

**FONDO FIDUCIARIO PEREZ-GUERRERO PARA LA COOPERACIÓN
TECNICA Y ECONOMICA ENTRE PAISES EN DESARROLLO**



**“Aprovechamiento energético de la biomasa residual del cultivo
de citrus ”**

Proyecto PNUD INT/19/K07

INFORME FINAL



ESTACION
EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOBRES
Tucumán | Argentina



Tucumán, Argentina

Agosto 2022

Contenido

1	Descripción del proyecto.....	6
1.1	Título del proyecto	6
1.2	Resumen	6
1.3	Antecedentes y justificación	6
2	Implementación del proyecto	7
2.1	Gestión del proyecto y capacitación	7
2.1.1	Reunión de inicio del proyecto	7
2.1.2	Taller de Aprovechamiento energético de la biomasa	10
2.1.3	Reunión de avance.....	13
2.1.4	Jornada de cierre.....	15
2.1.5	Difusión de resultados	18
2.1.6	Artículos publicados	19
2.1.7	Capacitaciones.....	19
2.2	Búsqueda bibliográfica	20
2.3	Estudio de la biomasa residual.....	27
2.3.1	Cuantificación de la biomasa residual	27
2.3.2	Caracterización de la materia prima.....	45
2.3.3	Estudio de la logística de la biomasa desde el campo a los centros de acopio	56
2.3.4	Ensayos preliminares de combustión en calderas	66
2.4	Diseño y evaluación de una planta de aprovechamiento de biomasa residual en Tucumán – Argentina	70
2.4.1	Evaluación técnica preliminar del proyecto	70
2.4.2	Evaluación económica preliminar del proyecto	75
2.4.3	Evaluación ambiental del proyecto	77
3	Conclusiones	79
4	Bibliografía.....	81

Lista de Figuras

Figura 1:	Reunión interna de inicio del proyecto.....	8
Figura 2:	Presentación del proyecto al sector citrícola a cargo de la Dra. Paz	8
Figura 3:	Presentación del GBio a cargo de la Dra. Coelho.	9
Figura 4:	Presentación del CUJAE a cargo de la Dra. Carbonell.....	9
Figura 5:	Dra. Suani Coelho en el dictado del taller.	11

Figura 6: Foto de los asistentes al finalizar la jornada del taller.	11
Figura 7: Dra. Carbonell, Dra. Paz y Dra. Coleho junto a algunos integrantes del equipo de trabajo del Proyecto PGTF.	13
Figura 8: Participantes de la reunión de avance virtual.	14
Figura 9: Presentación de la EEAOC en la reunión de avance virtual.	14
Figura 10: Presentación del GBio en la reunión de avance virtual.	14
Figura 11: Presentación del CUJAE en la reunión de avance virtual.	15
Figura 12: Presentación del proyecto por parte de la coordinadora Dra. Paz.	15
Figura 13: Presentación de los resultados del CETER a cargo de la Dra. Carbonell.	16
Figura 14: Presentación de los resultados de la EEAOC a cargo de la Mg. Gisela Diaz.	16
Figura 15: Participantes presentes en la jornada de cierre.	16
Figura 16: Países con mayor producción de cítricos.	24
Figura 17: Comparación de producción de cítricos (naranja, limón y tanjarina) entre Argentina, Brasil y Cuba.	25
Figura 18: Distribución espacial de los cultivos de cítricos en Tucumán en el año 2020.	28
Figura 19: Superficie cubierta con cultivos de cítricos de dos años o más de edad por departamento en Tucumán en el año 2020.	29
Figura 20: Distribución de la superficie implantada de cítricos dulces y limón.	29
Figura 21: Evolución de la superficie neta con cítricos en Tucumán en el período 2001-2020.	30
Figura 22: Distribución porcentual de la superficie cítrica 2020 en Tucumán según rango etario.	31
Figura 23: Biomasa generada luego de poda de la hilera a la derecha.	34
Figura 24: Recolección de la poda generada por los árboles muestreados.	35
Figura 25: Pesaje de la biomasa generada de poda de los árboles muestreados.	35
Figura 26: Distribución de partes del árbol de limón.	37
Figura 27: Árbol arrancado, separación de sus partes con motosierra.	37
Figura 28: Separación de las partes del árbol.	38
Figura 29: Pesaje de las partes del árbol.	38
Figura 30: Método destructivo para recolección de datos de la biomasa residual de citrus.	39
Figura 31: Marco de plantación promedio de naranjos en Brasil.	39
Figura 32: Arreglo de parcelas en el campo.	40
Figura 33: Biomasa residual del árbol naranja valencia.	41
Figura 34: Biomasa residual del árbol naranja pera.	41
Figura 35: Biomasa residual del árbol naranja Hamlin.	42
Figura 36: Superficie de cítricos periodo 2013-2021 en Cuba.	44
Figura 37: Producción de cítricos (Mt) periodo 2006-2016. Elaboración propia a partir de ONEI, (2018).	44
Figura 38: Equipo termogravimétrico automatizado TGA 701 marca LECO.	48
Figura 39: Equipo de composición elemental marca LECO modelo CHNOS628.	48
Figura 40: Bomba calorimétrica automatizada, C5000, marca IKA.	48
Figura 41: Conos de cenizas que se expusieron a la atmosfera oxidativa, análisis de fusibilidad.	49
Figura 42: Conos de cenizas que se expusieron a la atmosfera reductora, análisis de fusibilidad.	49
Figura 43: Digestión ácida de muestras de cenizas en el análisis de metales.	49
Figura 44: Muestras de biomasa del CETER.	54
Figura 45: Molino de ultracentrifugación empleado para reducir el tamaño de las muestras.	55
Figura 46: Muestras de cenizas para análisis de fusibilidad del CETER.	55

Figura 47: Equipo de fusibilidad de cenizas de la Universidad de ciencias Aplicadas de Mittelhessen.	55
Figura 48: Astilladora de la empresa Vermeer Co. modelo BC1000XL.....	58
Figura 49: Muestra de poda antes del chipeado.....	58
Figura 50: Chip de poda obtenido con la astilladora BC1000XL.....	59
Figura 51: Toma de muestra del medio de la parva en experiencia de secado.....	60
Figura 52: Temperatura del aire entre los días 15/08/2020 al 06/11/2020 en Timbo Nuevo	60
Figura 53: Humedad del aire entre los días 15/08/2020 al 06/11/2020 en la localidad Timbo Nuevo	61
Figura 54: Precipitaciones entre los días 15/08/2020 al 06/11/2020 en la localidad Timbo Nuevo ..	61
Figura 55: Velocidad de viento entre los días 15/08/2020 al 06/11/2020 en la localidad Timbo Nuevo.....	61
Figura 56: Curva de secado a cielo abierto de muestras de poda.	62
Figura 57: Muestra de poda en jaula sobre galería en la EEAOC.....	63
Figura 58: Variación de la temperatura del aire entre los días 29/09/2021 al 15/11/2021 en El Colmenar.....	63
Figura 59: Humedad del aire entre los días 29/09/2021 al 15/11/2021 en El Colmenar.	64
Figura 60: Precipitaciones entre los días 29/09/2021 al 15/11/2021 en El Colmenar.	64
Figura 61: Velocidad del viento entre los días 29/09/2021 al 15/11/2021 en El Colmenar.	64
Figura 62: Radiación solar entre los días 29/09/2021 al 15/11/2021 en El Colmenar.	64
Figura 63: Curva de secado natural de muestras en jaula y bajo cubierta.	66
Figura 64: Alimentación de la caldera de Alba Clara con leña de arranque de limoneros.	67
Figura 65: Análisis de gases de la caldera de Alba Clara.	68
Figura 66: Caudal de alimentación de agua a la caldera de Alba Clara.	68
Figura 67: Resultados del balance de materia y energía de la caldera de Alba Clara.	70
Figura 68: Distancia máxima de finca a fábrica.	71
Figura 69: Etapas de procesamiento de la biomasa.	74
Figura 70: Etapas de procesamiento de la biomasa.	76
Figura 71: Perfil ambiental comparativo de los escenarios analizados.	78
Figura 72: Perfil ambiental a nivel de normalización.	79

