



**UNIVERSIDAD UTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO  
DE RIESGOS NATURALES**

**DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA MÁXIMA EN EL  
PROCESO DE COMBUSTIÓN DEL BAGAZO RELACIONADO  
CON EL PORCENTAJE DE HUMEDAD Y PROPUESTA DE UN  
PLAN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN LA PARROQUIA DE  
PACTO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

**DIANA CAROLINA ZÚÑIGA CABRERA**

**DIRECTOR: Fis. Patricio Javier González Campaña MSc.**

**Quito, marzo 2022**

© Universidad UTE. 2022

Reservados todos los derechos de reproducción

# FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

## TRABAJO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1722314786
APELLIDO Y NOMBRES:	ZÚÑIGA CABRERA DIANA CAROLINA
DIRECCIÓN:	Pomasqui
EMAIL:	dianacz124@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	2355224
TELÉFONO MOVIL:	0995876518

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Determinación de la temperatura máxima en el proceso de combustión del bagazo relacionado con el porcentaje de humedad y propuesta de un plan de producción más limpia en la parroquia de Pacto
AUTOR O AUTORES:	Diana Carolina Zúñiga Cabrera
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	10/03/2022
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Fis. Patricio Javier González Campaña MSc.
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El objetivo general del presente proyecto técnico fue determinar la temperatura máxima en el proceso de combustión relacionado con el porcentaje de humedad del bagazo de caña de azúcar (BCA) y proponer un plan de producción más limpia, para alcanzar este objetivo primero se midió la temperatura en dos hornos en Ingapi con una

metodología interna, con el termómetro datalogger UT321 y la termocupla tipo k modelo KHXL de la marca Omega, con los que se registró una temperatura máxima de 969,8°C (humedad del 21,47%) en la panelera 1 y de 1021°C (humedad del 34,11%) en la panelera 2. Luego, se tomaron muestras de BCA (combustible) de diferentes días de secado (con las cuales se realizaron las mediciones de temperatura in situ), en las que se determinó la humedad con el método AOAC 925.10 (AOAC Internacional, 2019), para la panelera 1 a los 14 días de secado 42,53%, 21 días 36,24% y 49 días 21,47%; en el caso de la panelera 2 con un tiempo de secado de 14 días se obtuvo una humedad del 34,11%. Se relacionaron los resultados de la humedad con las temperaturas máximas alcanzadas y las distancias medidas desde la boca del horno hasta la ubicación de la termocupla utilizando gráficos de dispersión (X, Y), se encontró que a distancias entre 1,90 y 2,07 [m] las temperaturas son más altas al igual que con un menor porcentaje de humedad. Para la propuesta de un plan de producción más limpia se analizaron los puntos críticos en el proceso de producción de panela granulada y se encontró que las actividades que generan mayor consumo de energía son la molienda, descachazado y cocción de los jugos de caña. Por último, utilizando las herramientas de PML, se plantearon varias alternativas de baja inversión para el sector panelero en Pacto.

**PALABRAS CLAVES:**

Cámara de combustión, termocupla, panela granulada, ecomapa, ecobalance.

**ABSTRACT:**

The main objective of this technical project was to determine the maximum temperature in the combustion process related to the percentage of humidity of sugarcane bagasse and to propose a cleaner production plan. To achieve this objective the temperature was measured in two furnaces at Ingapi with an internal methodology through a data logger UT321 thermometer and the K-type thermocouple, model Omega KHXL. In panela factory 1, was recorded a maximum temperature of 969,8°C (21,47% humidity) and in panela factory 2 was recorded 1021°C (34,11% humidity) Then, BCA samples were taken from different days of drying (temperature measurements were taken in situ) in which the moisture was determined with the AOAC 925.10 method (AOAC International, 2019) For this process, was obtained at 14 days of drying in panela factory 1 the percentage of 42,53% moisture; and at 49 days in panela factory 2 with a drying time of 14 days obtained a 34,11% moisture. The humidity results were related to the maximum temperatures reached and the distances measured from the mouth of the kiln to the location of the thermocouple using scatter graphs (X, Y) it was found that at distances between 1,90 and 2,07 [m] the temperatures are higher with a lower percentage of humidity. To determinate a proposal of a cleaner production plan, the critical points in

**KEYWORDS**

the granulated panela production process were analyzed and it was discovered that the activities that generate the highest energy consumption are the milling, dehulling and cooking of the sugarcane juice. Finally, using the LMP tools, several low investments alternatives were proposed for the sugarcane sector in Pacto.

Combustion chamber, thermocouple, granulated bread, ecomap, ecobalance.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: \_\_\_\_\_



ZÚÑIGA CABRERA DIANA CAROLINA

1722314786

## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **ZÚÑIGA CABRERA DIANA CAROLINA**, CI 1722314786 autora del trabajo de titulación: **Determinación de la temperatura máxima en el proceso de combustión del bagazo relacionado con el porcentaje de humedad y propuesta de un plan de producción más limpia en la parroquia de Pacto**. Previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación de grado para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de titulación de grado con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 10 de marzo del 2022

f:   
\_\_\_\_\_  
**ZÚÑIGA CABRERA DIANA CAROLINA**  
1722314786

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor de tesis de grado, certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Determinación de la temperatura máxima en el proceso de combustión del bagazo relacionado con el porcentaje de humedad y propuesta de un plan de producción más limpia en la parroquia de Pacto**” para aspirar al título de **Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales** fue desarrollado por **Diana Carolina Zúñiga Cabrera**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y que dicho trabajo cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Jurado examinador que se designe.



---

Fis. Patricio Javier González Campaña MSc

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I. 1712951894

## DECLARACION JURAMENTADA DEL AUTOR

Yo, Diana Carolina Zúñiga Cabrera, portadora de la cédula de identidad N°1722314786, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en ese documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

f: \_\_\_\_\_



ZÚÑIGA CABRERA DIANA CAROLINA

1722314786

## DEDICATORIA

A mi madre, padre y mi hermano Pedrito por ser quienes han compartido cada minuto de esta etapa educativa conmigo y han sido mi soporte y alegría siempre.

A mis hermanos Santiago y Alejandra que han estado apoyándome en todo momento.

A mis cuatro hermosos sobrinos que llenan de magia y amor cada día de mi vida.

A todas las personas que tienen miedo de intentarlo, para que nunca se rindan. Vale la pena todo esfuerzo por cumplir nuestros mayores anhelos, nunca es tarde para hacerlos realidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ponerme en el lugar y momento correctos para iniciar esta carrera que la culmino con éxito luego de poner de mi parte mucho amor y perseverancia.

A mi amada familia y amigos por su apoyo, su compañía y su paciencia.

A mi director de tesis por compartirme sabiduría y aconsejarme como docente, profesional y ser humano.

A las familias Anrango y Lligüisupa por permitirme entrar en sus hogares y compartir sus valiosos conocimientos y experiencia conmigo.

A mis queridos docentes que han sido un pilar importante en mi vida como estudiante y ahora como profesional.

A todas las personas que me han acompañado durante estos meses y han apoyado mi carrera dándome ánimo y buenos consejos, jamás los olvidaré. Gracias.

Gracias a los lectores por su tiempo, espero que mi trabajo sea de utilidad para quienes lo necesitan. Me sentiré muy honrada si mi trabajo contribuye de algún modo a los señores paneleros que son ejemplo de trabajo duro y tenacidad.

“No conozco un valor mayor que el necesario para mirar dentro de uno mismo”

Osho

“La lógica te lleva de la A a la Z; la imaginación te lleva a todas partes”

Albert Einstein

“Los ideales que iluminan mi camino y una y otra vez me han dado coraje para enfrentar la vida con alegría han sido la amabilidad, la belleza y la verdad”

Albert Einstein

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	8
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	8
2.1.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	8
2.1.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	8
2.2. DETERMINAR LA TEMPERATURA MÁXIMA EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LOS HORNO PANELEROS EN LA PARROQUIA DE PACTO .....	9
2.2.1. EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA .....	9
2.2.2. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DENTRO DE UN HORNO PANELERO .....	10
2.2.3. RECOPIACIÓN DE DATOS.....	12
2.2.4. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	12
2.2.5. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	13
2.3. DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DEL BAGAZO EN LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DE COMBUSTIÓN.....	13
2.3.1. PLAN DE MUESTREO PARA LA HUMEDAD .....	13
2.3.2. MUESTREO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	14
2.3.3. PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	14
2.3.4. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN LAS MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	14
2.3.5. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LA TEMPERATURA DE COMBUSTIÓN.....	16
2.4. DETERMINACIÓN DE LOS GRADOS BRUX EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	17

2.5.	DETERMINACIÓN DEL PH EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR	18
2.6.	DETERMINACIÓN DEL PUNTO PARA LA PANELA GRANULADA..	18
2.7.	IDENTIFICAR LAS ACTIVIDADES QUE GENERAN EL USO INADECUADO DE ENERGÍA Y OPORTUNIDADES DE MEJORA PARA LAS PANELERAS EN PACTO UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.....	19
2.7.1.	REVISIÓN INICIAL AMBIENTAL EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA.....	19
2.7.2.	ECOMAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA.....	20
2.7.2.1.	Ecomapa de agua.....	21
2.7.2.2.	Ecomapa de energía .....	21
2.7.2.3.	Ecomapa de residuos .....	22
2.7.3.	ECOBALANCE DE LA PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA.....	23
2.7.4.	PROPUESTA DE UN PLAN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA	23
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>24</b>
3.1.	RESULTADOS DE LA DESCRIPCIÓN GENERAL .....	24
3.1.1.	RESULTADOS DE LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN ..	24
3.2.	DEFINIR LA TEMPERATURA MÁXIMA EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS PANELEROS EN LA PARROQUIA DE PACTO .....	25
3.2.1.	RESULTADOS DE LA RECOPIACIÓN DE DATOS .....	25
3.2.2.	RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE DATOS .....	26
3.2.2.1.	Resultados del preprocesamiento de datos.....	26
3.2.2.2.	RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE DATOS.....	27
3.2.3.	RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS .....	42
3.3.	DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DEL BAGAZO EN LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DE COMBUSTIÓN.....	46
3.3.1.	RESULTADOS DEL MUESTREO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	46
3.3.2.	RESULTADOS DEL PRETRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	48
3.3.3.	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN LAS MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR .....	48

3.3.4. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LA TEMPERATURA DE COMBUSTIÓN .....	52
3.4. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LOS GRADOS BRUX EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	59
3.5. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL PH EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	59
3.6. RESULTADOS DEL PUNTEO EN LA PANELA GRANULADA .....	60
3.7. IDENTIFICAR LAS ACTIVIDADES QUE GENERAN EL USO INADECUADO DE ENERGÍA Y OPORTUNIDADES DE MEJORA PARA LAS PANELERAS EN PACTO UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.....	61
3.7.1. RESULTADOS DE LA REVISIÓN INICIAL AMBIENTAL EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA.....	61
3.7.2. RESULTADOS DE LA ELABORACIÓN DE ECOMAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA.....	63
3.7.2.1. Ecomapa del agua.....	64
3.7.2.2. Ecomapa de energía .....	65
3.7.2.3. Ecomapa de residuos .....	67
3.7.3. RESULTADOS DEL ECOBALANCE EN LA PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA.....	68
3.7.4. RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE UN PLAN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA .....	70
3.8. DISCUSIÓN.....	72
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
4.1. CONCLUSIONES .....	74
4.2. RECOMENDACIONES.....	75
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>81</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1.</b> Paneleras seleccionadas para el proyecto .....	8
<b>Tabla 2.</b> Datos generales del área de estudio .....	9
<b>Tabla 3.</b> Coordenadas Geográficas de las paneleras estudiadas. ....	9
<b>Tabla 4.</b> Tabla para filtrar la información relevante de cada parada.....	13
<b>Tabla 5.</b> Significancia de los impactos ambientales. ....	21
<b>Tabla 6.</b> Simbología utilizada en el ecomapa del agua .....	21
<b>Tabla 7.</b> Simbología utilizada en el ecomapa de energía .....	22
<b>Tabla 8.</b> Simbología utilizada en el ecomapa de residuos.....	22
<b>Tabla 9.</b> Respuestas de la encuesta realizada en las paneleras.....	24
<b>Tabla 10.</b> Datos obtenidos de la recopilación de datos con el software UT320 V3.01.Ink.....	26
<b>Tabla 11.</b> Ejemplo de tabla obtenida en la primera parte del preprocesamiento de datos .....	27
<b>Tabla 12.</b> Ejemplo del resultado obtenido del preprocesamiento de datos. ....	27
<b>Tabla 13.</b> Datos relevantes de la medición 1 figura 5.....	28
<b>Tabla 14.</b> Datos relevantes de la medición 2 figura 6.....	29
<b>Tabla 15.</b> Datos relevantes de la medición 3 figura 7.....	29
<b>Tabla 16.</b> Datos relevantes de la medición 4 figura 8.....	30
<b>Tabla 17.</b> Datos relevantes de la medición 5 figura 9.....	30
<b>Tabla 18.</b> Datos relevantes de la medición 6 figura 10.....	31
<b>Tabla 19.</b> Datos relevantes de la medición 7 figura 11.....	31
<b>Tabla 20.</b> Datos relevantes de la medición 8 figura 12.....	32
<b>Tabla 21.</b> Datos relevantes de la medición 9 figura 13.....	32
<b>Tabla 22.</b> Datos relevantes de la medición 10 figura 14.....	33
<b>Tabla 23.</b> Datos relevantes de la medición 11 figura 15.....	33
<b>Tabla 24.</b> Datos relevantes de la medición 12 figura 16.....	34
<b>Tabla 25.</b> Datos relevantes de la medición 13 figura 17.....	34
<b>Tabla 26.</b> Datos relevantes de la medición 14 figura 18.....	35
<b>Tabla 27.</b> Datos relevantes de la medición 15 figura 19.....	36
<b>Tabla 28.</b> Datos relevantes de la medición 16 figura 20.....	36
<b>Tabla 29.</b> Datos relevantes de la medición 17 figura 21.....	37

<b>Tabla 30.</b> Datos relevantes de la medición 18 figura 22.....	37
<b>Tabla 31.</b> Datos relevantes de la medición 19 figura 23.....	38
<b>Tabla 32.</b> Datos relevantes de la medición 20 figura 24.....	38
<b>Tabla 33.</b> Datos relevantes de la medición 21 figura 25.....	39
<b>Tabla 34.</b> Datos relevantes de la medición 22 figura 26.....	40
<b>Tabla 35.</b> Tabla general unificada del procesamiento de datos .....	41
<b>Tabla 36.</b> Resumen de las temperaturas máximas alcanzadas en los hornos de combustión de BCA .....	43
<b>Tabla 37.</b> Temperaturas máximas a distancias entre 1,90 y 2,07 [m] .....	44
<b>Tabla 38.</b> Temperaturas máximas a distancias entre 3,04 y 3,38 [m] .....	45
<b>Tabla 39.</b> Temperaturas máximas a distancias entre 5,25 y 5,65 [m] .....	45
<b>Tabla 40.</b> Temperatura teórica de las fases de combustión .....	46
<b>Tabla 41.</b> Capacidad de las fundas de recolección de muestras.....	47
<b>Tabla 42.</b> Muestras recolectadas por panelera .....	47
<b>Tabla 43.</b> Muestras tomadas de acuerdo con tiempo de secado del bagazo de caña de azúcar .....	47
<b>Tabla 44.</b> Resultados de la determinación de la humedad en las muestras de BCA del 1 de octubre en la panelera del Sr. Juan Lligüisupa .....	48
<b>Tabla 45.</b> Resultados de la determinación de la humedad en las muestras de BCA del 16 de octubre del 2021. ....	49
<b>Tabla 46.</b> Resultados de la determinación de la humedad en las muestras de BCA del 27 de noviembre del 2021 Panelera Sr. Vicente Anrango .....	49
<b>Tabla 47.</b> Resultados de la determinación de la humedad en las muestras de BCA del 27 de noviembre del 2021 Panelera Sr. Juan Lligüisupa.....	50
<b>Tabla 48.</b> Porcentaje de humedad de acuerdo con número de días de secado en la panelera del Sr. Vicente Anrango .....	50
<b>Tabla 49.</b> Muestras de humedad utilizadas para las mediciones de temperatura.....	52
<b>Tabla 50.</b> Temperaturas máximas alcanzadas a distancias entre 1,90 y 2,07 [m] relacionadas con la humedad .....	52
<b>Tabla 51.</b> Temperaturas máximas alcanzadas a distancias equivalentes entre 3,04 y 3,38 [m] relacionadas con la humedad .....	53
<b>Tabla 52.</b> Temperaturas máximas alcanzadas a distancias entre 5,25 y 5,65 [m] relacionadas con la humedad .....	54
<b>Tabla 53.</b> Periodos de alimentación del horno.....	55

<b>Tabla 54.</b> Resultado de la determinación de los grados Brix en el jugo de caña de azúcar .....	59
<b>Tabla 55.</b> Resultados de la determinación del pH en el jugo de caña de azúcar .....	59
<b>Tabla 56.</b> Temperaturas del punto de panela granulada .....	60
<b>Tabla 57.</b> Resultados de la encuesta de diagnóstico empresarial.....	62
<b>Tabla 58.</b> Consumo mensual de agua en la fábrica de panela.....	64
<b>Tabla 59.</b> Resumen del consumo y generación de energía en el proceso de producción de panela granulada .....	65
<b>Tabla 60.</b> Consumo mensual de energía eléctrica de la panelera Anrango.	66
<b>Tabla 61.</b> Resumen de los desechos generados en el proceso de producción de panela granulada .....	67
<b>Tabla 62.</b> Puntos críticos en el proceso de producción de panela granulada.. .....	70
<b>Tabla 63.</b> Matriz de alternativas para la producción más limpia en la panelera Anrango .....	71

# ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1.</b> Termocupla tipo K modelo KHXL marca Omega .....	10
<b>Figura 2.</b> Vista desde el exterior de la ubicación de la termocupla en el horno y equipos de medición de temperatura .....	11
<b>Figura 3.</b> Vista de la ubicación de la termocupla desde el interior del horno	12
<b>Figura 4.</b> Partes del refractómetro.....	17
<b>Figura 5.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la boca del horno.....	28
<b>Figura 6.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 2.....	28
<b>Figura 7.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 3.....	29
<b>Figura 8.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 1.....	29
<b>Figura 9.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 4.....	30
<b>Figura 10.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 2 en la paila 1.....	30
<b>Figura 11.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 2 en la paila 4.....	31
<b>Figura 12.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 4.....	32
<b>Figura 13.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 2 en la paila 1.....	32
<b>Figura 14.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 3 en la paila 1.....	33
<b>Figura 15.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 4 en la paila 1.....	33
<b>Figura 16.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 5 en la paila 1.....	34
<b>Figura 17.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 6 en la paila 1.....	34
<b>Figura 18.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 2.....	35
<b>Figura 19.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 2 en la paila 2.....	35
<b>Figura 20.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 3 en la paila 2.....	36
<b>Figura 21.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 3 en la paila 1.....	36
<b>Figura 22.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 4 en la paila 1.....	37
<b>Figura 23.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 1.....	38
<b>Figura 24.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 2 en la paila 1.....	38
<b>Figura 25.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 3 en la paila 1.....	39
<b>Figura 26.</b> Temperatura vs Tiempo de la parada 4 en la paila 1.....	39
<b>Figura 27.</b> Temperaturas medidas a distancias entre 1,90 y 2,07 [m].....	44
<b>Figura 28.</b> Temperaturas medidas a distancias entre 3,04 y 3,38 [m].....	45
<b>Figura 29.</b> Temperaturas medidas a distancias entre 5,25 y 5,65 [m].....	46
<b>Figura 30.</b> Ecuación y valor de $R^2$ en el gráfico.....	51

<b>Figura 31.</b> Resultado de la Influencia de la humedad en la temperatura del horno a distancias entre 1,90 y 2,07 [m]. .....	53
<b>Figura 32.</b> Resultado de la Influencia de la humedad en la temperatura del horno a distancias entre 3,04 y 3,38 [m]. .....	53
<b>Figura 33.</b> Resultado de la Influencia de la humedad en la temperatura del horno a distancias entre 5,25 y 5,65 [m]. .....	54
<b>Figura 34.</b> Periodo de alimentación del horno con BCA en un intervalo de 230 [s] .....	55
<b>Figura 35.</b> Periodo de alimentación del horno con BCA en un intervalo de 330 [s] .....	56
<b>Figura 36.</b> Plano de la vista frontal de la boca del horno de la panelera Anrango (escala 1:10).....	57
<b>Figura 37.</b> Plano de la vista frontal con corte de la boca del horno de la panelera Lligüisupa (escala 1:10). .....	57
<b>Figura 38.</b> Vista con corte lateral del horno de la familia Anrango (escala 1:50).....	58
<b>Figura 39.</b> Vista con corte lateral del horno de la familia Lligüisupa (escala 1:50).....	58
<b>Figura 40.</b> Plano de distribución de planta de la panelera de Sr. Vicente Anrango (escala 1:50).....	63
<b>Figura 41.</b> Ecomapa de agua .....	64
<b>Figura 42.</b> Ecomapa de energía. ....	65
<b>Figura 43.</b> Ecomapa de residuos. ....	67
<b>Figura 44.</b> Diagrama de flujo del proceso de producción de panela granulada .....	68
<b>Figura 45.</b> Ecobalance del proceso de producción de panela granulada....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO 1.</b> YAUSA.....	81
<b>ANEXO 2.</b> MAPAS DE UBICACIÓN DE LAS PANELERAS EN LA ZONA DE PACTO .....	82
<b>ANEXO 3.</b> ACTIVIDADES REALIZADAS EN LAS VISITAS A LAS PANELERAS .....	84
<b>ANEXO 4.</b> ETIQUETA UTILIZADA PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE BAGAZO .....	85
<b>ANEXO 5.</b> FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	86
<b>ANEXO 6.</b> RESULTADOS DEL PRETRATAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR .....	87
<b>ANEXO 7.</b> FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE MEDICIÓN DE LA HUMEDAD EN EL LABORATORIO.....	88
<b>ANEXO 8.</b> MODELO DE LA ENCUESTA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA	89
<b>ANEXO 9.</b> VISTAS INTERNAS Y EXTERNAS DE LOS HORNOS .....	91
<b>ANEXO 10.</b> RESULTADO DE LA DETERMINACIÓN DEL PH .....	95
<b>ANEXO 11.</b> ALGUNAS DE LAS VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR SEMBRADAS EN INGAPI .....	96
<b>ANEXO 12.</b> OPCIONES DE TRAPICHES CON MAYOR CAPACIDAD DE EXTRACCIÓN, PRODUCCIÓN Y POTENCIA .....	98
<b>ANEXO 13.</b> FLUJO DE AIRE SECUNDARIO.....	99
<b>ANEXO 14.</b> PAILA PIROTUBULAR.....	100
<b>ANEXO 15.</b> ACRÓNIMOS, SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	101

## RESUMEN

El objetivo general del presente proyecto técnico fue determinar la temperatura máxima en el proceso de combustión relacionado con el porcentaje de humedad del bagazo de caña de azúcar (BCA) y proponer un plan de producción más limpia, para alcanzar este objetivo primero se midió la temperatura en dos hornos en Ingapi con una metodología interna, con el termómetro datalogger UT321 y la termocupla tipo k modelo KHXL de la marca Omega, con los que se registró una temperatura máxima de 969,8°C (humedad del 21,47%) en la panelera 1 y de 1021°C (humedad del 34,11%) en la panelera 2. Luego, se tomaron muestras de BCA (combustible) de diferentes días de secado (con las cuales se realizaron las mediciones de temperatura in situ), en las que se determinó la humedad con el método AOAC 925.10 (AOAC Internacional, 2019), para la panelera 1 a los 14 días de secado 42,53%, 21 días 36,24% y 49 días 21,47%; en el caso de la panelera 2 con un tiempo de secado de 14 días se obtuvo una humedad del 34,11%. Se relacionaron los resultados de la humedad con las temperaturas máximas alcanzadas y las distancias medidas desde la boca del horno hasta la ubicación de la termocupla utilizando gráficos de dispersión (X, Y), se encontró que a distancias entre 1,90 y 2,07 [m] las temperaturas son más altas al igual que con un menor porcentaje de humedad. Para la propuesta de un plan de producción más limpia se analizaron los puntos críticos en el proceso de producción de panela granulada y se encontró que las actividades que generan mayor consumo de energía son la molienda, descachazado y cocción de los jugos de caña. Por último, utilizando las herramientas de PML, se plantearon varias alternativas de baja inversión para el sector panelero en Pacto.

**Palabras Clave:** Cámara de combustión, termocupla, panela granulada, ecomapa, ecobalance.

## ABSTRACT

The general objective of this technical project was to determine the maximum temperature in the combustion process related to the percentage of humidity of sugarcane bagasse and to propose a cleaner production plan, to achieve this objective the temperature was first measured in two furnaces at Ingapi with an internal methodology, First, the temperature was measured in two furnaces at Ingapi using an internal methodology, with the datalogger UT321 thermometer and the K-type thermocouple model KHXL of the Omega brand, with which a maximum temperature of 969.8°C (21.47% humidity) was recorded in panela factory 1 and 1021°C (34.11% humidity) in the panela factory 2. Then, BCA samples were taken from different days of drying (with which the temperature measurements were made on site), in which the moisture was determined with the AOAC 925.10 method (AOAC International, 2019), for panela factory 1 at 14 days of drying 42.53%, 21 days 36.24% and 49 days 21.47%; in the case of panela factory 2 with a drying time of 14 days a moisture of 34.11% was obtained. The humidity results were related to the maximum temperatures reached and the distances measured from the mouth of the kiln to the location of the thermocouple using scatter graphs (X, Y), it was found that at distances between 1.90 and 2.07 [m] the temperatures are higher as well as with a lower percentage of humidity. For the proposal of a cleaner production plan, the critical points in the granulated panela production process were analyzed and it was found that the activities that generate the highest energy consumption are the milling, dehulling and cooking of the sugarcane juice. Finally, using the LMP tools, several low-investment alternatives were proposed for the sugarcane sector in Pácto.

**Keywords:** Combustion chamber, thermocouple, granulated bread, ecomap, ecobalance.

## **1. INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

La panela o raspadura es un endulzante natural no refinado de alto valor nutricional, contiene vitaminas C, B, A y minerales como potasio, hierro y calcio, se utiliza de forma tradicional en la gastronomía ecuatoriana y se mezcla con agua para obtener una bebida con gran aporte calórico para deportistas o personas con mayor requerimiento energético en su alimentación (Cárpena et al., 2018).

El mayor productor en el mundo es India seguido de Colombia que también es el país que consume mayor cantidad del producto per cápita (Ordoñez y Rueda, 2017). La demanda de alimentos orgánicos como es el caso de la raspadura ha aumentado en países europeos en los últimos años, esto beneficia a los productores que optan por asociarse debido a los requerimientos del mercado, esto implica mejorar la infraestructura, los procesos productivos y reducir el impacto ambiental para obtener certificaciones y por ende mayores réditos económicos (Méndez, 2015).

El sector azucarero del Ecuador ocupa el puesto número 47 entre las principales industrias en el país, las provincias que generan la mayor producción son Guayas con el 62,97 %, Cañar 25,07 %, Imbabura 5,71 %, Loja 3,97%, Pichincha se encuentra en el quinto lugar con el 1,20% (BCE, 2019).

En el Ecuador la agroindustria panelera se maneja en general de forma artesanal y se caracteriza por la baja inversión en la infraestructura, falta de buenas prácticas de manufactura lo cual provoca ineficiencia en la producción. Según Pita (2016) la provincia de Pichincha produce una gran cantidad de panela a nivel nacional, dentro del Distrito Metropolitano de Quito la parroquia de Pacto es la que mayor cantidad produce. Pacto tiene entre sus actividades económicas la siembra de caña para la producción de raspadura para el consumo nacional y exportación (GAD de Pacto, 2020). Existen agrupaciones que trabajan de forma conjunta para producir caña de azúcar y Yausa orgánica (ANEXO 1) además de panela granulada (Agrocalidad, 2020). Un ejemplo de esto es la Asociación Artesanal de Producción de bienes agrícolas y pecuarios Cumbres de Ingapi liderada por el señor Juan Lligüisupa que está conformada por 28 productores certificados por Kiwa BSC Ecuador Cía. Ltda. Cumbres de Ingapi tiene actualmente clientes nacionales como CAMARI y Maquita productos; y extranjeros como la Coordinadora Estatal de Comercio Justo (CECJ) de España (CECJ, 2021) además sus productos se exportan a países como Alemania y Francia.

Los estudios de Collaguazo (2021) revelan que existen 305 productores de panela en Pacto, alrededor de 212 de ellos pertenecen a alguna asociación y

apenas el 20 % de ellos han cumplido con la mejora de las condiciones técnicas en las instalaciones de las paneleras.

