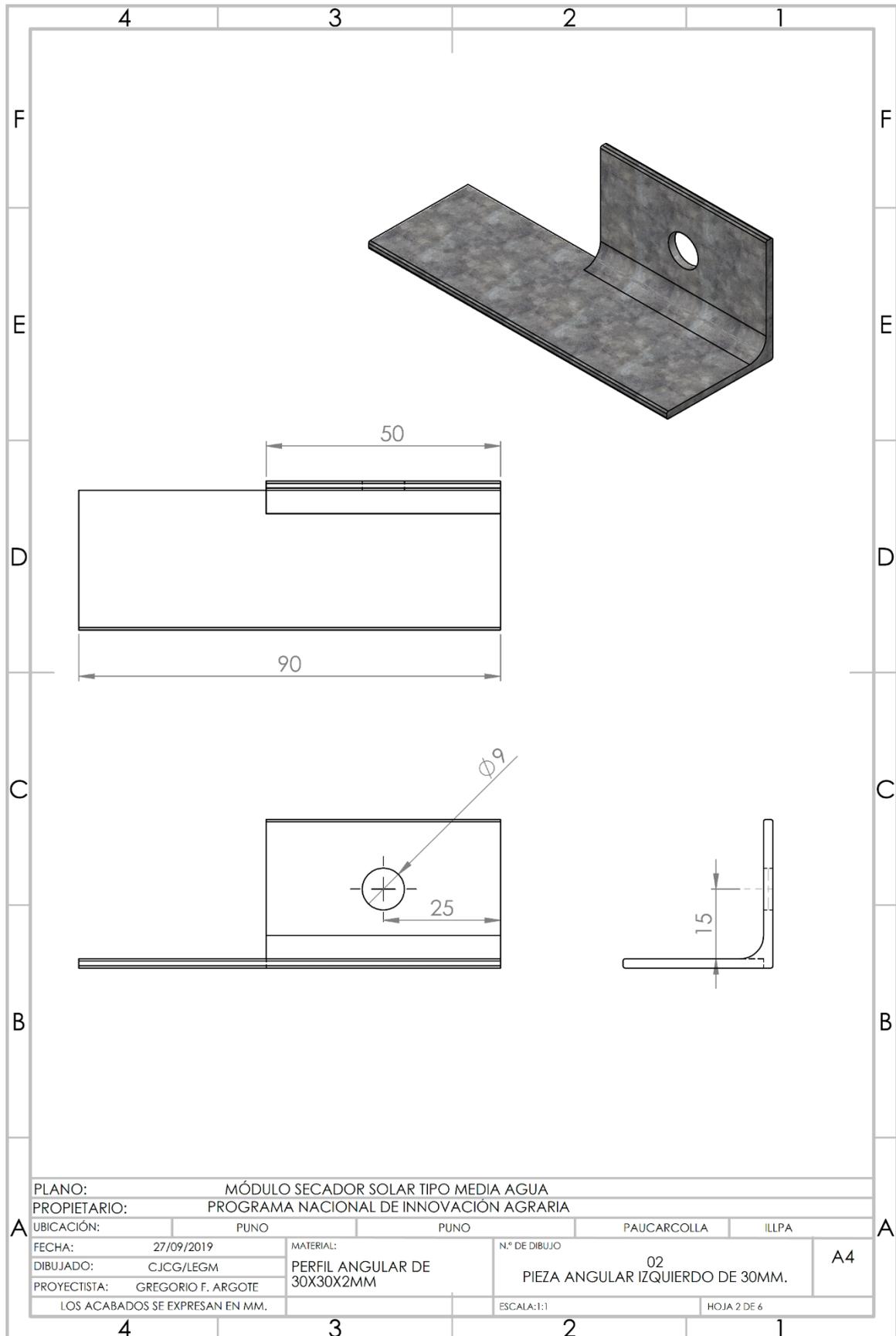


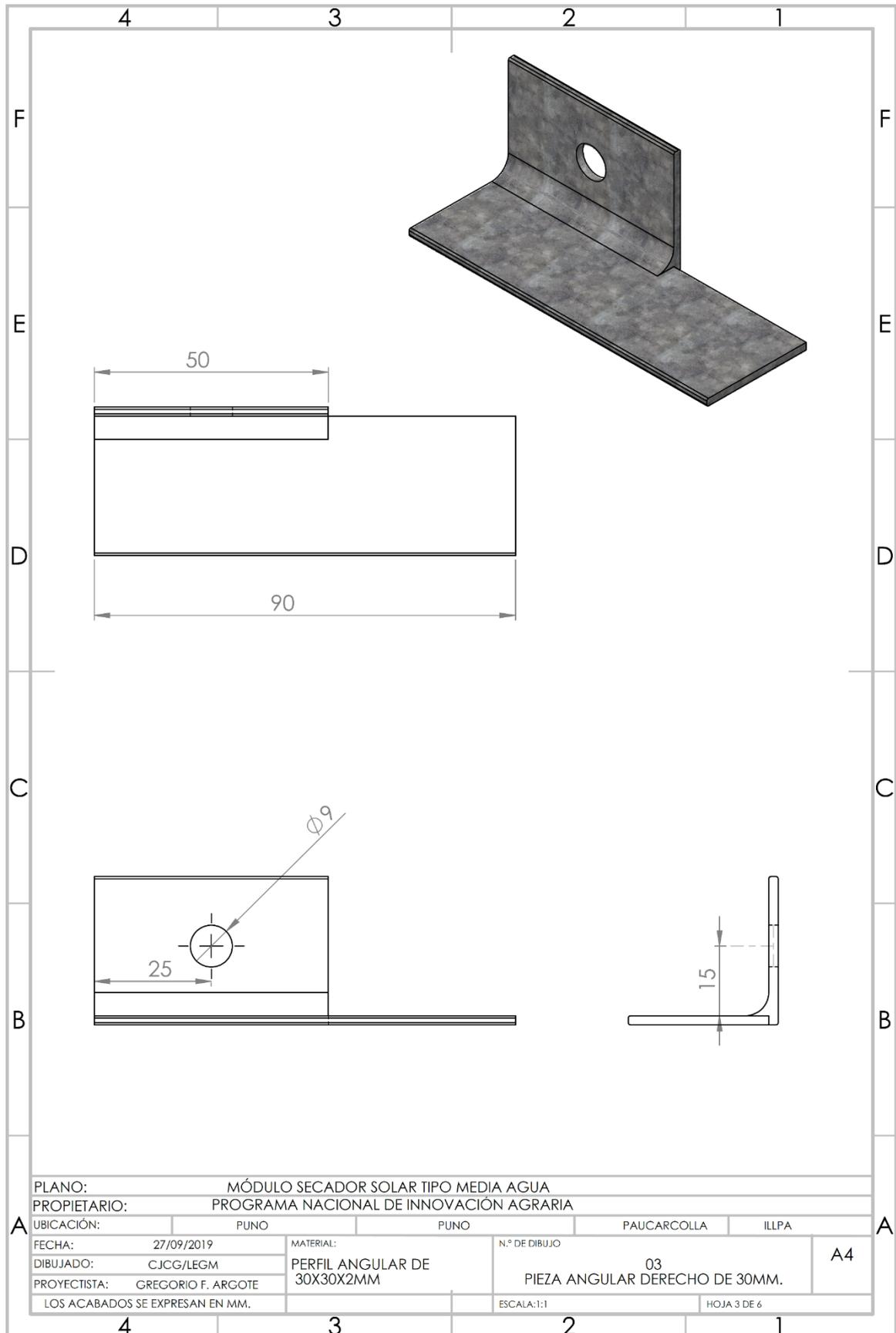


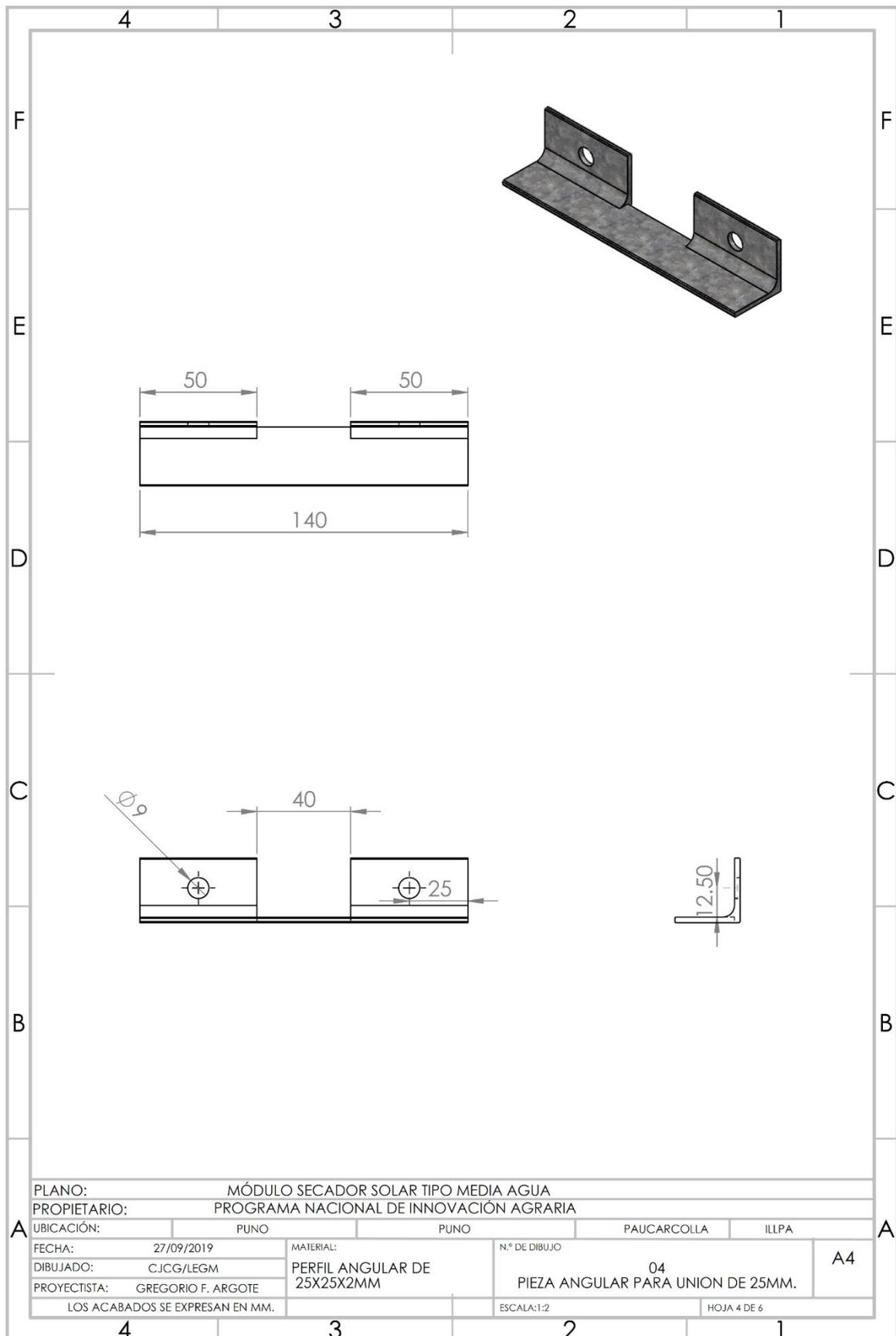


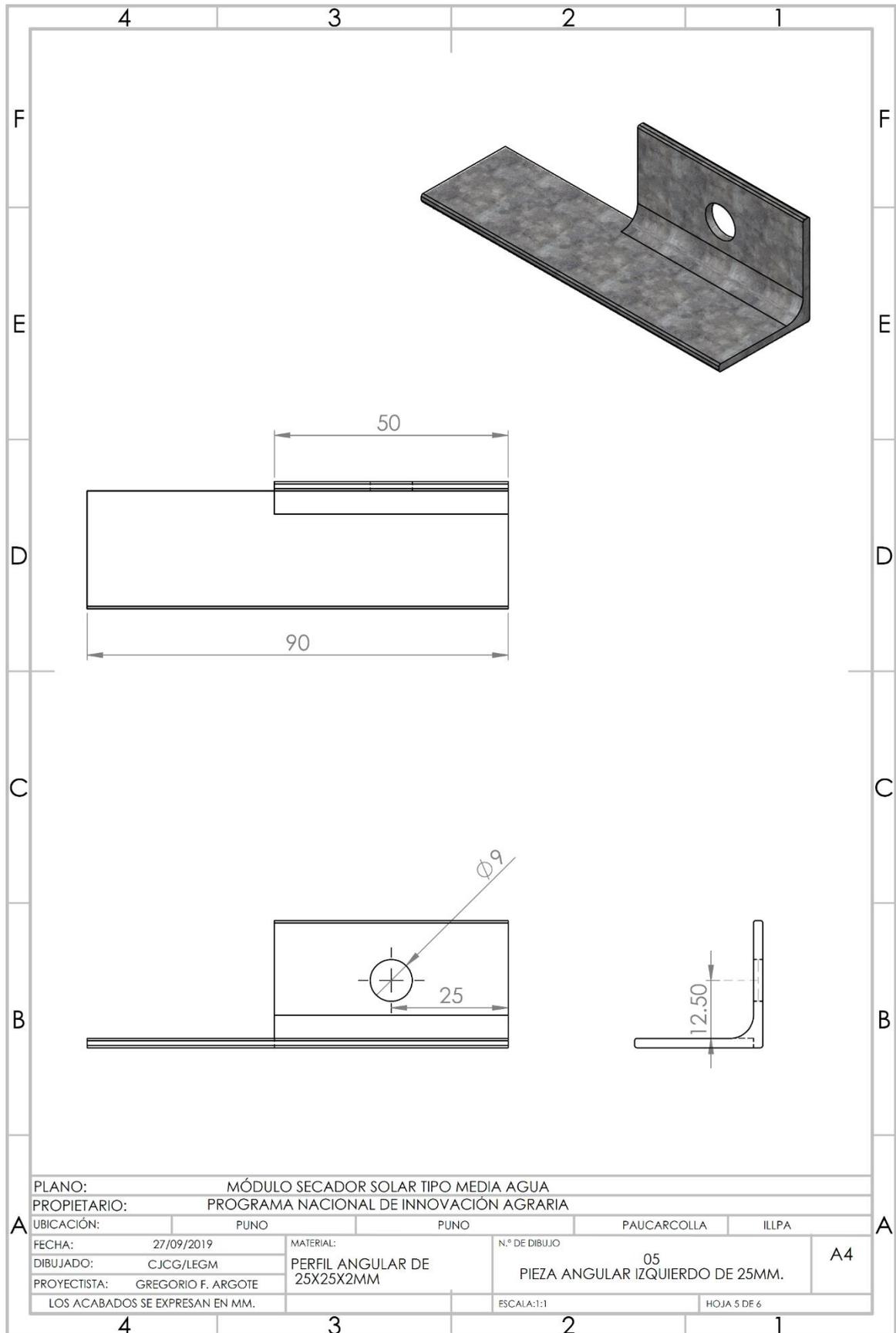
### ANEXO 5: Piezas angulares para unión- Módulo secador solar tipo media agua.