Lista de Tablas

Tabla 1: Asistencia al taller “Aprovechamiento energético de la biomasa”.	12
Tabla 2: Participantes de la jornada de cierre.	17
Tabla 3: Rendimientos de residuos de poda de los principales cultivos leñosos en España por hectárea.	21
Tabla 4: Producción de cultivos permanentes en Brasil.	22
Tabla 5: Producción de cultivos permanentes en el estado de São Paulo, Brasil.	24
Tabla 6: Estimación superficie plantada de frutales cítricos en Argentina (ha) – Año 2018.....	27
Tabla 7: Superficie y densidad de plantaciones de limón	32
Tabla 8: Plantas de limón en producción activa según variedad.....	32
Tabla 9: Características del lote donde se realizaron los ensayos de poda.....	33
Tabla 10: Resultados de cuantificación de la biomasa residual de poda.....	34
Tabla 11: Características del lote donde se realizaron los ensayos.	36

Tabla 12: Resultados de la cuantificación de la biomasa residual de arranque.	37
Tabla 13: Características de diferentes variedades de cítricos.	39
Tabla 14: Contenido de humedad de ramas de tres diferentes variedades de naranjos.	40
Tabla 15: Resultado de la cuantificación de biomasa del CETER.	45
Tabla 16: Resultados promedios del análisis inmediato en muestras de poda.	46
Tabla 17: Resultados promedios del análisis elemental en muestras de poda.	46
Tabla 18: Resultados promedios del análisis de poder calorífico superior y cálculo del poder calorífico inferior en muestras de poda.	46
Tabla 19: Resultados promedios de la fusibilidad de cenizas en muestras de poda con atmósfera oxidante.	47
Tabla 20: Resultados promedios de la fusibilidad de cenizas en muestras de poda con atmósfera reductora.	47
Tabla 21: Resultados promedios del análisis de metales en cenizas de muestras de poda.	47
Tabla 22: Resultados promedios del análisis inmediato en muestras de arranque.	50
Tabla 23: Resultados promedios del análisis elemental en muestras de arranque.	50
Tabla 24: Resultados promedios del análisis de poder calorífico en muestras de arranque.	50
Tabla 25: Resultados promedios del análisis de fusibilidad de cenizas en muestras de arranque en atmósfera oxidante.	51
Tabla 26: Resultados promedios del análisis de fusibilidad de cenizas en muestras de arranque en atmósfera reductora.	51
Tabla 27: Resultados promedios del análisis de metales en cenizas de muestras de arranque.	51
Tabla 28: Resultados promedios de la caracterización de muestras de GBIO.	53
Tabla 29: Métodos empleados para la caracterización de muestras del CETER.	54
Tabla 30: Resultados de la caracterización de muestras del CETER.	56
Tabla 31: Resultados del análisis elemental de muestras del CETER.	56
Tabla 32: Diferentes tecnologías para la recolección y reducción de la biomasa de poda.	57
Tabla 33: Parámetros meteorológicos desde el 15/08/2020 al 06/11/2020 de la localidad Timbo Nuevo.	60
Tabla 34: Variación de la humedad de las muestras de poda a cielo abierto.	62
Tabla 35: Parámetros meteorológicos desde el 29/09/2021 al 15/11/2021 de El Colmenar.	65
Tabla 36: Variación de la humedad de la muestra bajo cubierta.	65
Tabla 37: Especificaciones técnicas de la caldera de Alba Clara.	66
Tabla 38: Condiciones promedio del ensayo de combustión en Alba Clara.	67
Tabla 39: Resultados promedios del análisis de gases de salida en Alba Clara.	69
Tabla 40: Resultados del análisis inmediato y del poder calorífico superior.	69
Tabla 41: Resultados de la estimación de biomasa generada en las fincas.	71
Tabla 42: Potencial energético de la biomasa generada en fincas.	72
Tabla 43: Potencial energético de la biomasa generada en fincas.	73
Tabla 44: Desfasaje de la biomasa generada y la necesaria en fábrica.	73
Tabla 45: Desfasaje de la biomasa generada y la necesaria en fábrica.	74
Tabla 46: Desfasaje de la biomasa generada y la necesaria en fábrica.	75
Tabla 47: Costos derivados de la carga, astillado y transporte de la biomasa.	76
Tabla 48: Inversión necesaria para la recolección de RAC.	77

1 Descripción del proyecto

1.1 Título del proyecto

Aprovechamiento energético de la biomasa residual del cultivo de citrus

1.2 Resumen

Frente a los actuales problemas económicos, sociales y ambientales relacionados con la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles, se están empezando a emplear en mayor medida combustibles de origen renovable, en particular residuos agrícolas y forestales, que no compiten con los cultivos alimentarios. Una alternativa tecnológica promisorio es la gasificación, donde mediante una combustión incompleta se genera un combustible gaseoso, a partir de biomasa residual, principalmente del cultivo de caña de azúcar en este proyecto. El combustible gaseoso producido puede emplearse para la generación de energía eléctrica en moto-generadores. Este proyecto propone diseñar un proceso con factibilidad económica para la obtención de energía eléctrica a partir de biomasa residual de la caña de azúcar, y ser a su vez una unidad demostrativa para pequeños productores cañeros. Tres reconocidas instituciones de investigación llevarán a cabo los trabajos propuestos: EEAOC (Argentina), Universidad de San Pablo (Brasil) y Universidad Tecnológica de La Habana (Cuba).

El sector citrícola, tanto agrícola como industrial se beneficiarán mediante la transferencia de los resultados de este proyecto pudiendo tener un alto impacto económico, social y ambiental en la actividad. Contarán con un proyecto piloto de aprovechamiento de biomasa residual que contempla además con centros de acopio y pretratamiento. Con el mismo, las citricolas podrán autoabastecerse energéticamente, solucionando de esta forma los problemas de suministro energético que derivan en su totalidad del gas natural. Además la población de las localidades circundantes también se verá beneficiada mediante la activación de la economía de la zona y la mejora en la calidad del aire debido a la erradicación de la práctica de quema a cielo abierto de la biomasa residual. Con los centros de acopio de la biomasa se generarán nuevas fuentes de empleo. El limón y sus productos derivados se beneficiarán con el reemplazo de la energía fósil por energía renovable, disminuyendo la huella de carbono y logrando así un mejor posicionamiento de estos en el mercado internacional. El proyecto podrá ser replicado en otras regiones con otras plantaciones de árboles frutales (olivares, vid, manzanos, etc.). Las instituciones participantes se beneficiarán de la mutua colaboración, adquiriendo conocimientos de sus pares y generando lazos que servirán para futuros proyectos.

1.3 Antecedentes y justificación

Actualmente los países cuya economía es dependiente de combustibles fósiles se enfrentan a una serie de debilidades. Esto se vio resaltado en la actual coyuntura debido a la guerra entre Rusia y Ucrania. La incertidumbre en la oferta y el precio de estos combustibles causa un gran impacto en la política energética, dificultando el desarrollo de modelos económicos sostenibles. Por otra parte, existe una mayor conciencia y gran evidencia del impacto negativo para el medio ambiente que se genera con el uso de combustibles de

origen no renovables. Esto justifica la búsqueda de alternativas que reemplacen estos combustibles por otros de origen renovable, más amigables con el medio ambiente.

La biomasa, como fuente de energía renovable, es una de las opciones más prometedoras para la obtención de energía. Por otro lado, si bien la biomasa representa un gran potencial energético, ésta no debe competir con los cultivos alimentarios por lo que el uso de biomasa residuales es una mejor opción. En el caso de los países productores de cítricos, la actividad produce gran cantidad de biomasa residual debido a la poda y las renovaciones de lotes. Actualmente, esta biomasa se quema a cielo abierto, sin aprovechamiento energético, ni económico, y generando graves problemas socio-ambientales: liberación de partículas y compuestos como CO₂, SO₂, NOX, dioxinas, furanos y otros (que afectan el medioambiente y la salud con problemas como el calentamiento global, la lluvia ácida, enfermedades respiratorias y visuales, etc.); problemas eléctricos por quema debajo de líneas de alta tensión; accidentes de tránsito por disminución de la visibilidad en rutas; etc.