Según las palabras del Sr. Vicente Anrango, él junto con su hermano fueron los que iniciaron la producción de panela granulada en la zona de Ingapi en 1990, este producto en la actualidad es comercializado por la Asociación Cumbres de Ingapi debido a que se conserva mejor y por más tiempo en las perchas de sus clientes. Esta presentación del endulzante tiene un proceso de producción muy similar a la panela en bloques o tradicional, difiere en que la temperatura de concentración de azúcares debe alcanzar entre 120 y 125°C y luego de retirarse del fuego debe ser batida hasta que pierda la humedad y se convierta en cristales similares al azúcar convencional (V. Anrango, comunicación personal, 17 de septiembre de 2021).

Uno de los objetivos ambientales de la parroquia para el 2025 es impulsar e implementar prácticas de producción sostenible que reduzcan afectaciones y deterioro ambiental (GAD de Pacto, 2020). Para cumplirlo será necesario sumar los esfuerzos de la comunidad, autoridades y de instituciones de educación superior, como la Universidad UTE que se encuentra desarrollando un proyecto de vinculación con el GAD de Pacto para contribuir al desarrollo sostenible de la parroquia. Se han realizado varios estudios entre los que destacan el análisis del proceso de combustión utilizando bagazo como combustible (Gonzaga-Poma, 2020), modelo del proceso de combustión en hornos artesanales (Del Corral, 2020), estudio del índice simplificado de calidad del agua (Terán, 2019), identificación del proceso de erosión por monocultivo de caña de azúcar (Rodríguez, 2019), evaluación de la huella de carbono en la industria panelera (Benavides, 2019), evaluación de la huella hídrica (Donoso, 2020), diseño de un plan de acción ambiental (Chapaca, 2021), los cuales han permitido tener una idea más clara de los problemas ambientales que se generan con relación a la elaboración de panela artesanal y algunas posibles soluciones que aportarían a lograr el desarrollo sostenible de la comunidad.

El bagazo de caña o BCA es un residuo rico en celulosa que queda luego de extraer los jugos de la caña de azúcar (CA), se utiliza en la industria papelera como materia prima para la fabricación de papel y en ingenios azucareros como combustible (Solano et al., 2020), al igual que otros combustibles (Cengel et al., 2019) el BCA contiene principalmente Carbono, Oxígeno, Nitrógeno, Hidrógeno y Azufre como lo describe Gonzaga-Poma (2020).

La temperatura en los hornos paneleros de Pacto es un tema que no se ha estudiado a profundidad, se sabe por investigaciones de otros países que la temperatura en el proceso de combustión varía respecto al tiempo y distancia en la que se realiza la medición (Sánchez y Mendieta, 2014) además se debe considerar la humedad del BCA para lograr la combustión completa (García-

Rincón et al., 2015), esto contribuiría a reducir los subproductos como la ceniza que actualmente se genera en las paneleras según lo reporta Gonzaga-Poma (2020).

La combustión es una reacción química en la que se oxida el combustible al mezclarse con el aire generando gran cantidad de energía (Çengel, 2019), se lleva a cabo en tres etapas iniciando con el secado en el que la humedad se reduce al mínimo, sigue la desvolatilización en la que se da la combustión como tal. En esta fase se produce la descomposición térmica que ocurre en presencia de oxígeno y por último se tiene la oxidación del material carbonizado que al reaccionar con oxígeno produce dióxido de carbono  $\text{CO}_2$ , si existe suficiente  $\text{O}_2$  se obtiene la combustión completa y cuando el suministro de oxígeno es limitado se da de forma incompleta produciendo Monóxido de Carbono  $\text{CO}$  (Sánchez y Mendieta, 2014) y como residuo la ceniza (García-Rincón et al., 2015).

Durante la primera fase de combustión (secado) por debajo de los  $100^\circ\text{C}$ , la humedad de la biomasa (BCA) se reduce por completo, cuando se ha eliminado toda la humedad inicia la fase de desvolatilización, la descomposición térmica del BCA inicia cuando se alcanzan los  $200^\circ\text{C}$  y finaliza a los  $600^\circ\text{C}$ . Esta fase se conoce también como frente de flama o de ignición debido a la llama que se forma cuando los volátiles son liberados y reaccionan con el aire que se encuentra dentro de la cámara de combustión, esto sucede a los  $400^\circ\text{C}$ . Luego de que termina este proceso queda un residuo que se denomina material carbonizado que reacciona con el oxígeno presente en el aire dentro del horno aproximadamente a  $650^\circ\text{C}$  (Sánchez-Castro et al., 2013).

Llamamos tasa de combustión (TC) al tiempo que tarda en producirse la combustión de la biomasa (bagazo), el contenido de humedad determina el comportamiento de esta variable, por ejemplo, si el BCA entra al horno con una humedad de entre el 10 y 30% con flujo de aire primario constante, se gasta energía en el secado, pero la TC se reduce porque hay mayor cantidad de oxígeno disponible para la reacción con el material carbonizado. Por el contrario, si la Humedad del BCA es mayor al 30%, aunque el ingreso de aire primario sea constante, se gasta mayor cantidad de energía en el proceso de secado del BCA, en comparación con el ejemplo anterior, porque un mayor contenido de humedad requiere más energía para reducirla, el oxígeno reacciona con el material carbonizado y genera calor, pero este no supera el gasto producido en la etapa anterior por este motivo la TC aumenta (Sánchez y Mendieta, 2014), esta situación también ocasiona la sobreposición de las tres etapas reduciendo el rendimiento del proceso (Sánchez-Castro et al., 2013).

Los hornos paneleros en la parroquia de Pacto como previamente se ha estudiado, no son eficientes debido a como se desarrolla el proceso de combustión y por el tipo de hornos que se emplea (Del Corral, 2020), esto genera la pérdida de energía durante el proceso de combustión por el uso de bagazo de caña como combustible con alto porcentaje de humedad (Sánchez-Castro et al., 2013). Uno de los problemas en el proceso de producción de panela es que reduce los ingresos para los productores porque tienen que utilizar otros combustibles, aparte del bagazo, para obtener la energía que necesitan sus hornos, por lo que medir la temperatura in situ (lugar donde se realiza la medición) nos permite relacionar esta variable con la humedad lo cual nos ayuda a determinar qué porcentaje de humedad permite obtener un proceso productivo más eficiente.

Las mediciones de la variable temperatura en un horno panelero requieren del uso de un termómetro de amplio rango, como el Datalogger UT321 marca UNI-T que permite tomar varias mediciones gracias a su capacidad de almacenamiento de datos (Uni-Trend Group Limited, 2008), y de una termocupla tipo k con los que se puede tomar múltiples mediciones durante la combustión del BCA (Sánchez y Mendieta, 2014). En cuanto a la variable humedad para su determinación se toman muestras in situ para el análisis en el laboratorio y se aplica el método de pérdida de peso AOAC (Gonzaga-Poma, 2020).

La producción más limpia por sus siglas PML o P+L, también llamada prevención de la contaminación, ecoeficiencia (Ramos y Lorenzo, 2017), es una estrategia que permite obtener beneficios económicos y ambientales a cualquier organización que forme parte del sector productivo, que es uno de los que más contamina (Van Hoof et al., 2008). El concepto de PML viene de la Agenda 21 de la Cumbre de Río (Van Hoof et al., 2008) que según lo dice la UNEP (2006) “es una aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, productos y servicios para reducir los riesgos relevantes en los seres humanos y el ambiente”.

Para una propuesta de un plan de producción más limpia se utilizarán diferentes herramientas de manera sistemática para su aplicación en las distintas etapas iniciando con la planeación y se amplía el estudio de acuerdo con el diagnóstico que se realice in situ (Van Hoof et al., 2008). Se buscan los puntos críticos que generan (contaminación, desperdicio) y el uso inadecuado de energía en una organización. El presente proyecto se realizará en uno de los sectores paneleros de Pacto y posteriormente se ampliará una propuesta coherente con la realidad de toda la industria panelera.

Dentro de las herramientas cualitativas de producción más limpia se encuentran los ecomapas que permiten realizar un diagnóstico de los lugares donde se genera mayor consumo de energía, materia prima, insumos y agua,

y las áreas que generan desperdicios en mayor cantidad. Por otra parte, se encuentran los ecobalances que son herramientas de tipo cuantitativa y permiten determinar la cantidad de recursos que se consumen en un determinado proceso o actividad (Van Hoof et al., 2008).

Los grados brix (°BRIX) son el porcentaje de sacarosa en peso de una solución dulce o con contenido de azúcar, también se lo define como la concentración de sólidos solubles, se mide con la ayuda de un refractómetro. En el jugo de caña crudo la concentración de sólidos se encuentra entre 16 y 22 °BRIX, mientras más cercana a 22 sea esta medida se obtendrá mayor cantidad de panela por tonelada de CA (Cobeña y Loor, 2016).

El pH o potencial hidrógeno es una medida de la basicidad (pH superior a 7) o acidez (pH inferior a 7) de una solución, que en el caso del jugo de caña crudo por lo general es cercano a 7 o neutro (Cobeña y Loor, 2016). Según Ordoñez y Rueda (2017) el pH óptimo para el jugo de caña en la producción de panela luego de la clarificación es de 5,8 a 6.

El punteo es un término que hace referencia al estado de la panela dentro del proceso de producción, en el cual se alcanza una temperatura de concentración de azúcares entre 120 y 128°C, (dependiendo de la altura sobre el nivel del mar), y de 90 a 94° Brix (Quezada-Moreno et al., 2015). En este trabajo se presentan mediciones del punteo de la panela granulada en dos paneleras del sector de Ingapi en Pacto.

El objetivo general de este proyecto técnico fue determinar la temperatura máxima en el proceso de combustión relacionado con el porcentaje de humedad del bagazo de caña y proponer un plan de producción más limpia, para alcanzar este objetivo se planteó los siguientes objetivos específicos:

- Definir la temperatura máxima en el proceso de combustión de los hornos paneleros en la parroquia de Pacto.
- Determinar la influencia de la humedad del bagazo en las temperaturas máximas de combustión.
- Identificar las actividades que generan el uso inadecuado de energía y oportunidades de mejora para las paneleras en Pacto utilizando herramientas de producción más limpia.

## **2. METODOLOGÍA**

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

#### 2.1.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para el presente estudio se evaluó la información recopilada de fuentes bibliográficas de tipo primario y secundario (Universidad de Guadalajara, 2021), entre ellos artículos, libros, tesis, que permitieron conocer de forma general el lugar de estudio y los procesos desarrollados en la producción de panela.

Para el levantamiento de información relevante en el desarrollo del presente proyecto, se seleccionó dos paneleras del sector de Ingapi en la Parroquia de Pacto (Tabla 1), lugar de las visitas técnicas (ANEXO 2).

**Tabla 1.** Paneleras seleccionadas para el proyecto

<b>Panelera</b>	<b>Propietario</b>	<b>Número de visitas</b>
1	Sr. Vicente Anrango	4
2	Sr. Juan Lligüisupa	2

Las dos paneleras se seleccionaron por la apertura que brindaron los propietarios frente a las restricciones propias de la pandemia por la Covid-19 y a la desconfianza de los moradores de Pacto ante la situación que atravesaban por la minería en esa zona (DW Español, 2021).

Se realizó un total de cinco visitas a la parroquia de Pacto como se detalla en el (ANEXO 3).

Se realizó una encuesta en ambas paneleras para conocer las actividades desarrolladas en la producción, el tipo de hornos, el secado del bagazo para su uso como combustible y las condiciones generales de trabajo en las unidades productivas del sector.

#### 2.1.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio de este proyecto se ubica en el sector de Ingapi parte de la parroquia rural de Pacto, perteneciente al cantón Quito en la provincia de Pichincha en Ecuador y contribuyó al proyecto de vinculación que lleva a cabo la Universidad UTE “Contribuir al desarrollo sostenible frente a la materialización de riesgos ambientales en la parroquia de Pacto 2020-2022”.

La descripción del área de estudio se detalla en la Tabla 2 a continuación:

**Tabla 2.** Datos generales del área de estudio

<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA</b>	<b>Provincia</b>	Pichincha
	<b>Cantón</b>	Quito
	<b>Parroquia</b>	Pacto
	<b>Poblado</b>	Ingapi
	<b>Latitud</b>	0° 7' 34,000" N
	<b>Longitud</b>	78° 47' 49,999" W
<b>ALTURA</b>	<b>Mínima</b>	500 m.s.n.m.
	<b>Máxima</b>	1800 m.s.n.m.
<b>LÍMITES GEOGRÁFICOS</b>	<b>Norte</b>	La Delicia
	<b>Sur</b>	San José de Ingapi y Chontillas
	<b>Este</b>	Pacto Loma y La libertad
	<b>Oeste</b>	Bellavista

La ubicación de las paneleras estudiadas se presenta en la Tabla 3 a continuación:

**Tabla 3.** Coordenadas Geográficas de las paneleras estudiadas.

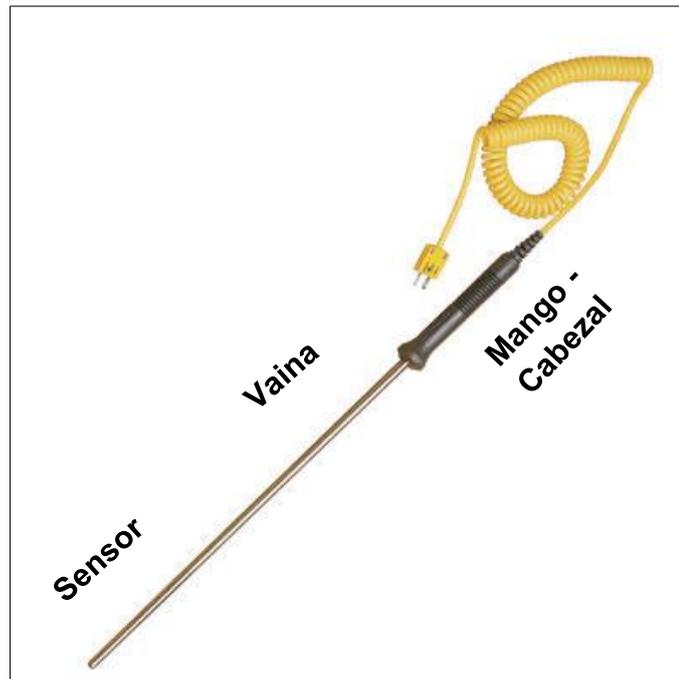
<b>Panelera</b>	<b>Propietario</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altura [m.s.n.m.]</b>
1	Sr. Vicente Anrango	0° 7' 34,000" N	78° 47' 49,999" W	1527
2	Sr. Juan Lligüisupa	0° 7' 58,995" N	78° 46' 33,000" W	1303

## **2.2. DEFINIR LA TEMPERATURA MÁXIMA EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS PANELEROS EN LA PARROQUIA DE PACTO**

### **2.2.1. EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA**

Para determinar la temperatura máxima a la cual llega un horno de producción de panela, se utilizó el Termómetro de precisión UT321 o Datalogger marca UNI-T, de rango de -200 a 1370°C con resolución de 0,1°C Calibrado, una termocupla tipo k marca Omega modelo KHXL y el programa UT320 V3.01.Ink, con los que se midió la temperatura durante el proceso de combustión del BCA dentro del horno (Prada-Forero et al., 2012).

La termocupla que se empleó en este proyecto mide la temperatura únicamente por la parte del sensor que se encuentra en la punta de la vaina.



**Figura 1.** Termocupla tipo K modelo KHXL marca Omega (Omega, 2021)

### **2.2.2. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DENTRO DE UN HORNO PANELERO**

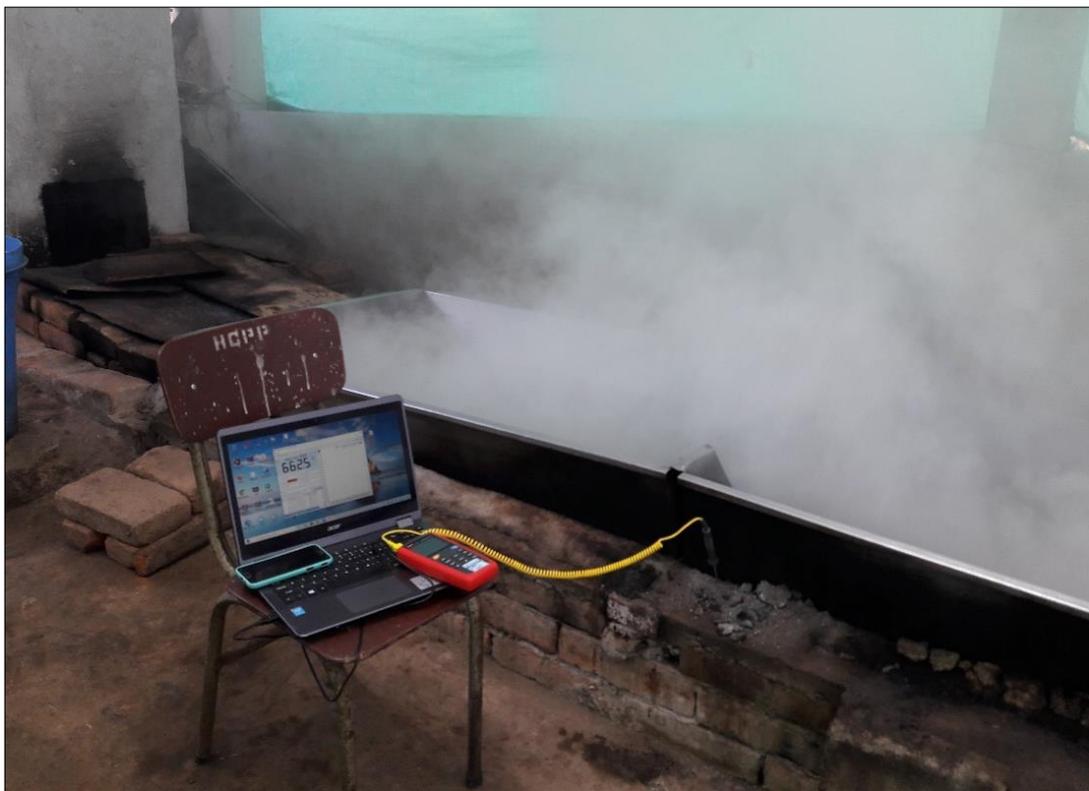
Se midió la temperatura utilizando un método interno debido a que no se encontró un método aplicable a las condiciones propias del lugar y adecuado para un análisis de temperatura durante el proceso de producción de la panela.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para el registro:

Se seleccionó en la panelera el lugar adecuado para el análisis de esta variable considerando los riesgos de exposición a altas temperaturas y el diseño de los hornos.

1. Se encendió la computadora portátil y se colocó sobre un taburete próximo al lugar seleccionado para el análisis de temperatura del horno.
2. Se abrió el programa UT320 V3.01.Ink.
3. Se conectó la termocupla marca Omega al termómetro Datalogger UT321.
4. Se encendió el termómetro.
5. Se seleccionó la opción de termocupla tipo K oprimiendo la tecla TYPE.
6. Se conectó el cable USB desde el termómetro UT321 hacia el computador.
7. Se estableció un intervalo de 10 segundos en el software abierto en el computador.

8. Se introdujo la termocupla en la posición seleccionada para la medición.
9. Se seleccionó la opción “USB Connection” en la ventana del software UT320 V3.01.Ink del computador.
10. Se inició la recopilación de datos.
11. Se almacenaron los datos de las mediciones cada 30 minutos aproximadamente como medida de precaución de pérdida de datos, en formato .xlsx Hojas de cálculo de Microsoft Excel.
12. Se midió la temperatura tomando la distancia desde el ingreso del combustible en la boca del horno hasta el punto donde se ubicó la termocupla junto a cada paila como se muestra en las figuras a continuación:



**Figura 2.** Vista desde el exterior de la ubicación de la termocupla en el horno y equipos de medición de temperatura



**Figura 3.** Vista de la ubicación de la termocupla desde el interior del horno

### **2.2.3. RECOPIACIÓN DE DATOS**

La recopilación de datos consiste en obtener los datos de la fuente (Durán, 2007) que en el caso de este trabajo fue el Datalogger conectado a la termocupla y al computador.

Las temperaturas en los hornos se registraron con una termocupla tipo K de marca Omega modelo KHXL-18G-RSC-12, el Datalogger UT321 conectado a un computador portátil marca acer modelo Aspire R14.

### **2.2.4. PROCESAMIENTO DE DATOS**

Una vez completo el registro de datos de cada visita se procedió con su preprocesamiento y procesamiento.

En el preprocesamiento se revisaron todos los datos con el fin de detectar posibles errores, se eliminan datos incorrectos y duplicados. Mientras que en el procesamiento los datos se procesaron para su interpretación (Durán, 2007).

Los archivos que se obtuvieron gracias al software UT320 V3.01.lnk proporcionaron los siguientes datos: número de dato, fecha-hora y temperatura en °C.

Con la ayuda del programa Excel se insertaron columnas para la hora y tiempo en los archivos que se obtuvieron en cada una de las visitas. Se realizaron 4 visitas para toma de datos de temperatura para obtener los datos necesarios para el presente estudio.

Para separar la fecha de la hora se utilizó la fórmula “=EXTRAE” y para la columna de tiempo se inició desde 0 con un intervalo de 10 segundos para su posterior interpretación.

Se separaron los datos de cada día de acuerdo con el número de paradas registradas. Se realizó un gráfico de dispersión (X, Y) para cada parada con el fin de evaluar la temperatura con relación al tiempo. Posteriormente se calculó la temperatura máxima para cada parada con la fórmula “=MAX” y la temperatura mínima con la fórmula “=MIN”, se elaboró una tabla, que se empleó para filtrar la información relevante de cada parada como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Tabla para filtrar la información relevante de cada parada.

Tiempo Parada		Tiempo T. máx.	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C	Tiempo T. min.	Distancia [m]
[min]	[s]					

### 2.2.5. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Para la interpretación de los datos obtenidos de las mediciones de la variable temperatura se realizaron gráficos con la ayuda del programa Excel para relacionarla con las variables tiempo y distancia. Para el análisis de los datos se observó en los gráficos el comportamiento de la temperatura (dependiente) con relación al tiempo y distancia (independientes).

## 2.3. DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DEL BAGAZO EN LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DE COMBUSTIÓN

### 2.3.1. PLAN DE MUESTREO PARA LA HUMEDAD

Se adaptó lo establecido en la norma mexicana NMX-F-371 para muestreo de BCA en las paneleras estudiadas de Ingapi, se tomó muestras acumuladas, homogéneas y representativas (Norma NMX-F-371 de 1991).

### **2.3.2. MUESTREO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR**

Se tomó muestras de BCA de las paneleras de la familia Anrango y Lligüisupa de acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma mexicana antes mencionada. A continuación, se presenta el procedimiento realizado para cada muestra:

1. Se tomó una funda hermética zipper nueva y se etiquetó con los datos relevantes (ANEXO 4).
2. Se tomó un par de guantes quirúrgicos descartables para evitar la contaminación de las muestras.
3. Se tomó una muestra representativa y homogénea de BCA de la parte central del apilamiento de bagazo. No se recogió bagazo contaminado con aceites, grasas, cenizas, insectos ni ningún tipo de contaminante.
4. Se puso la muestra con cuidado en la funda zipper y una vez llena se selló completamente para evitar pérdidas por evaporación. (Gonzaga-Poma, 2020)
5. La funda zipper etiquetada se colocó dentro de una heladera (nevera portátil) a 4°C aproximadamente para evitar que el cambio de temperatura en el traslado descomponga y modifique las propiedades de la muestra (Norma NTE INEN 1529-2 de 2013).
6. Se tomó fotografías del proceso (ANEXO 5).

### **2.3.3. PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR**

Se homogenizó cada una de las muestras de BCA de forma manual con la ayuda de una tabla de picar plástica y un cortapapel marca Truper modelo CUT-6X. Se realizaron cortes a lo largo de las fibras del bagazo y de forma transversal para obtener una mezcla lo más homogénea posible (en la fibra externa de la caña y en la pulpa). Se utilizó guantes quirúrgicos descartables para evitar la alteración de las muestras. Durante el proceso se fue guardando el producto procesado dentro de una funda zipper para minimizar las pérdidas de humedad en el pretratamiento (ANEXO 6).

### **2.3.4. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN LAS MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR**

Se determinó la humedad del bagazo de caña de azúcar en el laboratorio de Química Analítica del campus Occidental de la Universidad UTE, con el método AOAC 925.10 de pérdida por secado en estufa, que es el método empleado por Gonzaga (2020), Del Corral

(2020) y Chugulí (2021). El procedimiento realizado se detalla continuación:

#### **Estandarización de las cápsulas de porcelana:**

- Se estandarizaron las cápsulas o crisoles de porcelana para lo cual se lavaron los recipientes y se secaron a temperatura ambiente. Una vez secos los crisoles se procedió a etiquetarlos de acuerdo con el número de muestra con la ayuda de un esfero y un pedazo de masking tape (cinta de enmascarar, pintor o adhesiva protectora).
- Se colocaron las cápsulas numeradas en la estufa y se programó la misma para que alcance una temperatura de 130°C, alcanzada esta temperatura se programó la estufa para 30 minutos a 130°C.
- Transcurridos los 30 minutos se sacó una por una las capsulas de la estufa con la ayuda de una pinza metálica y se colocaron inmediatamente en el desecador por 30 minutos hasta alcanzar la temperatura ambiente.

#### **Medición de la humedad:**

- Se encendió la balanza analítica con precisión de 0,1 mg situada en el cuarto de pesaje de vidrio en el laboratorio.
- Se taró la balanza (se puso la balanza en cero).
- Con la ayuda de una pinza metálica se tomó la primera cápsula del desecador y se colocó en la balanza previamente tarada. Se esperó hasta que el peso sea estable y se anotó el dato en una libreta.
- Se taró de nuevo la balanza.
- Con la ayuda de una espátula con cuchara y una pinza metálica, se pesó con precisión, aproximadamente 2 g de la primera muestra de bagazo de caña bien mezclada. Se esperó que el peso sea estable y se anotó en la libreta.
- Concluido el pesaje del primer crisol se procedió a tomar la capsula con la pinza metálica y a colocarla en la estufa.
- Se taró la balanza y se procedió a repetir el pesaje con las demás cápsulas y muestras.
- Colocadas todas las cápsulas pesadas en la estufa se procedió a programar la misma para un tiempo de 60 minutos a 130°C. El tiempo se registró a partir del momento en que la estufa llegó a los 130°C.
- Transcurrido el tiempo de secado en la estufa se sacó con la pinza metálica cada uno de los crisoles con muestra al desecador y se dejaron en el mismo por 30 minutos hasta que alcanzaron la temperatura ambiente.

- Luego de que las cápsulas con muestra alcanzaron la temperatura ambiente se procedió con su pesaje.
- Se taró la balanza analítica.
- Se tomó la primera cápsula con la ayuda de una pinza metálica y se colocó en la balanza previamente tarada, se esperó que el peso sea estable y se anotó en la libreta (AOAC Internacional, 2019).
- Se tomó la cápsula con la pinza metálica y se colocó de nuevo en la estufa.
- Se realizó el mismo procedimiento con las demás cápsulas.
- Una vez colocadas todas las cápsulas en la estufa se programó a 130°C por 1 hora. El tiempo se registró a partir del momento en que la estufa llegó a los 130°C.
- Transcurrido el tiempo se realizó el segundo pesaje de las cápsulas con muestra.
- Finalizado el pasaje se verificó que la disminución de las masas en dos pesadas consecutivas no varió en más de 0,1 mg (Norma INEN 265 de 2013).
- Se realizó la determinación de humedad de cada muestra por triplicado.
- Se realizó el cálculo de la humedad con la siguiente ecuación:

$$\%Humedad = \frac{W_v + W_m - W_s}{W_m} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

$W_v$  = Peso del crisol

$W_m$  = Peso de la muestra

$W_s$  = Peso del crisol + muestra seca

El proceso descrito en este numeral se registró fotográficamente y se muestra en el ANEXO 7.

### **2.3.5. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LA TEMPERATURA DE COMBUSTIÓN**

Una vez obtenidos los resultados de las temperaturas máximas en el proceso de combustión y determinada la humedad de cada una de las muestras de bagazo de caña empleadas como combustible, se realizó un análisis del comportamiento de la variable temperatura con los porcentajes de humedad presentes en cada experimento.

Se relacionó la variable humedad con la distancia y temperatura, y se obtuvo un gráfico de dispersión (X, Y) para su análisis.