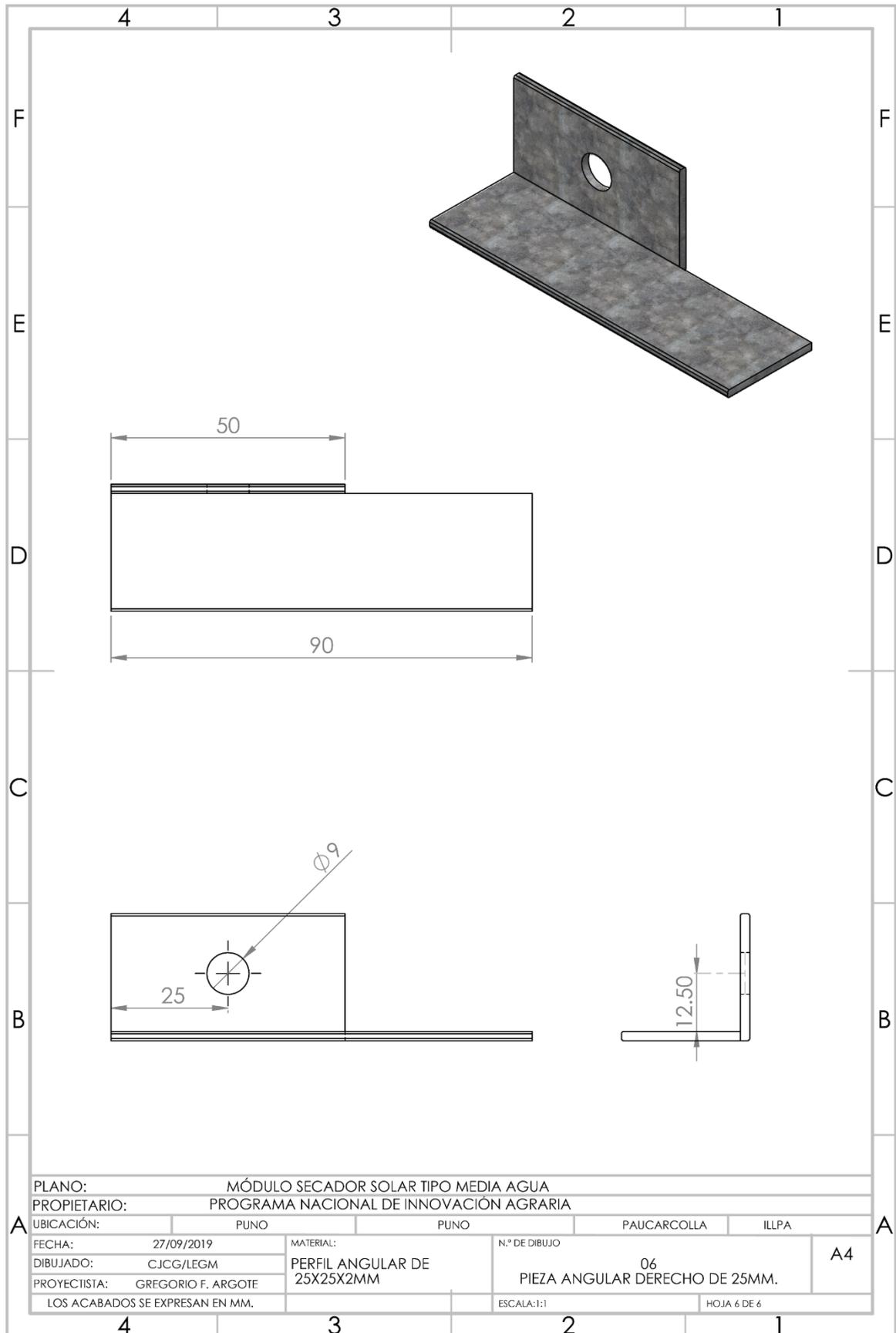




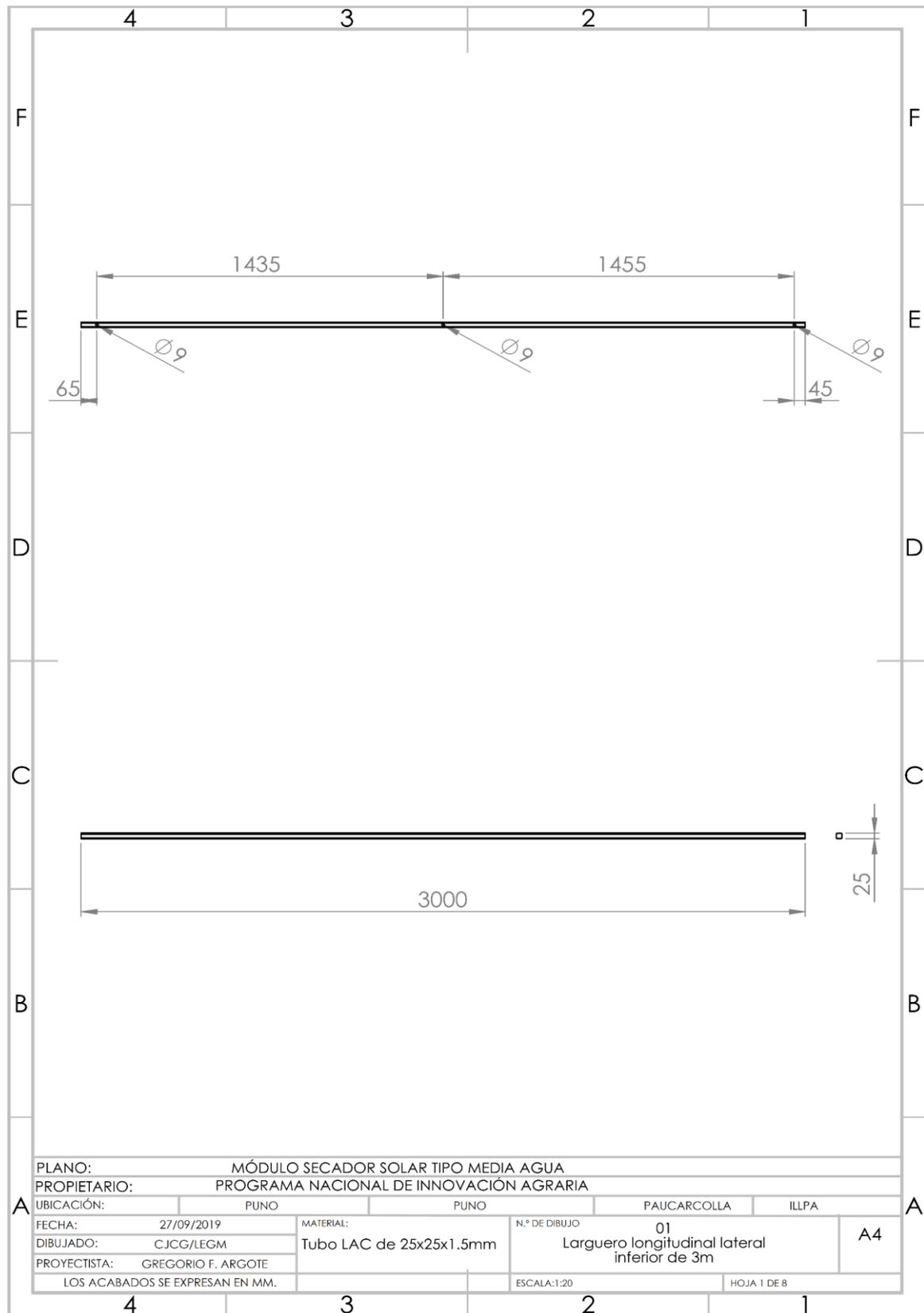


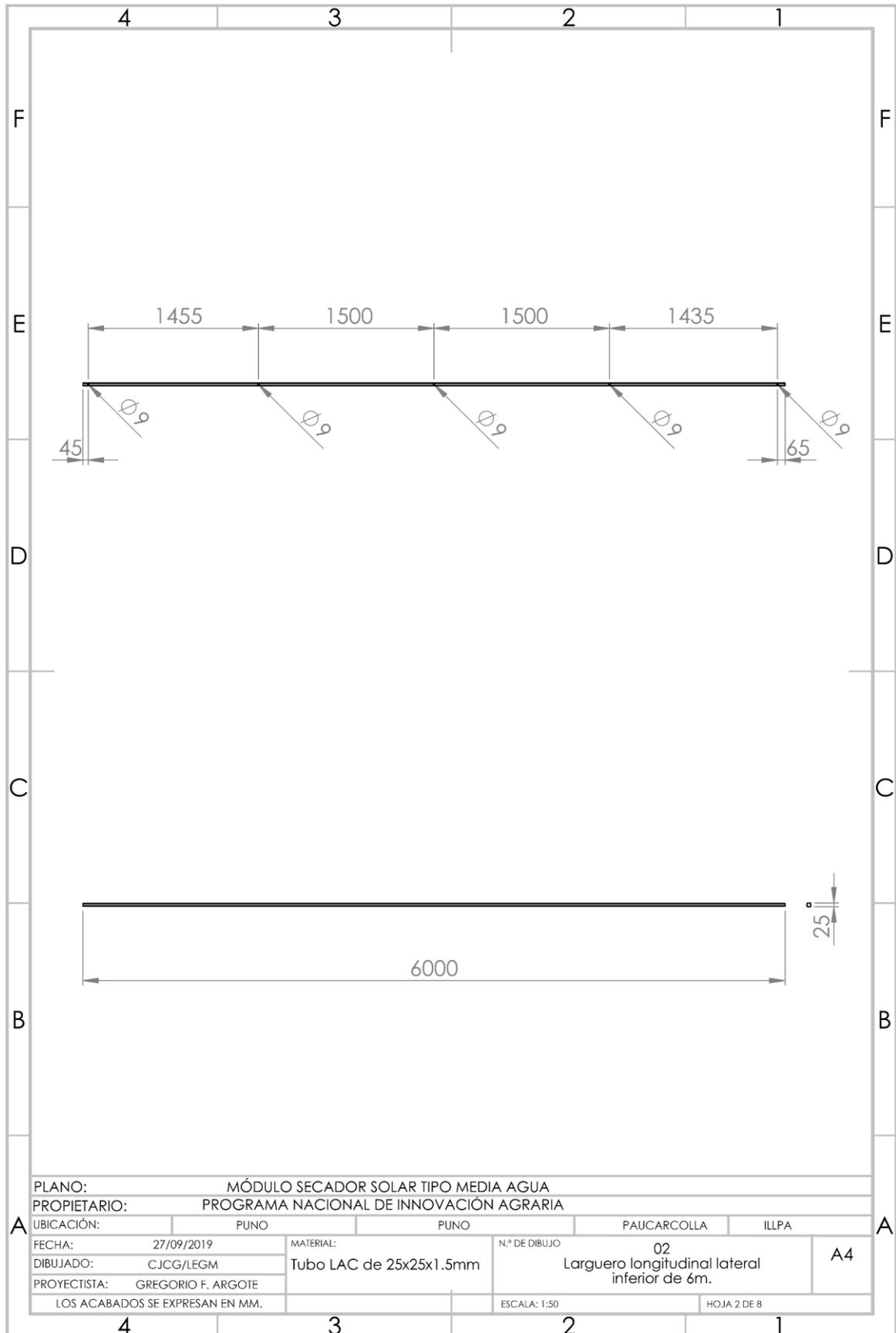


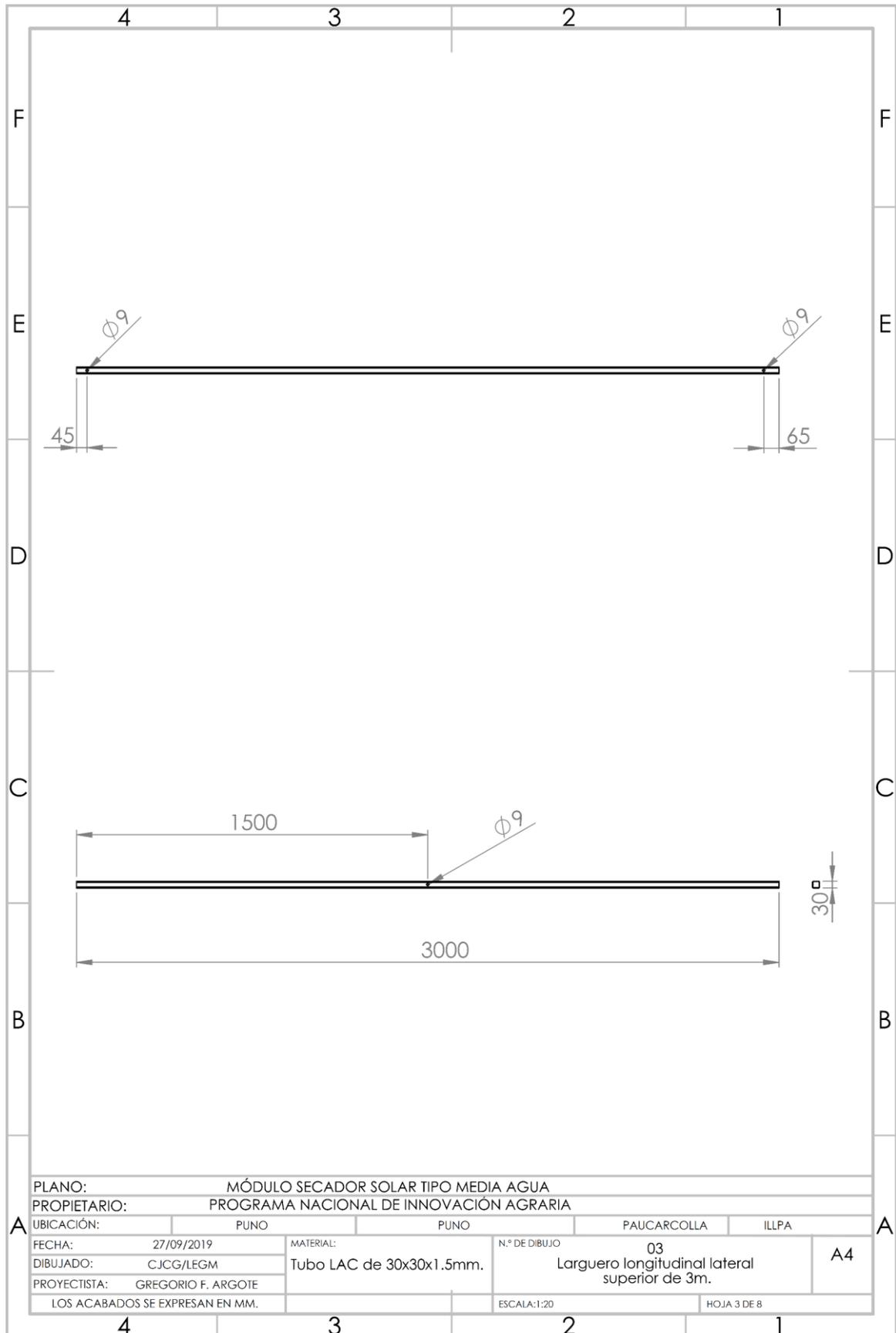


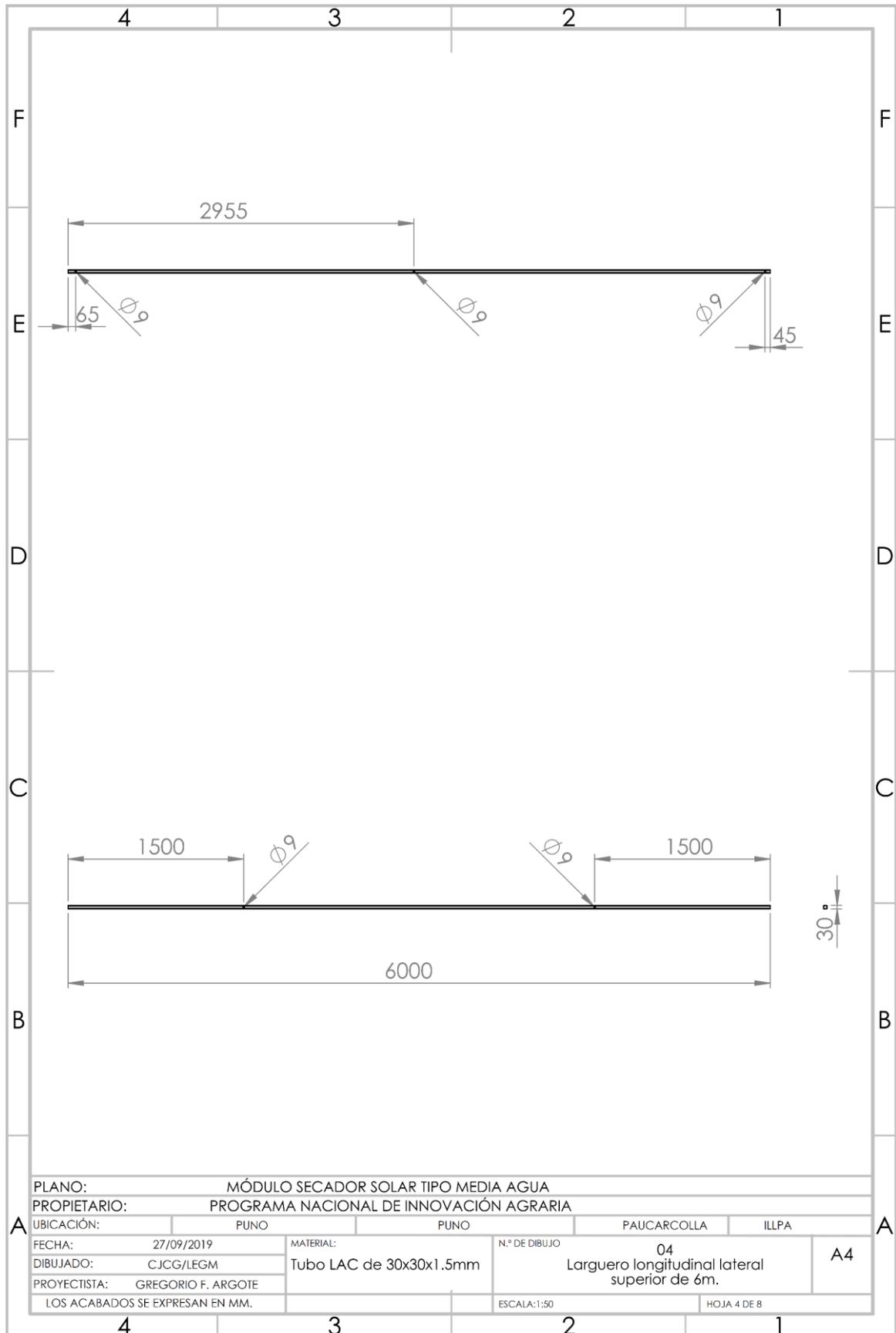


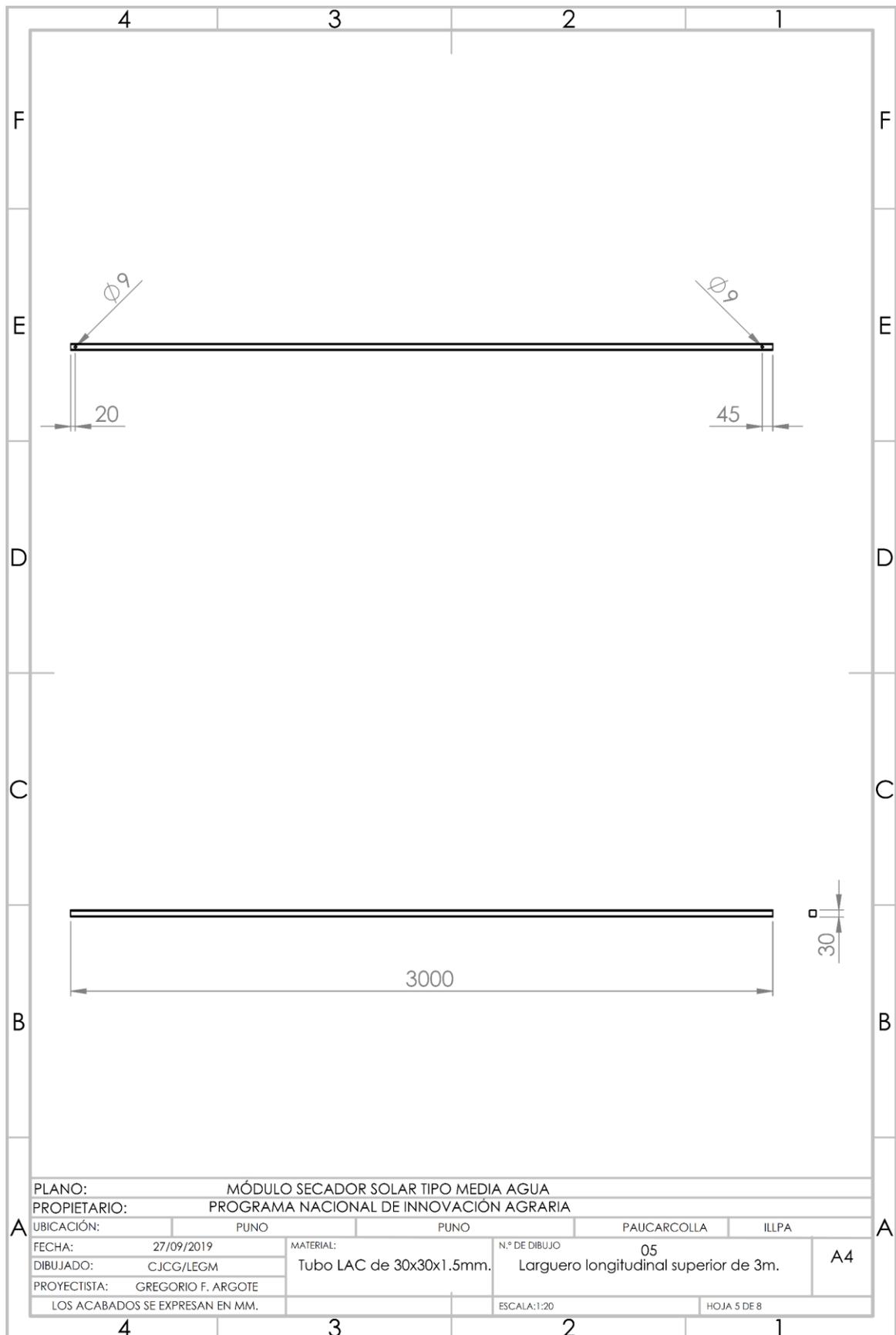
### ANEXO 6: Largueros y parantes- Módulo secador solar tipo media agua.