El acondicionamiento de esta biomasa permitirá su aprovechamiento dándole valor y evitando la quema improductiva. El uso de esta biomasa representa un beneficio tanto para las industrias como para el campo y el medio ambiente, mediante la creación de empleo, revitalización del entorno rural y prevención de la quema descontrolada.

2 Implementación del proyecto

Iniciado en Septiembre de 2019, el proyecto se desarrolló según lo planificado hasta marzo de 2020, cuando se inició la época de pandemia debido al covid-19, con lo cual nos vimos imposibilitados de realizar viajes y restringidos en cuanto a la actividad a causa de las medidas implementadas por nuestro gobierno (cuarentena, restricción de movilidad, protocolos de seguridad, etc.). Es por ello que se pidió una prórroga para poder realizar las actividades programadas, finalizando el proyecto en agosto de 2022. En general, el proyecto se divide en cuatro partes: gestión del proyecto y capacitación, estado de arte de la gasificación, desarrollo de la experiencia y procesamiento de datos y análisis de resultados.

2.1 Gestión del proyecto y capacitación

2.1.1 Reunión de inicio del proyecto

La reunión de inicio del proyecto se llevó a cabo el día 5 de diciembre en Tucumán, Argentina. En una primera instancia nos encontramos la Dra. Dora Paz de la EEAOC (Argentina) con la Dra. Tania Carbonell Morales del CUJAE (Cuba) y la Dra. Suani Coelho del GBio (Brasil) en la sala de reuniones de la EEAOC junto con otros miembros del equipo del proyecto Pérez Guerrero (Figura 1). Luego la reunión continuó en el salón de actos donde se llevó a cabo la presentación del proyecto junto con la de los grupos investigadores integrantes, a los actores del sector citrícola y demás interesados (Figura 2, 3 y 4).



Figura 1: Reunión interna de inicio del proyecto.



Figura 2: Presentación del proyecto al sector citrícola a cargo de la Dra. Paz.



Figura 3: Presentación del GBio a cargo de la Dra. Coelho.



Figura 4: Presentación del CUJAE a cargo de la Dra. Carbonell.

2.1.2 Taller de Aprovechamiento energético de la biomasa

El taller fue dictado por la Dra. Suani Coelho de la USP (Brasil) y se llevó a cabo entre los días 5 y 6 de diciembre del año 2019. Las clases se dictaron en el Salón de usos múltiples de la EEAOC (Tucumán), repartiéndose entre la mañana y la tarde, con espacios de pausas con servicio de café incluido y tiempo para almorzar. Al taller asistió la Dra. Ing. Tania Carbonell Morales, personal de la EEAOC involucrados en el proyecto e interesados del sector citrícola, estudiantes universitarios, etc. Los temas desarrollados fueron los siguientes:

Módulo 1- Introducción general

- Biomasa como fuente de energía, sustentabilidad y usos finales.
- Biomasa en el mundo: situación actual.
- Tipos de biomasa y tecnologías de conversión para diferentes usos finales: combustión – calderas de parrilla y de lecho fluidizado; gasificación – gasificadores de lecho fijo y de lecho fluidizado; usos del gas de síntesis (syngas); experiencia en Brasil.

Módulo 2 - Tecnologías para aprovechamiento energético de biomasa en los sectores industriales, experiencias en Brasil.

- Sector de caña de azúcar: aprovechamiento energético eficiente de los residuos del proceso de fabricación de azúcar y alcohol (bagazo, RAC, cachaza y vinaza); bagazo de caña y RAC – combustión y sistemas a vapor; vinaza e cachaza – biogás e diferentes usos.
- Sector de papel y celulosa: residuos de fabricación de celulosa – combustión y sistemas a vapor y gasificación; residuos de madera; licor negro.
- Sector maderero: residuos de aserraderos y fábricas de muebles; pellets; sistemas a vapor

Módulo 3 - Aprovechamiento energético para sistemas de pequeño y medio porte

- Experiencias en Brasil - pequeños y medianos municipios en la Amazonia y otras regiones:
 - Sistemas a vapor para medio porte (Proyecto Enermad/GBIO)
 - Gasificación para pequeño porte (Proyecto Gaseifamaz/GBIO)
 - Gasificación de residuos sólidos urbanos (Proyecto Boa Esperança/Furnas)
- Escenarios para acceso a la energía en municipios de bajo IDH (índice de desarrollo humano) en Brasil y en Colombia (Proyecto BREA/GBIO)
- Escenarios para aprovechamiento energético de residuos de biomasa en el estado de São Paulo (Proyecto CESP/ANEEL).

En las Figuras 5 y 6 se observan momentos de las clases que se desarrollaron dentro del taller de aprovechamiento de biomasa.



Figura 5: Dra. Suani Coelho en el dictado del taller.



Figura 6: Foto de los asistentes al finalizar la jornada del taller.

Estuvieron presentes representantes de nueve citrícolas de Tucumán y Salta, una empresa de maquinarias y servicios agrícolas, investigadores del INTA, INTI e independientes, y estudiantes avanzados de diferentes carreras de ingeniería (Tabla 1).

Tabla 1: Asistencia al taller “Aprovechamiento energético de la biomasa”.

Apellido	Nombre	Empresa	Cargo
Giménez	Walter FABIAN	ACHERAL S.A.	Técnico
Cáceres	Franco	AGRO ALIANZA	Jefe
Andrada Suarez	Eduardo Ezequiel	CITRUSVIL	Técnico
Lescano	Noelia	CITRUSVIL	Jefe
Roig Babot	Germán	CITRUSVIL	Responsable de MA
Rojas	Gustavo	COTA LTDA	
Kacharoski	Walter Eduardo	E.E.A.O.C.	Técnico
Gómez	César Augusto	EEAOC	Técnico
Golato	Marcos Antonio	EEAOC	Técnico
Paz	Dora	EEAOC	Jefe
Feijóo	Enrique	EEAOC	Investigador
Franck	Federico	EEAOC	Investigador
Bravo	Maria Valeria	EEAOC	Técnico
Márquez	Fernando Ariel	EEAOC	Técnico
Paredes	María Virginia	EEAOC	Investigador
Garolera De Nucci	Lorena Patricia	EEAOC	Investigadora
De Los Rios	Alejandro	EEAOC	Técnico
Zamora Rueda	Gimena	EEAOC	Investigadora
Diaz	Gisela Florencia	EEAOC	Investigadora
Cruz	Carolina	EEAOC	Investigadora
DE FELICE	Silvio Gerardo	F.G.F. TRAPANI S.A.	Gerente
PABANI	Luis	F.G.F. TRAPANI S.A.	Gerente
Nuño	Gabriela	INTI	Investigadora
Ortiz	Joaquin Mario	INTA	Investigador
Iñigo Martínez	Maria Emilia	ITA-NOA (EEAOC-CONICET)	Becaria doctoral
Soruco	Maria Fernanda	LEDESMA	Asistente técnico
PACHECO	JORGE ALBERTO	LEDESMA	joven profesional
BOSSARD	VICTOR ARNALDO	LEDESMA	Jefe
Pérez Monge	Miguel Angel	LITORAL CITRUS	Jefe
Bulacio	Eduardo Nilamon	Independiente	Investigador
Schuster	Sebastián	S.A. SAN MIGUEL	Jefe
Córdoba	Leandro Carlos	S.A. SAN MIGUEL	
García	Roxana Vanesa de Fatima	S.A. VERACRUZ	Supervisor
Fontana	Carlos Jose	S.A. VERACRUZ	Jefe
Verón	Andrés Horacio	Suelo Agrícola	Gerente
Córdoba Padilla	Maira nadir	Estudiante	Estudiante
Cabrera	Teresita Belén	Estudiante	Estudiante
De Zavalía Stordeur	Sofía María	UNSTA	Estudiante
Apazo	Facundo	UNSTA	Estudiante

Asimismo, por parte de la EEAOC asistieron al taller la Dra. Dora Paz (coordinadora del proyecto), Mg. Ing. Gisela Diaz (Responsable operativa), Esp. Ing. Enrique Feijóo, Mg. Ing. Federico Franck Colombres, Mg. Ing. Marcos Golato Mg. Ing. Carolina Cruz, Mg. Ing. Gimena Zamora Rueda, Mg. Ing. Patricia Garolera, Ing. Valeria Bravo, Ing. Emilia Íñigo Martínez, Ing. Augusto Gómez, Ing. Ariel Márquez, Ing. Walter Kacharoski (Figura 7).