## 2.4. DETERMINACIÓN DE LOS GRADOS BRIX EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

Se determinaron los grados Brix en el jugo de caña de azúcar in situ (panelera del Sr. Vicente Anrango) con la ayuda de un refractómetro análogo de la marca Adolf® con Compensación Automática de Temperatura (ATC), se siguió los pasos descritos en el manual como se indica a continuación (Adolf, 2021):



Figura 4. Partes del refractómetro (Adolf, 2021)

### Calibración:

Se abrió la tapa del refractómetro y se colocó 2 gotas de agua destilada y se extendió por toda la superficie del prisma principal. Se cerró la tapa de la cubierta. Se verificó que no se formen burbujas de aire ni puntos secos en el prisma. Se esperó 30 segundos para asegurar la ATC.

Se sostuvo el refractómetro en dirección a la fuente de luz (solar) y se observó por el ocular. Se tomó la lectura de la escala en la línea que se unen el color azul en la parte superior con el blanco en la parte de abajo.

Se giró el tornillo de calibración para ajustar hasta que la línea de lectura se ubicó en la escala 0.

Se abrió la tapa y se limpió con el paño limpio incluido en la caja plástica del refractómetro.

### **Medición en el jugo de caña de azúcar:**

Se colocaron 2 gotas de la muestra de jugo de caña de azúcar recién salido del trapiche en el prisma principal. Se cerró la tapa sin dejar burbujas ni puntos secos. Se tomó la lectura en la línea que divide el azul en la parte superior con el blanco en la parte inferior. Se anotó en la libreta de apuntes.

## **2.5. DETERMINACIÓN DEL pH EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR**

Se realizó la determinación del pH en el jugo de caña de azúcar (Panelera del Sr. Vicente Anrango) con el procedimiento descrito a continuación (MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG., 2018):

- Se tomó un par de guantes quirúrgicos descartables.
- Con los guantes puestos, se tomó una tirita medidora de pH modelo pH-Fix 0-14 de la marca alemana MACHEREY-NAGEL.
- Se sumergió durante 1 segundo la tirita reactiva de pH en el jugo de caña fresco, en la sección posterior a la prelimpieza.
- Se sacudió el exceso de jugo de caña como indica el manual de instrucciones de las tiras reactivas.
- Se comparó con la escala de colores y se leyó el valor correspondiente.
- Se anotó el resultado en la libreta de apuntes y se repitió el proceso con otra tirita.
- Se tomó una fotografía del resultado.

## **2.6. DETERMINACIÓN DEL PUNTO PARA LA PANELA GRANULADA**

Se determinó el punto de la panela granulada en las paneleras de los señores Vicente Anrango y Juan Lligüisupa con el termómetro Coolit-Rite TTM41 de la marca Cooper con el procedimiento descrito a continuación (Quezada et al., 2015):

Se encendió el termómetro Coolit-Rite TTM41 y se colocó la lectura en °C aplastando el botón rojo de la parte superior del termómetro (botón Cooper). Se sumergió aproximadamente 4 cm de la punta del termómetro hasta cubrir la línea que indica la correcta medición, dentro de la paila de punteo. Se observó el aumento de la temperatura de ebullición de las mieles hasta que se obtuvo el punto de cristalización en agua. Durante este procedimiento se sujetó el termómetro con cuidado para evitar quemaduras o que el termómetro caiga en la paila.

El punto de cristalización en agua se obtiene tomando una pequeña porción de las mieles y sumergiéndola en agua hasta conseguir que las mieles se rompan simulando un cristal trizado.

Este procedimiento inició unos minutos antes de coger el punto de la panela, luego de que el punto de ebullición inició cuando las burbujas empezaron a reducir su tamaño y aumentar en cantidad.

## **2.7. IDENTIFICAR LAS ACTIVIDADES QUE GENERAN EL USO INADECUADO DE ENERGÍA Y OPORTUNIDADES DE MEJORA PARA LAS PANELERAS EN PACTO UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**

### **2.7.1. REVISIÓN INICIAL AMBIENTAL EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA**

Se seleccionó la fábrica del Sr. Vicente Anrango para la aplicación del presente capítulo. En el lugar se observaron todas las actividades involucradas en el proceso de producción de panela (PPP).

A continuación, se describe la metodología que se siguió para la revisión ambiental inicial descrita por Van Hoof (2008):

Fase I. Reunión inicial:

- Se delimitó el alcance de la revisión inicial ambiental en la panelera del Sr. Vicente Anrango.
- Se identificaron las áreas y personas clave en el PPP.
- Se realizó una visita a las instalaciones de la panelera.

Fase II. Elaboración de encuestas y entrevistas:

- Se elaboró una encuesta (ANEXO 8) para la persona clave en el proceso de producción de panela.
- Se examinaron los resultados obtenidos de las encuestas.
- Se realizó una entrevista con el personal clave.
- Se inspeccionaron las actividades.
- Se identificaron y valoraron los efectos al medio ambiente.

Fase III. Informe:

- Se elaboró el informe.

### **2.7.2. ECOMAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA**

Debido a que no fue posible acceder al plano de las instalaciones de la panelera, se realizó un Plano de distribución de planta de la fábrica en el programa Microsoft Visio, para lo cual se tomaron las medidas in situ con la ayuda de un flexómetro (Van Hoof, 2008). Se realizó un primer borrador a lápiz y luego se realizó el plano en el computador.

La metodología empleada para la realización del plano de distribución de planta se detalla a continuación:

- Se abrió el programa Microsoft Visio en el computador y se seleccionó la opción de plantilla para plano de vivienda.
- Se creó un archivo nuevo
- Una vez abierto el archivo se inició con el proceso de construcción del plano, tomando la vista superior de la panelera (iniciando con las paredes hasta finalizar con los detalles y etiquetas).
- Para conservar las medidas originales en la representación a escala del computador se seleccionó la opción de presentación en metros y se ajustaron todos los elementos de acuerdo con el tamaño real. Se utilizó las reglas e instrumentos de medición que ofrece el programa para mantener las medidas.
- Una vez realizado el plano de la panelera se guardó en formato de imagen para poder agregar la simbología.

Realizado el plano de distribución de planta se elaboraron los ecomapas para determinar las actividades que generan mayor consumo de recursos con la siguiente metodología:

- Se abrió el programa Microsoft PowerPoint y se construyó el ecomapa utilizando formas básicas como cuadriláteros, flechas e íconos para la simbología de los ecomapas. Se guardó en formato de imagen .png.
- Para determinar el nivel de significancia o grado de afectación al ambiente se estableció la valoración que se indica en la Tabla 5 a continuación:

**Tabla 5.** Significancia de los impactos ambientales.

Nivel de significancia	Valoración	Simbología
Bajo	1	<b>1</b>
Medio	2	<b>2</b>
Alto	3	<b>3</b>

### 2.7.2.1. Ecomapa de agua

Se realizó el ecomapa de agua para establecer los puntos de consumo y descarga de agua, con el procedimiento descrito en el párrafo anterior.

Se utilizó simbología para diferenciar el consumo de la descarga:

**Tabla 6.** Simbología utilizada en el ecomapa del agua

Símbolo	Significado
	Consumo de agua
	Generación de agua residual

En el caso del consumo de agua el nivel de significancia mayor implica que existe un mayor consumo y en la generación de aguas residuales el nivel de significancia está en función del impacto o grado de afectación al ambiente, mientras más alto sea mayor será el impacto que genera esa actividad.

### 2.7.2.2. Ecomapa de energía

El ecomapa de energía se realizó para establecer los puntos donde se consume y genera energía (calor), con el fin de identificar las áreas o procesos donde se puede hacer uso de la energía que se produce en el horno y no está siendo aprovechada.

**Tabla 7.** Simbología utilizada en el ecomapa de energía

Símbolo	Significado
	Consumo de energía eléctrica
	Generación de energía

El nivel de significancia para el consumo está en función de la cantidad de energía eléctrica que se utiliza en cada uno de los procesos. Mientras que el nivel de significancia en el caso de la generación de energía está relacionado con la cantidad de calor que se produce, mientras más alto sea, mayor será la cantidad de energía que se obtiene en el proceso.

### 2.7.2.3. Ecomapa de residuos

Se elaboró el ecomapa de residuos para identificar las zonas donde se generan residuos sólidos que van a disposición final y los residuos que pueden ser aprovechados en otros procesos o actividades como es el caso del BCA.

**Tabla 8.** Simbología utilizada en el ecomapa de residuos.

Símbolo	Significado
	Generación de residuos sólidos comunes
	Generación de residuos orgánicos
	Generación de residuos peligrosos

Los residuos orgánicos son principalmente BCA que se aprovecha como combustible en la producción de panela mientras que los residuos peligrosos son las luminarias de la fábrica.

### **2.7.3. ECOBALANCE DE LA PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA**

Se realizó un diagrama de flujo del proceso productivo de la panelera Anrango para conocer las entradas y salidas. El método empleado para realizar el diagrama de flujo fue el siguiente:

- Se abrió el programa Microsoft Visio y se seleccionó la opción de plantilla de diagrama de flujo básico.
- Se construyó el diagrama de flujo utilizando la simbología y conectores descritos por Van Hoof (2008).

Una vez realizado el diagrama de flujo del proceso de producción de panela granulada, se guardó en formato de imagen y se colocó en el apartado correspondiente en el presente proyecto.

Una vez hecho el diagrama de flujo, se realizó el ecobalance de las actividades de producción de panela granulada para analizar con mayor detalle las actividades y procesos que se encuentran relacionados con el consumo, transformación y disposición de los recursos en la fábrica.

El ecobalance se obtuvo con la ayuda del programa Microsoft Visio con el siguiente procedimiento:

- Se abrió el programa Microsoft Visio y se seleccionó la opción de plantilla de diagrama de flujo de proceso.
- Se inició la construcción del ecobalance utilizando la simbología que sugiere Van Hoof (2008).
- Una vez terminado, se guardó en formato de imagen y se colocó en el presente proyecto.

### **2.7.4. PROPUESTA DE UN PLAN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**

Para realizar la propuesta se analizó toda la información levantada con las herramientas de producción más limpia descrita en los apartados anteriores.

Se realizó una matriz de alternativas con las actividades en las que se encontró puntos críticos en la producción de panela granulada.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. RESULTADOS DE LA DESCRIPCIÓN GENERAL

##### 3.1.1. RESULTADOS DE LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se realizó el levantamiento de información relevante por medio de una encuesta realizada en las dos paneleras estudiadas en el poblado de Ingapi en Pacto, las respuestas se muestran en la Tabla 9:

**Tabla 9.** Respuestas de la encuesta realizada en las paneleras

No.	Preguntas	Panelera 1 Sr. Vicente Anrango	Panelera 2 Sr. Juan Lligüisupa
1	¿Cuántas hectáreas destina para el cultivo de caña y producción de panela?	3	5,5
2	Indique 3 ventajas que tiene trabajando en asociación con otros paneleros	Certificados de la asociación para préstamos. Mercado seguro para su producción. Talleres.	Vender a mejor precio. Ayuda en proyectos. Talleres y capacitaciones.
3	¿Ha sido positiva o negativa su experiencia al trabajar en asociación?	Positiva	Positiva
4	¿Cuánto tiempo les tomó certificar sus productos?	En 1990 iniciaron la producción de panela granulada y en 2003 se certificó	Inició en el 2002 y en 2003 se certificó
5	¿Qué tipo de prácticas ambientales realizan en el área de producción para mantener las certificaciones?	Evita el consumo de leña y usa bagazo	Abonos orgánicos y uso de Yausa (ANEXO 1) para la clarificación. Uso de bagazo como combustible.
6	¿Realizan algún tipo de tratamiento del agua que sale de la producción o reducen la contaminación del agua durante el proceso?	No	No
7	¿Cuántas horas opera la panelera cuando realizan la molienda?	De 3 am a 4 pm	De 2 am a 7 u 8 pm
8	¿Qué mantenimiento se les da a los hornos en la asociación?	1 vez al mes saca la mitad de la ceniza.	Cuando se caen los puentes de ladrillo los repara y limpia las cenizas

**Continúa...**

### Continuación...

9	¿Qué tiempo dejan secar el bagazo de caña para utilizarlo como combustible?	Mínimo 15 días	Por lo general 15 días
10	¿Qué tipo de hornos utilizan para la producción de panela?	Artisanal	Artisanal
11	¿Utilizan algún otro tipo de combustible aparte del bagazo de caña?	Si, leña de guayabo y bambú	Si, leña de bambú, guayabo y otras maderas livianas que pueda conseguir.
12	¿Qué tipo de secado se le da al bagazo para su uso?	Artisanal, secado en la bagacera	Artisanal, secado en la bagacera
13	¿Se han realizado estudios en sus instalaciones sobre los procesos de producción antes de este estudio?	No	Si, Kiwa BCS Ecuador Cía. Ltda. ha hecho estudios particulares.
14	¿Se ha determinado la eficiencia de los hornos en el proceso de producción de panela antes de este estudio?	No	No
15	¿Se ha medido la humedad del bagazo que utilizan como combustible antes de este estudio?	No	No
16	¿Se ha medido la temperatura máxima a la que llega el horno antes de este estudio?	No	No

Los datos de la encuesta son parte del levantamiento de información previo a las mediciones de temperatura y humedad.

## **3.2. DEFINIR LA TEMPERATURA MÁXIMA EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LOS HORNOS PANELEROS EN LA PARROQUIA DE PACTO**

### **3.2.1. RESULTADOS DE LA RECOPIACIÓN DE DATOS**

Se obtuvieron 4 archivos en formato .xlsx aplicando la metodología descrita en el numeral 2.2.2., el contenido de los archivos incluye la información que se muestra en la Tabla 10 a continuación:

**Tabla 10.** Datos obtenidos de la recopilación de datos con el software UT320 V3.01.Ink

No	Time	T1	Valor	Unidad
105	2021/10/01_10:12:28	T1	955,8	°C
106	2021/10/01_10:12:38	T1	977,7	°C
107	2021/10/01_10:12:48	T1	999,8	°C
108	2021/10/01_10:12:58	T1	993	°C
109	2021/10/01_10:13:08	T1	999	°C
110	2021/10/01_10:13:18	T1	1021	°C
111	2021/10/01_10:13:28	T1	1020	°C
112	2021/10/01_10:13:38	T1	1000	°C
113	2021/10/01_10:13:48	T1	962,3	°C
114	2021/10/01_10:13:58	T1	935	°C
115	2021/10/01_10:14:08	T1	923,4	°C

Los elementos de la Tabla 10 son un ejemplo de los datos obtenidos durante el proceso experimental que por cuestiones de espacio no se muestran por completo en el presente estudio.

La primera columna corresponde al número de dato que se obtuvo para cada intervalo de tiempo de 10 [s], la segunda contiene la información de fecha y hora de la medición, la tercera indica la termocupla que realiza la medición, la cuarta contiene el valor medido de temperatura y la quinta columna contiene las unidades en las que se realizó la medición.

### **3.2.2. RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE DATOS**

#### **3.2.2.1. Resultados del preprocesamiento de datos**

Luego de revisar todos los datos obtenidos se procedió a eliminar las filas sin lectura de temperatura y datos duplicados. Se eliminó las columnas “T1” y “Unidad” que no son necesarias para el procesamiento de datos. Se obtuvieron tablas con la estructura que se muestra a continuación:

**Tabla 11.** Ejemplo de tabla obtenida en la primera parte del preprocesamiento de datos

No	Time	Temperatura [°C]
495	2021/10/01_11:17:28	931,6
496	2021/10/01_11:17:38	927
497	2021/10/01_11:17:48	945,5
498	2021/10/01_11:17:58	979
499	2021/10/01_11:18:08	1007
500	2021/10/01_11:18:18	1017
501	2021/10/01_11:18:28	1015
502	2021/10/01_11:18:38	1006
503	2021/10/01_11:18:48	986,9
504	2021/10/01_11:18:58	952,9
505	2021/10/01_11:19:08	925,8

Luego de esto se procedió a insertar una columna para la “Hora”. Para separar la fecha de la hora se utilizó la fórmula “=EXTRAE” y se obtuvo los datos de la hora del experimento. Se agregó una columna para el “Tiempo Total [s]” para indicar el tiempo transcurrido desde el inicio del experimento hasta su fin.

Se agregó la columna para el “Tiempo [s]” en la que se obtuvo el tiempo transcurrido de cada parada de inicio a fin. Por último, se cambió el nombre de la celda “Valor” por “Temperatura [°C]”. El resultado del preprocesamiento de datos se muestra en la Tabla 12 a continuación:

**Tabla 12.** Ejemplo del resultado obtenido del preprocesamiento de datos.

No	Time	Hora	Tiempo Total [s]	Tiempo [s]	Temperatura [°C]
824	2021/10/01_12:12:18	12:12:18	8230	990	979,5
825	2021/10/01_12:12:28	12:12:28	8240	1000	982,8
826	2021/10/01_12:12:38	12:12:38	8250	1010	983,7
827	2021/10/01_12:12:48	12:12:48	8260	1020	985,4
828	2021/10/01_12:12:58	12:12:58	8270	1030	985,8
829	2021/10/01_12:13:08	12:13:08	8280	1040	983,2
830	2021/10/01_12:13:18	12:13:18	8290	1050	975,7
831	2021/10/01_12:13:28	12:13:28	8300	1060	957,7
832	2021/10/01_12:13:38	12:13:38	8310	1070	944,9
833	2021/10/01_12:13:48	12:13:48	8320	1080	941,6
834	2021/10/01_12:13:58	12:13:58	8330	1090	933

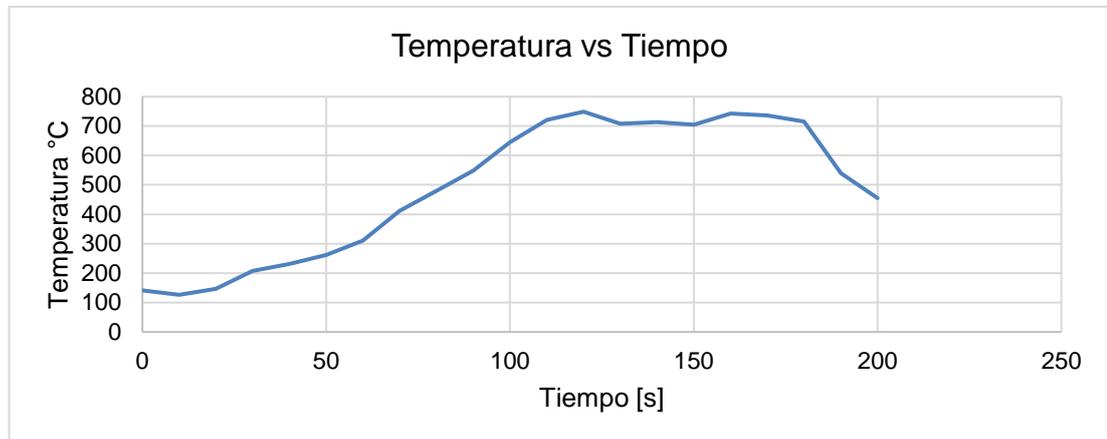
### 3.2.2.2. Resultados del procesamiento de datos

Con el procedimiento descrito en el numeral 2.2.4. se colocó la variable dependiente (Temperatura) en el eje y, y la variable independiente (Tiempo)

en el eje de las x, se obtuvieron los gráficos de dispersión (X, Y) para cada parada en las distintas mediciones como se muestra a continuación:

**Día 17 de septiembre del 2021, Panelera del Sr Vicente Anrango**

Medición 1:



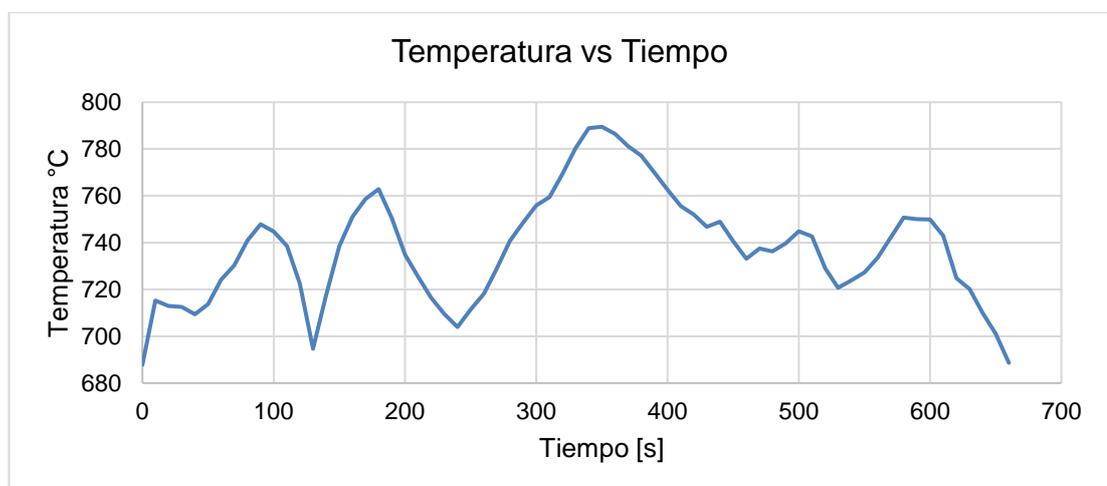
**Figura 5.** Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la boca del horno.

**Tabla 13.** Datos relevantes de la medición 1 figura 5.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
120	7200	3420	748,7	126,3	3310	0,20

La temperatura máxima se alcanzó a los 120 segundos de iniciada la medición 1, a los 3420 segundos de iniciada la primera parada.

Medición 2:



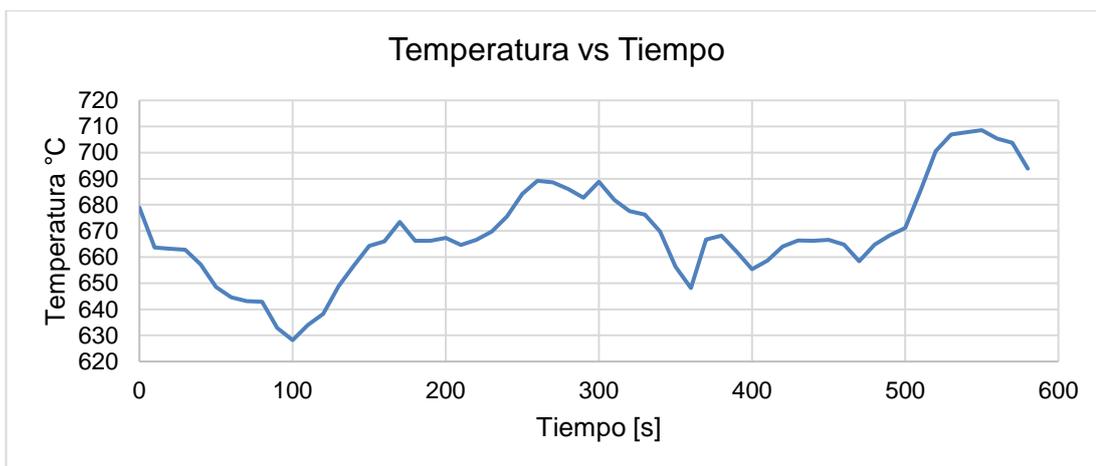
**Figura 6.** Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 2.

**Tabla 14.** Datos relevantes de la medición 2 figura 6.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
120	7200	4030	789,5	687,8	3680	3,04

La temperatura máxima se alcanzó a los 350 segundos de iniciada la medición 2, a los 4030 segundos de iniciada la primera parada.

Medición 3:



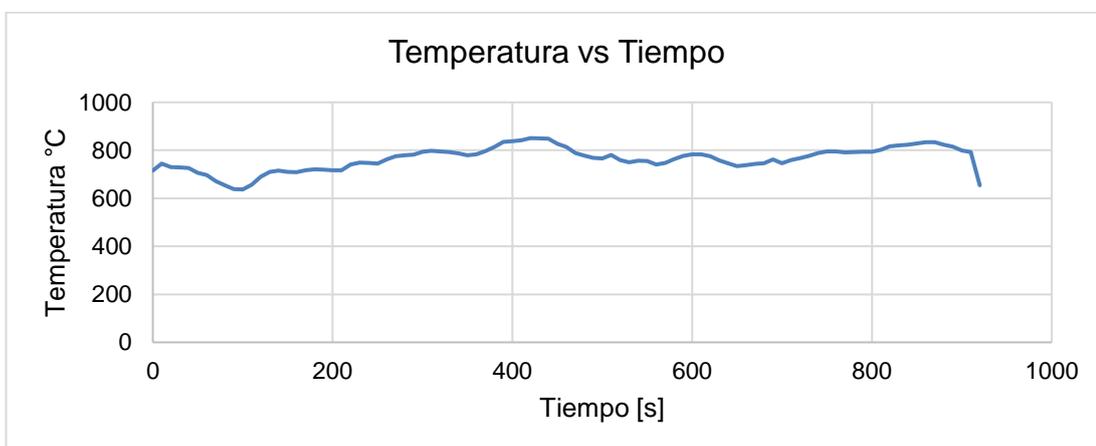
**Figura 7.** Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 3.

**Tabla 15.** Datos relevantes de la medición 3 figura 7.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
120	7200	4980	708,6	628,2	4530	5,33

La temperatura máxima se alcanzó a los 550 segundos de iniciada la medición 3, a los 4980 segundos de iniciada la primera parada.

Medición 4:



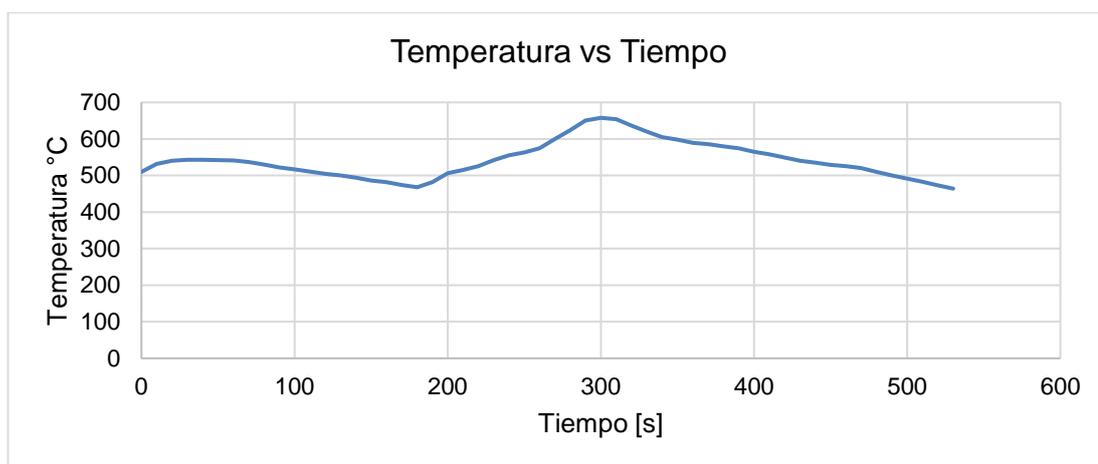
**Figura 8.** Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 1.

**Tabla 16.** Datos relevantes de la medición 4 figura 8.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
120	7200	5520	850,8	636,9	5200	2,05

La temperatura máxima se alcanzó a los 420 segundos de iniciada la medición 4, a los 5520 segundos de iniciada la primera parada.

Medición 5:



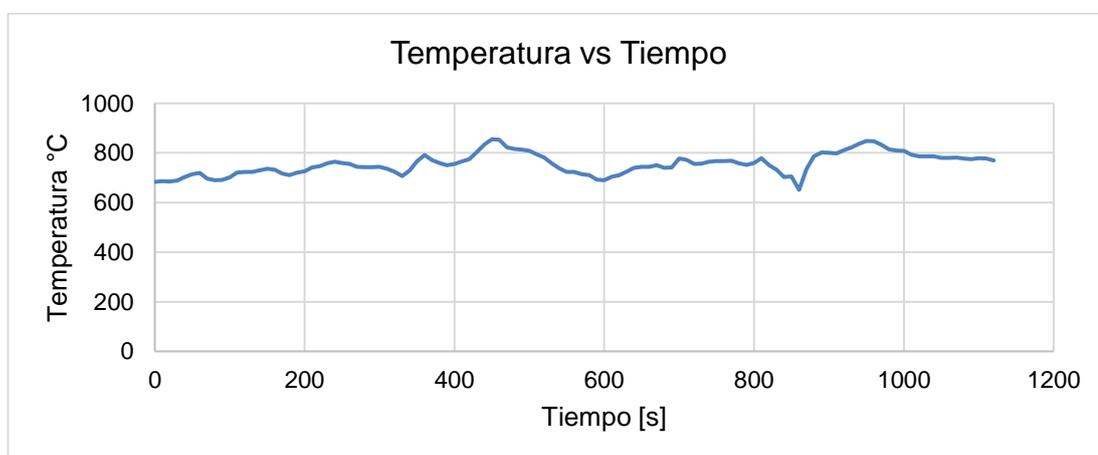
**Figura 9.** Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 4.