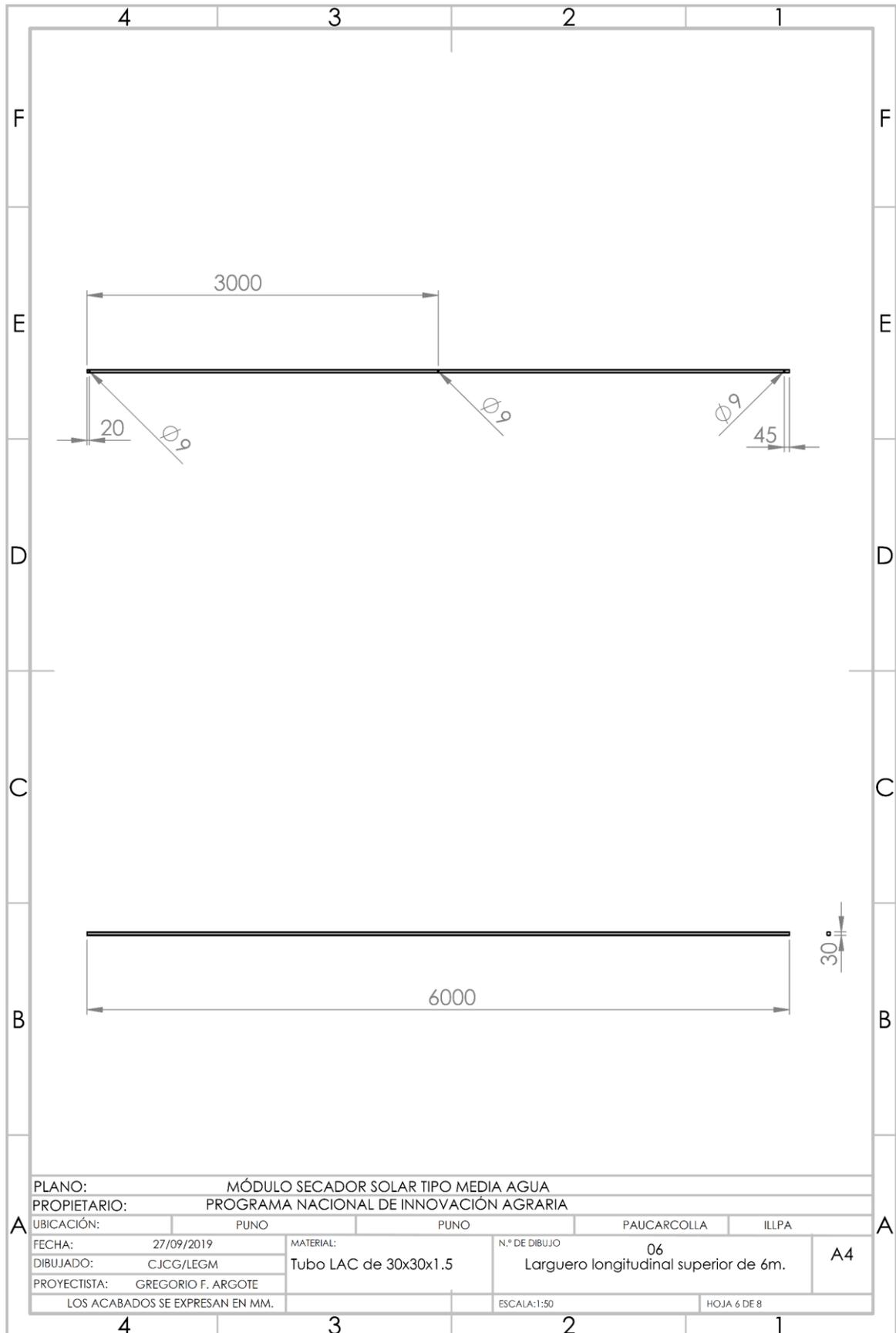


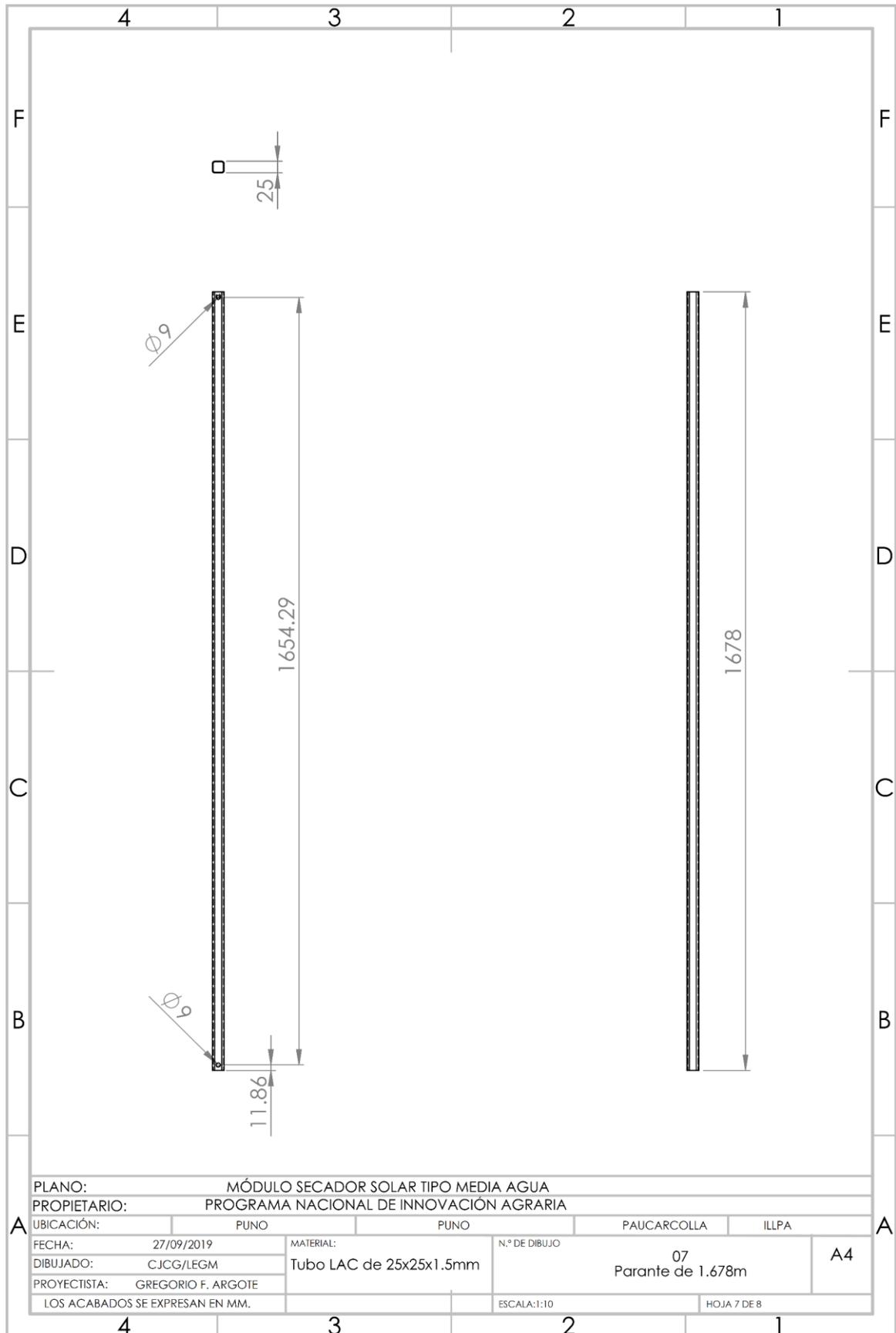


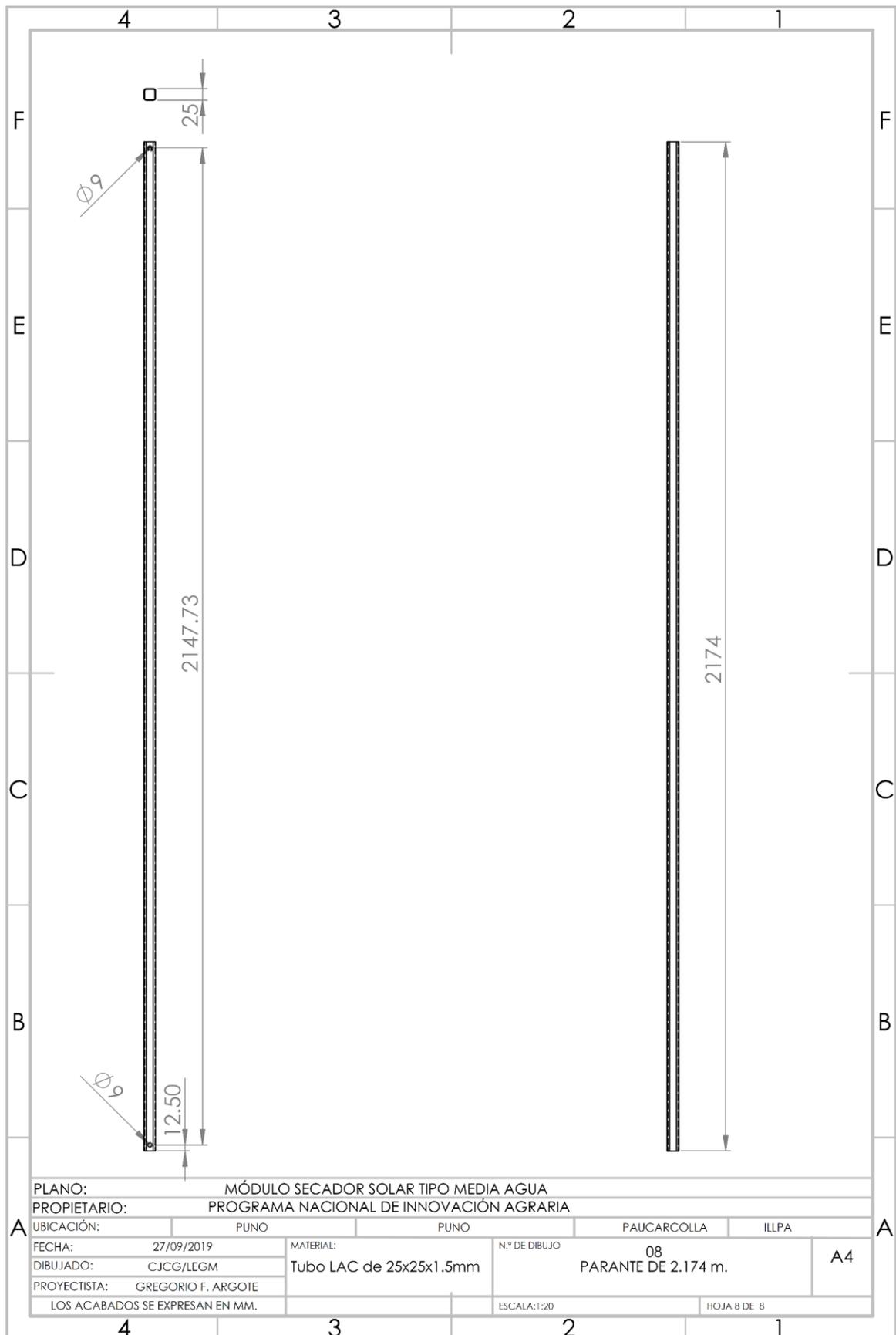




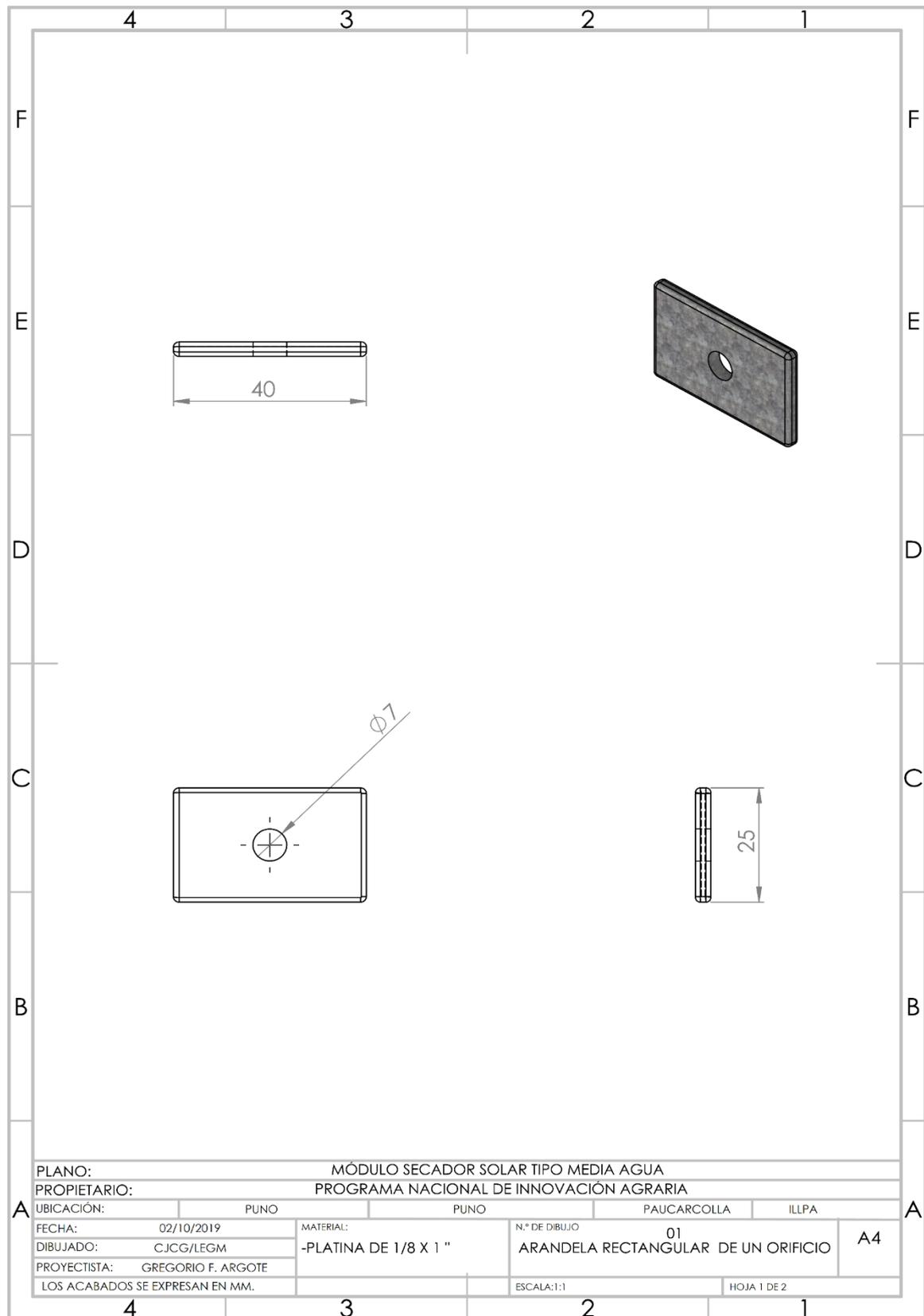


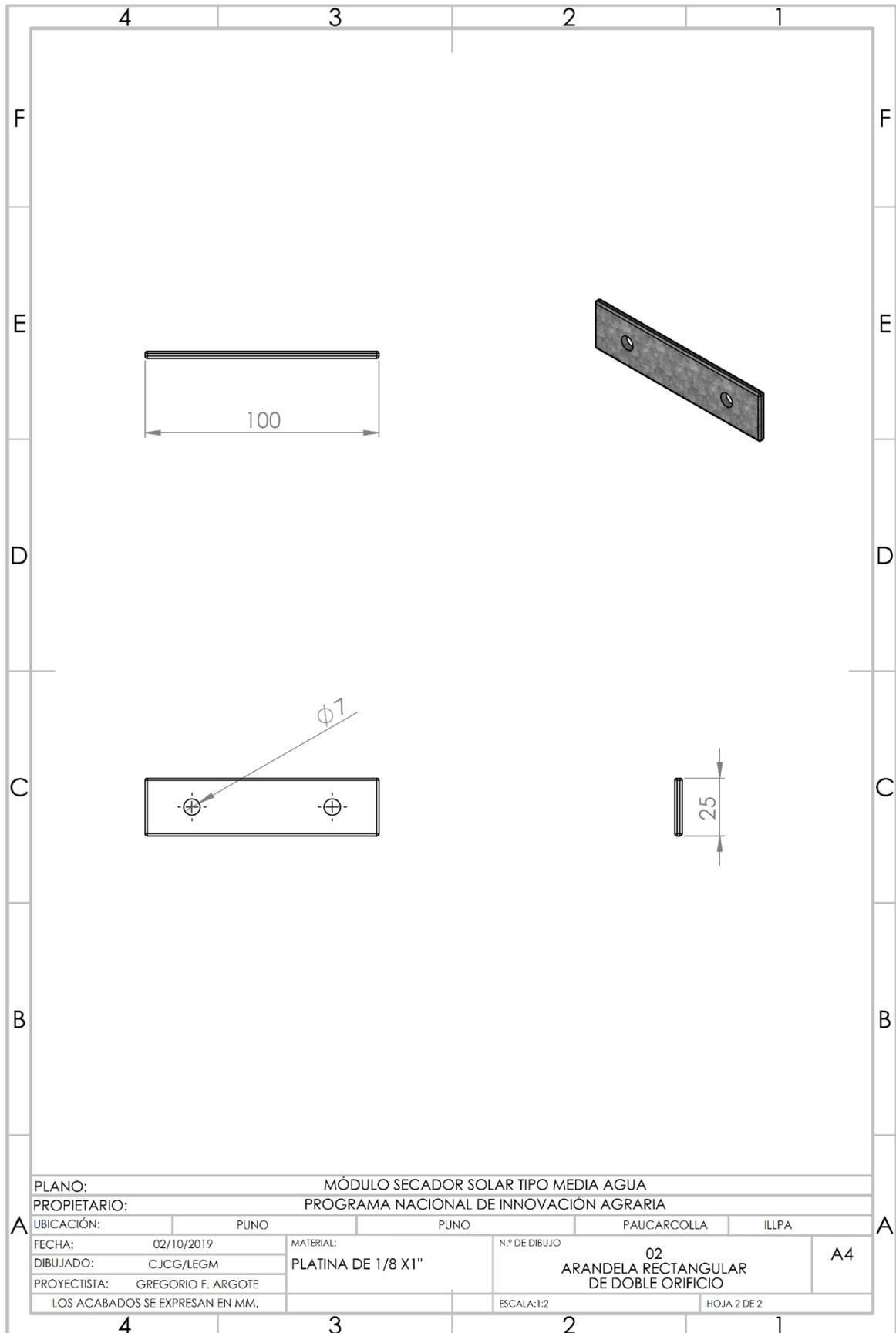




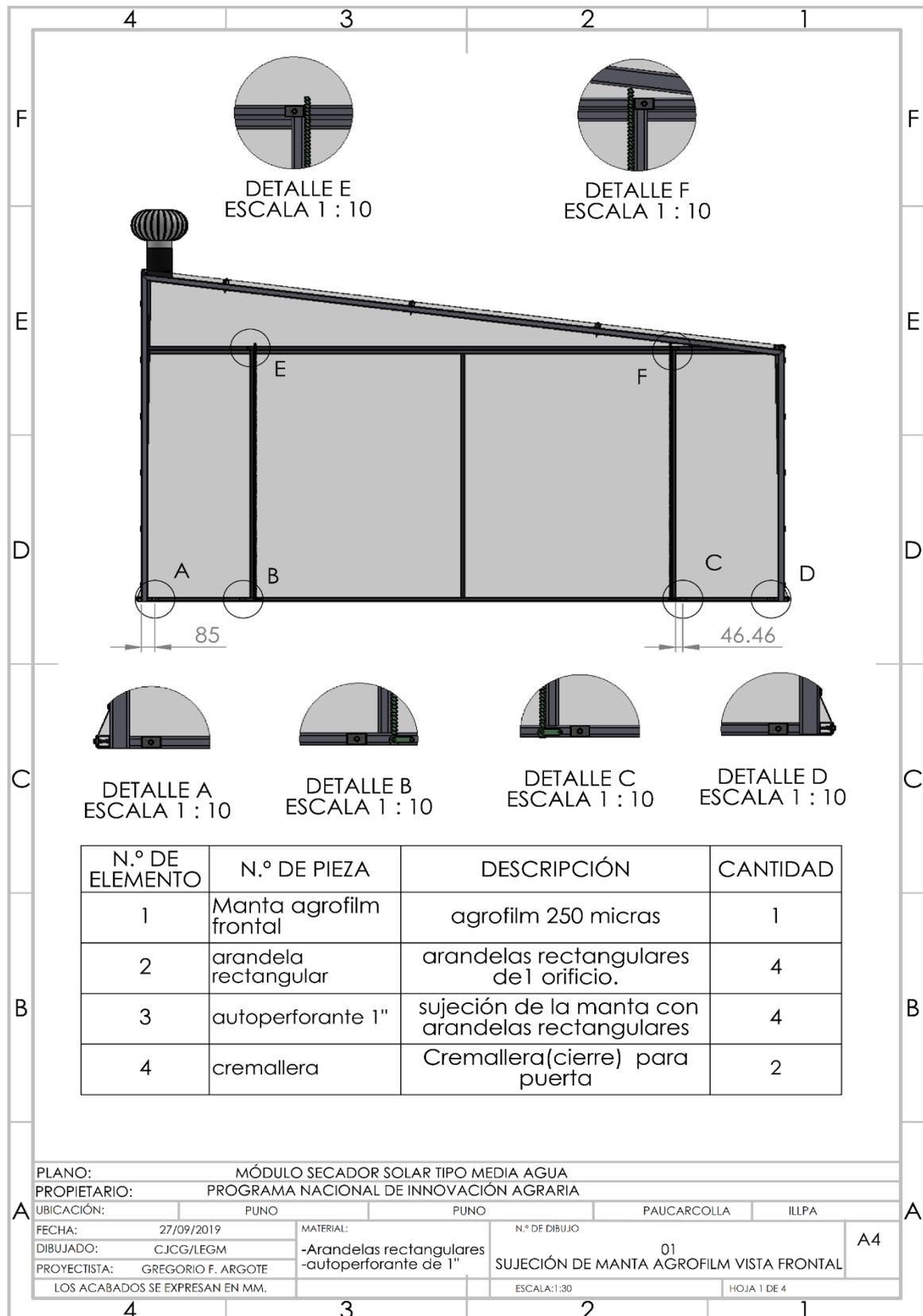


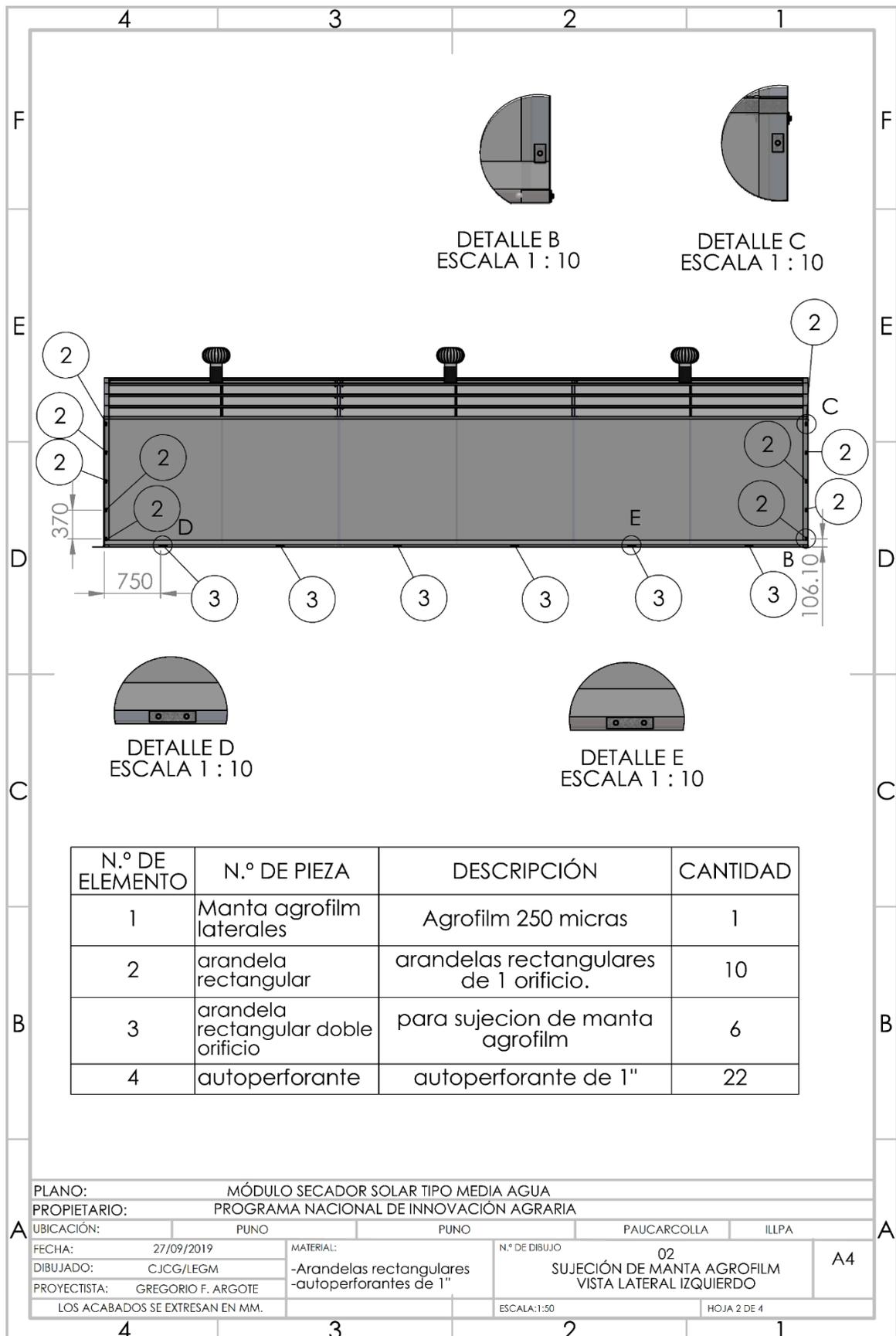
### ANEXO 7: Arandelas- Módulo secador solar tipo media agua.