Figura 7: Dra. Carbonell, Dra. Paz y Dra. Coleho junto a algunos integrantes del equipo de trabajo del Proyecto PGTF.

2.1.3 Reunión de avance

Debido a la pandemia causada por el coronavirus (COVID-19), el viaje planificado a Brasil para realizar la reunión de avance y la visita técnica al GBIO fue cancelado. En su lugar, se llevó a cabo una reunión virtual realizada el 7 de diciembre de 2021 a través de la plataforma JITSY MEET a hs 9 de Argentina y Brasil (8 am en Cuba). Durante esta reunión se expusieron los avances realizados por cada grupo y la planificación de las actividades remanentes, junto con la planificación de las actividades de cierre del proyecto. En las fotos de las Figuras 8, 9, 10 y 11 se pueden observar momentos de la reunión.

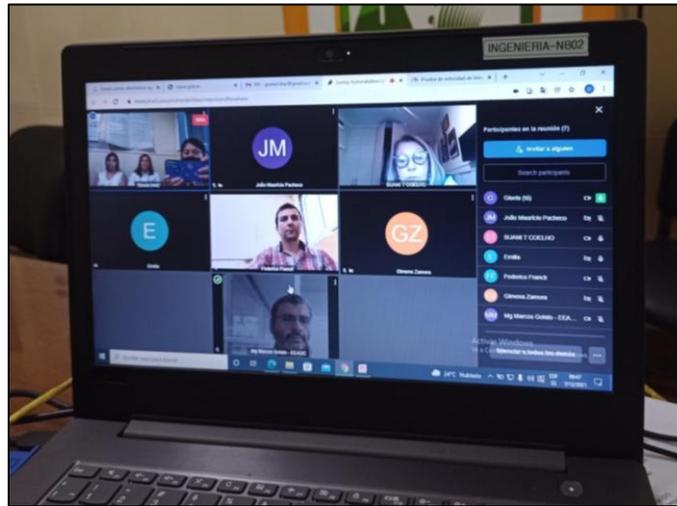


Figura 8: Participantes de la reunión de avance virtual.

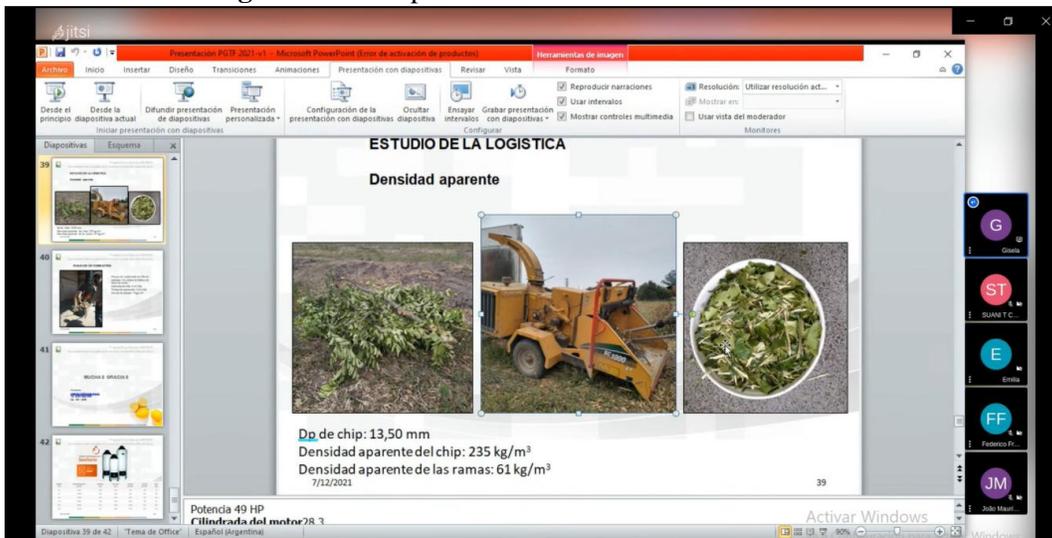


Figura 9: Presentación de la EEAOC en la reunión de avance virtual.



Figura 10: Presentación del GBio en la reunión de avance virtual.

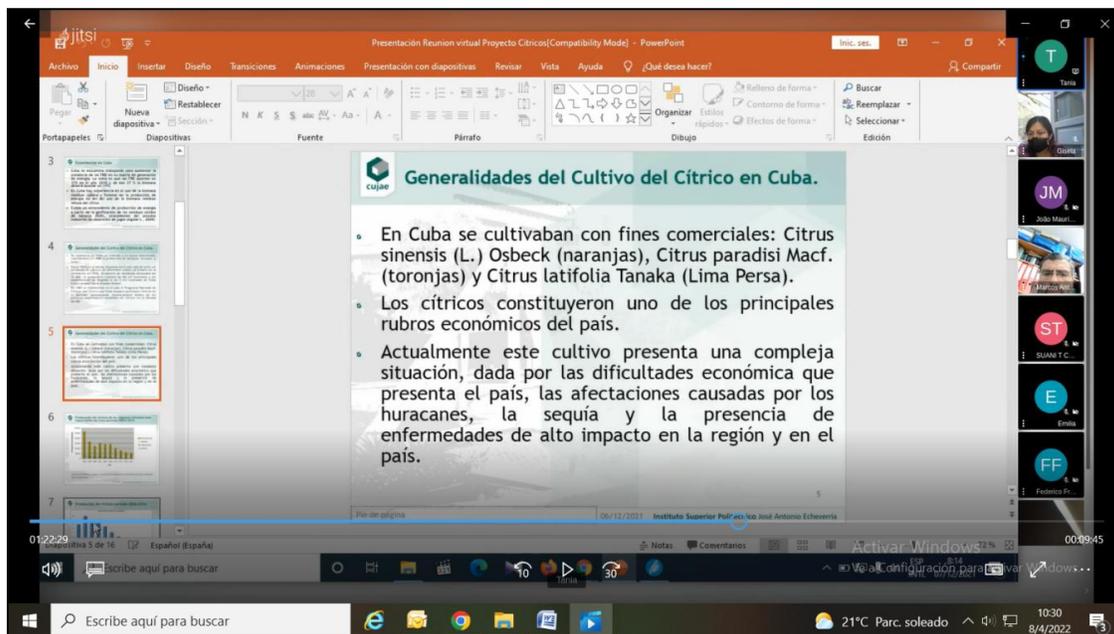


Figura 11: Presentación del CUJAE en la reunión de avance virtual.

2.1.4 Jornada de cierre

El día 1 de agosto de 2022 se desarrolló la jornada de cierre del proyecto en el cual se difundieron los resultados finales de los tres grupos integrantes. Esta jornada tuvo lugar en el salón de actos de la EEAO y contó con la participación de la Dr. Suani Coelho y la Dra. Tania Carbonell Morales a través de la plataforma Jitsi meet. De igual manera, estuvieron presentes citricultores y personal técnico de la industria cítrica y azucarera de la región de manera presencial y virtual.

Las Figuras 12, 13, 14 y 15 muestran fotos de diferentes momentos de la jornada.