**Tabla 17.** Datos relevantes de la medición 5 figura 9.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
120	7200	6530	657,7	464,3	6760	5,65

La temperatura máxima se alcanzó a los 300 segundos de iniciada la medición 5, a los 6530 segundos de iniciada la primera parada.

Medición 6:



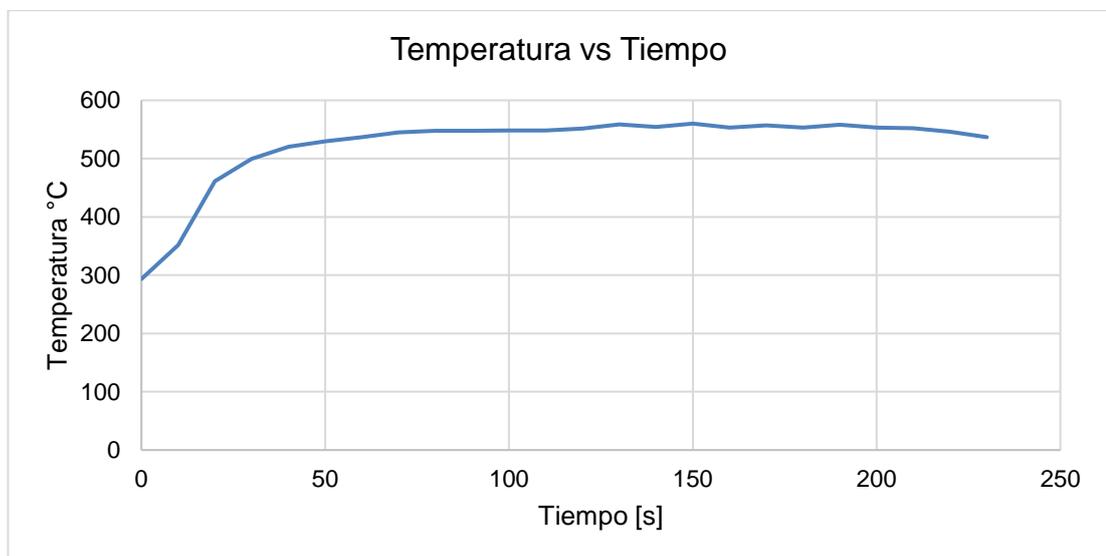
**Figura 10.** Temperatura vs Tiempo de la parada 2 en la paila 1.

**Tabla 18.** Datos relevantes de la medición 6 figura 10.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
96	5760	1830	855,2	651,1	2240	2,05

La temperatura máxima se alcanzó a los 450 segundos de iniciada la medición 6, a los 1830 segundos de iniciada la segunda parada.

Medición 7:



**Figura 11.** Temperatura vs Tiempo de la parada 2 en la paila 4.

**Tabla 19.** Datos relevantes de la medición 7 figura 11.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
96	5760	4750	560	293,3	4600	5,65

La temperatura máxima se alcanzó a los 150 segundos de iniciada la medición 7, a los 4750 segundos de iniciada la segunda parada.

**Día 1 de octubre del 2021, Panelera del Sr Juan Lligüisupa**

Medición 8:

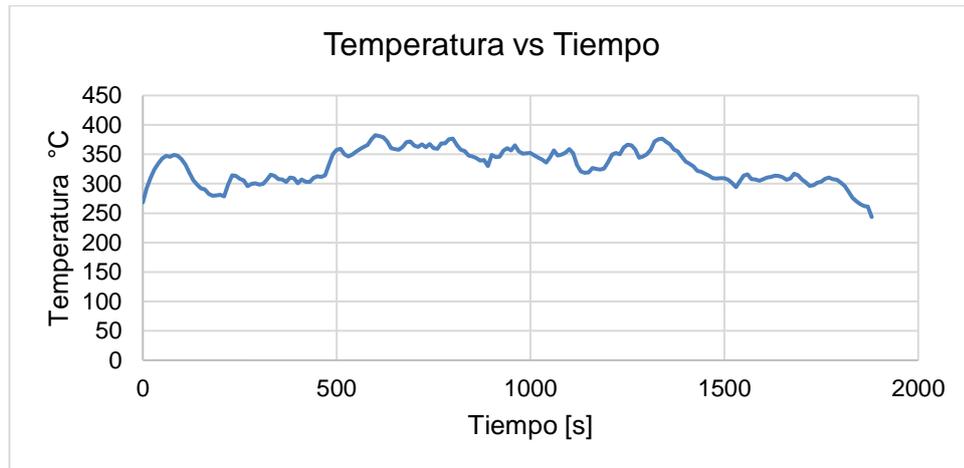


Figura 12. Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 4.

Tabla 20. Datos relevantes de la medición 8 figura 12.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
42,33	2540	600	382,6	243,5	1880	5,25

La temperatura máxima se alcanzó a los 600 segundos de iniciada la medición 8, a los 600 segundos de iniciada la primera parada.

Medición 9:

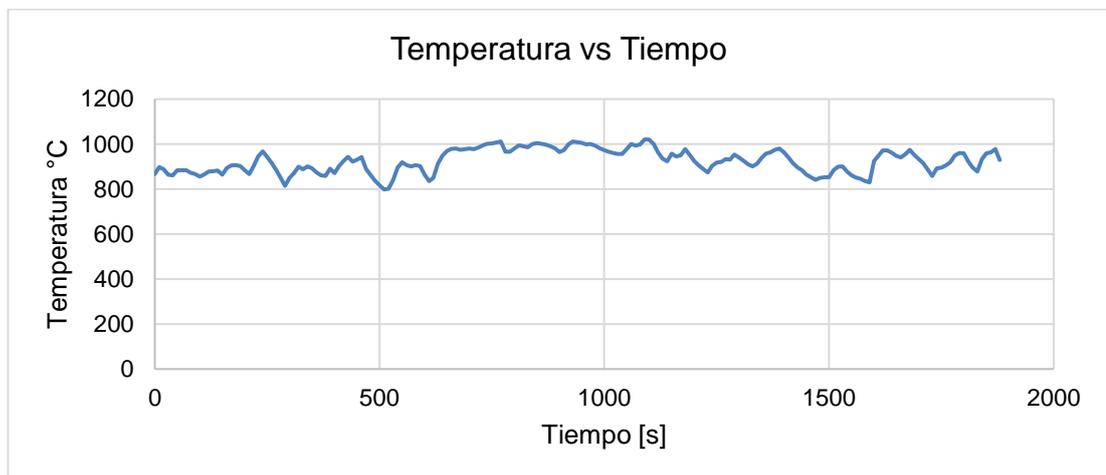


Figura 13. Temperatura vs Tiempo de la parada 2 en la paila 1.

Tabla 21. Datos relevantes de la medición 9 figura 13.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
31,33	1880	1090	1021	798,1	510	1,90

La temperatura máxima se alcanzó a los 1090 segundos de iniciada la medición 9, a los 1090 segundos de iniciada la segunda parada.

Medición 10:

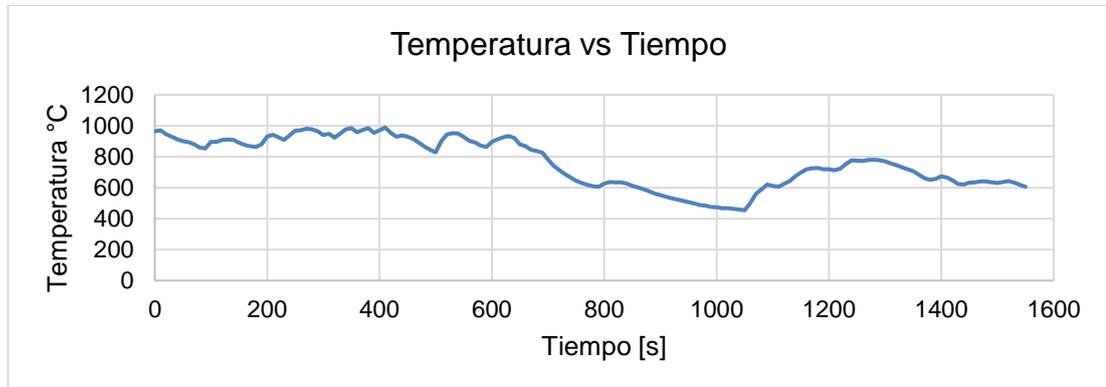


Figura 14. Temperatura vs Tiempo de la parada 3 en la paila 1.

Tabla 22. Datos relevantes de la medición 10 figura 14.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
25,83	1550	410	989,3	454,2	1050	1,90

La temperatura máxima se alcanzó a los 410 segundos de iniciada la medición 10, a los 410 segundos de iniciada la tercera parada.

Medición 11:

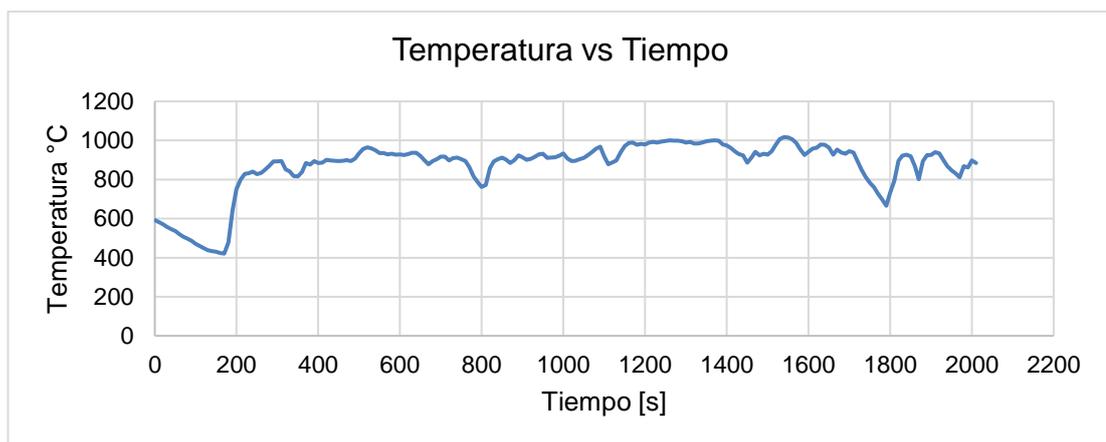


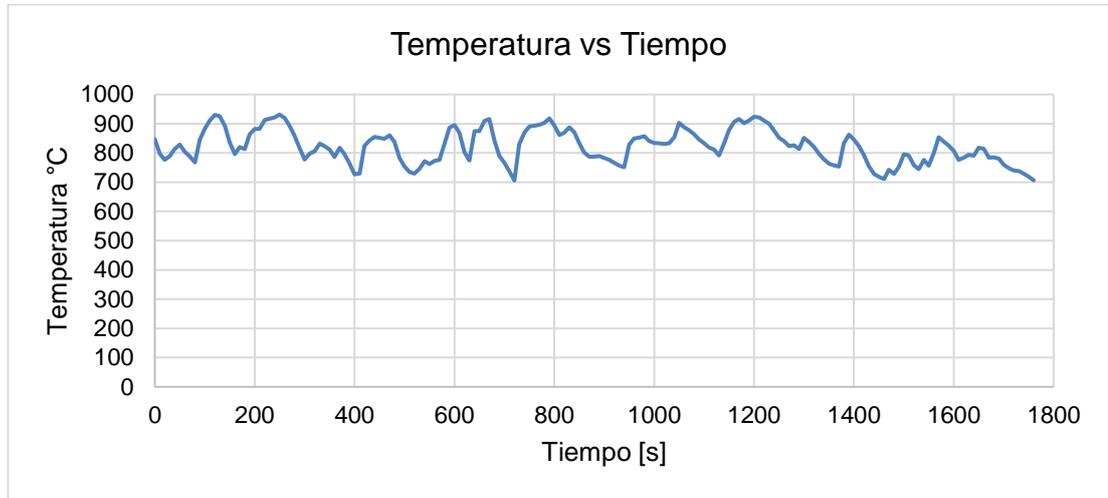
Figura 15. Temperatura vs Tiempo de la parada 4 en la paila 1.

Tabla 23. Datos relevantes de la medición 11 figura 15.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
33,5	2010	1540	1017	420,9	170	1,90

La temperatura máxima se alcanzó a los 410 segundos de iniciada la medición 11, a los 410 segundos de iniciada la cuarta parada.

Medición 12:



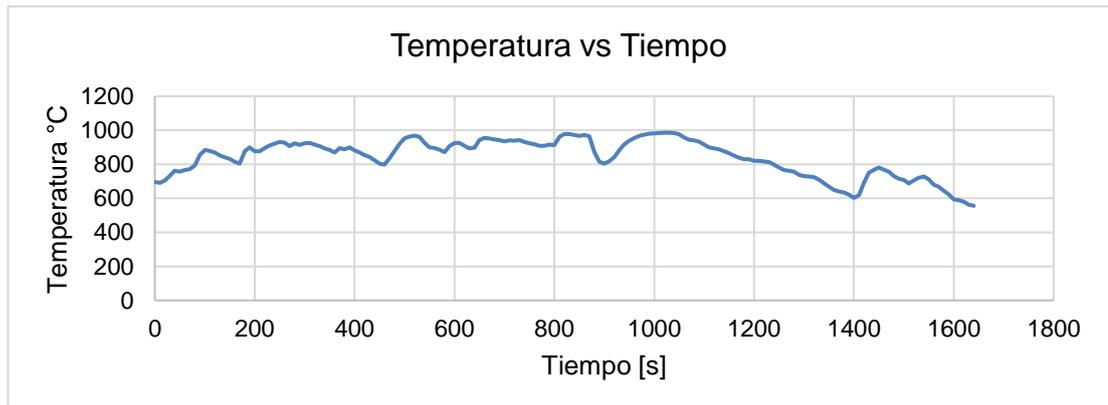
**Figura 16.** Temperatura vs Tiempo de la parada 5 en la paila 1.

**Tabla 24.** Datos relevantes de la medición 12 figura 16.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
29,33	1760	250	931,2	705,3	720	1,90

La temperatura máxima se alcanzó a los 250 segundos de iniciada la medición 12, a los 250 segundos de iniciada la cuarta parada.

Medición 13:



**Figura 17.** Temperatura vs Tiempo de la parada 6 en la paila 1

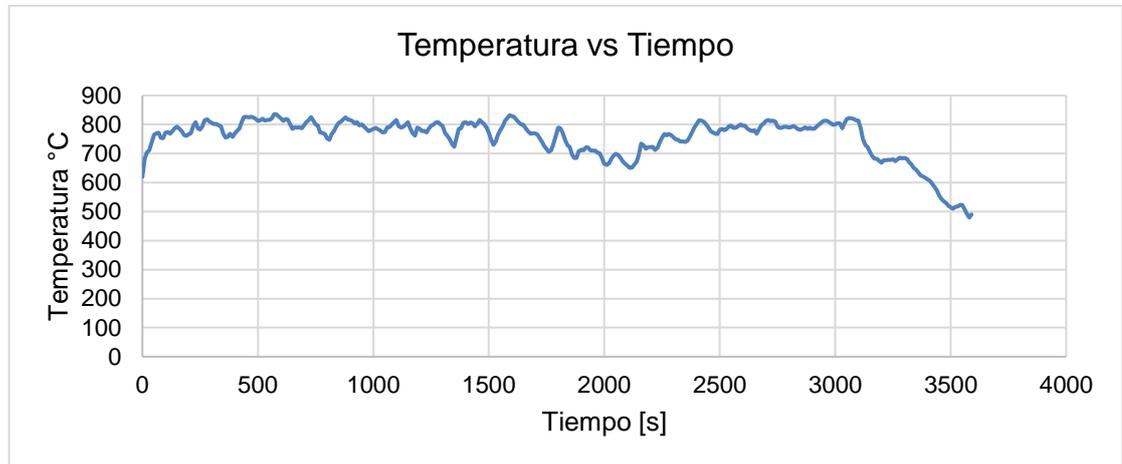
**Tabla 25.** Datos relevantes de la medición 13 figura 17.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
27,33	1640	1030	985,8	556	1640	1,90

La temperatura máxima se alcanzó a los 1030 segundos de iniciada la medición 13, a los 1030 segundos de iniciada la cuarta parada.

**Día 16 de octubre de 2021, Panelera del Sr Vicente Anrango**

Medición 14:



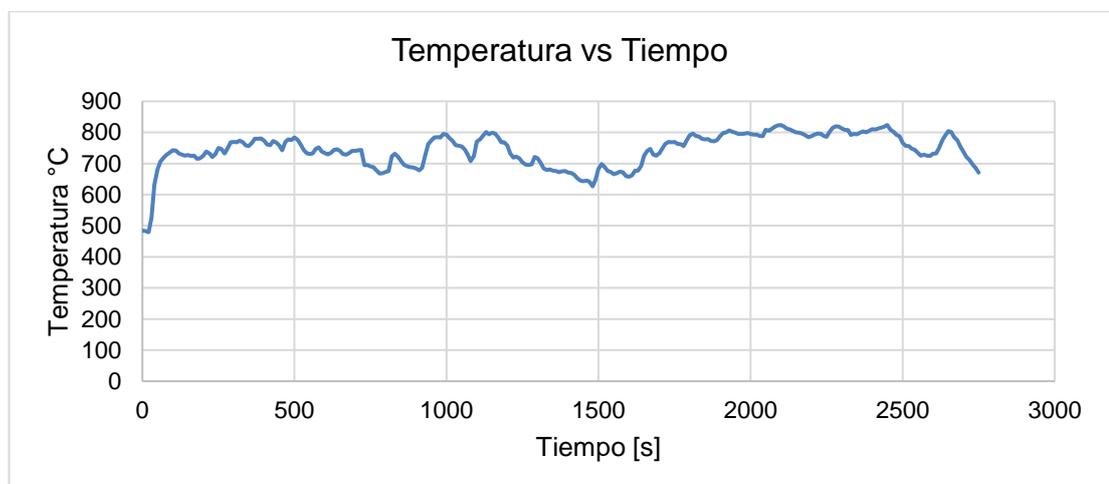
**Figura 18.** Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 2.

**Tabla 26.** Datos relevantes de la medición 14 figura 18.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
59,83	3590	580	835,4	479,3	3580	3,38

La temperatura máxima se alcanzó a los 580 segundos de iniciada la medición 14, a los 580 segundos de iniciada la primera parada.

Medición 15:



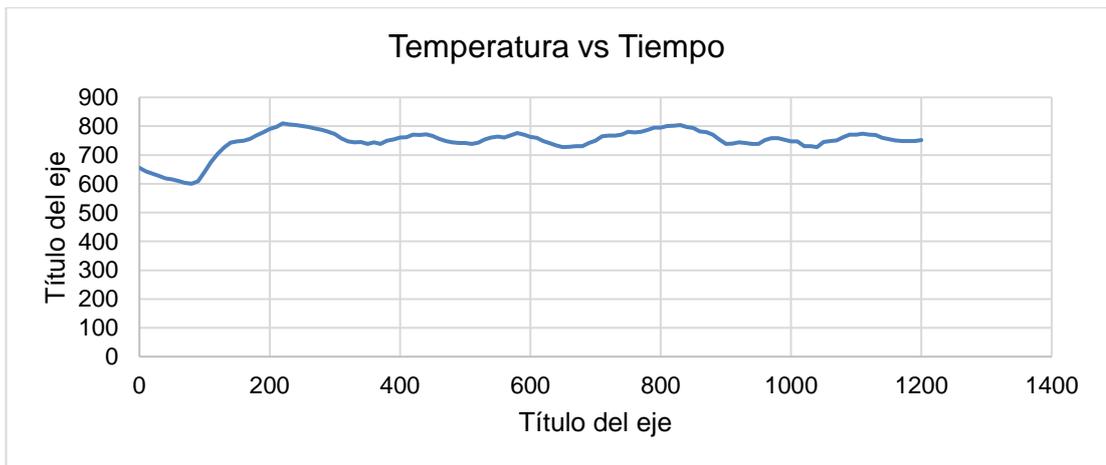
**Figura 19.** Temperatura vs Tiempo de la parada 2 en la paila 2.

**Tabla 27.** Datos relevantes de la medición 15 figura 19.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
45,83	2750	2100	823,5	479,1	20	3,38

La temperatura máxima se alcanzó a los 2100 segundos de iniciada la medición 15, a los 2100 segundos de iniciada la primera parada.

Medición 16:



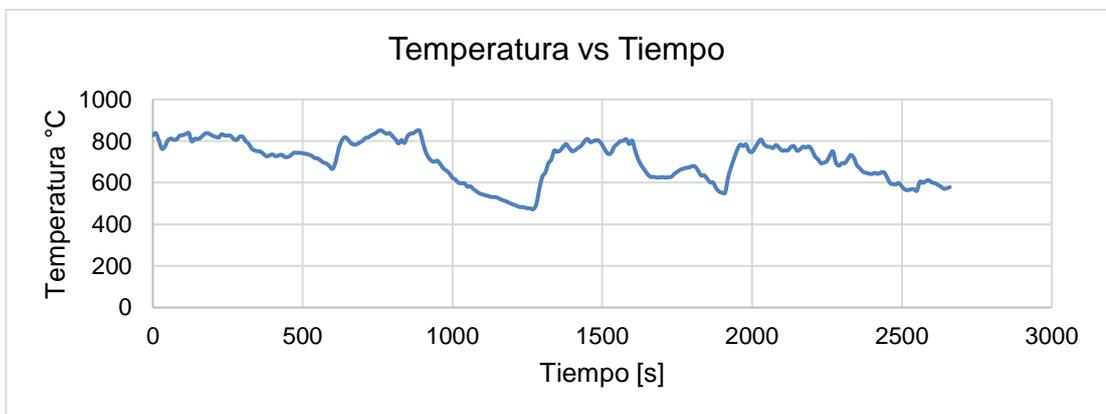
**Figura 20.** Temperatura vs Tiempo de la parada 3 en la paila 2.

**Tabla 28.** Datos relevantes de la medición 16 figura 20.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
76,50	4590	220	809,9	600,3	80	3,38

La temperatura máxima se alcanzó a los 220 segundos de iniciada la medición 16, a los 220 segundos de iniciada la tercera parada.

Medición 17:



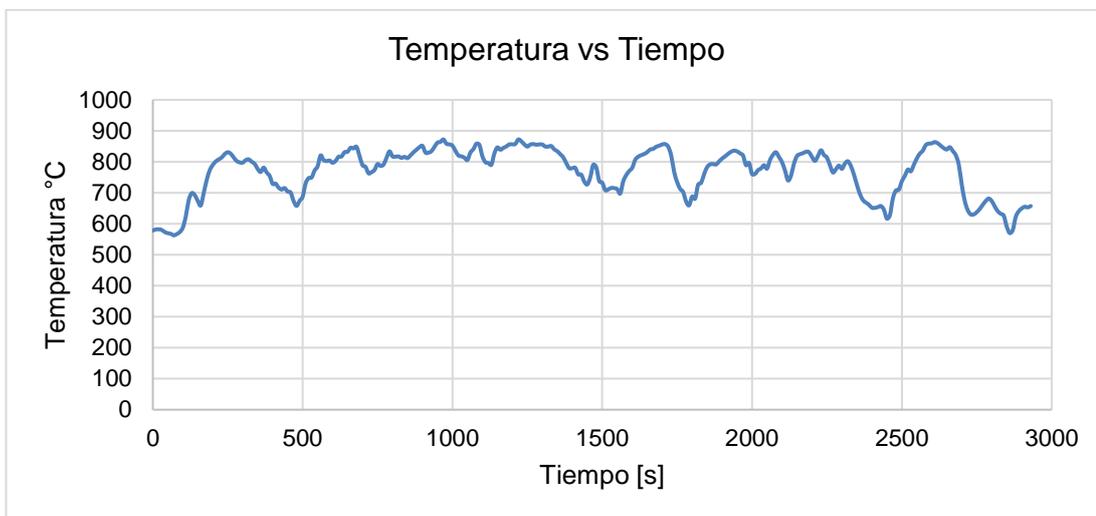
**Figura 21.** Temperatura vs Tiempo de la parada 3 en la paila 1.

**Tabla 29.** Datos relevantes de la medición 17 figura 21

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
76,50	4590	2040	851,9	472,3	1270	2,05

La temperatura máxima se alcanzó a los 760 segundos de iniciada la medición 17, a los 2040 segundos de iniciada la tercera parada.

Medición 18:



**Figura 22.** Temperatura vs Tiempo de la parada 4 en la paila 1.

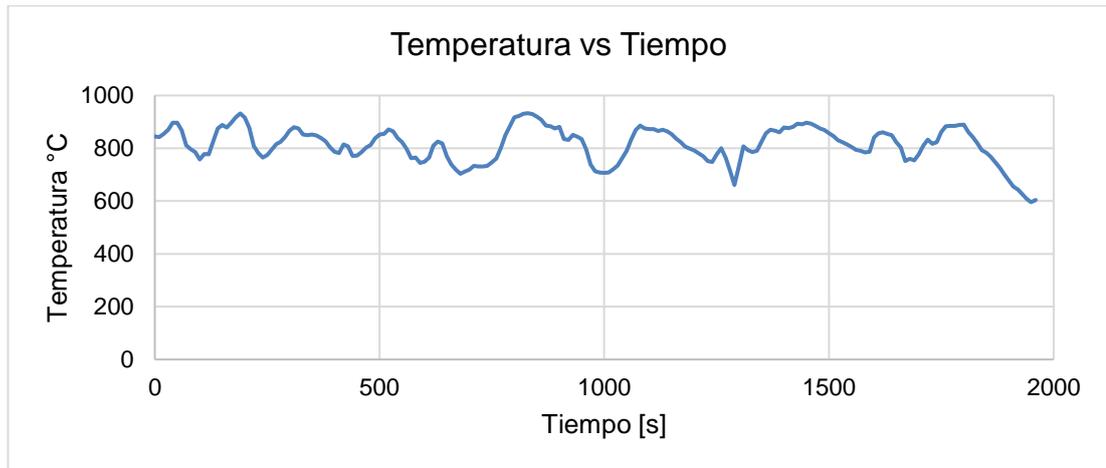
**Tabla 30.** Datos relevantes de la medición 18 figura 22

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
48,83	2930	320	872,2	562,7	70	2,05

La temperatura máxima se alcanzó a los 320 segundos de iniciada la medición 18, a los 320 segundos de iniciada la primera parada.

**Día 27 de noviembre, Panelera del Sr. Vicente Anrango**

Medición 19:



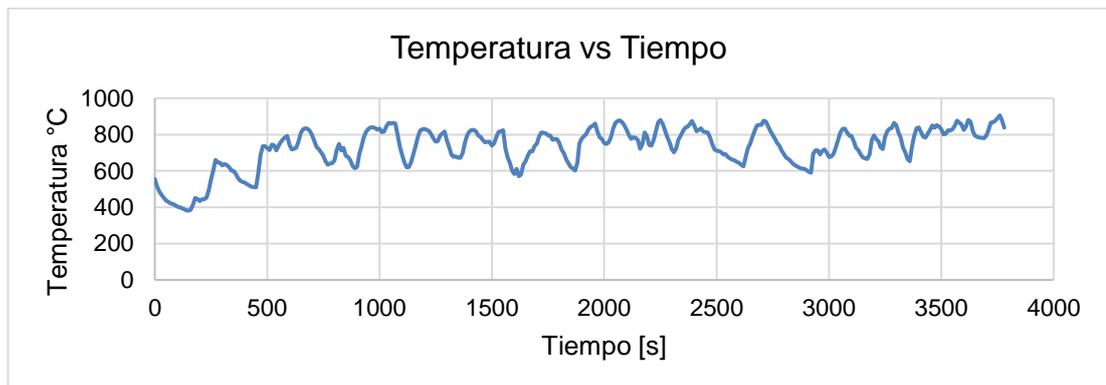
**Figura 23.** Temperatura vs Tiempo de la parada 1 en la paila 1.

**Tabla 31.** Datos relevantes de la medición 19 figura 23

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
73,33	4400	830	933	596	1950	2,07

La temperatura máxima se alcanzó a los 830 segundos de iniciada la medición 19, a los 830 segundos de iniciada la primera parada.