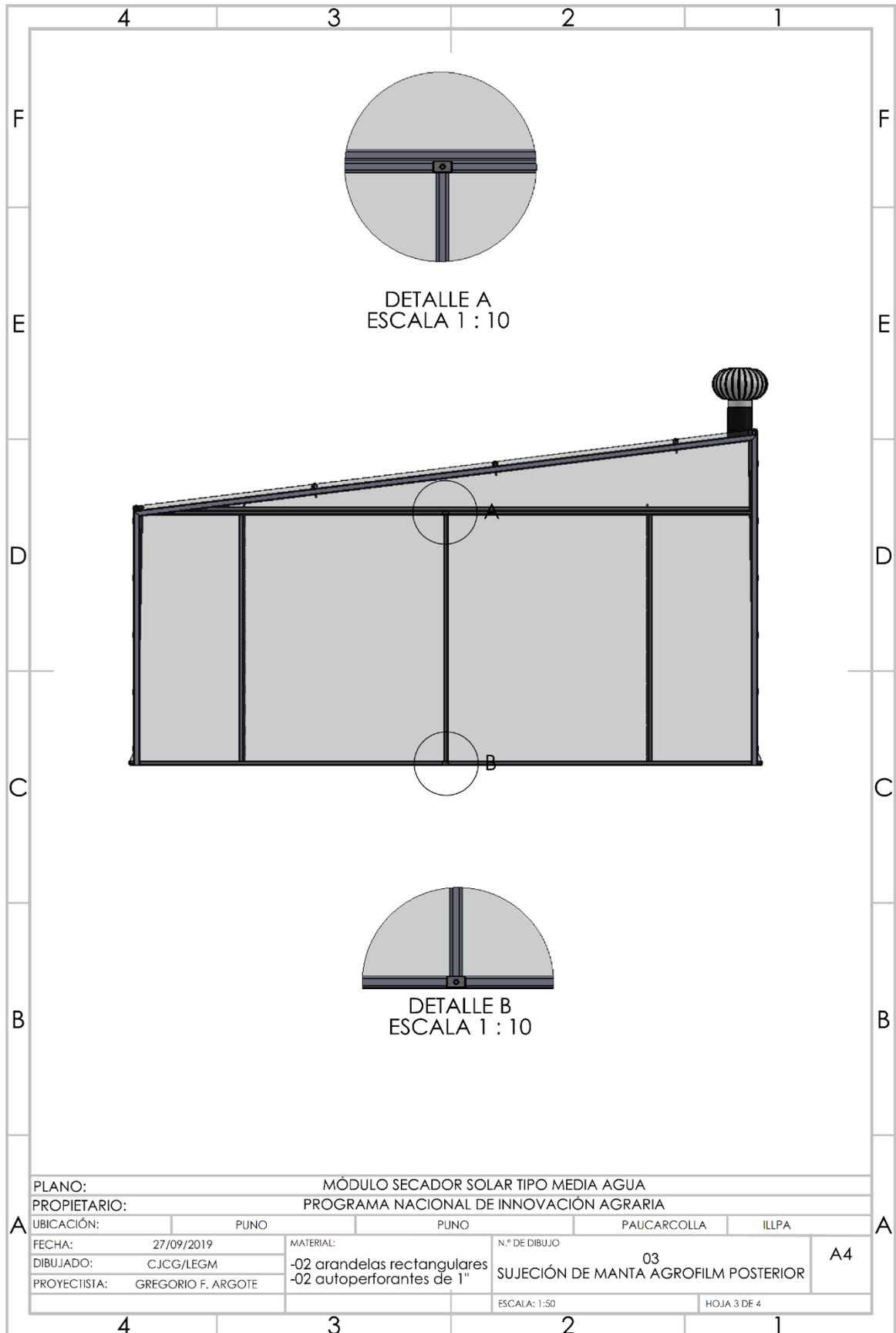


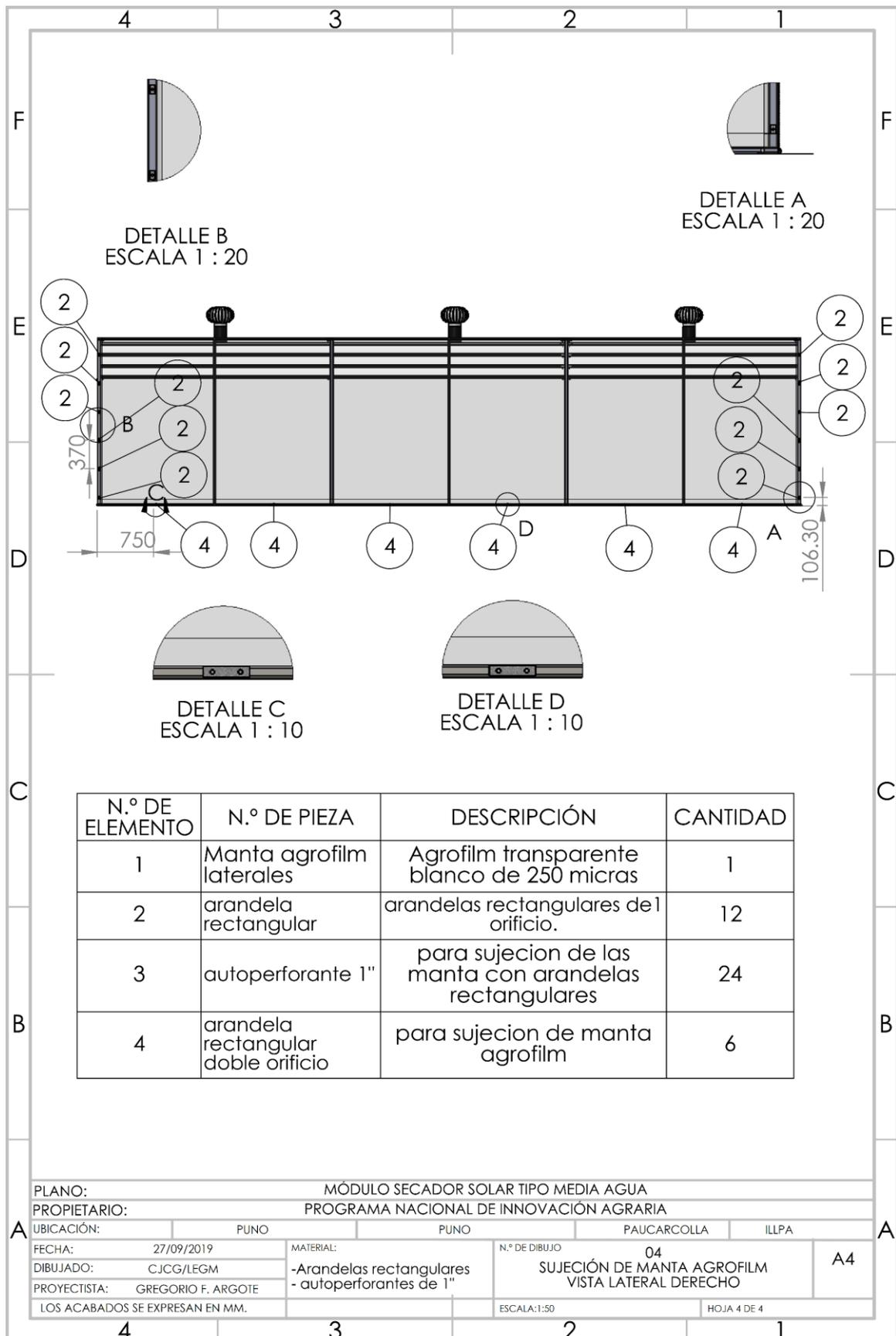


### ANEXO 8: Sujeción de manta agrofilm- Módulo secador solar tipo media agua.

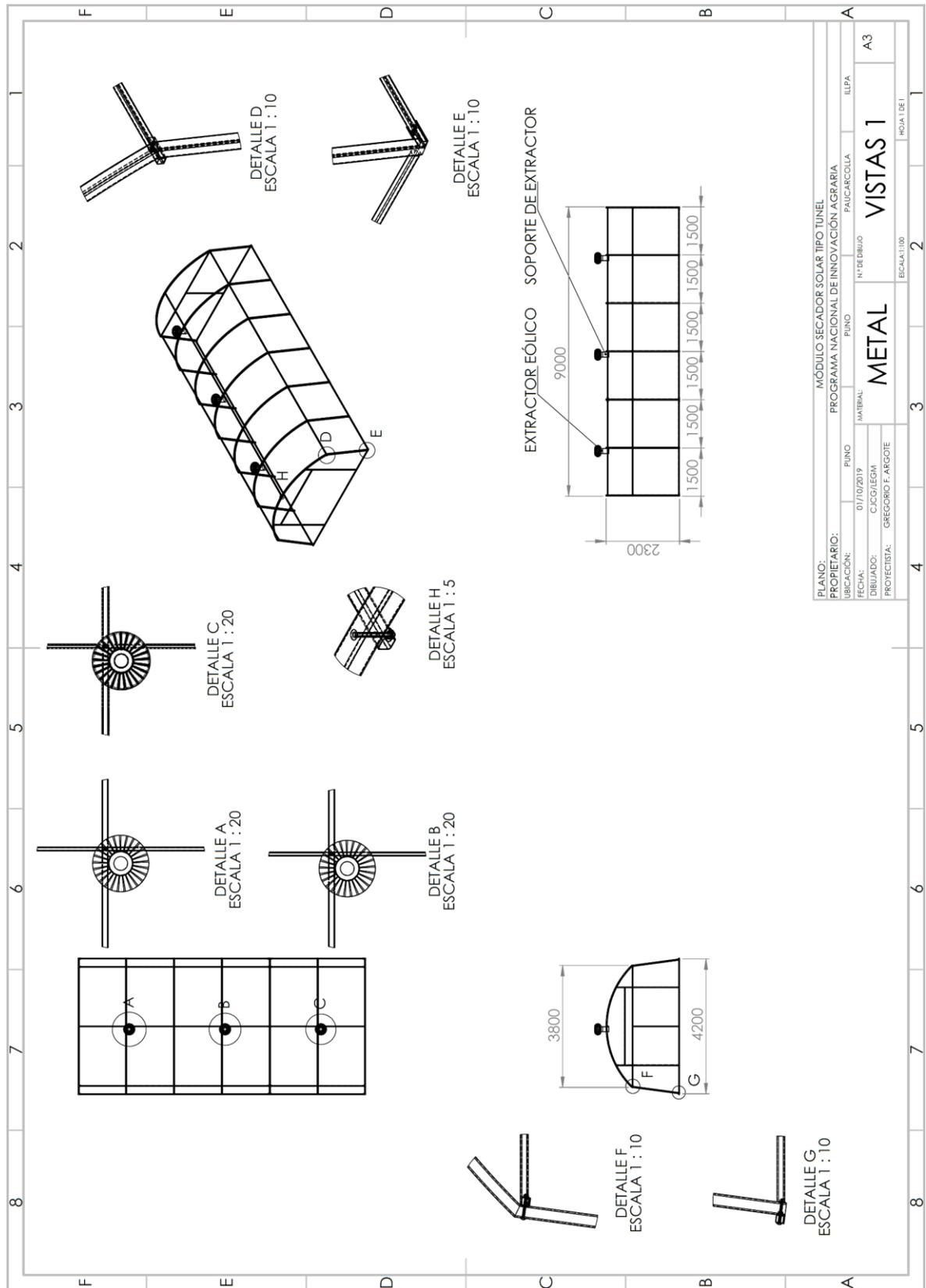




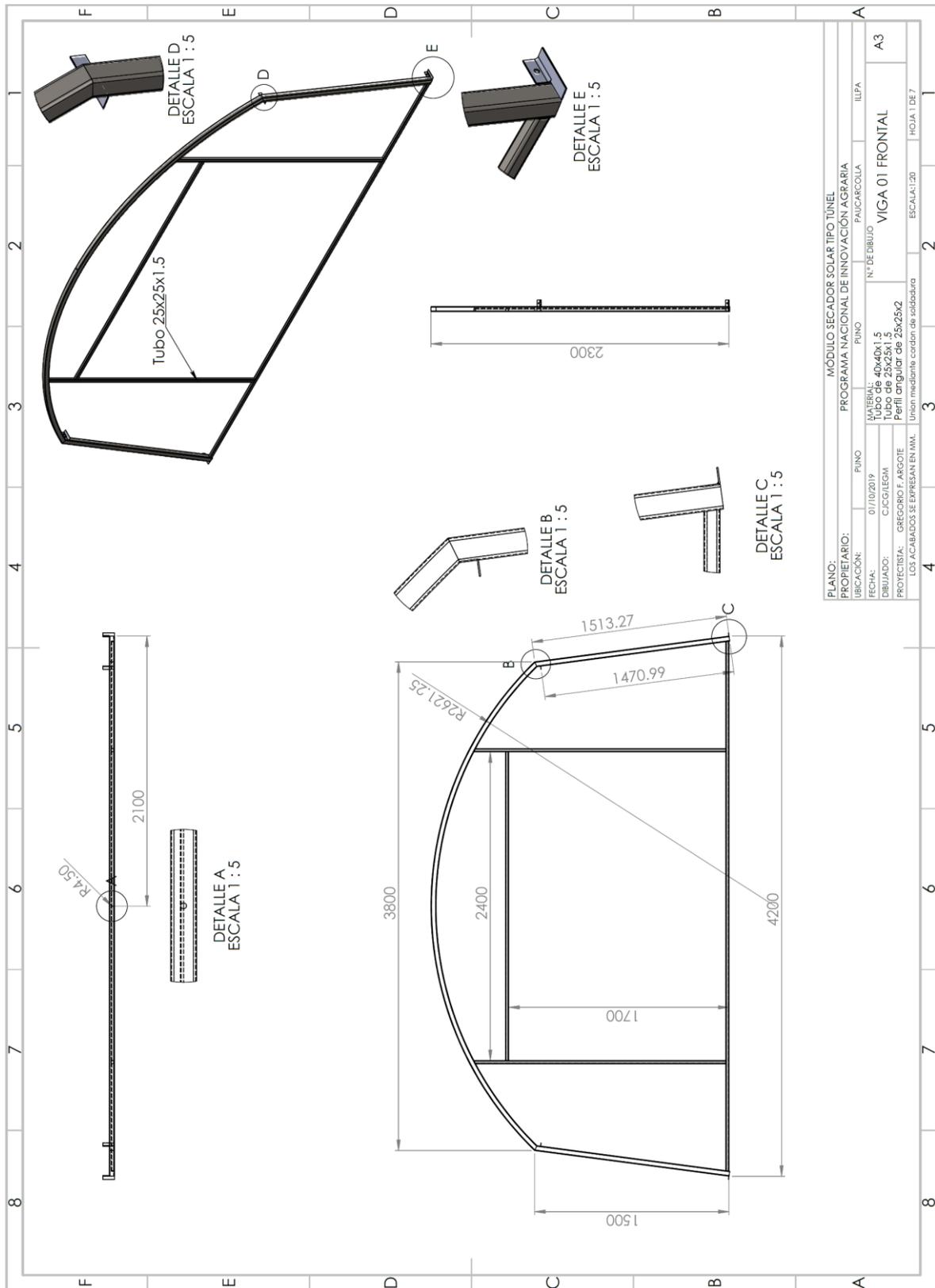