Figura 12: Presentación del proyecto por parte de la coordinadora Dra. Paz.

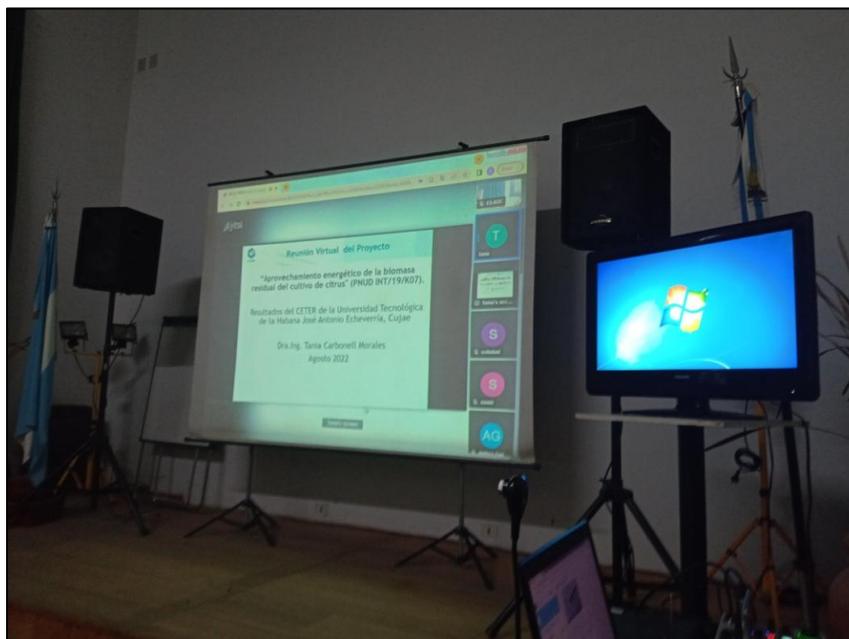


Figura 13: Presentación de los resultados del CTER a cargo de la Dra. Carbonell.



Figura 14: Presentación de los resultados de la EEAOC a cargo de la Mg. Gisela Diaz.



Figura 15: Participantes presentes en la jornada de cierre.

La Tabla 2 presenta los participantes de la jornada de cierre junto con la empresa a la cual pertenecen y su cargo.

Tabla 2: Participantes de la jornada de cierre.

Nombre	Apellido	Empresa	Cargo
Humberto Antonio	Acuña	Acheral S.A.	Jefe
María Del Carmen	Varela	Acheral SA	Jefe
Erika	Nieva	Citrícola San Miguel	Analista Ambiente Seguridad y Salud
Juan	Altamiranda	Citrusvil SA	Gerente
Rodrigo	Ponce de León	CITRUSVIL SA	Jefe
Tania	Carbonell	CUJAE	Decana
Carolina	Cruz	EEAOC	Investigador
Daniela	Perez	EEAOC	Investigador
Walter Daniel	Morales	EEAOC	Responsable LEMI
Marina	Lacina	EEAOC	Investigador
Florencia	Palacios	EEAOC	Investigador
Lorena	Sendin	EEAOC	Investigador
Lucrecia	Augier	EEAOC	Investigador
Gabriela	Juárez	EEAOC	Supervisor
Enrique Alberto	Feijóo	EEAOC	Investigador
JAVIER ELPIDIO	BRITO	EEAOC	Técnico
Gustavo Ambrosio	Guillou	Ingenio Famaillá	Gerente
Micaela	Castellano	Itanoa	Becario doctoral
Verónica Andrea	Ledesma	ITANOA	Becario
Aida Lorena	Romero	Itanoa (Eeaoc - Conicet)	Técnico
Humberto	Solá	Ledesma	Director de Innovación y Energía
Roque	Burgos	Ledesma frutas	Jefe
Miguel Angel	Pérez Monge	LITORAL CITRUS S.A.	Jefe
Mabel	Veliz	Temas Industriales S.A - Ingenio Santa Rosa	Jefe
Tania	Carbonell	Universidad Tecnológica de la Habana	Decana Facultad Ing. Química
SUANI	COELHO	USP	Profesora
Andres	Gonzalez	Vicente Trapani S.A	Gerente
Luis Alfredo	Medina	Vicente Trapani S.A.	Jefe
Paula	Dip	Vicente Trapani S.A.	Jefe
Javier Ezequiel	de Quintana	Vicente Trapani SA	Ingeniero de Procesos
Gastón	de la Rosa	Vicente Trapani SA	Jefe
Javier Ezequiel	de Quintana	Vicente Trapani SA	Ingeniero de Procesos

2.1.5 Difusión de resultados

- *Notas en diarios*

A raíz de la difusión realizada para el taller “Aprovechamiento energético de la biomasa” en el cual se dio a conocer el proyecto, el principal diario de la provincia de Tucumán “La Gaceta” publicó una nota al respecto el día 13 de diciembre de 2019 (<https://www.lagaceta.com.ar/nota/828495/actualidad/restos-poda-citricos-podrian-generar-energia.html>). Esta nota fue replicada en otros portales dedicados al medio ambiente y a la actividad citrícola (por ejemplo: <https://medioambienteenaccion.com.ar/contenido/5973/restos-de-poda-de-citricos-podrian-generar-energia/>; <https://mercadocitrus.com/restos-de-poda-de-citricos-podrian-generar-energia/>, <https://agroempresario.com/publicacion/11083/utilizan-restos-de-poda-de-citricos-para-generar-energia/?cat=197>, entre otros).

Asimismo, se difundió en el mismo diario la jornada de cierre con tres artículos publicados el 6 de agosto de 2022:

- <https://www.lagaceta.com.ar/nota/955610/economia/metro-cubico-gas-natural-equivale-314-kg-biomasa-citrica.html>
- <https://www.lagaceta.com.ar/nota/955603/economia/biomasa-residual-limon-resolveria-falta-suministro-gas-durante-zafra.html>
- <https://www.lagaceta.com.ar/nota/955605/economia/citricola-procese-60-t-h-limon-puede-autoabastecerse-gas.html>

Además, estas publicaciones tuvieron impacto en las redes sociales. El Ing. Santiago Paz, experto en temas energéticos de Tucumán, destacó la importancia del proyecto en la región:

“Muy interesante el trabajo, que está en línea con el realizado por la EEAOC con rastrojos de caña para el proyecto de biomasa que evaluó YPF para su complejo de generación de El Bracho. Se requieren calderas especiales para trabajar con estos recursos agronómicos, la tecnología existe y está disponible en el mundo. Su viabilidad económica depende de establecer precios adecuados para este tipo de generación, que son algo superiores a los requeridos por la biomasa común, pero que están por debajo de los otorgados al biogas en las últimas rondas del RenovAr, e incluso menos costosos que la generación con gasoil o fuel oil a la que recurre Argentina en determinados momentos del año. Está en manos de los políticos argentinos establecer condiciones adecuadas para que prosperen estos proyectos” (https://www.linkedin.com/posts/santiago-paz-br%C3%BChl-aab75419_unmetro-c%C3%BAbico-de-gas-natural-equivale-a-activity-6961685073309888512-BtS4?utm_source=linkedin_share&utm_medium=member_desktop_web)

- *Capacitación online*

El 16 junio de 2021 se realizó una capacitación en vivo sobre “Poda mecánica de cítricos: Aprovechamiento de poda agrícola” dictada por la Mg. Ing. Gisela Diaz. En esta capacitación se difundieron los resultados preliminares de los ensayos de cuantificación y caracterización del proyecto. La misma se encuentra grabada y accesible para todo público en el canal de Youtube de la EEAOC:

<https://www.youtube.com/watch?v=xPBu5W13MLM>

El 23 junio de 2021 se realizó una jornada de capacitación en vivo sobre “Aprovechamiento energético de biomasa de caña de azúcar y citrus”. En esta oportunidad el Esp. Ing. Federico Franck presentó el potencial energético de la biomasa de limoneros y la Ing. María Emilia Iñigo Martínez versó sobre el impacto en la sustentabilidad del aprovechamiento térmico de la poda de limoneros. Estas capacitaciones se pueden ver en los siguientes links:

https://www.youtube.com/watch?v=M1-YA8_G6hU&t=3s

https://www.youtube.com/watch?v=MzSS7_z4Li8&t=8s

- *Jornada en Citrusvil*

La empresa CITRUSVIL SA invitó a la EEAOC a participar de la jornada “Aprovechamiento de residuos de poda y erradicación en limón” llevada a cabo el día 31 de mayo de 2022. En esta reunión la Mg. Ing. Gisela Diaz expuso los resultados obtenidos del proyecto Pérez Guerrero y junto con el Esp. Ing. Enrique Feijoo contestaron inquietudes del personal de la empresa sobre la temática.