Medición 20:



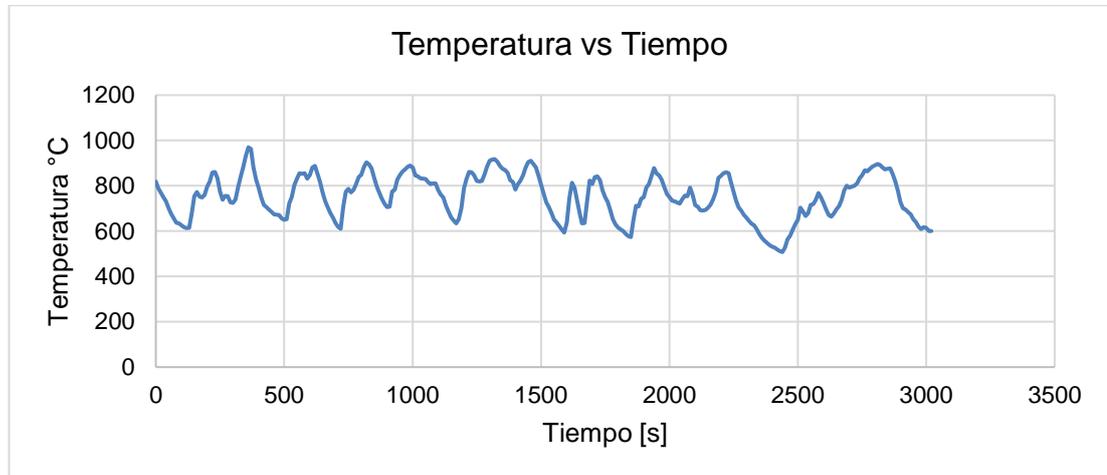
**Figura 24.** Temperatura vs Tiempo de la parada 2 en la paila 1.

**Tabla 32.** Datos relevantes de la medición 20 figura 24.

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
63	3780	3760	905,6	381,6	150	2,07

La temperatura máxima se alcanzó a los 3760 segundos de iniciada la medición 20, a los 3760 segundos de iniciada la segunda parada.

Medición 21:



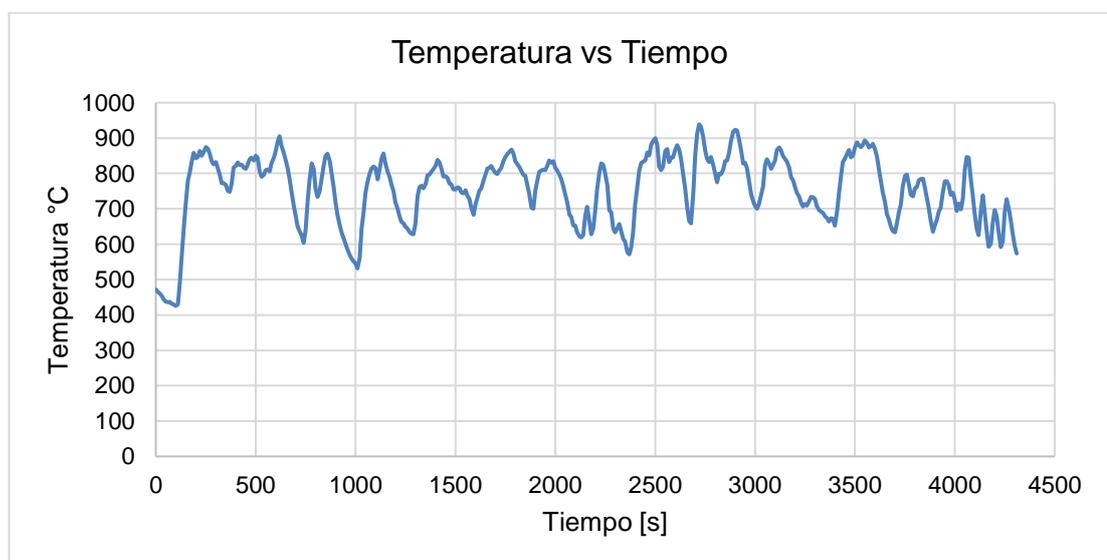
**Figura 25.** Temperatura vs Tiempo de la parada 3 en la paila 1.

**Tabla 33.** Datos relevantes de la medición 21 figura 25

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
81,83	4910	360	969,8	507,5	2440	2,07

La temperatura máxima se alcanzó a los 360 segundos de iniciada la medición 21, a los 360 segundos de iniciada la tercera parada.

Medición 22:



**Figura 26.** Temperatura vs Tiempo de la parada 4 en la paila 1.

**Tabla 34.** Datos relevantes de la medición 22 figura 26

Tiempo Total Parada		Tiempo Temperatura máx. [s]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Tiempo Temperatura Min [s]	Distancia [m]
[min]	[s]					
71,83	4310	2720	939	425,6	100	2,07

La temperatura máxima se alcanzó a los 2720 segundos de iniciada la medición 22, a los 2720 segundos de iniciada la cuarta parada.

Se obtuvo las 22 tablas de datos relevantes de las paradas en cada medición y luego se unificó toda esa información en la Tabla 35:

**Tabla 35.** Tabla general unificada del procesamiento de datos

Productor	Fecha	Parada	Medición	Paila	ttP [s]	tT máx. [s]	tT máx. /im [s]	T máx. [°C]	tT min [s]	T mín. [°C]	d [m]	
Sr. Vicente Anrango	17/9/2021	1	1	Boca del horno	7200	3420	120	748,7	3310	126,3	0,2	
			2	2	7200	4030	350	789,5	3680	687,8	3,04	
			3	3	7200	4980	550	708,6	4530	628,2	5,33	
			4	1	7200	5520	420	850,8	5200	636,9	2,05	
			5	4	7200	6530	300	657,7	6760	464,3	5,65	
		2	6	1	5760	1830	450	855,2	2240	651,1	2,05	
			7	4	5760	4750	150	560	4600	293,3	5,65	
Sr. Juan Lligüisupa	1/10/2021	1	1	8	4	2540	600	600	382,6	1880	243,5	1,9
			2	9		1880	1090	1090	1021	510	798,1	
			3	10		1550	410	410	989,3	1050	454,2	
			4	11		2010	1540	1540	1017	170	420,9	
			5	12		1760	250	250	931,2	720	705,3	
			6	13		1640	1030	1030	985,8	1640	556	
Sr. Vicente Anrango	16/10/2021	2	1	2		3590	580	580	835,4	3580	479,3	3,38
			2			2750	2100	2100	823,5	20	479,1	
			3			4590	220	220	809,9	80	600,3	
		3	17	1		4590	2040	760	851,9	1270	472,3	2,05
			4			2930	320	320	872,2	70	562,7	
Sr. Vicente Anrango	27/11/2021	1	1	1		4400	830	830	933	1950	596	2,07
			2			3780	3760	3760	905,6	150	381,6	
			3			4910	360	360	969,8	2440	507,5	
			4			4310	2720	2720	939	100	425,6	

El ttP (tiempo total de la parada) es el tiempo que transcurre desde que el jugo de caña entra a la paila de clarificación hasta que salen las mieles con punto caramelo de la paila de punteo a la paila de enfriamiento, sin considerar el tiempo que tarda en enfriarse y batirse para convertirse en panela granulada. El tT máx. (tiempo de temperatura máxima) es el tiempo en que se alcanza la temperatura máxima con respecto al inicio de la parada. El tT máx./im (tiempo de temperatura máxima respecto al inicio de medición) es el tiempo en el cual se alcanza la temperatura máxima con respecto al inicio de cada medición. T máx. es la temperatura máxima medida con la termocupla. tT mín. (tiempo de temperatura mínima) es el tiempo en el cual se alcanza la temperatura mínima. T mín. es la temperatura mínima medida con el instrumento. Y d [m] es la distancia en metros medida desde la boca del horno hasta donde se ubicó la termocupla.

El tiempo de las paradas depende del volumen de jugo de caña que se esté procesando en las pailas para obtener panela, la variedad de caña que se esté utilizando, la alimentación del horno y las temperaturas que se alcancen dentro de la cámara en el proceso de combustión.

### **3.2.3. RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS**

Se reorganizó la Tabla 35 de modo que se obtuvo los datos de las temperaturas máximas ordenadas de mayor a menor. En la tabla 36 se consideraron los datos de las temperaturas máximas (T máx.) de acuerdo con las distancias y la fecha de medición:

**Tabla 36.** Resumen de las temperaturas máximas alcanzadas en los hornos de combustión de BCA

<b>Productor</b>	<b>Fecha</b>	<b>Parada</b>	<b>Medición</b>	<b>Paila</b>	<b>T máx. [°C]</b>	<b>d [m]</b>	<b>ttP [min]</b>	<b>ttP [s]</b>	<b>tT máx. [s]</b>	<b>tT máx. /im [s]</b>
Sr. Juan Lligüisupa	1/10/2021	2	9	1	1021	1,9	31 [min] 20 [s]	1880	1090	1090
Sr. Vicente Anrango	27/11/2021	3	21	1	969,8	2,07	81 [min] 50 [s]	4910	360	360
Sr. Vicente Anrango	16/10/2021	4	18	1	872,2	2,05	48 [min] 50 [s]	2930	320	320
Sr. Vicente Anrango	17/9/2021	2	6	1	855,2	2,05	96	5760	1830	450
Sr. Vicente Anrango	16/10/2021	1	14	2	835,4	3,38	59 [min] 50 [s]	3590	580	580
Sr. Vicente Anrango	17/9/2021	1	2	2	789,5	3,04	120	7200	4030	350
Sr. Vicente Anrango	17/9/2021	1	3	3	708,6	5,33	120	7200	4980	550
Sr. Vicente Anrango	17/9/2021	1	5	4	657,7	5,65	120	7200	6530	300
Sr. Juan Lligüisupa	1/10/2021	1	8	4	382,6	5,25	42 [min] 20 [s]	2540	600	600

Se interpretaron los datos obtenidos en el numeral 3.2.2. relacionándolos con la distancia:

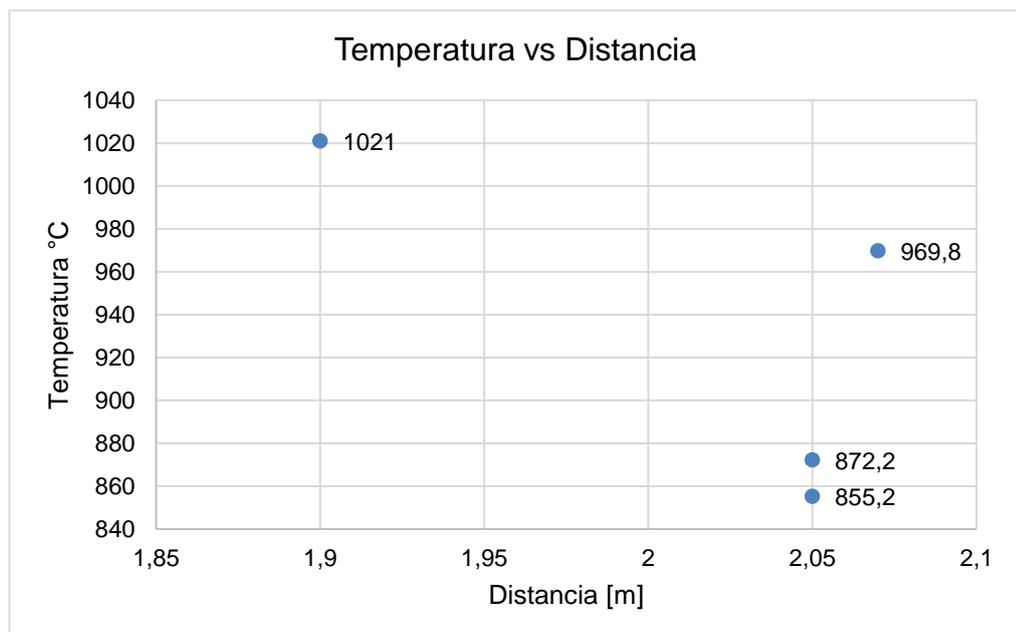
Las temperaturas más altas se registraron en ambas paneleras a una distancia de entre 1,90 y 2,07 [m] desde la boca del horno hasta donde se ubicó la termocupla.

Se dividió la información de la Tabla 36 en 3 tablas para realizar una comparación de las temperaturas máximas obtenidas a distancias entre 1,90 y 2,07 [m] y se hizo una gráfica de dispersión (X, Y) de cada una, como se muestra a continuación:

### Temperaturas a distancias entre 1,90 y 2,07 [m]

**Tabla 37.** Temperaturas máximas a distancias entre 1,90 y 2,07 [m]

Panelera	Temperatura Máxima [°C]	Distancia [m]	Número de Medición
Sr. Juan Lligüisupa	1021	1,9	9
Sr. Vicente Anrango	969,8	2,07	21
Sr. Vicente Anrango	872,2	2,05	18
Sr. Vicente Anrango	855,2	2,05	6

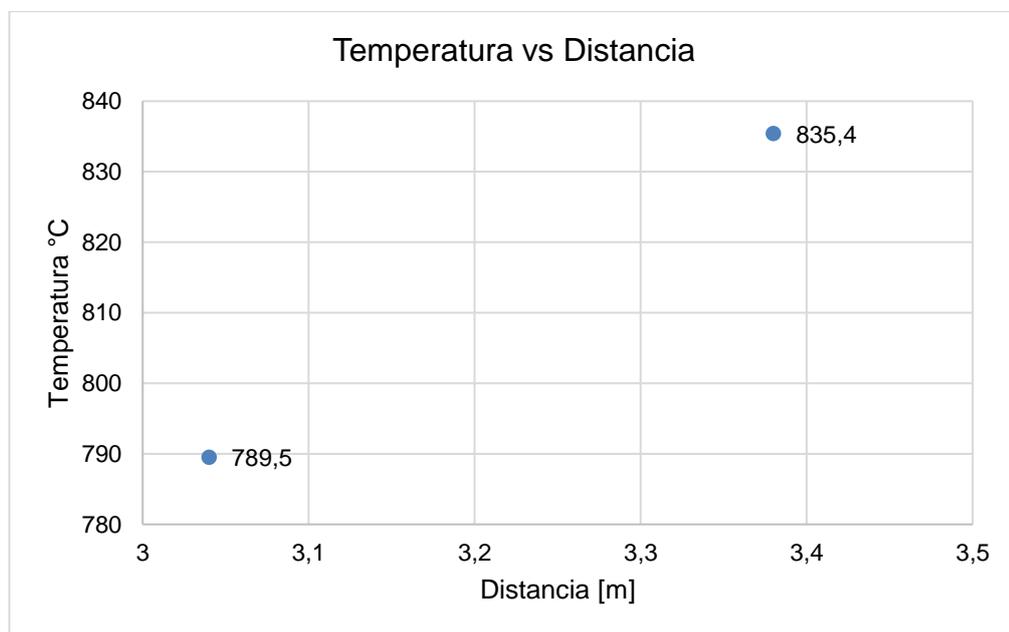


**Figura 27.** Temperaturas medidas a distancias entre 1,90 y 2,07 [m]

## Temperaturas a distancias entre 3,04 y 3,38 [m]

**Tabla 38.** Temperaturas máximas a distancias entre 3,04 y 3,38 [m]

Panelera	Temperatura Máxima [°C]	Distancia [m]	Número de medición
Sr. Vicente Anrango	835,4	3,38	14
Sr. Vicente Anrango	789,5	3,04	2

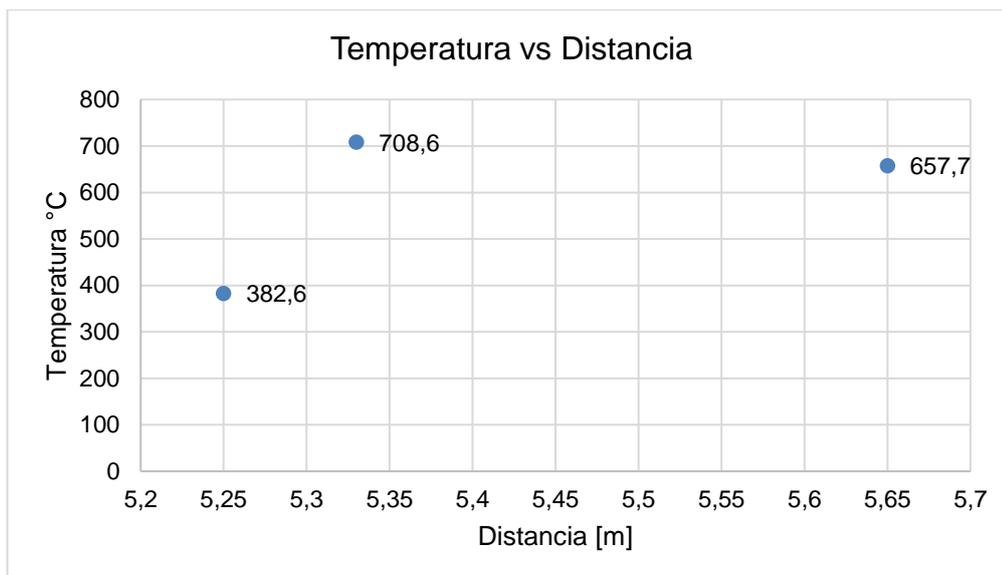


**Figura 28.** Temperaturas medidas a distancias entre 3,04 y 3,38 [m].

## Temperatura a distancias entre 5,25 y 5,65 [m]

**Tabla 39.** Temperaturas máximas a distancias entre 5,25 y 5,65 [m]

Panelera	Temperatura Máxima [°C]	Distancia [m]	Número de medición
Sr. Vicente Anrango	708,6	5,33	3
Sr. Vicente Anrango	657,7	5,65	5
Sr. Juan Lligüisupa	382,6	5,25	8



**Figura 29.** Temperaturas medidas a distancias entre 5,25 y 5,65 [m].

Las mediciones se realizaron durante las fases de la combustión como sigue:

**Tabla 40.** Temperatura teórica de las fases de combustión

Fase de la combustión	Temperaturas de medición
Secado	100°C <
Desvolatilización	Entre 200 y 600 °C
Oxidación del material carbonizado	≥ 650 °C

(Sánchez-Castro et al, 2013)

Las tres fases se desarrollan al mismo tiempo debido a que las mediciones se realizaron en condiciones reales de producción, aunque la fase de secado no se pudo evidenciar tal como se pudo observar las otras dos porque los hornos ya estaban encendidos al momento de iniciar con la toma de datos.

Las temperaturas máximas fueron medidas en la fase de oxidación del material carbonizado.

### 3.3. DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DEL BAGAZO EN LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DE COMBUSTIÓN

#### 3.3.1. RESULTADOS DEL MUESTREO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Se tomaron muestras acumuladas, homogéneas y representativas de acuerdo con lo establecido en la norma mexicana NMX-F-371 como se indica a continuación:

**Tabla 41.** Capacidad de las fundas de recolección de muestras

Número de muestras [Fundas]	Medidas de la funda zipper [cm]	Capacidad por funda [kg]	Peso total aproximado [kg]
13	40 x 40	3	39

Las 13 muestras de BCA se tomaron de dos paneleras en Ingapi como se indica a continuación:

**Tabla 42.** Muestras recolectadas por panelera

Fecha de muestreo	Panelera	Número de muestras recolectadas
17/09/2021	Sr. Vicente Anrango	3
01/10/2021	Sr. Juan Lligüisupa	3
16/10/2021	Sr. Vicente Anrango	3
27/11/2021	Sr. Vicente Anrango	3
27/11/2021	Sr. Juan Lligüisupa	1

Se tomaron muestras de distintos días de secado como se indica a continuación:

**Tabla 43.** Muestras tomadas de acuerdo con tiempo de secado del bagazo de caña de azúcar

Fecha de muestreo	Panelera	Número de muestras recolectadas	Número de la Muestra	Días de secado
17/9/2021	Sr. Vicente Anrango	3	1	0
			2	7
			3	14
1/10/2021	Sr. Juan Lligüisupa	3	4	0
			5	7
			6	14
16/10/2021	Sr. Vicente Anrango	3	7	0
			8	7
			9	21
27/11/2021	Sr. Vicente Anrango	3	10	0
			11	42
			12	49
27/11/2021	Sr. Juan Lligüisupa	1	13	0

### 3.3.2. RESULTADOS DEL PRETRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Se realizó el procedimiento descrito en el numeral 2.3.3. para las 13 muestras de bagazo de caña de azúcar descritas en la Tabla 43. El resultado del pretratamiento de las muestras de bagazo de caña de azúcar se puede observar en el (ANEXO 6).

Se consideró lo establecido en la norma mexicana NMX-F-371 en cuanto a que la muestra debe ser homogénea y representativa.

### 3.3.3. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN LAS MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Se siguieron los pasos descritos en el numeral 2.3.4. para determinar la humedad del BCA, luego se calculó el promedio de los resultados de cada una de las muestras analizadas y se obtuvieron los valores que se indican en las tablas a continuación:

#### Día 1 de octubre de 2021, Panelera del Sr. Juan Lligüisupa

**Tabla 44.** Resultados de la determinación de la humedad en las muestras de BCA del 1 de octubre en la panelera del Sr. Juan Lligüisupa

Número de muestra	Días de secado	Masa cápsula estandarizada [g]	Masa muestra [g]	Masa cápsula con muestra [g]	Humedad [%]	Humedad Promedio [%]
4	0	81,662	2,002	82,334	66,43	66,87
		90,690	2,001	91,297	69,67	
		69,569	2,003	70,280	64,5	
5	7	54,361	2,004	55,467	44,81	42,94
		80,516	2,006	81,695	41,23	
		59,511	2,003	60,657	42,79	
6	14	52,417	2,003	53,767	32,6	34,11
		49,106	2,007	50,360	37,52	
		50,628	2,015	51,994	32,21	

## Día 16 de octubre del 2021, Panelera del Sr. Vicente Anrango

**Tabla 45.** Resultados de la determinación de la humedad en las muestras de BCA del 16 de octubre del 2021.

Número de muestra	Días de secado	Masa cápsula estandarizada [g]	Masa muestra [g]	Masa cápsula con muestra [g]	Humedad [%]	Humedad Promedio [%]
7	0	81,660	2,003	82,265	69,80	69,25
		90,676	2,000	91,278	69,90	
		69,566	2,003	70,206	68,05	
8	7	54,363	2,001	55,294	53,47	53,42
		80,514	2,006	81,434	54,14	
		59,509	2,006	60,459	52,64	
9	21	52,418	2,005	53,693	36,41	36,24
		49,105	2,007	50,411	34,93	
		50,628	2,003	51,882	37,39	

## Día 27 de noviembre del 2021, Panelera del Sr. Vicente Anrango

**Tabla 46.** Resultados de la determinación de la humedad en las muestras de BCA del 27 de noviembre del 2021 Panelera Sr. Vicente Anrango

Número de muestra	Días de secado	Masa cápsula estandarizada [g]	Masa muestra [g]	Masa cápsula con muestra [g]	Humedad [%]	Humedad Promedio [%]
10	0	66,213	2,001	66,851	68,12	67,26
		62,202	2,003	62,860	67,15	
		66,013	2,003	66,684	66,50	
11	42	65,245	2,004	66,646	30,09	28,39
		81,665	2,004	83,126	27,10	
		90,702	2,002	92,144	27,97	
12	49	80,511	2,002	82,080	21,63	21,47
		49,101	2,005	50,661	22,19	
		59,515	2,005	61,107	20,60	

## Día 27 de noviembre del 2021, Panelera del Sr. Juan Lligüisupa

**Tabla 47.** Resultados de la determinación de la humedad en las muestras de BCA del 27 de noviembre del 2021 Panelera Sr. Juan Lligüisupa

Número de muestra	Días de secado	Masa cápsula estandarizada [g]	Masa muestra [g]	Masa cápsula con muestra [g]	Humedad [%]	Humedad Promedio [%]
13	0	50,624	2,004	51,300	66,27	66,60
		54,359	2,006	55,036	66,25	
		52,421	2,002	53,076	67,28	

El día 27 de noviembre de 2021, sólo se determinó la humedad del bagazo húmedo en la panelera del Sr. Juan Lligüisupa debido a que no se realizó mediciones de la temperatura en el horno. Se tomó esta muestra para comparar con los resultados anteriores en bagazo fresco.

No se determinó de forma experimental (en laboratorio) la humedad en las muestras 1, 2 y 3 debido a inconvenientes logísticos por lo que se calculó la humedad de la muestra 3 con el procedimiento teórico que se explica a continuación:

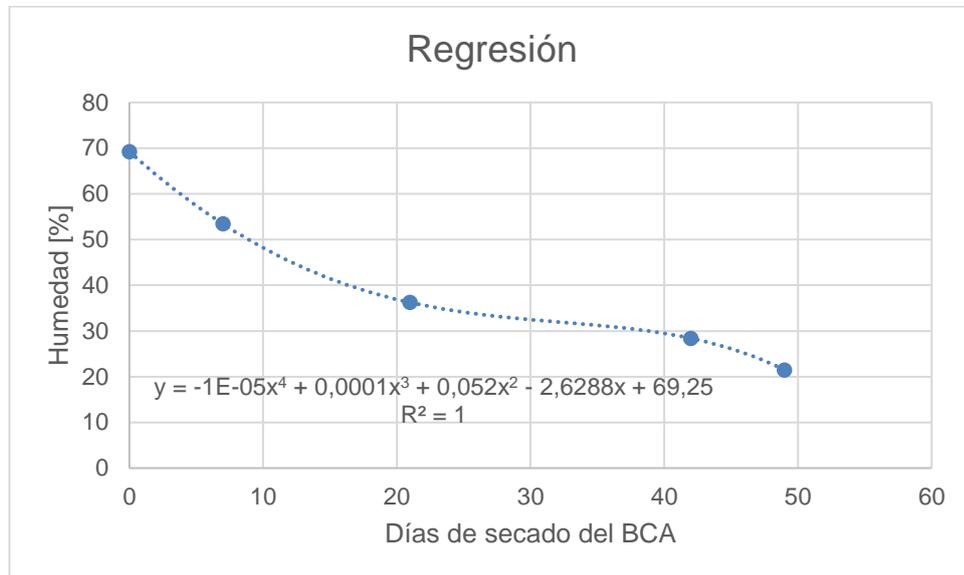
- Se realizó una regresión de datos, se hizo la Tabla 48 en Excel con los datos obtenidos de la determinación de humedad en la panelera del Sr Vicente Anrango.
- Se insertó un gráfico de dispersión de puntos (X, Y) con los datos recopilados de humedad. En el eje x se colocó el número de días de secado de bagazo y en el eje y la humedad expresada en porcentaje.
- Se dio clic derecho sobre uno de los puntos en el gráfico y se seleccionó la opción “Agregar línea de tendencia”.
- Una vez abiertas las opciones de línea de tendencia se seleccionó la opción polinómica de grado 4. Se seleccionó las opciones “Presentar ecuación en el gráfico” y “Presentar el valor de R cuadrado en el gráfico”.

**Tabla 48.** Porcentaje de humedad de acuerdo con número de días de secado en la panelera del Sr. Vicente Anrango

Número de Muestra	Días de secado del BCA	Humedad [%]
7	0	69,25
8	7	53,42
9	21	36,24
11	42	28,39
12	49	21,47

Para 0 días de secado del BCA se tomó el valor de humedad del número de muestra 7 para obtener un valor lo más cercano a la realidad, debido a que días después se hizo un mantenimiento en el trapiche.

Se obtuvo la gráfica que se muestra a continuación:



**Figura 30.** Ecuación y valor de  $R^2$  en el gráfico

Se obtuvo:

$$R^2 = 1 \quad [ 2 ]$$

Y la ecuación 2 donde se reemplazó el número de días buscados por la variable  $x$  como se muestra a continuación:

$$y = -1E - 05x^4 + 0,0001x^3 + 0,052x^2 - 2,6288x + 69,25 \quad [ 3 ]$$

$$y = -1E - 05(x)^4 + 0,0001(x)^3 + 0,052(x)^2 - 2,6288(x) + 69,25 \quad [ 4 ]$$

$$y = -1E - 05(14)^4 + 0,0001(14)^3 + 0,052(14)^2 - 2,6288(14) + 69,25 \quad [ 5 ]$$

$$y = 42,53 \quad [ 6 ]$$

En la ecuación (6) “ $y$ ” representa el porcentaje de humedad en 14 días de secado del bagazo.