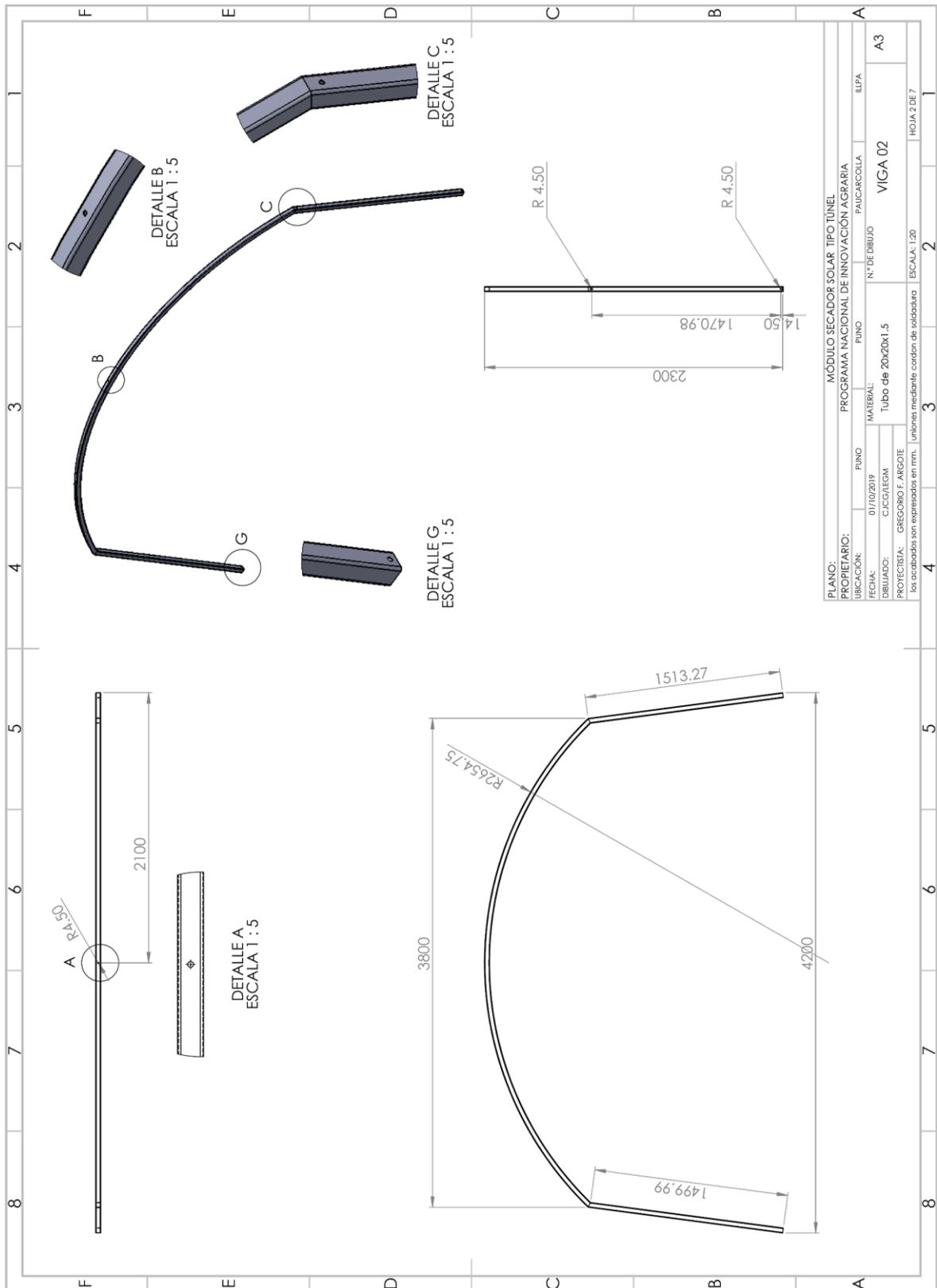


### ANEXO 9: Vista 01-Módulo secador solar tipo túnel.

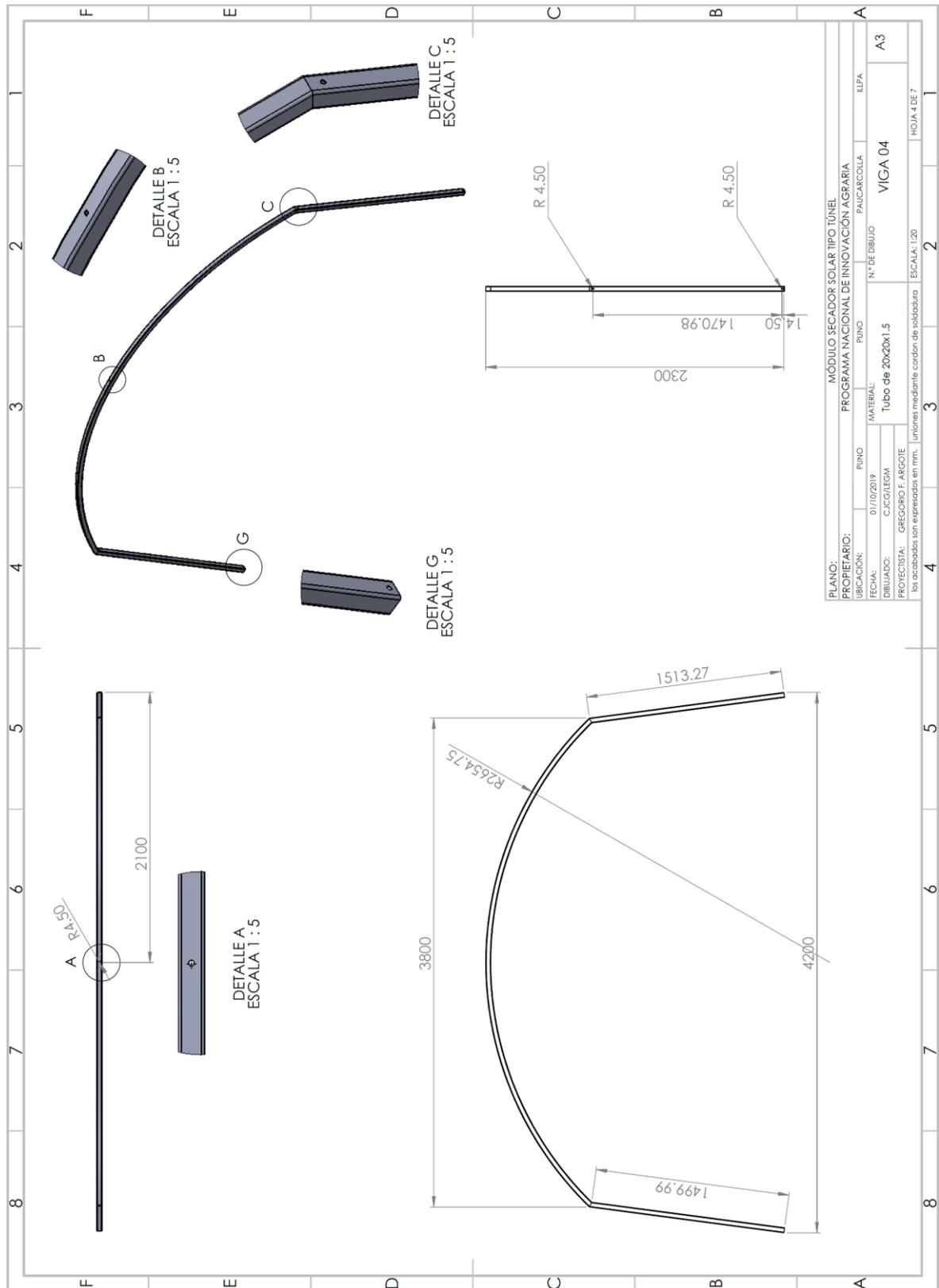


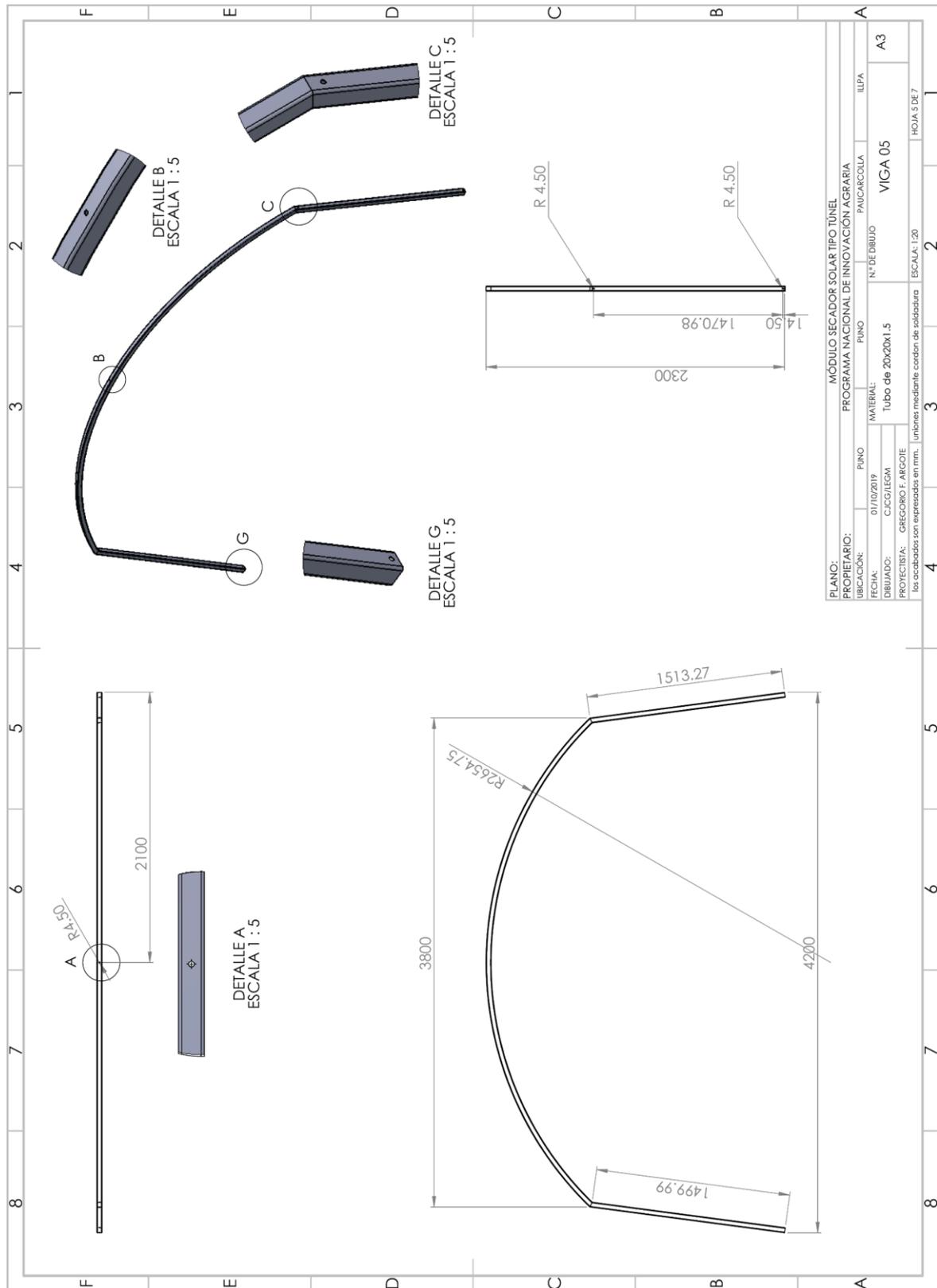
### ANEXO 10: Vigas y detalles- Módulo secador solar tipo túnel.