2.1.6 Artículos publicados

- L. Patricia Garolera De Nucci, E. Feijóo, M. Coronel, F. Franck Colombres, R. Salazar, G Diaz, D. Machado, D. Paz y M. Ruiz. 2021. “Hacia una agroindustria sustentable: logros en el sector industrial”. Avance Agroindustrial 42-1: 34-42.
- G. Diaz, M. E. Iñigo Martínez, D. Figueroa, D. Paz. “Estimación preliminar de biomasa residual de la poda de limoneros en Tucumán, Argentina”. RIAT, En revisión.
- Avance Agroindustrial 41-1: 40-43. 2020. “¿Cuánta biomasa residual genera la poda de limoneros en Tucumán? Estimación preliminar”. G. Diaz, M. E. Iñigo Martínez, D. Figueroa y D. Paz.

2.1.7 Capacitaciones

Curso: Operación de centrales de biomasa

Los Ing. Enrique Feijóo y Gisela Diaz participaron de un curso de “Operación de plantas industriales de biomasa” dictado por la UTN Facultad Regional Buenos Aires, desarrollado de manera virtual en doce semanas entre junio y septiembre de 2021. El curso se estructura en tres módulos compuesto por 4 unidades cada uno, con una carga horaria total de 90 horas. Los objetivos del curso fueron que los participantes:

- Obtengan competencias cualificadas para operar, mantener controlar y sanear industrias de procesos y plantas térmicas de Biomasa, con capacidad de gestión y resolución técnica de problemas.

- Comprendan la realización de la puesta a punto, mantenimiento y control de generadores de vapor, que entregaran el vapor al proceso o a la generación de energía eléctrica para autoabastecimiento.
- Sepan realizar el manejo de las turbinas a vapor y a Gas y cómo se efectúa el ciclo combinado con turbina a gas, caldera de recuperación que genera vapor y turbina a vapor que genera energía complementaria.
- Aprendan a realizar la debida selección de Bombas y Válvulas en el proceso fabril industrial en plantas de cogeneración.
- Comprendan la Operación en sistemas de combustión, con la utilización del biogás y otros residuos biocombustibles líquidos de bajo poder calorífero como la Vinaza, desperdicios de cosecha como diversos combustibles celulósicos que solos o combinados con los combustibles convencionales de base hidrocarbúrica, racionalizan de la energía.

Curso: Redacción de paper científicos en inglés

Las Mg. Ing. Gisela Diaz, Gimena Zamora Rueda, Carolina Cruza y Patricia Garolera participaron del curso: “Cómo redactar papers científicos en inglés”, desarrollado de manera virtual en diez reuniones a partir del 3 de agosto hasta el 2 de septiembre del corriente año, en el horario de 19 a 21:30 hs. La profesora a cargo fue María Victoria Gonzalez Eusevi, bióloga (UBA), con título de Proficiency in English (University of Cambridge, UK), ex directora del Instituto de Inglés “Smile in English”, correctora de estilo de la Revista de la Asociación de Bioquímica Argentina, correctora de estilo y traductora de papers científicos en inglés. El curso es de gran valor a la hora de elaborar artículos para revistas internacionales con el fin de difundir los resultados del proyecto.

2.2 Búsqueda bibliográfica

EEOC

En Europa existe un creciente interés en el aprovechamiento de los residuos de poda, reflejado en diversos artículos relacionados con la temática. Algunos autores estudiaron diferentes formas de evaluar la cantidad residual de biomasa obtenida de plantaciones de árboles de citrus y otros árboles frutales en plantaciones de España (Velázquez – Martí et al., 2011; Velázquez – Martí et al., 2012; Velázquez – Martí et al., 2013). Por otro lado, se estudiaron la contaminación, la pérdida de la biomasa y los tiempos requeridos relacionados con la recolección de la misma en plantaciones de Italia (Acampora et al., 2013; Proto et al., 2019). Asimismo, existen diversos proyectos trabajando en la temática, entre ellos EUROPRUNING (EUROPRUNING) y UP_RUNNING (UP_RUNNING), financiados por la Unión Europea. El primero contó con la participación de 17 socios de diferentes países de Europa y se centró en los restos de podas agrícolas de frutales (entre ellos la naranja), olivos y viñedos. EUROPRUNING estableció las especificaciones en cuanto a la calidad de los materiales que se producirían y utilizarían como materia prima para la producción de energía. Luego, desarrollaron herramientas logísticas y maquinaria innovadoras con que facilitar a los agricultores la tarea de convertir sus residuos de podas

en fuentes de bioenergía válidas para cumplir los requisitos de calidad fijados previamente (Pari et al., 2017; Pari et al., 2018). El proyecto UP_RUNNING, iniciado en 2016 al amparo de Horizonte 2020, retomó la labor realizada por EUROPRUNING, con el propósito de solucionar el actual inmovilismo de los agentes que conforman la cadena de valor, en pos del aprovechamiento de las podas agrícolas y demás biomasa leñosa desechada de plantaciones (CORDIS).

Existen estudios que muestran valores de toneladas de poda por superficie cubierta por cítricos en España (Tabla 3), pero sin datos sobre la cantidad de plantas por superficie. Si suponemos una densidad máxima de 600 plantas por ha, esto llevaría a un volumen de alrededor de 34 kg de biomasa residual por planta. Ahora si bien, suponemos una densidad de 300 plantas por ha, la biomasa obtenida por poda sería de casi 70 kg por planta.

Tabla 3: Rendimientos de residuos de poda de los principales cultivos leñosos en España por hectárea.

Cultivo	Superficie [ha]	Producción [t]	Rendimiento [t/ha]
Olivo	2.200.000	3.394.700	1,5
Viñedo	1.163.000	5.420.700	4,7
Almendro	664.000	279.100	0,4
Cítricos	283.350	5.820.900	20,5
Manzano	50.000	922.200	18,4

Fuente: (Agencia Extremeña de la Energía, 2013)

En la Argentina, existen algunos proyectos de cogeneración alimentados con biomasa forestal (Misisonos, Chaco), ya sea con residuos del procesamiento mecánico de la madera (aserrín, corteza, costaneros), y de desechos o residuos forestales o de cosecha (despunte, ramas, tocones). También existen algunos proyectos de producción de biocombustibles sólidos, como son los pellets de madera, tanto en Corrientes como en Misiones.

En un estudio anterior (Díaz et al., 2017), se caracterizaron energéticamente muestras de poda, verde y seca, de limoneros de Tucumán. Los resultados para poda verde fueron: 40,64 % de humedad, 2,68% de cenizas, 79,52% de sólidos volátiles, 17,80% de carbono fijo, 0,08% de cloro total, 0,15% de azufre total, 18.329 kJ/kg de poder calorífico superior, y las temperaturas iniciales de fusibilidad fueron mayores a 1.500°C. Los valores para la biomasa seca no distaron significativamente de los obtenidos para poda húmeda, con excepción de la humedad de 9,16 %. Estos resultados clasifican a la poda de limoneros de Tucumán como apta para su uso como combustible. Además, se analizó la posibilidad de usar esta biomasa junto con la generada por las renovaciones de plantas de citrus mediante su gasificación para su empleo como gas pobre en los secaderos de cáscara de limón (Díaz y Paz, 2017; Díaz y Paz, 2018).