### 3.3.4. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LA TEMPERATURA DE COMBUSTIÓN

De las 13 muestras descritas en la Tabla 43, únicamente se realizaron mediciones de temperatura en las muestras que se indican a continuación:

**Tabla 49.** Muestras de humedad utilizadas para las mediciones de temperatura

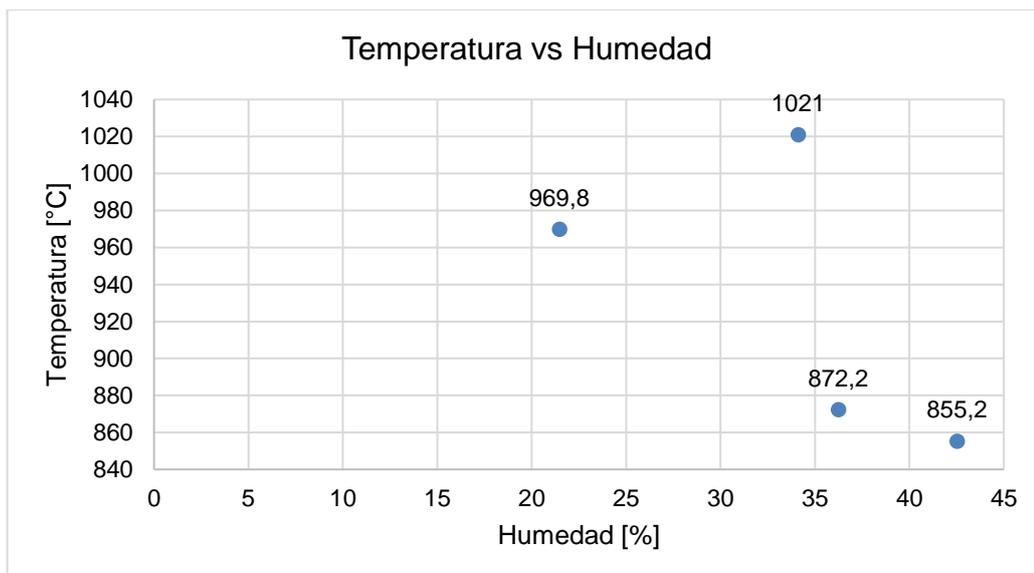
Fecha de muestreo	Panelera	Número de la muestra de humedad	Días de secado	Humedad [%]
17/9/2021	Sr. Vicente Anrango	3	14	42,53
1/10/2021	Sr. Juan Lligüisupa	6	14	34,11
16/10/2021	Sr. Vicente Anrango	9	21	36,24
27/11/2021	Sr. Vicente Anrango	12	49	21,47

Únicamente en 4 muestras de bagazo se analizó la humedad y se realizó la medición de temperatura. En las 9 muestras restantes se analizó la humedad para determinar cómo varía el secado del bagazo en el transcurso del tiempo, pero no se midió la temperatura. Las mediciones de temperatura corresponden al sitio donde se realiza la producción de panela, no a datos de laboratorio.

Para determinar la influencia de la variable humedad en la temperatura de combustión a distancias entre 1,90 y 2,07 [m], se realizaron tablas con datos concretos y se insertaron gráficos de dispersión (X, Y) con el fin de evaluar los resultados de las mediciones como sigue:

**Tabla 50.** Temperaturas máximas alcanzadas a distancias entre 1,90 y 2,07 [m] relacionadas con la humedad

Número de medición de temperatura	Distancia [m]	Temperatura Máxima [°C]	Humedad [%]
9	1,9	1021	34,11
21	2,07	969,8	21,47
18	2,05	872,2	36,24
6	2,05	855,2	42,53

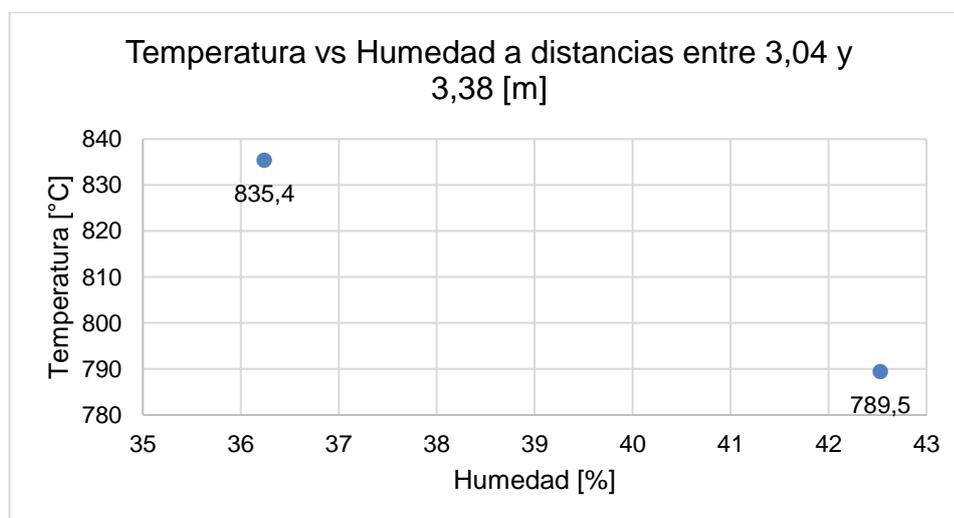


**Figura 31.** Resultado de la Influencia de la humedad en la temperatura del horno a distancias entre 1,90 y 2,07 [m].

Para determinar la influencia de la variable humedad en la temperatura de combustión a distancias entre 3,04 y 3,38 [m], se realizaron tablas con datos concretos y se insertaron gráficos de dispersión (X, Y) con el fin de evaluar los resultados de las mediciones como sigue:

**Tabla 51.** Temperaturas máximas alcanzadas a distancias equivalentes entre 3,04 y 3,38 [m] relacionadas con la humedad

Número de medición de temperatura	Temperatura Máxima [°C]	Distancia [m]	Humedad [%]
14	835,4	3,38	36,24
2	789,5	3,04	42,53

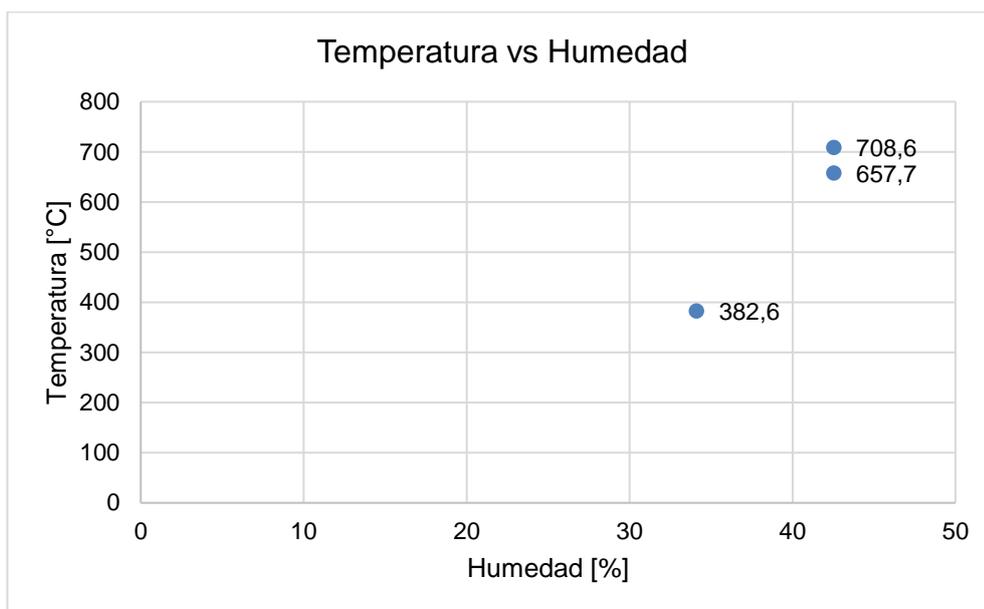


**Figura 32.** Resultado de la Influencia de la humedad en la temperatura del horno a distancias entre 3,04 y 3,38 [m].

Para determinar la influencia de la variable humedad en la temperatura de combustión a distancias entre 5,25 y 5,65 [m], se realizaron tablas con datos concretos y se insertaron gráficos de dispersión (X, Y) con el fin de evaluar los resultados de las mediciones como sigue:

**Tabla 52.** Temperaturas máximas alcanzadas a distancias entre 5,25 y 5,65 [m] relacionadas con la humedad

Número de medición de temperatura	Temperatura Máxima [°C]	Distancia [m]	Humedad [%]
3	708,6	5,33	42,53
5	657,7	5,65	42,53
8	382,6	5,25	34,11



**Figura 33.** Resultado de la Influencia de la humedad en la temperatura del horno a distancias entre 5,25 y 5,65 [m].

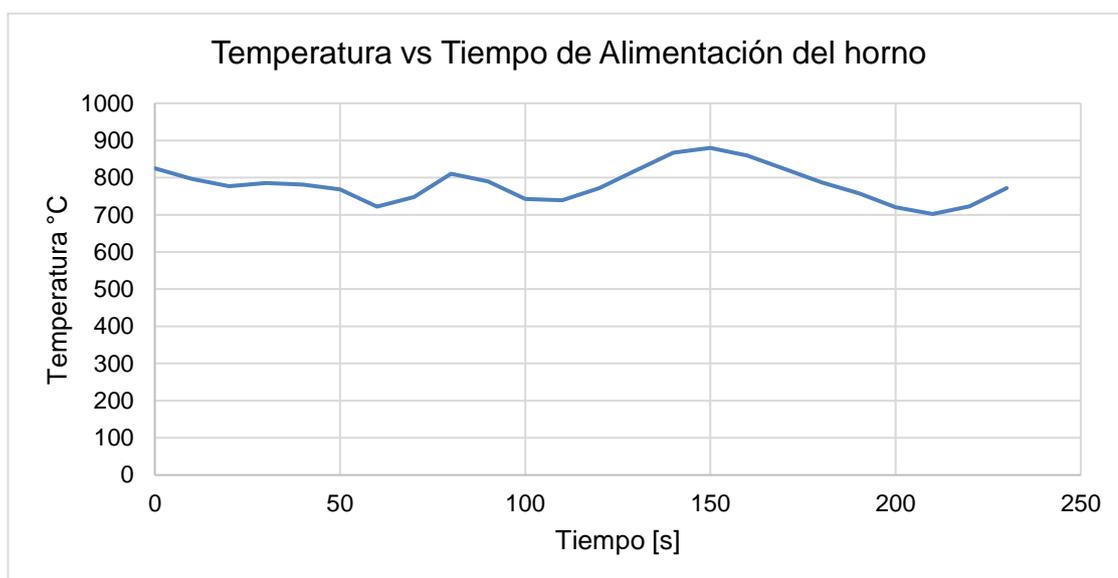
En la panelera de la familia Anrango se realizaron mediciones de la variable temperatura, con tiempos diferentes de las paradas manteniendo constante la humedad y la distancia. Esto permitió determinar que los tiempos de paradas influyen también en las temperaturas máximas tanto como la humedad que contiene el BCA. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 53.** Periodos de alimentación del horno.

Número de medición	Variable dependiente		Variables independientes				
	T máx. [°C]	T promedio [°C]	Tiempo Parada		d [m]	Humedad [%]	Alimentación promedio del horno [s]
			[min]	[s]			
19	933	813,76	73 min 20 s	4400	2,07	21,47	405
20	905,6	728,03	63	3780			202
21	969,8	751,89	81 min 50 s	4910			235
22	939	753,77	71 min 50 s	4310			210

La Tabla 53 resume el comportamiento de las variables independientes (tiempo, distancia, humedad y los periodos de alimentación del horno) y la influencia que ejercen sobre la variable dependiente (temperatura).

A intervalos más cortos de alimentación del horno la temperatura se mantiene más alta y hay menos descensos bruscos de la variable sobre todo cuando se tiene el flujo de aire primario (FAP) constante. Por el contrario, cuando los periodos son largos y sin FAP, se observa temperaturas más bajas que el promedio al final del periodo, esto puede suceder por la falta de combustible. A continuación, se muestran las gráficas que demuestran el comportamiento observado:



**Figura 34.** Periodo de alimentación del horno con BCA en un intervalo de 230 [s]



**Figura 35.** Periodo de alimentación del horno con BCA en un intervalo de 330 [s]

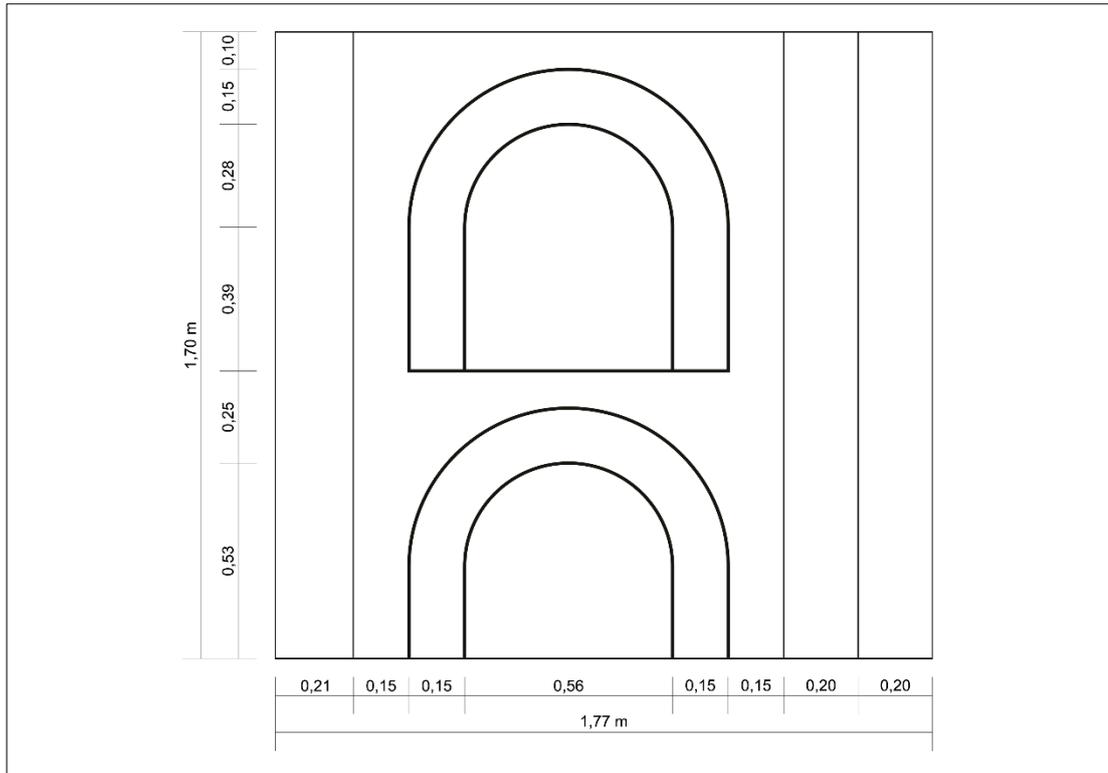
La alimentación del horno depende de las necesidades de los productores y de la etapa del proceso de producción en la que se encuentren para que requieran una mayor o menor temperatura y alimentarán al horno a intervalos más largos cuando están cerca del punteo ya que si elevan la temperatura en ese momento podrían quemar y malograr su producto generando una pérdida para la fábrica.

Si la alimentación del horno es constante a intervalos cortos de entre 200 y 300 [s] las temperaturas van a ser altas dependiendo de la humedad del bagazo que se esté utilizando y de la cantidad de combustible que ingrese al horno. Si se alcanzan temperaturas por encima de los 900°C como consecuencia se va a reducir el tiempo total de las paradas, siempre y cuando la alimentación del horno siga siendo a intervalos cortos, en el caso de que se alcancen temperaturas altas sobre los 900°C y no se alimente el horno de forma constante, el tiempo total de la parada siguiente será mucho mayor aunque se hayan alcanzado temperaturas altas ya que no se alcanzó a acumular suficiente energía en las paredes del horno para mantener las temperaturas por encima del promedio, incrementando el tiempo de producción.

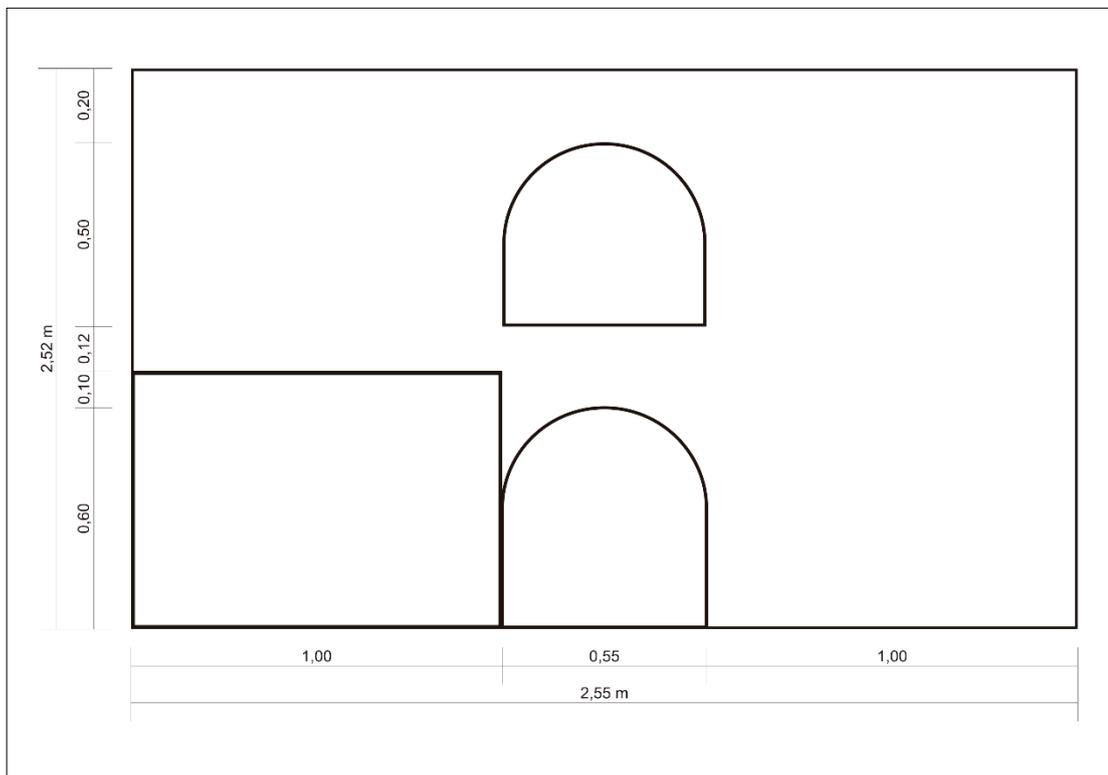
Otra de las variables observadas es el volumen de la cámara de combustión que es constante y depende del diseño de construcción del horno. Un horno de menor volumen requerirá menor cantidad de combustible que uno de mayor tamaño.

El diseño de la cámara de combustión y del cenicero puede variar en las paneleras de Ingapi ya que cada productor puede tener diferentes requerimientos y presupuestos para la construcción de sus instalaciones.

A continuación, se muestran los planos de los hornos de las dos paneleras estudiadas en este proyecto con el fin de hacer una comparación entre los dos diseños:

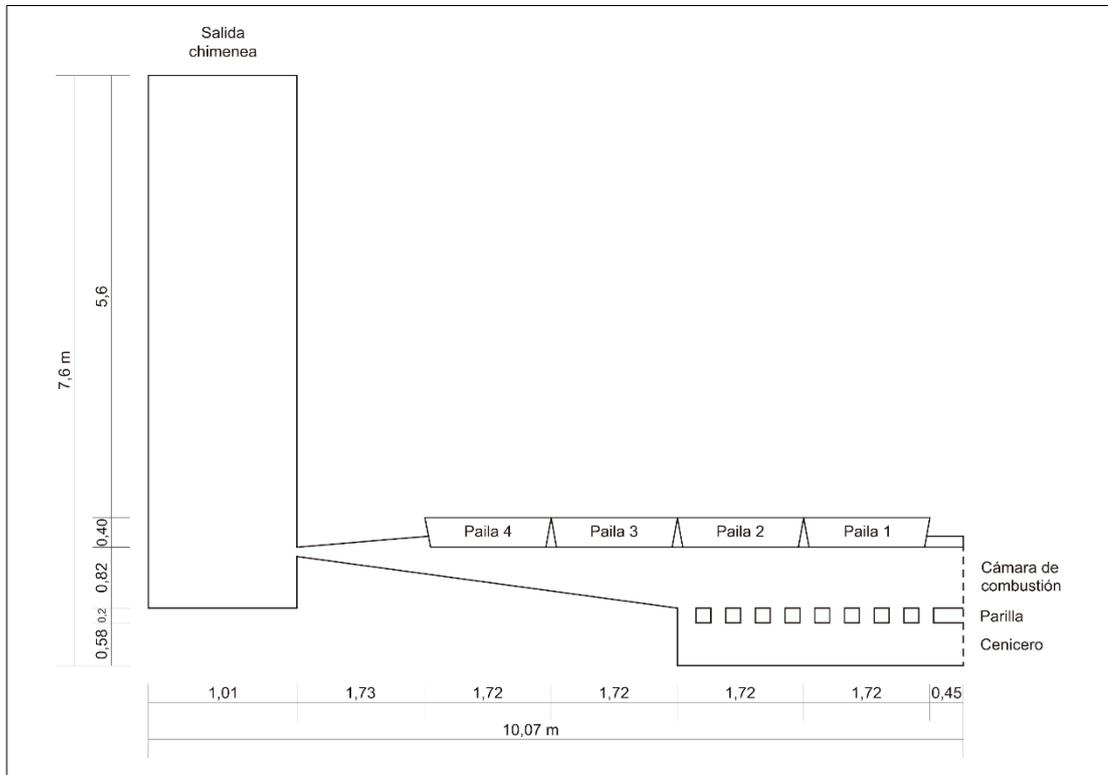


**Figura 36.** Plano de la vista frontal de la boca del horno de la panelera Anrango (escala 1:10).

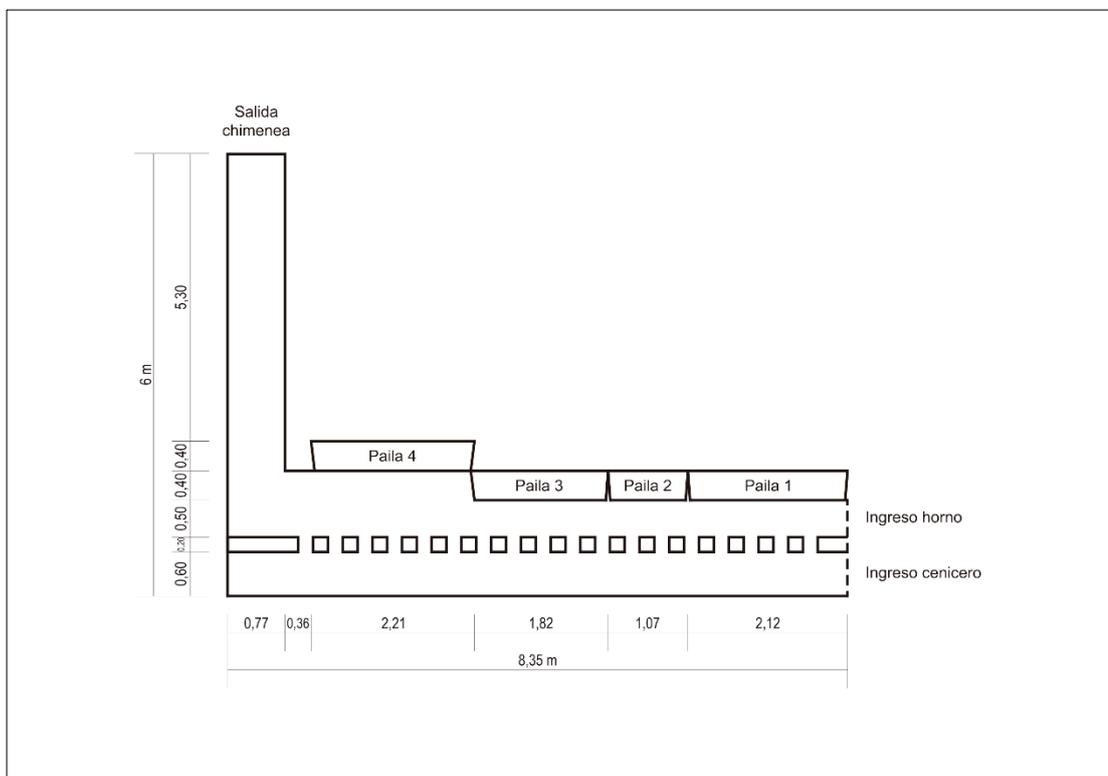


**Figura 37.** Plano de la vista frontal con corte de la boca del horno de la panelera Lligüisupa (escala 1:10).

Como se puede observar en las figuras 36 y 37 ambos hornos tienen una estructura similar en la parte frontal, que considera una cámara de combustión y debajo de la misma un cenicero en el cual se depositan las cenizas.



**Figura 38.** Vista con corte lateral del horno de la familia Anrango (escala 1:50)



**Figura 39.** Vista con corte lateral del horno de la familia Lligüisupa (escala 1:50).

En las Figuras 38 y 39 se puede observar las diferencias entre los dos diseños, en la Figura 38 existe una cámara de combustión más amplia en la parte cercana a la boca del horno que se va reduciendo en volumen hasta el inicio de la chimenea, este diseño permite que la temperatura en las últimas pailas sea más alta a pesar de que la longitud es mayor porque en esa sección los gases pasan a mayor velocidad, y al concentrarse en un menor volumen el termómetro detecta con mayor facilidad el aumento de temperatura. Por el contrario, en la Figura 39 se puede observar que debajo de la paila 4 más cercana al inicio de la chimenea tiene una mayor área y esto disminuye la velocidad con la que pasan los gases de combustión, reduciendo la temperatura, ya que en un mayor volumen del horno los gases se dispersan y el termómetro detecta una menor temperatura. En el ANEXO 9 se presentan las imágenes de las vistas internas y externas de ambos hornos.

### 3.4. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LOS GRADOS BRIX EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

Se determinó los grados Brix con el procedimiento descrito en el numeral 2.4, y la medición se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 54.** Resultado de la determinación de los grados Brix en el jugo de caña de azúcar

Número de Medición	Fecha	Panelera	Grados Brix
1	27/11/2021	Sr. Vicente Anrango	20
2	27/11/2021	Sr. Vicente Anrango	20

Se determinó la concentración de azúcares en el jugo de caña por duplicado y los resultados fueron los mismos en ambas ocasiones.

### 3.5. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL pH EN EL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

Se siguió la metodología descrita en el numeral 2.5 y se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 55.** Resultados de la determinación del pH en el jugo de caña de azúcar

Número de medición de pH	Fecha	Panelera	pH
1	27/11/2021	Sr. Vicente Anrango	5
2	27/11/2021	Sr. Vicente Anrango	5

Se realizó la determinación del pH por duplicado para asegurar la veracidad de los resultados y en ambas ocasiones se obtuvo el mismo resultado (ANEXO 10).

### 3.6. RESULTADOS DEL PUNTEO EN LA PANELA GRANULADA

En las parcelas de Pacto es común la siembra simultánea de distintas variedades de caña (ANEXO 11), los productores que forman parte de este estudio hacen lo mismo en sus terrenos. La cosecha se realiza por entresaque de acuerdo con la maduración, se ha comprobado que el punto para panela granulada en la zona de estudio va desde los 119 hasta los 127,2 °C. Estas variaciones ocurren por la mezcla de distintos tipos de caña en las moliendas y por la altura sobre el nivel del mar (entre 1300 y 1500 m.s.n.m.) a la cual se elabora la panela.

**Tabla 56.** Temperaturas del punto de panela granulada

Productor	Fecha	Temperatura del punto de panela granulada [°C]	Altura [m.s.n.m.]
Sr. Vicente Anrango	17/9/2021	125,4	1504
		124	
Sr. Juan Lligüisupa	1/10/2021	127,2	1293
		125	
Sr. Vicente Anrango	16/10/2021	120	1504
		119	
Sr Vicente Anrango	27/11/2021	121,3	1504
		122	

Se obtuvieron las temperaturas más bajas del punteo en la panelera del Sr. Vicente Anrango, probablemente por la altura a la que se encuentra la fábrica, es decir a mayor altura el punto de panela será menor.

### **3.7. IDENTIFICAR LAS ACTIVIDADES QUE GENERAN EL USO INADECUADO DE ENERGÍA Y OPORTUNIDADES DE MEJORA PARA LAS PANELERAS EN PACTO UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**

#### **3.7.1. RESULTADOS DE LA REVISIÓN INICIAL AMBIENTAL EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA**

Para la revisión inicial ambiental se siguió la metodología descrita en el apartado 2.7.1. con lo que se obtuvo:

Fase I. Reunión inicial:

- El alcance se delimitó en función de los equipos y facilidades que se encontró en la panelera.
- Se seleccionaron herramientas de tipo cualitativo para determinar los impactos al ambiente que se generan por las actividades de producción de panela granulada.
- Se determinó la persona clave en el proceso de producción de panela granulada, que fue el Sr. Vicente Anrango propietario de la panelera 1 que cuenta con más de 30 años de experiencia en el cultivo de caña y elaboración de la raspadura.
- La primera visita a la panelera fue septiembre 2021 y desde el primer acercamiento se inició con la evaluación de los procesos productivos.

Fase II. Elaboración de encuestas y entrevistas:

Se realizó entrevistó al Sr. Vicente Anrango acerca de los procesos de producción de panela en su fábrica.