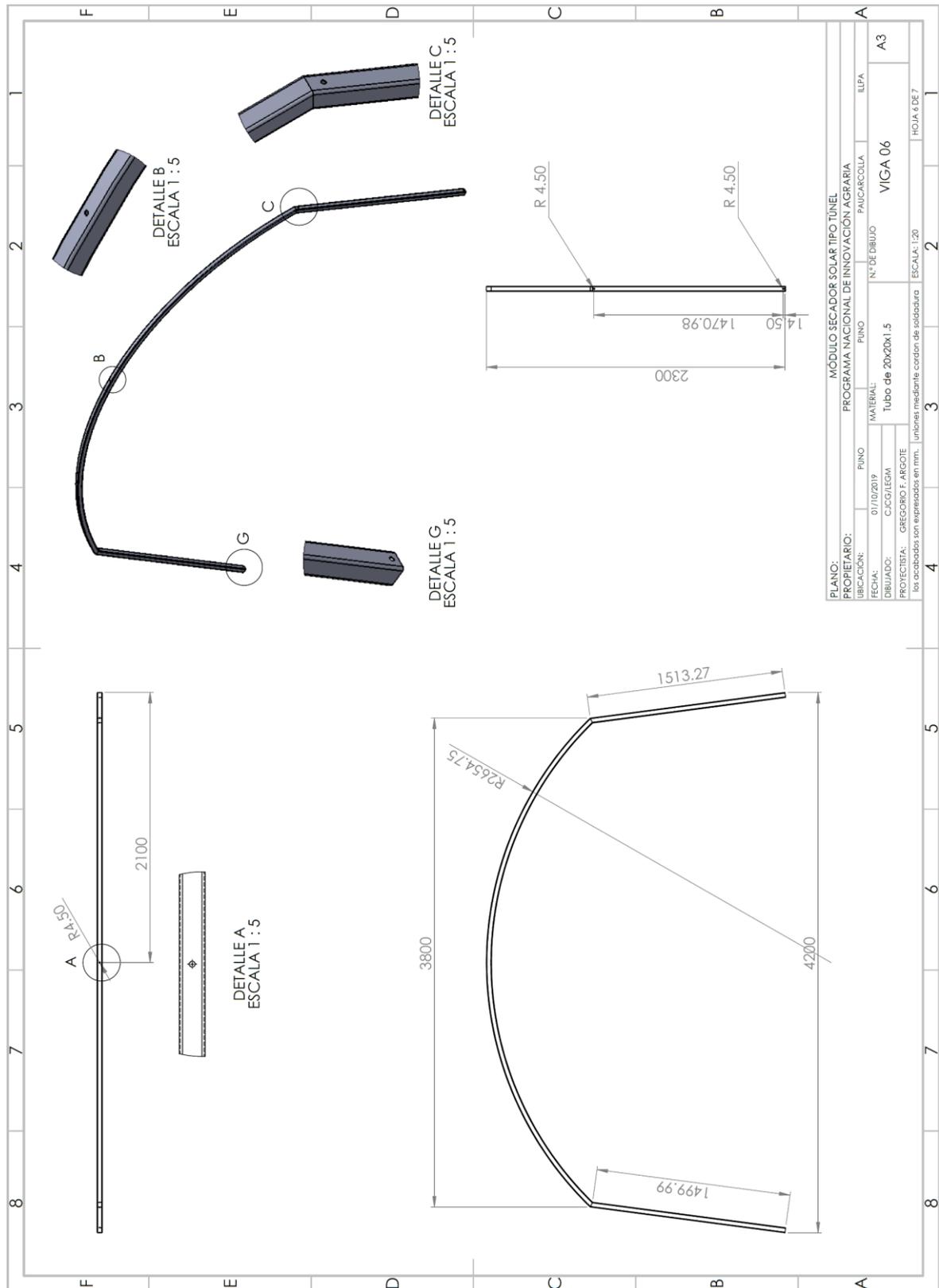


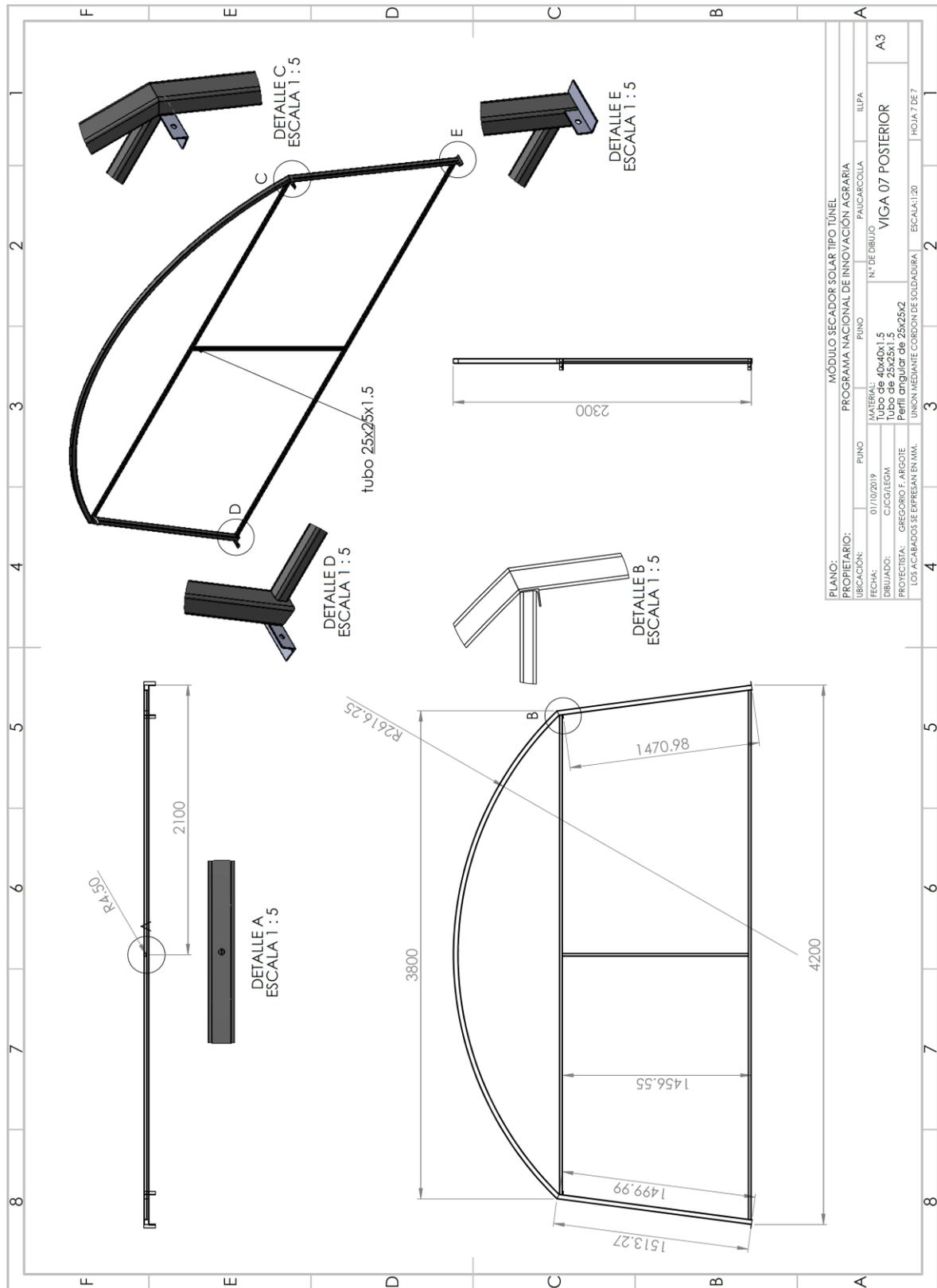






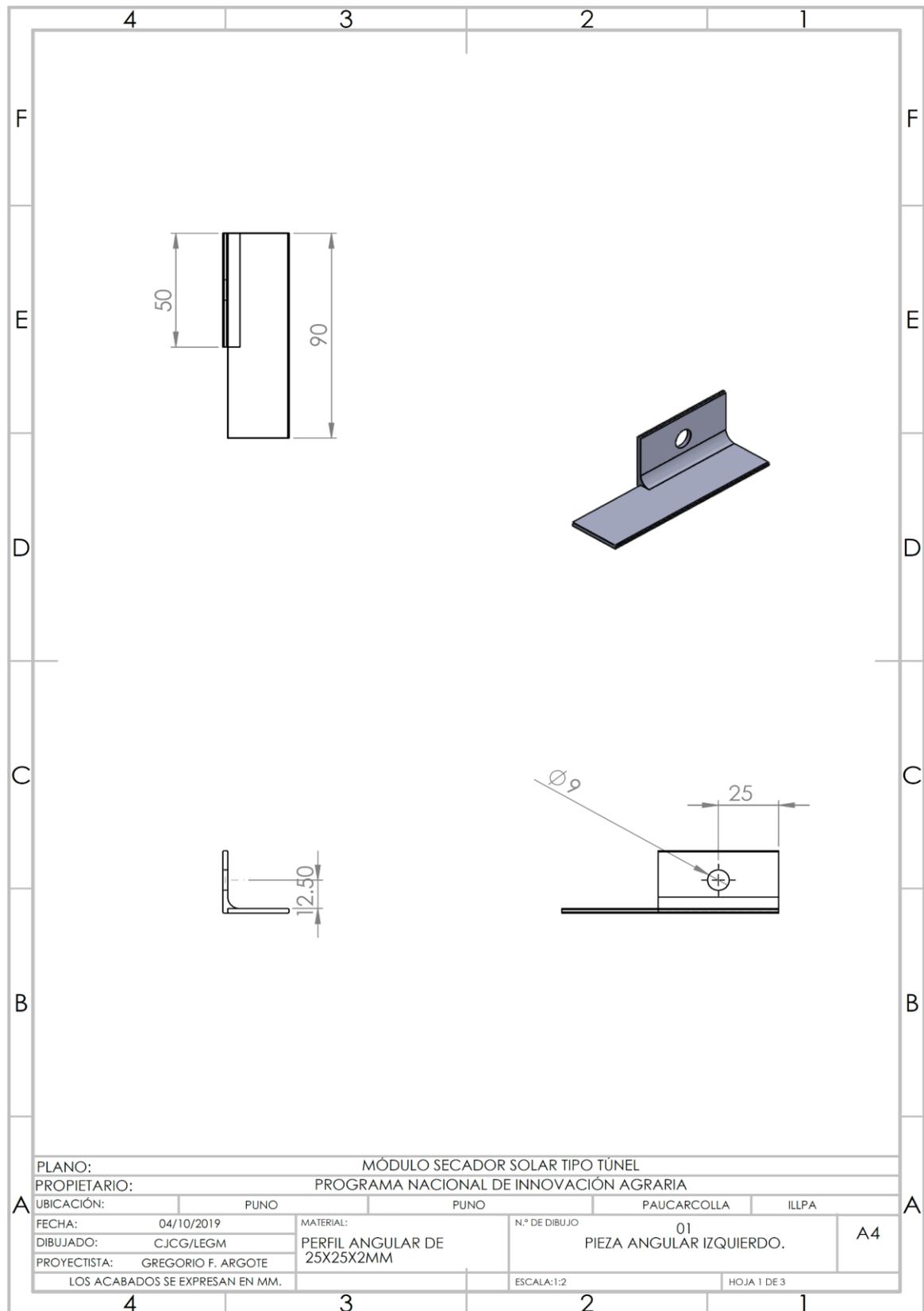


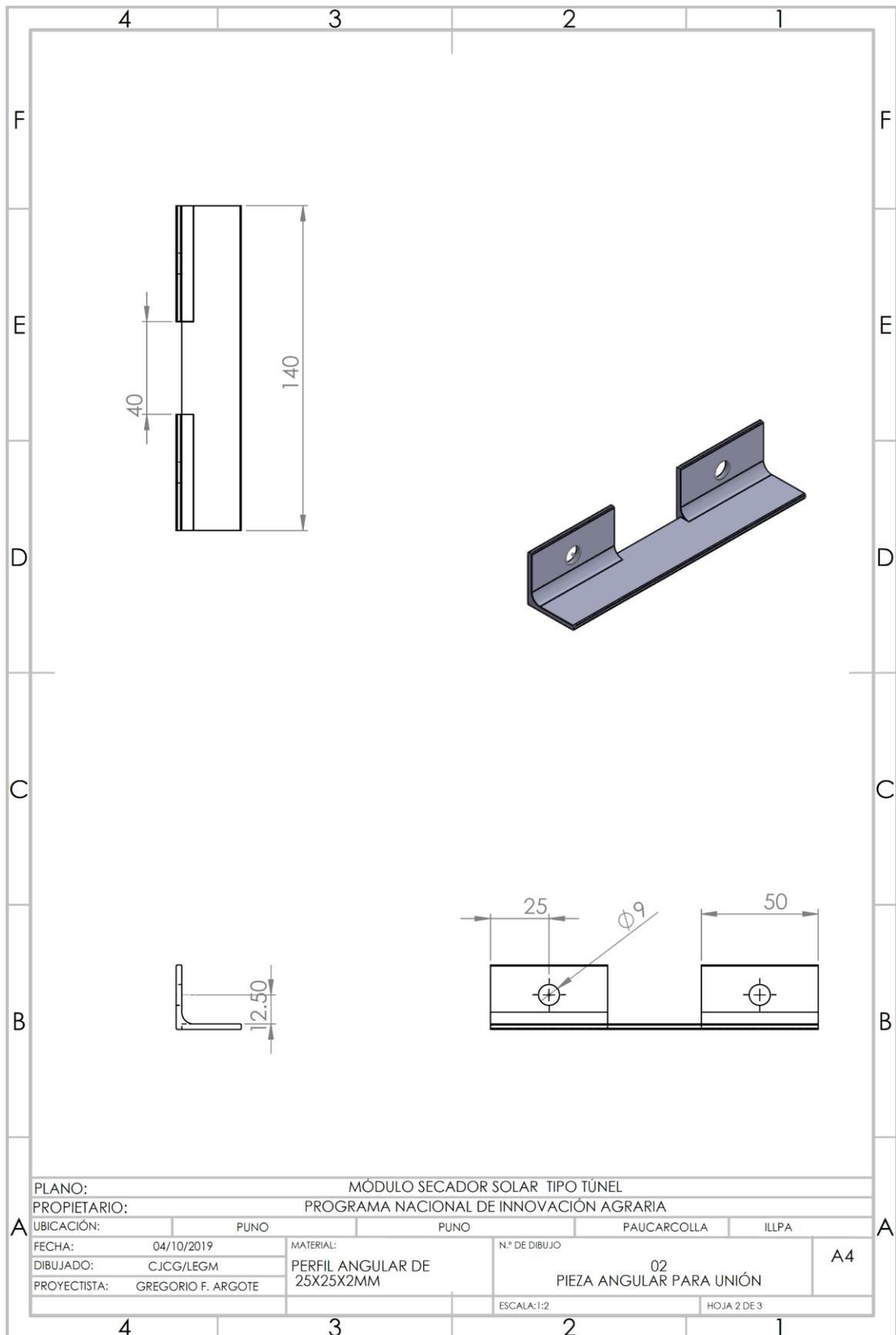


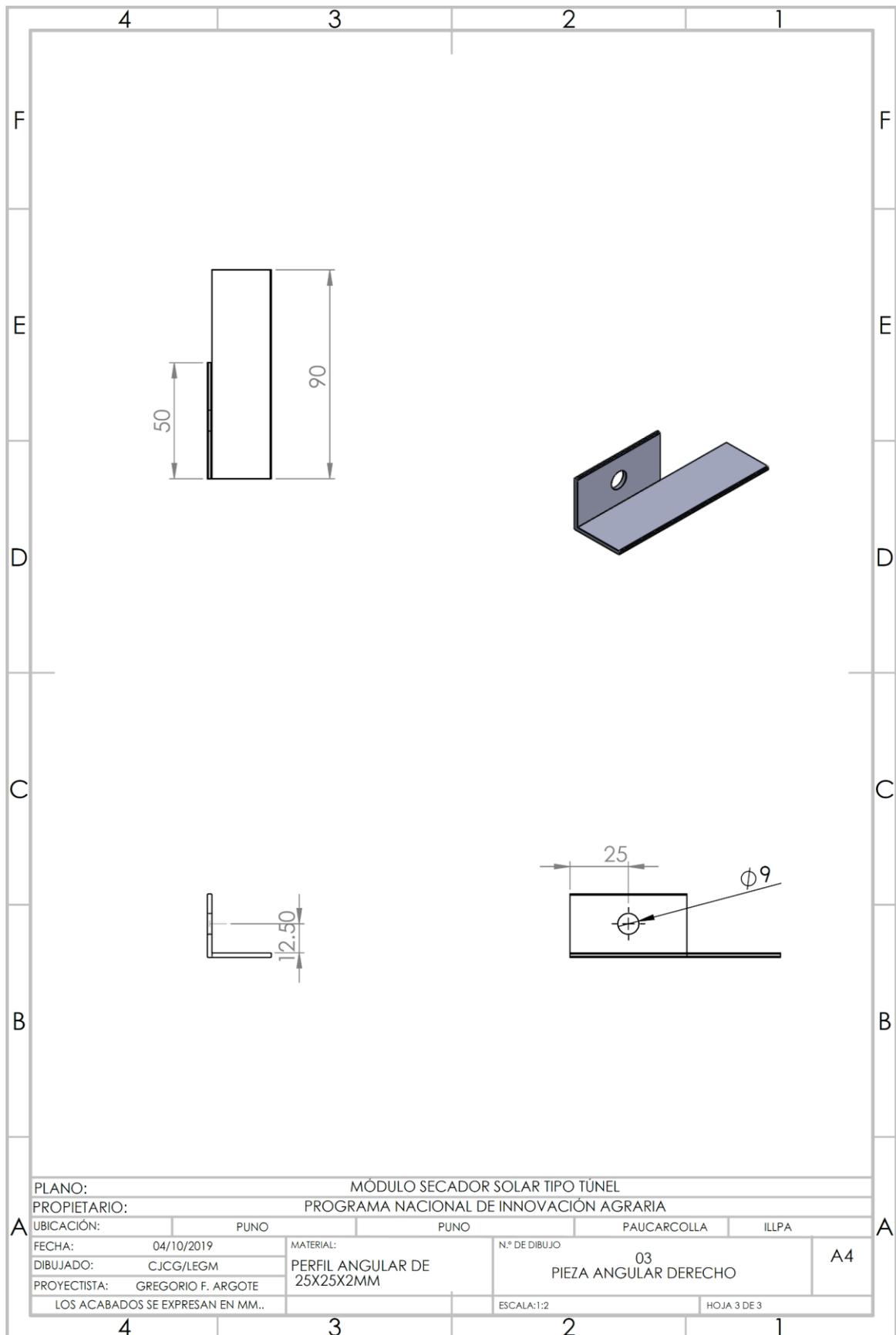


PLANO:	MÓDULO SECADOR SOLAR TIPO TUNEL			
PROPIETARIO:	PROGRAMA NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA	PAUCARCOLA	ILLPA	A3
UBICACIÓN:	FINO	FINO	N.º DE DIBUJO	VICA 07 POSTERIOR
FECHA:	01/10/2019	CICLOLESA	MATERIAL:	Tubo de 40x40x1.5
DIBUJADO:	GREGORIO F. ARGOTE	LOS ACABADOS SE EMPESAN EN MM.		Tubo de 25x25x1.5
PROYECTISTA:	GREGORIO F. ARGOTE	UNION MEDIANTE CORDON DE SOLDADURA	ESCALA: 1:20	Perfil angular de 25x25x2
				HOJA 7 DE 7