En cuanto al volumen de biomasa residual producida por el cultivo de cítricos en Argentina, no existen estudios experimentales al presente, ni del aprovechamiento energético de la misma. En un artículo publicado por el INTA (Flores Marco, et al. 2011) se aborda el estudio de biomásas residuales de la Provincia de Tucumán, derivados de la agroindustria azucarera (bagazo) y los derivados de la poda de frutales (cítricos) utilizando

la metodología WISDOM, desarrollada por la FAO. Para determinar la biomasa potencial generada a partir la poda de los cítricos, se consultó bibliografía internacional, la referencia que encontraron se refiere a las condiciones existentes en Italia, los valores aplicados fueron de 3 t de biomasa seca/hectárea/año.

Ante la ausencia de bibliografía local sobre este tema, surge la necesidad de generar datos propios para poder estimar la cantidad de biomasa residual, producto de las actividades de poda anual en las fincas de limón. El objetivo de este estudio es realizar una estimación preliminar de la biomasa residual, proveniente de la poda de limón, para su aprovechamiento energético.

GBIO

La producción agrícola de Brasil es una de las principales responsables de la balanza comercial del país, liderando el mercado mundial principalmente en la producción de soja y caña de azúcar. En particular, en la pandemia de COVID en 2020, el sector agropecuario fue el único en presentar buenos resultados económicos, a pesar de la enorme recesión que vive el país y el mundo. El área de cultivos en Brasil representa 79 millones de hectáreas de área sembrada, ocupando el 9% del territorio nacional. Los principales cultivos son la soja, el maíz, la caña de azúcar, los frijoles, el arroz, el trigo, el café, la yuca, la naranja y el plátano. En conjunto, ocupan el 91% del área total de cultivos. Los estados de Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul y Bahía concentran la mayor producción agrícola nacional, con el 83% de toda el área plantada (IBGE, 2017).

Entre 33 cultivos temporales y 38 cultivos permanentes, la agricultura brasileña supera la producción de mil millones de toneladas de productos agrícolas in natura. Los cultivos predominantes son la caña de azúcar con el 90%, la soja con el 11% y el maíz con el 9%, que juntos representan el 90% del volumen total de cultivos producidos en el país (IBGE, 2017). El volumen de producción agrícola permanente producida por región en Brasil se muestra en la Tabla 4.

La destacada producción de ciertos cultivos en Brasil genera altos volúmenes de biomasa residual. Sin embargo, el uso dependerá de la disposición del material en el campo, cantidad y ubicación. Los residuos del procesamiento agrícola se presentan en forma de paja, hojas, tallos, ramas, etc. Por otro lado, el residuo resultante del procesamiento se encuentra en varias otras formas.

Existen numerosas posibilidades para el uso de estos residuos, que incluyen alimentación animal, algunos tipos de fertilización del suelo, compostaje y uso de energía. En este contexto, la biomasa representa el 8% de la generación eléctrica nacional con más de 48.000 GWh por año, el 78% de este total se atribuye al bagazo de caña de azúcar, principal residuo sólido resultante del procesamiento industrial. (ANEEL, 2018).

La agricultura en el estado de São Paulo es una de las más importantes de Brasil. Representa el 11% del área total destinada a la agricultura en el país, produciendo una

variedad de cultivos de cultivos temporales y permanentes con aproximadamente 8,8 millones de hectáreas (IBGE, 2017).

Tabla 4: Producción de cultivos permanentes en Brasil.

Permanent crops	Production (ton)				
	North	Northeast	Southeast	South	Midwest
<i>Avocado</i>	1,405	6,812	177,348	23,605	3,703
<i>Arboreal cotton (seed)</i>	-	-	-	-	-
<i>Açaí</i>	1,332,436	2,445	159	-	-
<i>Olive</i>	-	-	456	794	-
<i>Banana (bunch)</i>	893,377	2,168,174	2,194,368	1,025,124	303,924
<i>Rubber (coagulated latex)</i>	1,994	26,427	232,365	1,506	53,215
<i>Rubber (liquid latex)</i>	...	...	...	...	...
<i>Cocoa (in almonds)</i>	122,064	106,246	6,852	-	647
<i>Total coffee (beans)</i>	144,356	161,993	2,288,113	67,216	22,830
<i>Coffee (in beans) Arabica</i>	26	61,863	1,896,911	67,216	16,155
<i>Coffee (beans) Canephora</i>	144,330	100	391,202	-	6,675
<i>cashew</i>	...	...	...	...	...
<i>Khaki</i>	-	200	129,622	52,363	-
<i>Cashew nut</i>	1,466	132,049	-	-	93
<i>Indian tea (green leaf)</i>	-	-	1,974	-	-
<i>Bay Coconut</i>	186,528	1,067,193	200,684	1,493	17,528
<i>Palm oil; palm (bunch of coconut)</i>	1,639,506	36,915	-	-	-
<i>Yerba mate (green leaf)</i>	-	-	-	618,322	1,449
<i>Fig</i>	-	-	12,601	13,290	-
<i>Guava</i>	8,795	204,808	211,295	19,687	13,461
<i>Guarana (seed)</i>	943	1,539	-	-	181
<i>Orange</i>	361,346	1,274,259	14,407,113	1,265,123	185,041
<i>Lemon</i>	96,815	89,273	1,061,495	36,171	10,020
<i>Apple</i>	123	-	8,861	1,298,658	-
<i>Papaya</i>	50,057	629,669	368,412	2,943	7,406
<i>Mango</i>	5,040	815	260,312	6,877	2,583
<i>Passion fruit</i>	47,291	335,027	81,750	68,213	15,807
<i>Quince</i>	-	17	162	142	170
<i>Walnut (dry fruit)</i>	-	-	1,136	6,771	-
<i>Palm heart</i>	2,971	8,777	33,655	28,772	16,356
<i>Pear</i>	-	-	594	21,531	-
<i>Peach</i>	-	-	43,754	206,695	-
<i>Black pepper</i>	39,698	4,702	34,695	-	11
<i>Sisal or agave (fiber)</i>	-	79,629	-	-	-
<i>Tangerine</i>	29,562	30,836	587,172	296,664	22,905
<i>Tung (dried fruit)</i>	-	-	-	225	-
<i>Annatto (seed)</i>	4,606	2,123	4,583	1,227	824
<i>Grape</i>	188	509,485	150,716	1,078,611	4,430

Source: Adapted from IBGE, 2017.

Los principales cultivos de São Paulo son la caña de azúcar, el maíz, la soja, el maní, el café y los cítricos. Actualmente, el 64% de la producción agronómica del estado es caña de azúcar; en consecuencia, ocupa la posición de mayor productor nacional. El cultivo de la caña de azúcar tiene como finalidad la fabricación de azúcar y alcohol. El bagazo es el principal residuo generado en el proceso de fabricación de azúcar y alcohol, utilizado para la cogeneración de energía. Usualmente, esta energía se destina a las demandas de la empresa; el excedente es comercializado y puesto a disposición en las líneas de transmisión/distribución (IBGE, 2017).

En cambio, otros cultivos tienen un gran potencial para generar biomasa residual con fines energéticos, que en su mayoría no se aprovechan o se aprovechan para otros fines. La Tabla 5 muestra el área de siembra y la cantidad del producto final producido para los cultivos permanentes en el estado de São Paulo. Se observa que la naranja es el cultivo con mayor área de cultivo en el estado de São Paulo, en consecuencia, la mayor cantidad de biomasa residual está disponible.

De Mattos Júnior et al. (2005) confirman que los cítricos llegaron a Europa en la época de las Cruzadas; en Brasil, fue alrededor del siglo XVI, traído por los portugueses. Es un árbol de tamaño mediano, con una altura promedio de 4 m (según la especie); el dosel es redondeado y bastante denso. Las hojas tienen un aroma característico, al igual que las flores, donde atraen a las abejas. Los frutos son ricos en vitamina C; vitaminas del complejo A y B, además de sales minerales (calcio, potasio, sodio, fósforo y hierro).