Se inspeccionaron las actividades y se valoraron e identificaron los impactos al ambiente.

Se realizó la encuesta de diagnóstico empresarial sugerida por Van Hoof (2008). Los resultados se presentan en la Tabla 57 a continuación:

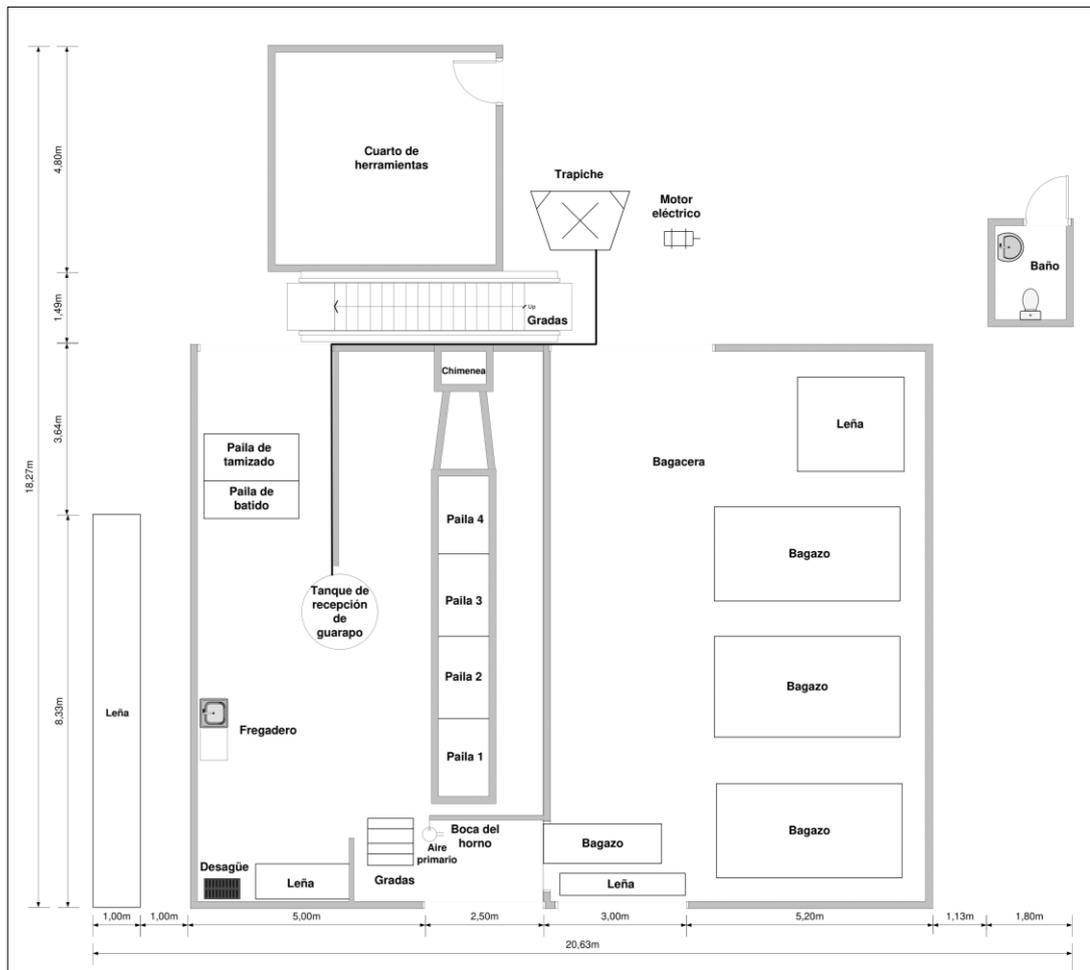
**Tabla 57.** Resultados de la encuesta de diagnóstico empresarial

No.	Pregunta	Respuesta
1	¿A qué se dedica la empresa?	Al cultivo de caña y la elaboración de panela granulada para venta nacional y exportación.
2	¿Cuánto tiempo llevan produciendo panela granulada?	Desde 1990
3	¿Tienen clientes nacionales o únicamente internacionales?	Ambos
4	¿Quiénes son sus clientes?	Los clientes nacionales son Maquita y Camari Las exportaciones se realizan a España, Alemania y Francia
5	¿Con qué empresas compiten en el mercado por sus clientes?	Con otras asociaciones de la zona, una de estas es la asociación El Paraíso.
6	¿Han aumentado sus ventas durante la pandemia o han disminuido?	Han aumentado
7	¿Qué cantidad de panela producían antes de la pandemia?	De 6 a 7 quintales semanales
8	¿Qué cantidad de panela producen desde que inicio la pandemia?	12 a 15 quintales semanales
9	¿Cuántos días a la semana trabajan si se considera los días que trabajan en sus cultivos, mantenimiento de instalaciones y la producción de panela?	6 días de lunes a sábado
10	¿Cuántas personas trabajan en la empresa?	4 personas en el cultivo de la caña y 4 o 5 en la molienda de caña.
11	¿Cómo se caracteriza la empresa? Familiar, innovadora, tradicional	Es una empresa de tipo familiar

En la Tabla 57 se confirma que es una empresa pequeña de tipo familiar y tiene más de 30 años en el mercado. Con los datos de la encuesta y la información recogida de las visitas técnicas se realizó los siguientes apartados que complementan la revisión ambiental inicial y son el sustento para la propuesta de producción más limpia.

### 3.7.2. RESULTADOS DE LA ELABORACIÓN DE ECOMAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA

Para la elaboración de los ecomapas se aplicó la metodología descrita en el apartado 2.7.2. con la que se obtuvo el plano de distribución de planta y los ecomapas que se muestran a continuación:



**Figura 40.** Plano de distribución de planta de la panelera de Sr. Vicente Anrango (escala 1:50).

Una vez realizado el plano de distribución de planta y con la información de las visitas, se logró una idea más clara de los puntos donde se generan residuos y las actividades donde se consume más recursos.

### 3.7.2.1. Ecomapa del agua

El ecomapa de agua se muestra a continuación:

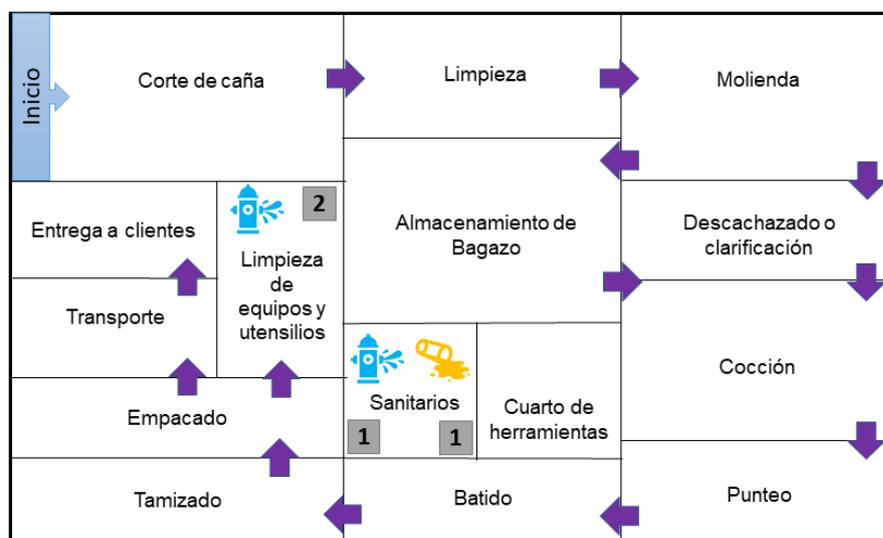


Figura 41. Ecomapa de agua

El consumo de agua se genera debido a la limpieza que se realiza en la panelera por el lavado de los equipos y utensilios empleados en la fabricación de panela granulada.

La generación de aguas residuales está relacionada con el uso de los sanitarios y la generación de aguas negras y aguas grises que son descargadas en el sistema de recolección de Ingapi que actualmente cuenta con un pozo séptico comunitario.

A continuación, se muestra el consumo mensual de la panelera:

Tabla 58. Consumo mensual de agua en la fábrica de panela.

Mes	Consumo en [m <sup>3</sup> ]	Valor de la factura
Septiembre	50	20,47
Octubre	36	12,13
Noviembre	45	17,49
Diciembre	57	24,64
Enero	41	15,11
<b>Consumo total</b>	<b>229</b>	<b>\$ 89,84</b>

La panelera Anrango tiene un solo medidor de agua que comparten las instalaciones de la panelera, la casa y una tienda de víveres de la familia por lo cual no es posible determinar con exactitud el consumo de la fábrica estudiada.

### 3.7.2.2. Ecomapa de energía

A continuación, se presenta el ecomapa de energía de la panelera:

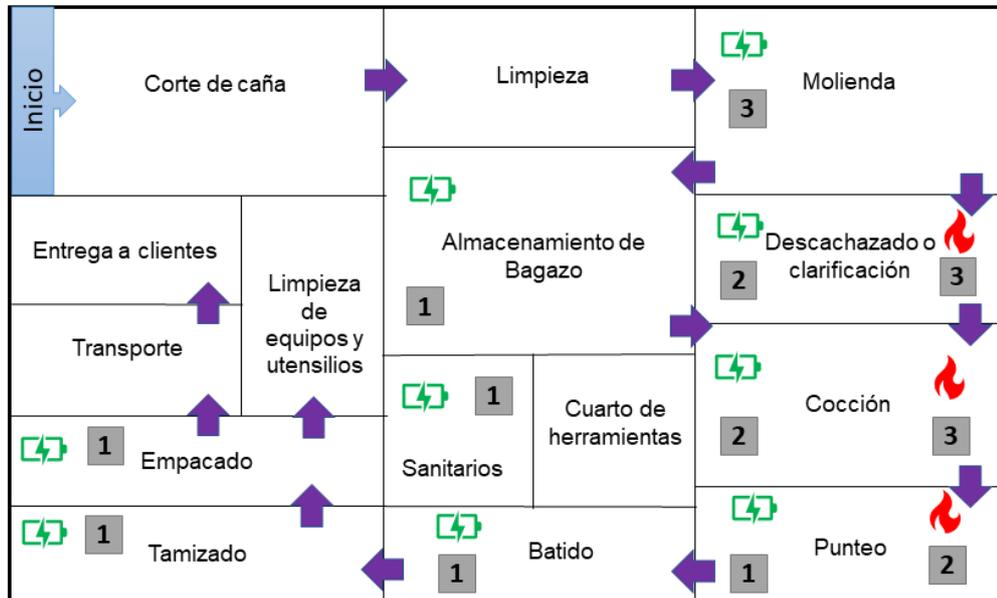


Figura 42. Ecomapa de energía.

El consumo de energía de baja significancia ocurre por el uso de focos durante la noche ya que los señores paneleros trabajan desde las 2am hasta las 5pm por lo regular.

Tabla 59. Resumen del consumo y generación de energía en el proceso de producción de panela granulada.

Proceso	Significancia	Simbología	Descripción del uso de energía
Molienda	3		Uso del trapiche eléctrico. Luz eléctrica (madrugada y noche)
Almacenamiento de bagazo	1		Luz eléctrica (madrugada y noche)
Descachazado / clarificación	2		Flujo de aire primario. Luz eléctrica (madrugada y noche)
Cocción	2		Flujo de aire primario. Luz eléctrica (madrugada y noche)
Punteo	1		Luz eléctrica (madrugada y noche)
Descachazado / clarificación	3		Generación de energía (Calor)
Cocción	3		Generación de energía (Calor)

Continua...

### Continuación...

Punteo	2		Generación de energía (Calor)
Batido	1		Luz eléctrica (madrugada y noche)
Tamizado	1		Luz eléctrica (madrugada y noche)
Empacado	1		Luz eléctrica (madrugada y noche)
Uso de sanitarios	1		Luz eléctrica (madrugada y noche)

El consumo de energía eléctrica de la panelera se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 60.** Consumo mensual de energía eléctrica de la panelera Anrango.

Mes	Consumo en [kWh]	Valor servicio eléctrico y alumbrado público (luz)
Septiembre	1	1,48
Octubre	110	9,66
Noviembre	0	1,48
Diciembre	82	6,74
Enero	37	3,86
<b>Consumo total</b>	<b>230</b>	<b>\$ 23,22</b>

En el DMQ la factura de consumo de energía eléctrica también contempla el servicio del cuerpo de bomberos y la recolección de basura. Se consideró únicamente el rubro correspondiente al consumo eléctrico y alumbrado público para la Tabla 60.

La panelera Anrango cuenta con un medidor de energía eléctrica desde el mes de septiembre por ese motivo los valores de septiembre y noviembre mostrados en la Tabla 60 no registran los consumos de esos dos meses, probablemente los valores se registraron en octubre y diciembre. En promedio consumen 46 kWh mensuales a un costo de \$0,06 el kWh. Esta relación demuestra que el consumo energético de un trapiche eléctrico es de muy bajo costo y representa una buena alternativa para los demás señores productores de panela que deseen optar por este tipo de molinos menos contaminantes.

### 3.7.2.3. Ecomapa de residuos

A continuación, se presenta el ecomapa de residuos:

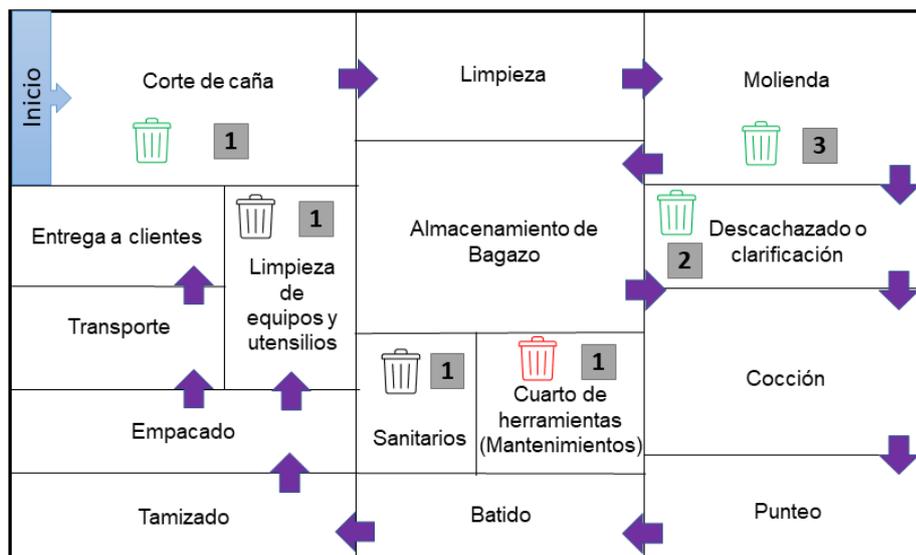


Figura 43. Ecomapa de residuos.

Tabla 61. Resumen de los desechos generados en el proceso de producción de panela granulada

Proceso	Significancia	Simbología	Descripción del residuo	Tipo de residuo
Corte de caña	1		Hojas, raíces, tierra, cañas sobre maduras.	Orgánico
Molienda	3		Bagazo	Orgánico
Descachazado / clarificación	2		Cachaza impurezas	Orgánico
Limpieza de equipos y utensilios	1		Restos de panela, desechos comunes	Residuos comunes aprovechables.
Uso de sanitarios	1		Papel higiénico usado	Desecho común no aprovechable.
Cuarto de herramientas (Mantenimientos)	1		Luminarias	Desecho peligroso

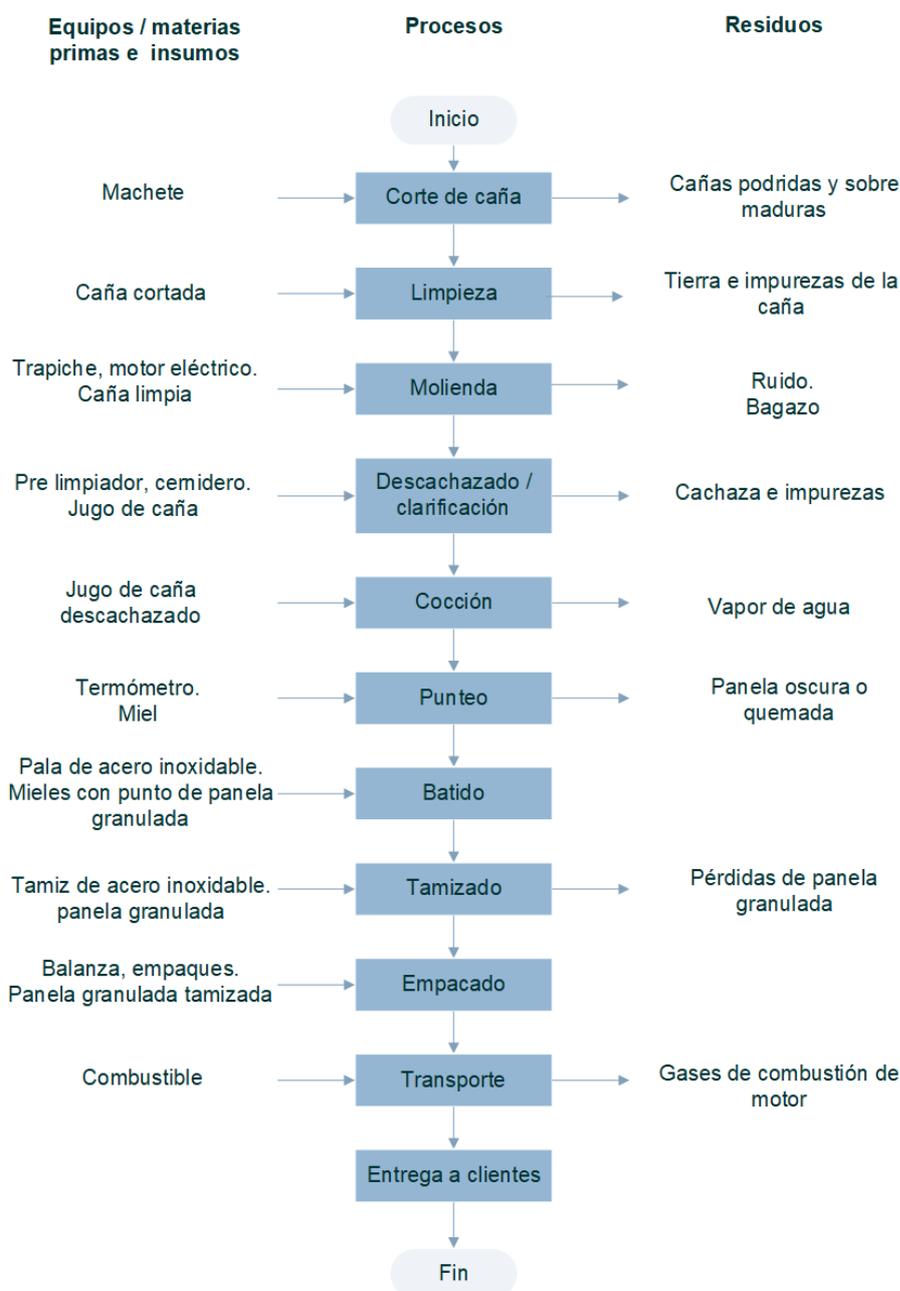
El tipo de residuo está en concordancia con la clasificación descrita en la legislación vigente del Ecuador (Acuerdo Ministerial 323 del 2019) y con el COA (Código Orgánico del Ambiente del 2017).

En el mantenimiento de las instalaciones de la fábrica se contempla el cambio de luminarias que luego de cumplir su vida útil se consideran residuos

peligrosos con código NE-40 según lo señalado en el Acuerdo Ministerial 142 de tipo tóxico con relación al CRETIB (Acuerdo Ministerial 142 del 2012).

### 3.7.3. RESULTADOS DEL ECOBALANCE EN LA PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA

Para la elaboración del ecobalance se realizó un diagrama de flujo para comprender los procesos de producción de panela granulada, los resultados se muestran a continuación:



**Figura 44.** Diagrama de flujo del proceso de producción de panela granulada

Con los resultados del diagrama de flujo del proceso de producción de panela granulada se elaboró el ecobalance que se muestra a continuación:



**Figura 45.** Ecobalance del proceso de producción de panela granulada

### 3.7.4. RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE UN PLAN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Para la propuesta de un plan de producción más limpia se analizaron los puntos críticos y los impactos ambientales que generan, luego de esto se realizó una matriz de alternativas que corresponden a la propuesta de un plan de producción más limpia para la panelera del señor Vicente Anrango.

Para establecer los puntos críticos se tomó en cuenta los resultados de los ecomapas, considerando únicamente los puntos donde el nivel de significancia fue medio (2) y alto (3). En la Tabla 62 se presentan los puntos críticos hallados:

**Tabla 62.** Puntos críticos en el proceso de producción de panela granulada

Proceso	Nivel de significancia	Hallazgo	Impacto
<b>Ecomapa de agua - Consumo de agua</b>			
Limpieza de equipos y utensilios	2	Consumo de agua para la limpieza de equipos y utensilios en la fábrica. Al no haber un medidor independiente no es posible determinar si existen desperdicios del recurso hídrico.	<b>Negativo:</b> Alteración de la calidad del agua superficial y subterránea. <b>Positivo:</b> Generación de empleo
<b>Ecomapa de energía - Consumo de energía</b>			
Molienda	3	Consumo de energía eléctrica por el uso del trapiche y encendido de luminarias en horas sin luz natural.	<b>Negativo:</b> Ruido y vibraciones. Migración de la fauna. <b>Positivo:</b> Generación de empleo.
Descachazado o clarificación	2	Consumo de energía por el uso de flujo de aire primario y encendido de luminarias en horas sin luz natural.	<b>Negativo:</b> Ruido y vibraciones. Migración de la fauna. <b>Positivo:</b> Generación de empleo.
Cocción	2	Consumo de energía por el uso de flujo de aire primario y encendido de luminarias en horas sin luz natural.	<b>Negativo:</b> Ruido y vibraciones. Migración de la fauna. <b>Positivo:</b> Generación de empleo.
<b>Ecomapa de energía - Generación de energía</b>			
Descachazado o clarificación	3	Generación de calor por la combustión del BCA en el horno durante el proceso de producción de panela.	<b>Negativo:</b> Alteración de la calidad del aire cuando la combustión es incompleta. Afectación a la salud. <b>Positivo:</b> Generación de empleo.

**Continúa...**

**Continuación...**

Cocción	3	Generación de calor por la combustión del BCA en el horno durante el proceso de producción de panela.	<b>Negativo:</b> Alteración de la calidad del aire cuando la combustión es incompleta. Afectación a la salud. <b>Positivo:</b> Generación de empleo.
Punteo	2	Generación de calor por la combustión del BCA en el horno durante el proceso de producción de panela.	<b>Negativo:</b> Alteración de la calidad del aire cuando la combustión es incompleta. Afectación a la salud. <b>Positivo:</b> Generación de empleo.
<b>Ecomapa de residuos – generación de residuos</b>			
Molienda	3	Generación de BCA durante la molienda de caña en el proceso productivo de panela granulada	<b>Negativo:</b> Compactación del suelo. Pérdida de cobertura vegetal en las bagaceras. Afectación a la salud por insectos y roedores que viven en el BCA. Afectación al paisaje. <b>Positivo:</b> Generación de empleo.
Descachazado o clarificación	2	Generación de cachaza en el proceso de clarificación o descachazado	<b>Negativo:</b> Afectación de la calidad del agua si se libera en cuerpos de agua. Afectación a la salud. Afectación del paisaje. <b>Positivo:</b> Generación de empleo.

Con los resultados de la Tabla 62 y los hallazgos observados en las visitas técnicas, se procedió a realizar la matriz de alternativas considerando la implicación económica, técnica y ambiental para la panelera.

**Tabla 63.** Matriz de alternativas para la producción más limpia en la panelera Anrango

Punto crítico	Alternativa	Implicación		
		Económica	Técnica	Ambiental
Falta de medidor independiente para un mejor control del uso de agua en la panelera	Solicitar la instalación de un medidor independiente a la empresa de agua potable	Costo de la instalación del nuevo medidor	Mejor control del consumo de agua en la fábrica de panela	Uso eficiente del recurso hídrico.
Bajo porcentaje de extracción del trapiche.	1. Ajustar el trapiche para mejorar la extracción. 2. Cambiar a un trapiche con mejor capacidad de extracción.	1. Mano de obra para el ajuste del trapiche. 2. \$3700 a \$4500 (ANEXO 12) para comprar un nuevo trapiche que permita un mejor rendimiento. 3. Mejorar los ingresos de los productores.	Mejorar la extracción del jugo de caña	Evitar desperdicios y reprocesos en el proceso de producción de panela granulada.

**Continúa...**

## Continuación...

Generación de calor en el descachazado, cocción y punteo de la panela.	1. A provechar el calor generado, instalando un flujo de aire secundario. 2. Instalación de una paila pirotubular para mejorar la transferencia de calor a las pailas.	1. Costo del diseño y construcción de un flujo de aire secundario (ANEXO 13). 2. Costo de la paila pirotubular (ANEXO 14) e instalación.	Mejorar la eficiencia energética de la fábrica.	Optimizar el uso del calor que genera la cámara de combustión.
Generación de cachaza	Hacer melaza con la cachaza que se genera en el proceso de producción.	Costo de instalar una paila pequeña junto al espacio sin uso ubicado entre la paila 4 y la chimenea. Ahorro en la compra de alimento para animales del propietario.	Utilizar los residuos aprovechables en otros procesos.	Uso eficiente de los subproductos. Evitar la contaminación de fuentes de agua.
Consumo de leña	Instalar parrillas metálicas sobre la parrilla de bloques que divide la cámara del horno del cenicero.	Costo de las parrillas metálicas y su instalación.	Mejorar la eficiencia del proceso productivo. Optimizar el consumo de recursos.	Evitar la pérdida de cobertura vegetal, la migración y pérdida de especies de fauna, por la tala de bosques para uso como combustible.

En la Tabla 63 se presentaron varias alternativas coherentes con la realidad de la panelera Anrango y adaptables a las condiciones de la mayoría de los productores de la zona de Pacto.

### 3.8. DISCUSIÓN

La temperatura máxima registrada fue de 1021°C a una distancia de 1,90 [m], con humedad del 34,11% en la panelera del Sr. Juan Lligüisupa, mientras que según los datos experimentales de Sánchez y Mendieta (2014) la temperatura del horno puede llegar a un valor cercano a los 900°C cuando la humedad con la que ingresa el Bagazo al horno se encuentra entre el 10 y 30% mientras que si la humedad es de 42% la temperatura puede llegar a un valor cercano a los 700°C. Se demostró que se alcanzan temperaturas superiores a los 700°C con una humedad superior al 30% en las paneleras de Ingapi, esto se debe probablemente a la influencia de otras variables como el diseño de las

cámaras de combustión, los periodos de alimentación del horno y la mezcla de bagazo con leña.

Las pérdidas de calor en los hornos se dan por varios factores además de la humedad con la que ingresa el BCA, la alimentación del horno es una variable muy importante porque si la persona que alimenta el horno deja de administrar combustible, se pierde energía y el horno se apaga, se puede observar en la Figura 14 como aproximadamente a los 700 [s] hay un descenso de la temperatura debido a que la persona que alimentaba el horno dejó de suministrar BCA y se perdió calor, fue necesario entonces encender el flujo de aire primario y alimentar el horno con bagazo, con la consecuencia de que en la siguiente parada se demoró más tiempo a pesar de que se alcanzaron temperaturas mayores.

Según los estudios de González (2010) la alimentación del horno en promedio es de 263 [s] y para obtener la máxima eficiencia de combustión es necesaria una humedad próxima a 50% y alimentación constante cada 150 [s], en la panelera del Sr. Vicente Anrango se registró una alimentación promedio del horno de 263 [s] y obtuvieron las máximas temperaturas en esta fábrica con una humedad de 21,47%. Los mejores tiempos de producción se obtuvieron en esta panelera con una humedad del 36,24%. Por este motivo no se puede asegurar que menor porcentaje de humedad signifique mejores tiempos de producción y mayor temperatura de forma simultánea. Aún existen otras variables que no han sido estudiadas in situ para comprender con mejor precisión la relación de estas variables y la eficiencia de los hornos paneleros de Ingapi.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

La temperatura máxima en los hornos paneleros de Ingapi es de 1021°C con una humedad de 34,11% a una distancia de 1,90 [m] de la boca del horno. Esta temperatura no puede considerarse como la temperatura máxima a la que llegan los hornos pues se realizó un monitoreo de temperaturas entre el límite de las pailas y la cámara de combustión.

En general a menor humedad se obtienen las mayores temperaturas, sin embargo, es necesario señalar que existe un rango de humedad para los datos medidos que permiten obtenerlas, ese porcentaje se encuentra entre el 21 y 36% de acuerdo con las mediciones realizadas.