### ANEXO 11: Piezas angulares para unión- Módulo secador solar tipo túnel.

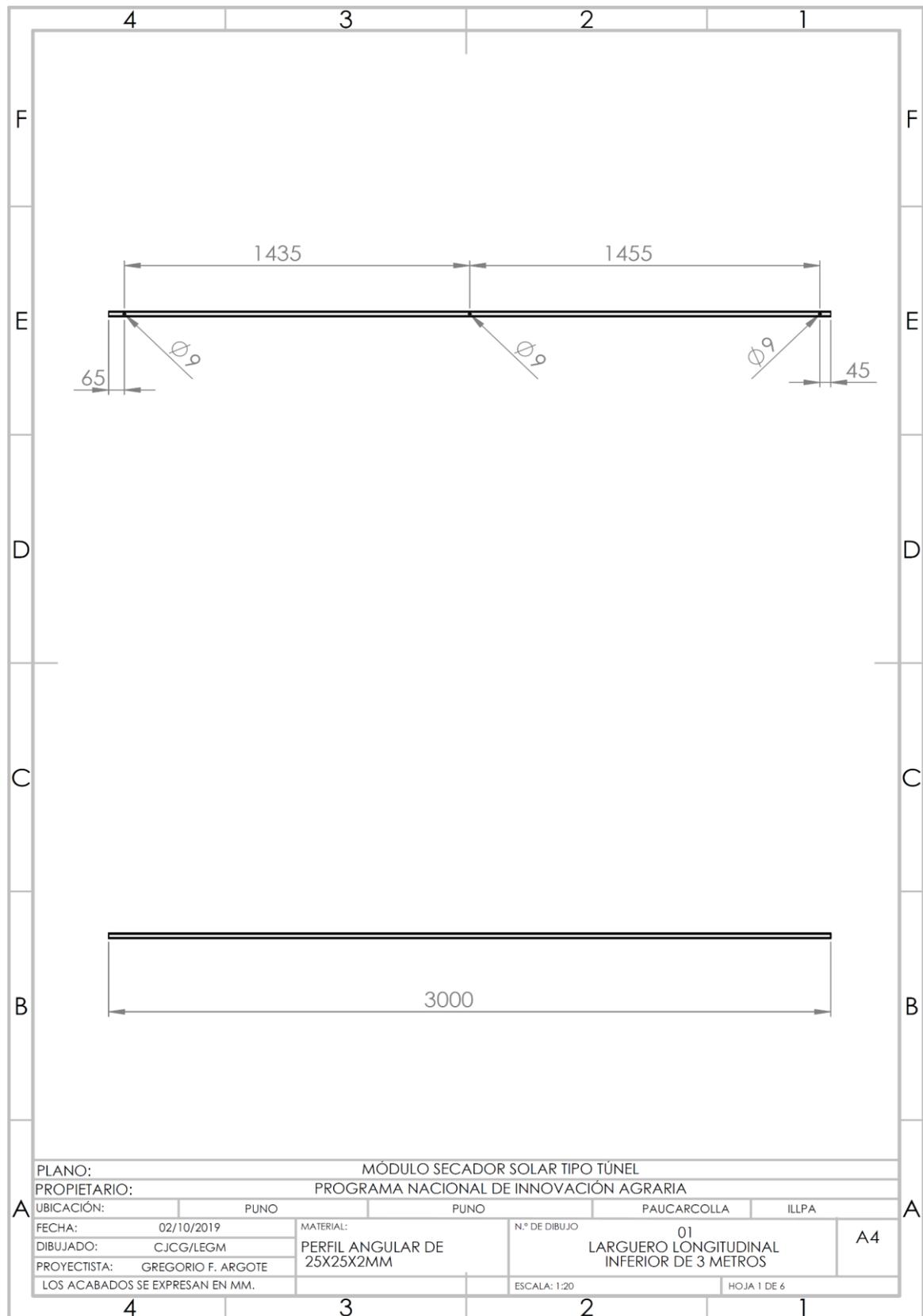


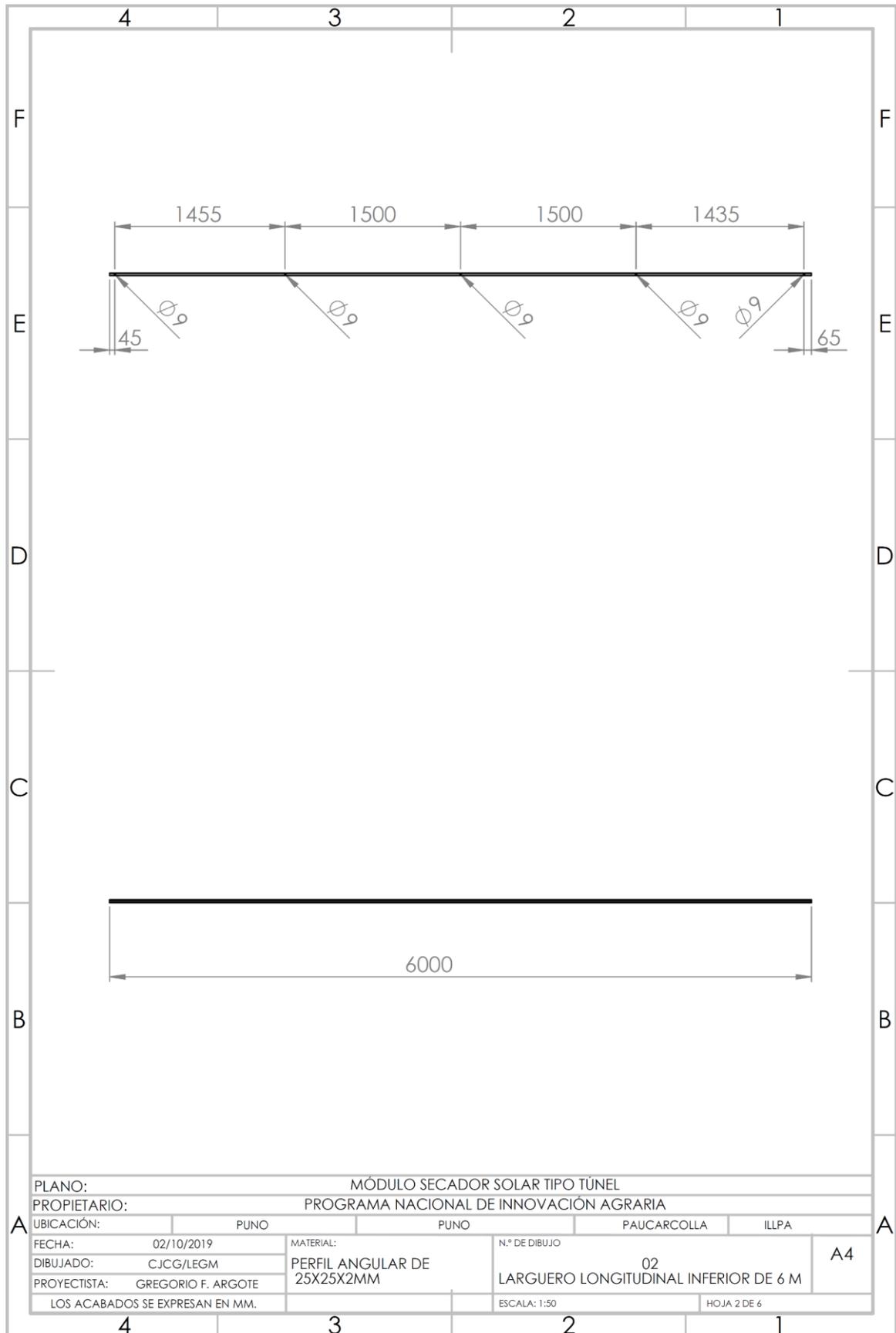


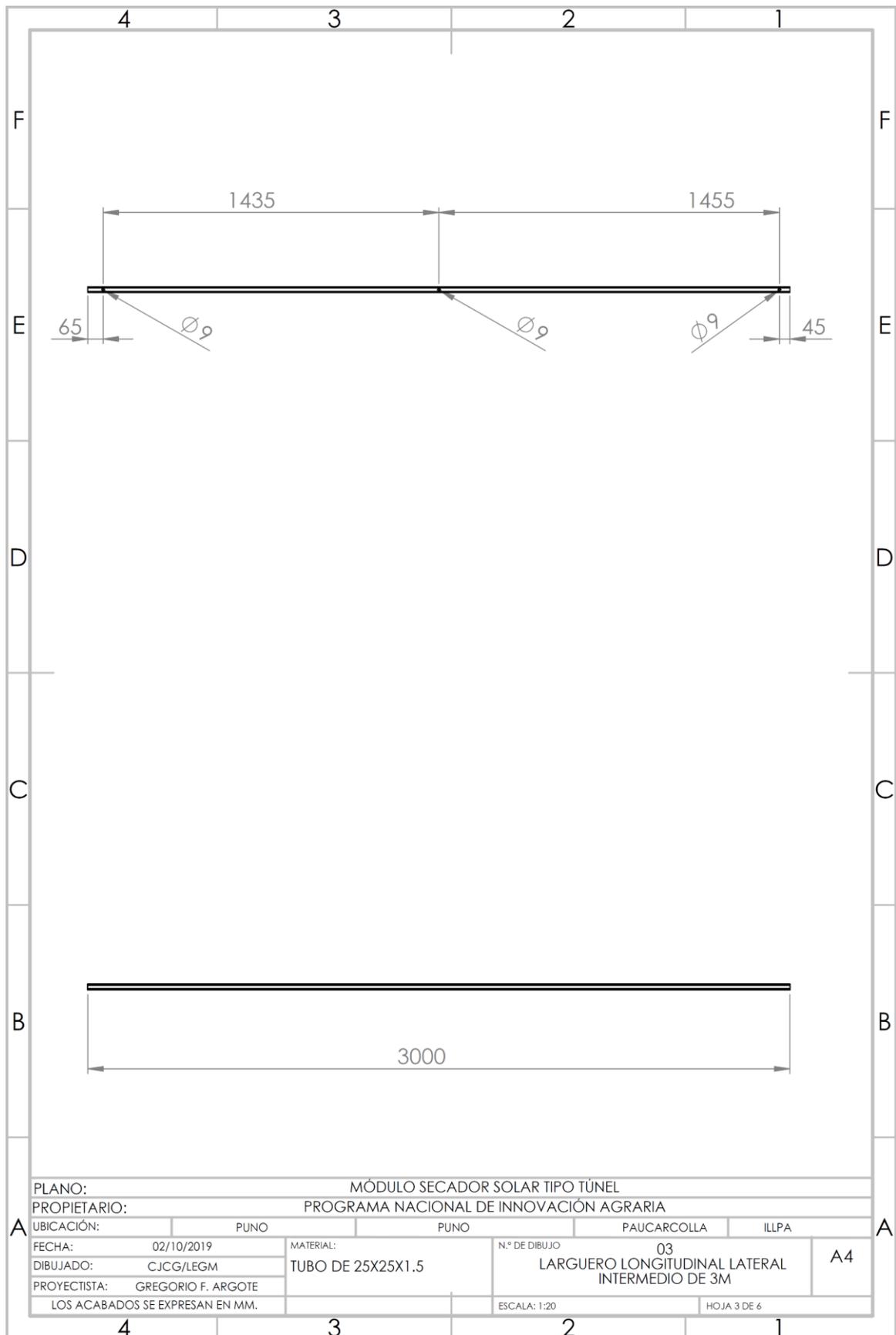


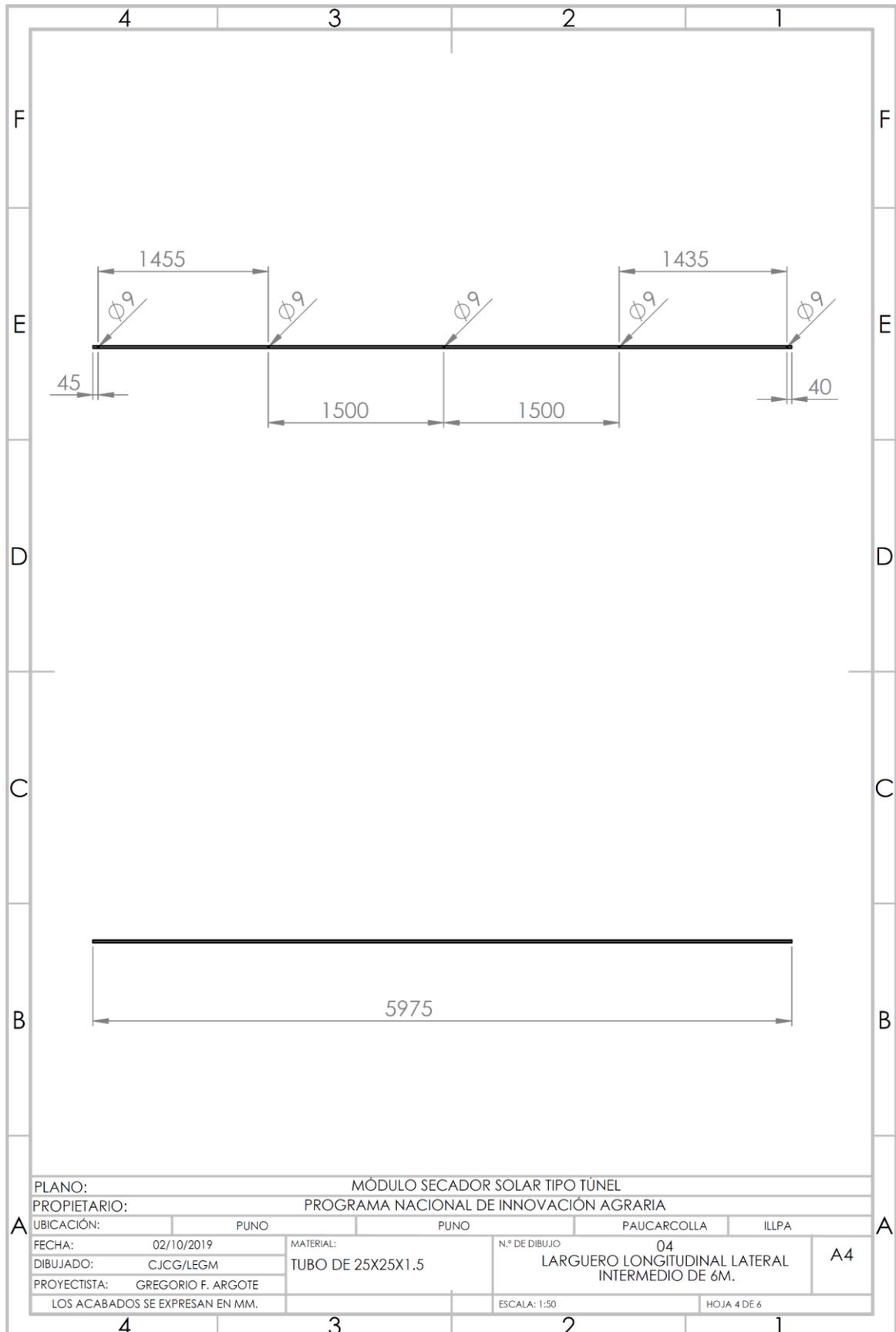


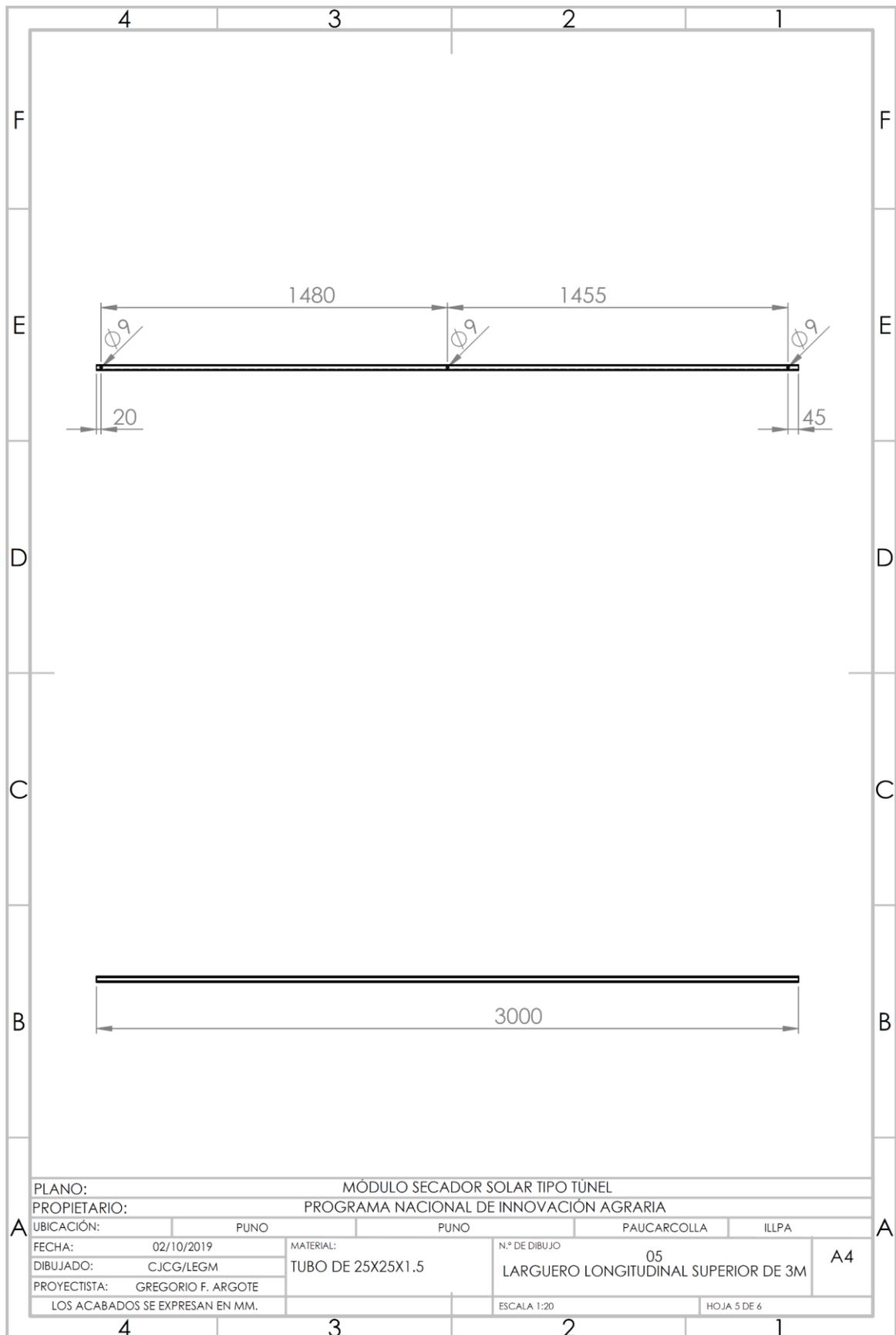