Las actividades que generan mayor consumo de energía son la molienda, descachazado y cocción de los jugos de caña, no obstante, se debe mencionar que estos procesos no generan un uso inadecuado de energía porque sus valores están dentro de los parámetros normales de consumo.

La temperatura alcanzada depende de la distancia a la que se realice la medición desde la boca del horno hasta el punto de inserción de la termocupla. La variable está directamente relacionada con la etapa del proceso de producción de panela, (en el punteo las temperaturas son inferiores), de la alimentación del horno (si es constante a intervalos de entre 200 y 235 [s] las temperaturas tienen menos fluctuaciones y no se aprecian caídas drásticas por falta de combustible) y por último de la humedad del bagazo que se utiliza como combustible.

La temperatura superior en la panelera Anrango fue de 969,8°C, con una humedad de 21,47% y esto demuestra que esta variable es importante dentro del proceso de combustión, además la humedad de las muestras analizadas en los primeros 21 días, se reduce del 69,25 al 36,24% es decir cerca del 50% y en los siguientes días se reduce un 15% en condiciones ambientales normales.

El contenido de azúcar (en el jugo de caña crudo) recomendado para la producción de panela se encuentra entre 16 y 22°Brix, con las mediciones realizadas en el presente estudio se obtuvo un valor de 20°Brix que se encuentra dentro de este rango, lo cual indica que las cañas están maduras y se va a obtener un buen rendimiento de panela por tonelada de caña.

Por lo general el pH del jugo de caña crudo es cercano a 7, el valor que se obtuvo luego de las dos mediciones realizadas en este trabajo fue de 5 que

indica que el pH del jugo de caña de Ingapi es ácido con respecto a los estudios de otros autores sin embargo no se puede concluir que el pH bajo no sea el más adecuado para el proceso productivo porque el producto final cumple con los requisitos del mercado.

El punto de panela granulada puede variar entre 119 y 127,2°C medido a 1504 y 1293 m.s.n.m. respectivamente. Es decir, existe una relación inversa entre la temperatura medida y la altura. A temperaturas superiores a 120°C se forma acrilamida (una sustancia que produce cáncer en animales), por lo tanto, mientras menor sea el punto de panela habrá menor riesgo de la formación de este compuesto.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda el uso de parrillas o rejillas sobre los puentes internos que separan la cámara del horno del cenicero para reducir la cantidad de leña que se utiliza como base para evitar los derrames de BCA y su desperdicio.

Se recomienda el cambio de los trapiches por unos más eficientes y con mayor capacidad de extracción de los jugos para obtener bagazo con menor cantidad de humedad.

El cambio de los trapiches que usan combustibles fósiles a trapiches eléctricos debería considerarse como de uso generalizado porque se demostró en el presente proyecto que su consumo es bajo y son amigables con el medio ambiente.

Con respecto a los análisis de humedad del bagazo se recomienda seguir todos los protocolos tanto para la toma de muestra como con el análisis en laboratorio. Es importante considerar que los equipos para homogenizar las muestras pueden influir en los resultados de humedad por este motivo es preferible realizar un procedimiento como el descrito en este proyecto, que se enfoquen en evitar la pérdida de humedad de lo que se está analizando.

La temperatura promedio en la paila 4, la más cercana a la chimenea en la panelera de la familia Anrango es de 532,67°C, con base en este resultado se recomienda la implementación de un flujo de aire secundario caliente que permita reutilizar una parte de los gases de combustión y acelere el proceso de producción de panela granulada.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

- Adolf. (2021). Manual de funcionamiento del refractómetro de mano.
- AEA Región Andina. (2014). Hornillas paneleras eficientes. [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=01jkgR9jotM>
- Agrocalidad. (2020). SIOO Sistema de operadores orgánicos Ecuador. <https://organicos.agrocalidad.gob.ec/vista/reporteHistorico.php>
- AOAC International. (2019). AOAC Official Methods of Analysis. Chapter 32.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017, 6 de abril). Ley mediante la cual se expide el Código Orgánico del Ambiente. Registro oficial 983. <https://www.asambleanacional.gob.ec/es/leyes-aprobadas>
- Banco Central del Ecuador. (2019). Cuentas Nacionales Regionales. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/CuentasProvinciales/Indice.htm>
- Benavides, M. (2019). Evaluación de la huella de carbono en la industria panelera y propuesta de estrategias para fortalecer la cultura ambiental en la parroquia de Pacto-Ingapi [tesis de grado, Universidad UTE]. Repositorio digital Universidad UTE. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/20706>
- Chapaca, D. (2021). Diseño de un plan de acción ambiental para la parroquia rural de Pacto sector la Delicia, Pacto Centro y Pacto Loma [tesis de grado, Universidad UTE]. Repositorio digital Universidad UTE. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/21714>
- Chugulí, B. (2021). Elaboración de briquetas a partir de bagazo de caña de azúcar como combustible sólido en la industria panelera del sector la Delicia-Pacto [tesis de grado, Universidad UTE]. Repositorio digital Universidad UTE. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/21713>
- Cárpena, J., Díaz, J., Guillermo, J., Toledo, L., y Utrilla, M. (2018). Compota de Sanky endulzado con panela y miel de abeja [Tesis de grado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio digital USIL. [http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/8439/3/2018\\_Carpena-Flores.pdf](http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/8439/3/2018_Carpena-Flores.pdf)
- Çengel, Y., Boles, M., y Kanoglu, M. (2019). Termodinámica. McGraw Hill.
- Cobeña, J., y Loor, I. (2016). Caracterización Físico - Química del jugo de cinco variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la hacienda El Jardín [tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio ESPAM <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/264>

- Coordinadora Estatal de Comercio Justo. (2021). Cumbres de Ingapi.  
<https://comerciojusto.org/productor/cumbres-de-ingapi/>
- COPROPAP. (2020). COPROPAP endulza el mundo desde 1992.  
<https://copropap.com/>
- Collaguazo, J. (2021). Arreglos productivos locales: Caracterización de las asociaciones productoras de caña de azúcar y sus derivados ubicados en la provincia de Pichincha [tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio digital EPN  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21629>
- Del Corral, W. (2020). Análisis del proceso de combustión del bagazo de caña de azúcar en hornos artesanales en el sector La Delicia – Parroquia Pacto. [tesis de grado, Universidad UTE]. Repositorio digital Universidad UTE.  
<http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/21418>
- Donoso, S. (2020). Evaluación de la huella hídrica en la gestión del agua y propuesta de estrategias para fortalecer la cultura ambiental de la industria panelera en la parroquia de Pacto-Ingapi [Tesis de grado, Universidad UTE]. Repositorio digital Universidad UTE.  
<http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/20966>
- Durán, E., y Costaguta, R. (2007). Minería de datos para descubrir estilos de aprendizaje. Revista Iberoamericana de Educación, 2(42), 1-10.
- DW Español. (2021, agosto 14). Por el agua, la vida y la naturaleza: Quito sin minería [video]. YouTube. <https://youtu.be/oetArARdTIE>
- Gad de Pacto. (2020). Industria, empresa y manufactura.  
<https://pacto.gob.ec/nuestrasnoticias/>
- Gonzaga-Poma, J. (2020). Análisis del proceso de combustión utilizando el bagazo de caña de azúcar como combustible y sus impactos en el ambiente de la población de Ingapi – Pacto [Tesis de grado, Universidad UTE]. Repositorio digital Universidad UTE.  
<http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/21092>
- González, K. (2010). Determinación de pérdidas energéticas y sus puntos críticos, en hornillas paneleras Ward-Cimpa en la Hoya del Río Suárez [Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander].  
<https://docplayer.es/50803513-Determinacion-de-perdidas-energeticas-y-sus-puntos-criticos-en-hornillas-paneleras-ward-cimpa-en-la-hoya-del-rio-suarez-karime-lizeth-gonzalez-ariza.html>
- García-Rincón, J., Arévalo, J., Guerrero, G. (2015). Análisis exergético de un horno de lecho fijo en la producción de panela. Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas, 1(25), 32-39.

- INEN. (2013). Norma NTE INEN 265 Azúcar Determinación de la humedad Método de rutina. <https://www.normalizacion.gob.ec>
- INEN. (2013). Norma NTE INEN 1529-2 Control microbiológico de los alimentos. Toma envío y preparación de muestras para al análisis microbiológico. <https://www.normalizacion.gob.ec>
- MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG. (2018). Manual of instructions pH-Fix 0-14 test strips for measuring pH values in range of 0-14.
- MEFUNJAR. (2022). Maquinaria agrícola caña de azúcar. <http://mefunjar.ec/es/maquinaria/agricola/cana-de-azucar/>
- Méndez, E. (2015). El comercio Internacional de Productos orgánicos retos y desafíos. YACHANA: 4(s/n), 27-36.
- Mendoza, E., Aldana, D., Saavedra, R., y La Madrid, R. (2016). Mejora de la Eficiencia energética de un módulo de producción de panela granulada mediante el uso de la paila pirotubular. Simposio peruano de energía solar y del Ambiente, (23), 1-12.
- Ministerio del Ambiente. (2012). Acuerdo Ministerial 142 mediante el cual se expiden los listados nacionales de sustancias químicas peligrosas desechos peligrosos y especiales. Registro Oficial 856. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Ministerio de Salud Pública y Ministerio del Ambiente. (2019, 20 de marzo). Acuerdo Ministerial 323 mediante el cual se expide el Reglamento de Gestión de desechos generados en establecimientos de salud. Registro Oficial 450. <https://www.controlsanitario.gob.ec/>
- Ordoñez, M., y Rueda, L. (2017). Evaluación de los impactos socioambientales asociados a la producción de panela en Santander Colombia. Corpoica Ciencia y Tecnología, 18(2), 379-396.
- Pita, L., (2016). Diseño del proceso para una planta panelera piloto [tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5694>
- Prada-Forero, L., Sánchez, Z., García, H., y Rojas, H. (2012). Hornillas paneleras Ward-Cimpa Validación de los modelos matemáticos de diseño Corpoica-UIS. Revista Fuentes el Reventón Energético, 10(2), 61-69.
- Quezada, W. (2007). Guía Técnica de Agroindustria Panelera. Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/934>

- Quezada-Moreno, W., y Gallardo-Aguilar, I. (2014). Obtención de extractos de plantas mucilaginosas para la clarificación de jugos de caña. *Tecnología Química*, 34(2), 114-123.
- Quezada-Moreno, W., Gallardo, I., y Quezada, W. (2015). Temperaturas y concentración del jugo de caña según pisos climáticos en Ecuador. *ICIDCA*, 49(1), 17-21.
- Ramos, S., y Lorenzo, Y. (2017). Acciones de producción más limpia para implementar en la industria azucarera cubana. *ICIDCA*, 51(1), 60-66.
- Rodríguez, F. (2019). Identificación de procesos de erosión por monocultivo (caña de azúcar) en la parroquia de Pacto y propuesta de líneas de acción [tesis de grado, Universidad UTE]. Repositorio digital Universidad UTE. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/18830>
- Sánchez-Castro, Z., García-Bernal, H., y Mendieta, O. (2013). Efecto del precalentamiento del aire primario y la humedad del bagazo de caña de azúcar durante la combustión en lecho fijo. *Corpoica Ciencia y Tecnología*, 14(1), 5-16.
- Sánchez, Z., y Mendieta, O. (2014). Ajuste de un modelo matemático para la combustión de bagazo de caña en una cámara Ward-Cimpa. *Corpoica Ciencia y Tecnología*, 15(2), 133-151.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1991). Norma Mexicana NMX-F-371-1991 Industria Azucarera Bagazo de Caña de Azúcar Método de Muestreo. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114881/nmx-f-371-1991.pdf>
- Solano, I., Aguilar P., O., Domínguez, C., Ramírez, G., y Aguilar, O. (2020). Evaluación del rendimiento energético del bagazo de caña en un ingenio azucarero vs su aprovechamiento mediante gasificación. *Revista de iniciación científica*, 6(1), 30-35.
- Terán, L. (2019). Determinación del índice simplificado de calidad del agua (ISQA) de la zona urbana de la parroquia de Pacto provincia Pichincha [tesis de grado, Universidad UTE]. Repositorio digital Universidad UTE. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/18832>
- UNEP. (2006). Acuerdos Ambientales y Producción Más Limpia. PNUMA. <https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/11694/retrieve>
- Uni-Trend Group Limited. (2008). Model UT321/322/323/325: operating manual. <http://www.uni-trend.com>
- Universidad de Guadalajara. (2021). Clasificación General de las fuentes de información. <http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/portal/clasificacion-general-de-las-fuentes-de-informacion>

Van Hoof, B., et al. (2008). Producción más limpia, Paradigmas de gestión ambiental. Editorial Alfaomega. Colombia.

Vargas, J., Talero, Y., Trujillo, F., y Camelo, L. (2014). Determinación de acrilamida en el proceso de la panela por cromatografía líquida. Revista Ciencia en Desarrollo, 5(2), 99-105.

**ANEXOS**

## ANEXOS

### ANEXO 1. YAUSA



La Yausa (*Abutilon insigne planch*) es una planta mucilaginoso (Quezada, 2007) que se utiliza en la clarificación o descachazado del jugo de caña para producción de panela (Quezada y Gallardo, 2014).





### ANEXO 3.

## ACTIVIDADES REALIZADAS EN LAS VISITAS A LAS PANELERAS

Fecha	Propietario visitado	Motivo de la visita
17/09/2021	Sr. Vicente Anrango	Medición de la temperatura en horno panelero. Toma de muestras de bagazo de caña de azúcar. Medición del punto de cristalización para la panela granulada.
01/10/2021	Sr. Juan Lligüisupa	Medición de la temperatura en horno panelero. Toma de muestras de bagazo de caña de azúcar. Medición del punto de cristalización para la panela granulada. Encuesta.
16/10/2021	Sr. Vicente Anrango	Medición de la temperatura en horno panelero. Toma de muestras de bagazo de caña de azúcar. Medición del punto de cristalización para la panela granulada. Encuesta.
17/11/2021	Sr. Juan Lligüisupa y Sr. Vicente Anrango.	Medición de dimensiones de los hornos, chimenea e instalaciones de las fábricas. Toma de coordenadas en ambas paneleras. Registro fotográfico de las instalaciones en un día no laboral.
27/11/2021	Sr. Vicente Anrango	Medición de la temperatura en horno panelero. Toma de muestras de bagazo de caña de azúcar. Registro de la alimentación del horno. Medición de grados Brix del jugo de caña. Medición del pH del jugo de caña. Medición del punto de cristalización para la panela granulada. Encuesta producción más limpia.

**ANEXO 4.**  
**ETIQUETA UTILIZADA PARA LA RECOLECCIÓN DE**  
**MUESTRAS DE BAGAZO**

 <b>UNIVERSIDAD UTE</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS</b> <b>INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</b>	
<b>Fecha de muestreo</b>	
<b>Productor</b>	
<b>Responsable del muestreo</b>	
<b>No. de muestra</b>	
<b>Análisis requerido</b>	
<b>Responsable de análisis</b>	
<b>Temperatura de la muestra</b>	
<b>Tiempo de secado del bagazo</b>	

## ANEXO 5. FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR



Selección de la muestra



Toma de la muestra

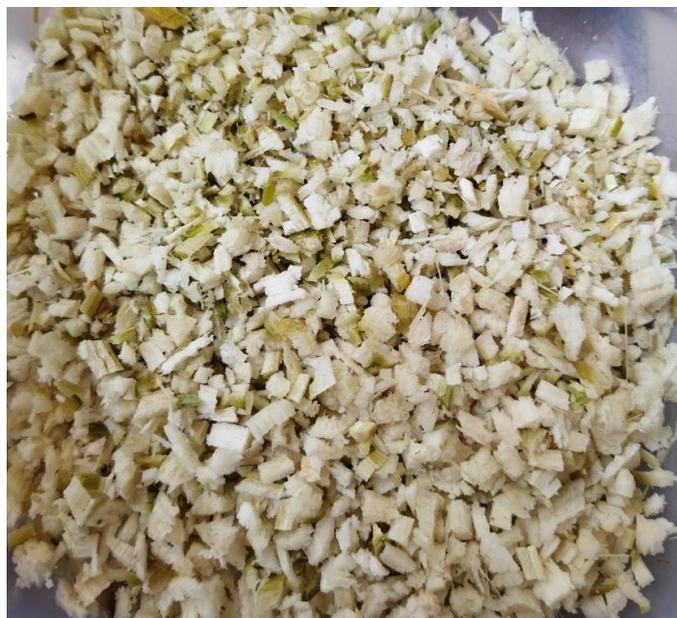


Muestra de BCA

## ANEXO 6. RESULTADOS DEL PRETRATAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR



Bagazo antes del pretratamiento



Bagazo después del pretratamiento

## ANEXO 7. FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE MEDICIÓN DE LA HUMEDAD EN EL LABORATORIO



Pesaje de la cápsula vacía



Pesaje de la cápsula con bagazo



Colocación de las cápsulas en la estufa



Distribución de las cápsulas en el desecador.

# ANEXO 8.

## MODELO DE LA ENCUESTA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA



SEDE MATRIZ  
Calle Rumipamba S/N  
entre Bourgeois y Atahualpa

CAMPUS OCCIDENTAL  
Avenida Mariscal Sucre S/N  
y Mariana de Jesús

UNIVERSIDAD UTE  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES

**Estudiante responsable:** Diana Carolina Zúñiga Cabrera

**Objetivos:**

Realizar un diagnóstico empresarial del proceso de producción de la panelera para realizar un análisis preliminar de los impactos generados al ambiente.

**ENCUESTA**

**Lea detenidamente las preguntas y conteste:**

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Dirección:** \_\_\_\_\_

**Generalidades de la empresa:**

1. ¿A qué se dedica la empresa?  
\_\_\_\_\_
2. ¿Cuánto tiempo llevan produciendo panela granulada?  
\_\_\_\_\_

**Entorno de la empresa:**

3. ¿Tienen clientes nacionales o únicamente internacionales?  
\_\_\_\_\_
4. ¿Quiénes son sus clientes?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
5. ¿Con qué empresas compiten en el mercado por sus clientes?  
\_\_\_\_\_
6. ¿Han aumentado sus ventas durante la pandemia o han disminuido?  
\_\_\_\_\_
7. ¿Qué cantidad de panela producían antes de la pandemia?  
\_\_\_\_\_

(593) 2 299-0800 |   
[info@ute.edu.ec](mailto:info@ute.edu.ec) |   
[www.ute.edu.ec](http://www.ute.edu.ec)



SEDE MATRIZ  
Calle Rumipamba S/N  
entre Bourgeois y Atahualpa

CAMPUS OCCIDENTAL  
Avenida Mariscal Sucre S/N  
y Mariana de Jesús

8. ¿Qué cantidad de panela producen desde que inicio la pandemia?

---

**Capacidad interna de la empresa:**

9. ¿Cuántos días a la semana trabajan?

---

10. ¿Cuántas personas trabajan en la empresa?

---

11. ¿Cómo se caracteriza la empresa?

---

(593) 2 299-0800 |   
 info@ute.edu.ec  
[www.ute.edu.ec](http://www.ute.edu.ec) | 

## ANEXO 9. VISTAS INTERNAS Y EXTERNAS DE LOS HORNOS



Vista frontal externa del horno apagado del Sr. Vicente Anrango



Vista frontal del horno encendido del Sr. Vicente Anrango

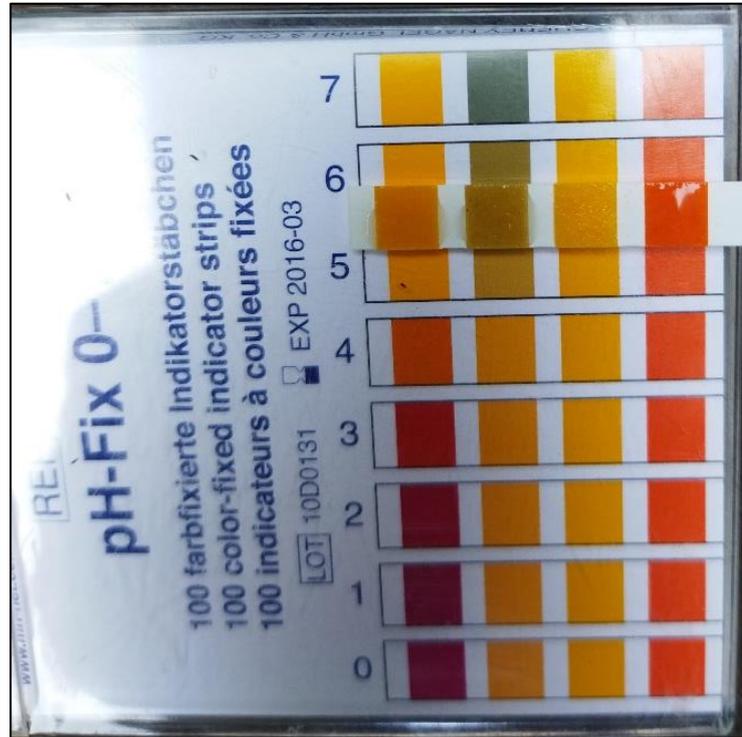


Vista interior frontal del horno del Sr. Juan Lligüisupa



Vista exterior frontal del horno del Sr. Juan Lligüisupa

# ANEXO 10. RESULTADO DE LA DETERMINACIÓN DEL PH



**ANEXO 11.  
ALGUNAS DE LAS VARIEDADES DE CAÑA DE  
AZÚCAR SEMBRADAS EN INGAPI**



**H 50**



**Cenizosa**



**Tintosa**



**Cenicaña**



**RD verde**



**Dura**

Los nombres de las variedades mencionadas son los nombres comunes con los que se les conoce en la zona de Ingapi (J. Lligüisupa, comunicación personal, 17 de noviembre de 2021).

## ANEXO 12. OPCIONES DE TRAPICHES CON MAYOR CAPACIDAD DE EXTRACCIÓN, PRODUCCIÓN Y POTENCIA



### LÍNEA AGRÍCOLA

#### Molino de caña (trapiche) número 2

##### Descripción:

Molino de tres mazas horizontales, para la extracción de jugo de caña, fabricado en hierro fundido, con eje de acero de transmisión SAE 1018 y bujes de bronce.

**Capacidad aproximada:** 600 litros/hora  
**Eficiencia de extracción:** del 65% - 70%  
**Peso:** 550 Kg  
**Motor:** 16 hp diesel o 5 hp eléctrico

**Precio:** 3.700 sin motor / 4.500 con motor.



### LÍNEA AGRÍCOLA

#### Molino de caña (trapiche) número 3

##### Descripción:

Molino de tres mazas horizontales para extracción de jugo de caña fabricado en hierro fundido, con eje de acero de transmisión SAE 1018 y bujes de bronce.

**Capacidad aproximada:** 800 litros/hora  
**Eficiencia de extracción:** de 65% a 70%  
**Peso:** 775 Kg  
**Motor:** 16 hp diesel o 7.5 hp eléctrico

**Precio:** 4.000 sin motor / 4.900 con motor.



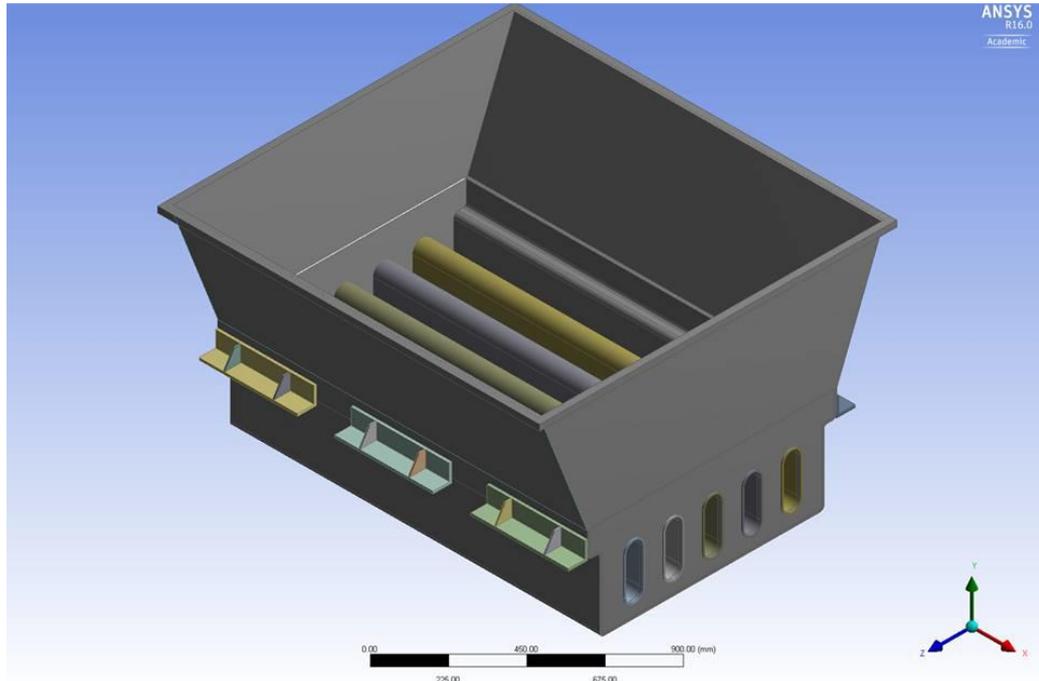
(MEFUNJAR, 2022)

## ANEXO 13. FLUJO DE AIRE SECUNDARIO

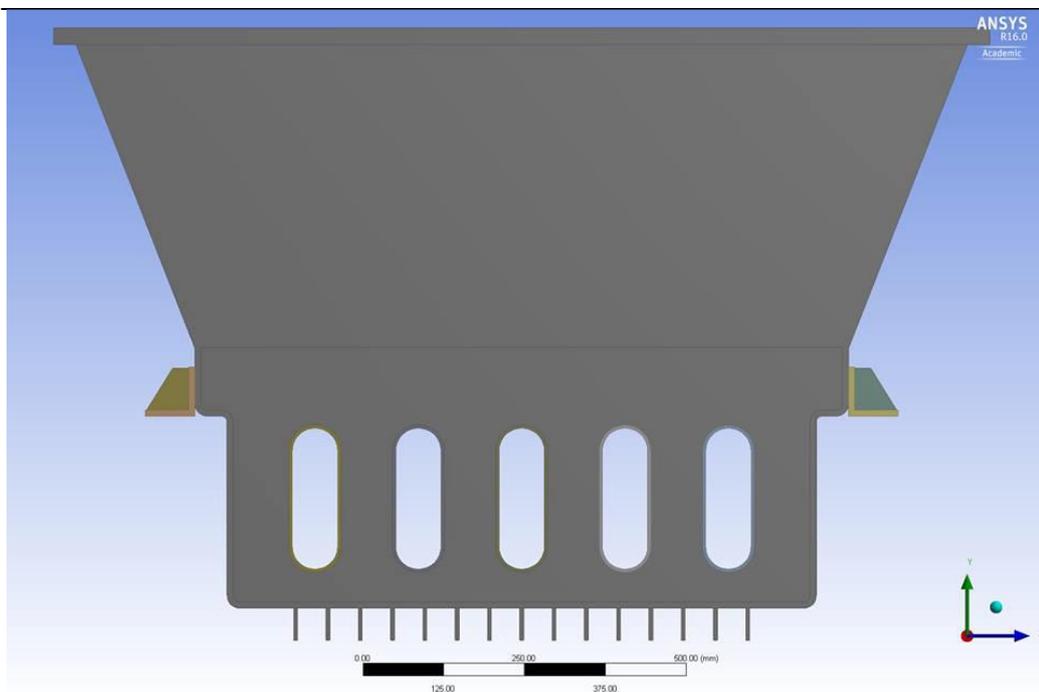


(AEA Región Andina, 2014)

## ANEXO 14. PAILA PIROTUBULAR



Vista isométrica paila pirotubular



Vista frontal paila pirotubular  
(Mendoza et al., 2016)

## **ANEXO 15. ACRÓNIMOS, SIGLAS Y ABREVIATURAS**

**AOAC:** Association of Analytical Communities (Asociación de comunidades analíticas)

**ATC:** Compensación Automática de Temperatura.

**BCA:** Bagazo de caña de azúcar.

**CA:** Caña de azúcar.

**DMQ:** Distrito Metropolitano de Quito.

**FAP:** Flujo de aire primario.

**GAD:** Gobierno Autónomo Descentralizado

**m.s.n.m.:** Metros sobre el nivel del mar.

**PNUMA:** Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

**PPP:** Proceso de producción de panela.

**TC:** Tasa de combustión

**UNEP:** United Nations Environment Program. Son las siglas en inglés para referirnos al PNUMA.

**VD:** Variable dependiente, la que se estudia y se mide.

**VI:** Variable independiente, la que se pueden cambiar o controlar para evaluar su efecto sobre la variable dependiente.