### ANEXO 12: Largueros- Módulo secador solar tipo túnel.

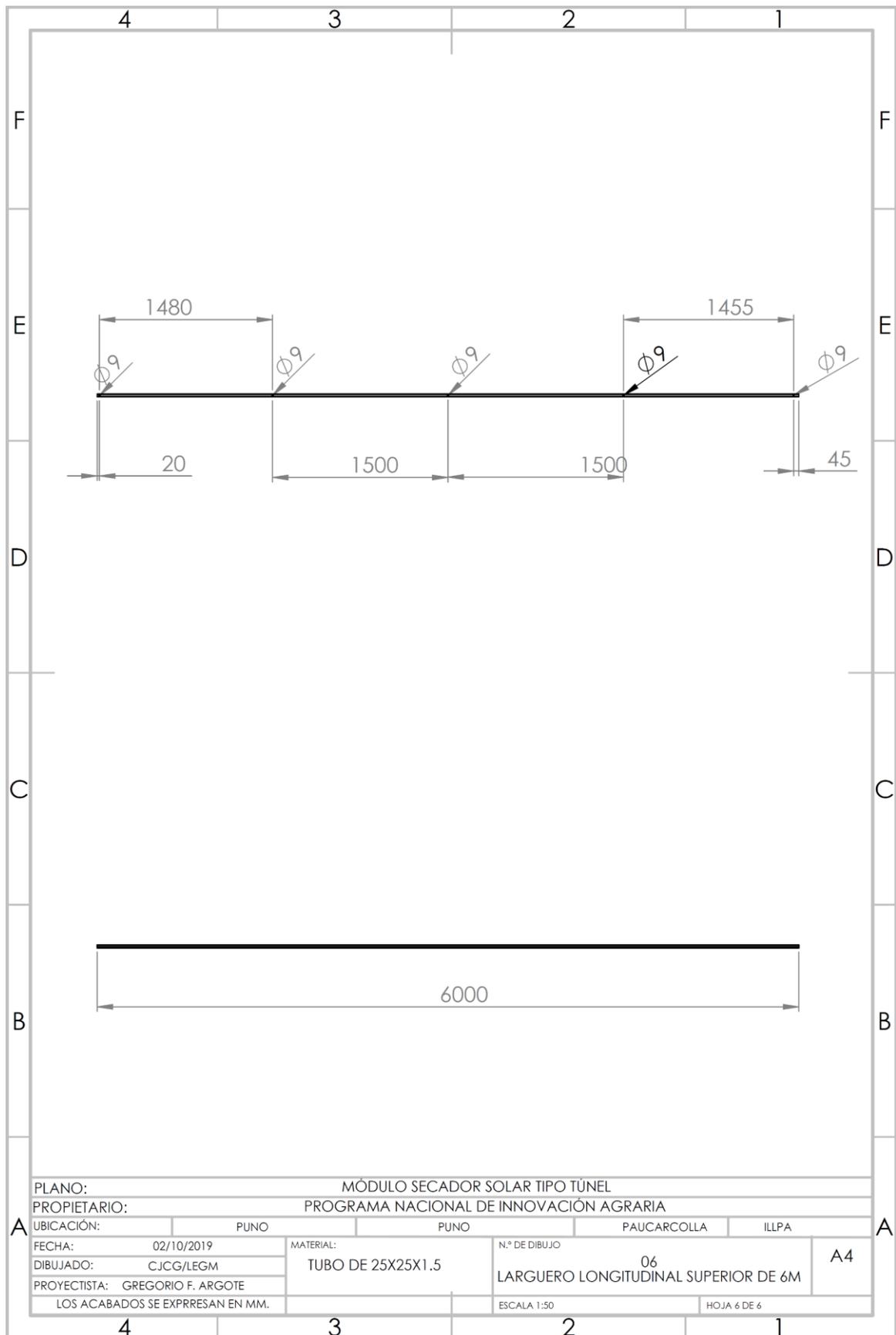




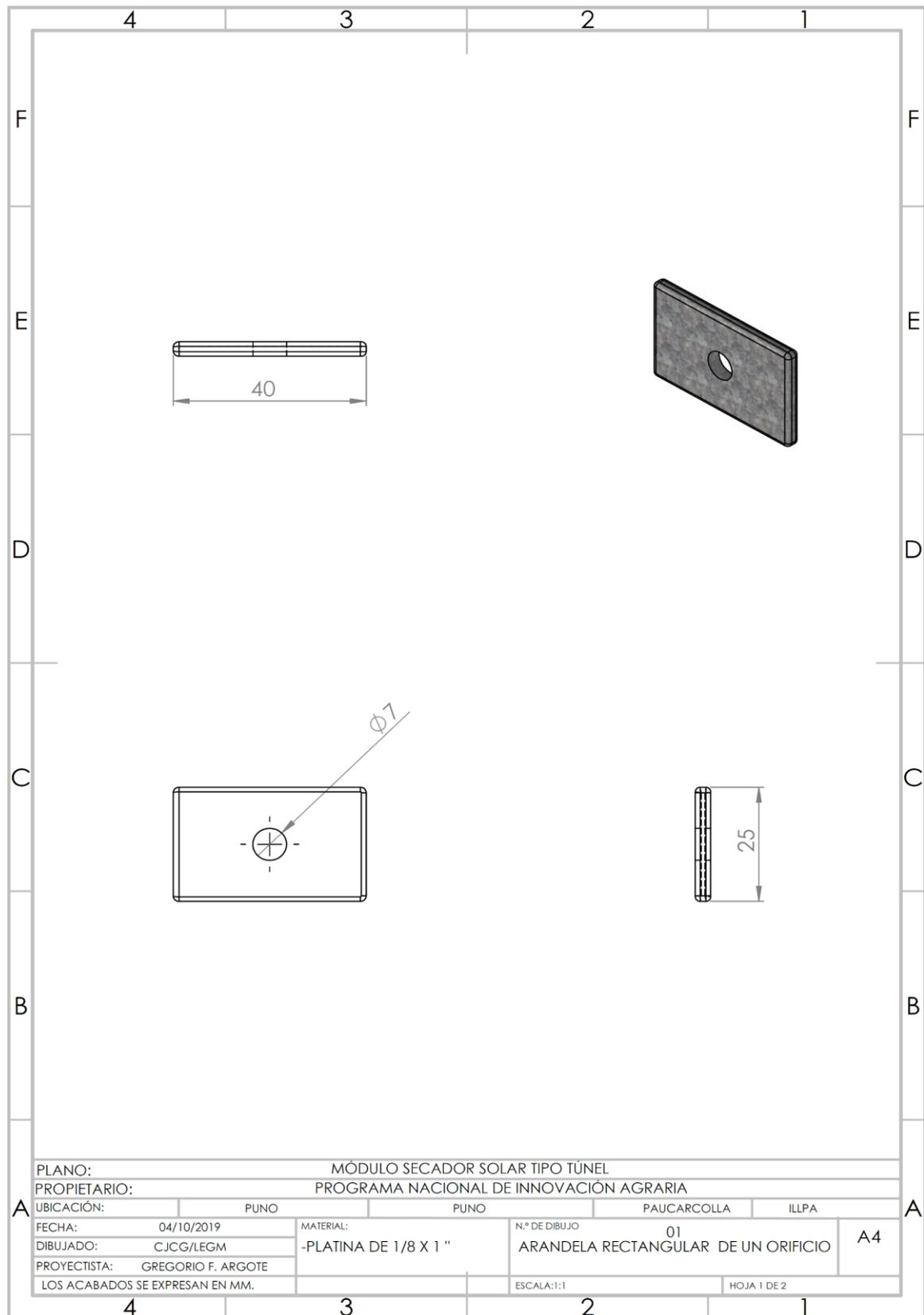


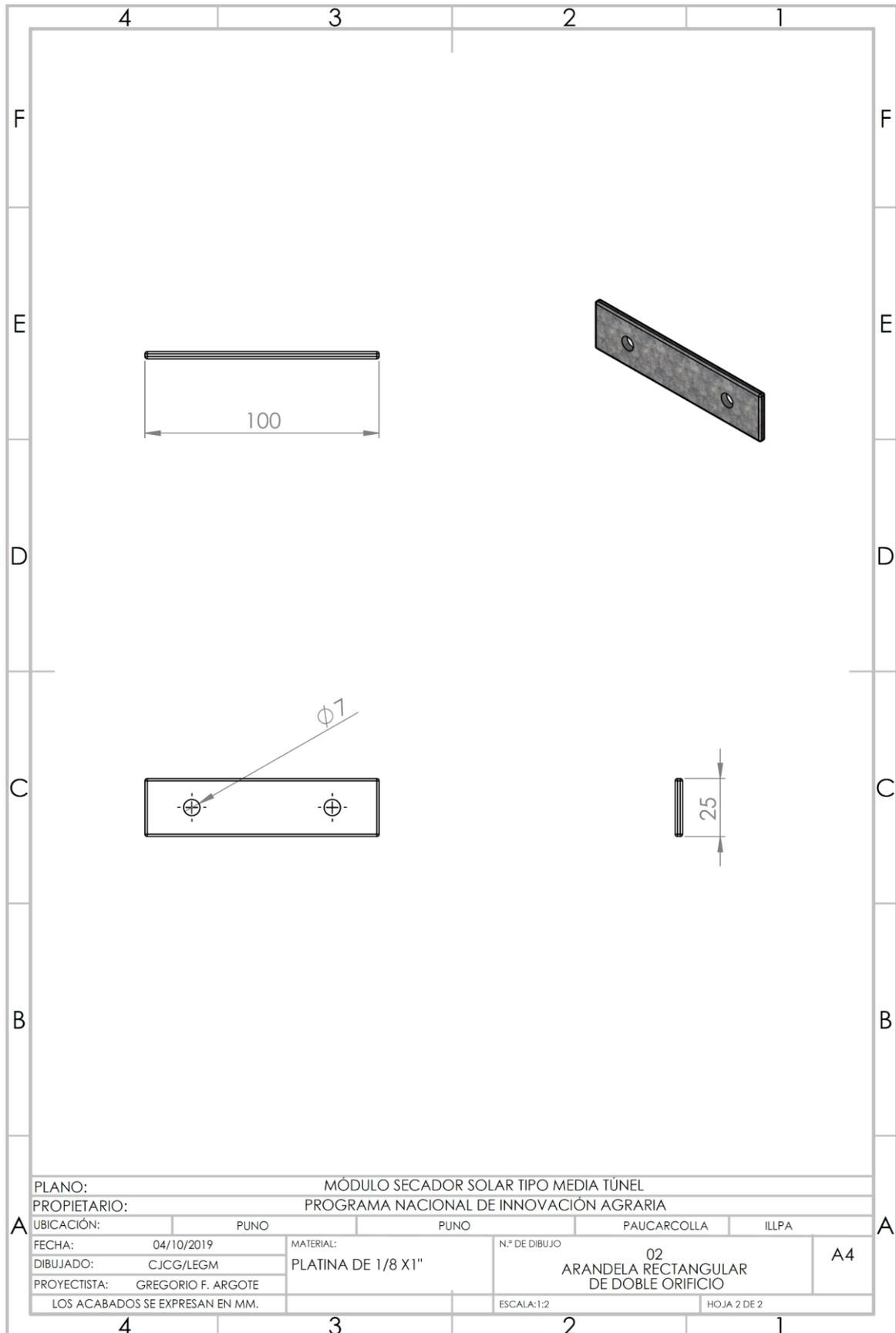






### ANEXO 13: Arandelas- Módulo secador solar tipo túnel.





### ANEXO 14: Sujeción de manta agrofilm- Módulo secador solar tipo túnel.