Según (F.A.O., 2021), los países con mayor producción de cítricos son China, Brasil y Estados Unidos, respectivamente. La Figura 2.1 muestra los productores de cítricos más grandes del mundo de 2012 a 2019 y sus respectivas producciones. Destaca también la región mediterránea con una producción considerable en 2019 de 24,2 millones de toneladas. La producción de China de 2012 a 2019 fue de aproximadamente 10,3 millones de toneladas, la región del Mediterráneo aumentó la producción de 2015 a 2016 en aproximadamente 1,2 millones de toneladas (Figura 16).

Tabla 5: Producción de cultivos permanentes en el estado de São Paulo, Brasil.

Permanent crops	Planted area (ha)	Amount of agricultural production (ton)
Avocado	5,512	121,216
Olive	99	179
Banana (bunch)	49,991	1,080,759
Rubber (coagulated latex)	68,567	208,031
Coffee (beans)	193,564	262,805
Khaki	3,656	101,204
Indian tea (green leaf)	185	1,974
Bay Coconut	1,39	16,283
Fig	623	10,903
Guava	5,545	173,926
Orange	404,927	13,357,707
Lemon	25,869	979,106
Apple	215	5,807
Papaya	341	13,672
Mango	9,461	176,127
Passion fruit	1,775	30,387
Walnut (dry fruit)	807	1,134
Palm's heart	8,435	29,132
Pear	22	300
Peach	1,503	34,592
Tangerine	10,628	370,385
Annatto (seed)	3,187	4,031
Grape	7,348	133,261
TOTAL	802,260	17,112,921

Source: Adapted from IBGE, 2017.

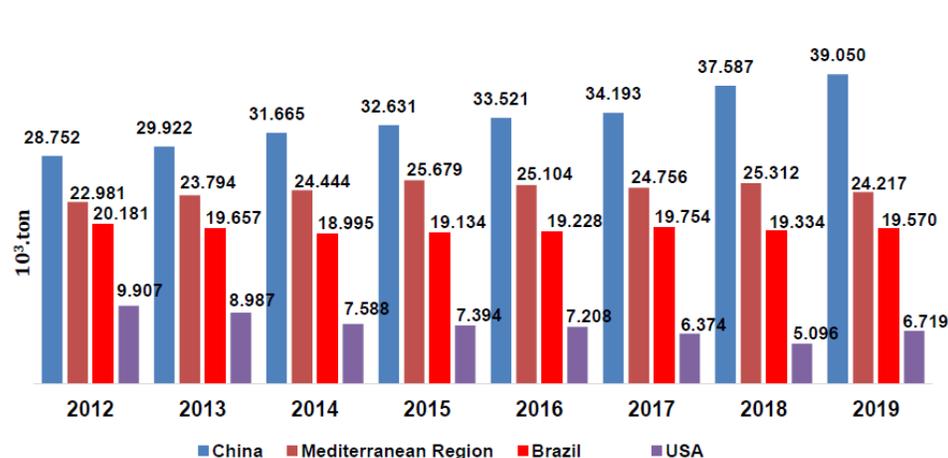


Figura 16: Países con mayor producción de cítricos.

Al comparar los datos de la Figura 17, Brasil tiene la mayor producción de cítricos, seguido de Argentina y Cuba. Existe una caída en la producción para todos los países incluidos desde el año 2012, se cree que esta caída se debe al ataque de enfermedades (FAO, 2017). Según Neves e Trombin (2017), Brasil produce el 34% del total de naranjas del mundo, más del 50% de todo el jugo producido y una participación del 76% en el mercado internacional. En la zafra 2016 - 2017, la producción mundial fue de 1,2 mil millones de cajas de naranja, mientras que Brasil produjo al mismo tiempo 414 millones de cajas.

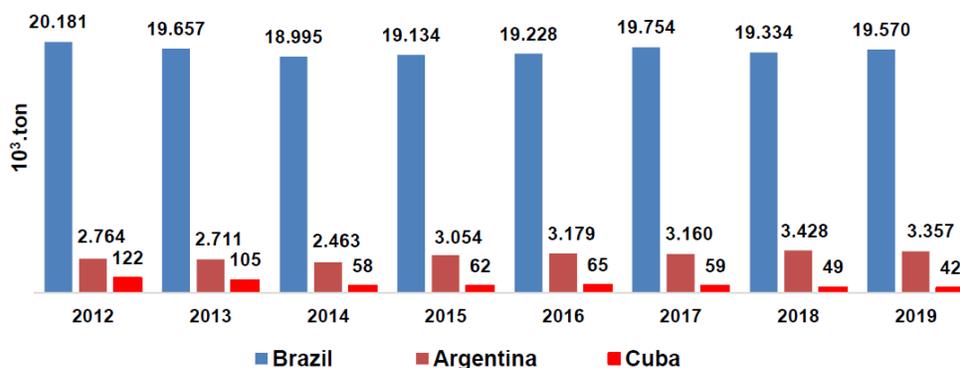


Figura 17: Comparación de producción de cítricos (naranja, limón y tanjarina) entre Argentina, Brasil y Cuba.

CETER

De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas de la República de Cuba (MINEM), uno de los mayores problemas de la economía cubana está en que el país no puede abastecer el 100 % de combustible requerido, y un elevado porcentaje de la demanda depende de la importación. Dentro de este contexto, en junio de 2014 fue aprobada la "Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso eficiente de la Energía para el período 2014-2030" planteando fomentar fuertemente las inversiones, con el fin de acelerar el desarrollo de la energía renovable que en 2014 representaba solo el 4.65 % con una meta de alcanzar una representación entre un 24 % en el año 2030.

Dentro de los potenciales de fuentes renovables de energía con mayor presencia en la isla de Cuba se encuentran la energía solar, eólica y la biomasa. Con mayor probabilidad de crecer en su presencia en la matriz energética cubana se destacan la energía solar fotovoltaica y la biomasa, fundamentalmente la cañera aunque se visualizan avances en el aprovechamiento de la biomasa residual forestal (Extremera, 2021).

Se conoce como biomasa a la materia orgánica originada en un proceso biológico espontáneo o provocado, que puede emplearse como fuente de energía. La biomasa comprende un amplio conjunto de materias orgánicas caracterizado por su heterogeneidad en lo relativo a origen y naturaleza, distinguiéndose generalmente entre biomasa agrícola y forestal, pero considerándose también aguas residuales, lodos de depuradora o la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, entre otros.

La biomasa se considera un biocombustible seguro, renovable y neutro con respecto a las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Además, como su generación es continua y distribuida, contribuye a asentar la población al territorio. Sin embargo, la gestión actual de la biomasa residual no está optimizada, perdiéndose gran cantidad de recursos que pueden ser aprovechados y reutilizados, en general no existe implantada una limpieza generalizada de bosques que evite o minimice el impacto de los incendios forestales especialmente en verano o una gestión de residuos agrícolas, lo que ocasiona que se pierdan gran parte de los mismos mediante su quema en algunas ocasiones incontrolada. La obtención de gas sintético a partir de biomasa es un proceso tecnológico neutro en emisiones de carbono que se obtiene a partir de la gasificación de los residuos forestales y agrícolas para obtener un gas con alto contenido en metano, similar al combustible fósil que puede ser usado en disímiles aplicaciones.

La gasificación de biomasa es una tecnología que amplía el espectro de posibilidades tecnológicas para lograr el aprovechamiento energético de la biomasa forestal y los residuos agroindustriales. En este proceso por medio de transformaciones termoquímicas se logra transformando la biomasa en un gas combustible. Este es un gas de bajo poder calórico que es posible usar para accionar quemadores de hornos, calderas e incluso de cocinas domésticas e industriales, así como accionar motores de combustión interna, en sus diversas aplicaciones, incluyendo los grupos electrógenos a gas y diesel (Gregori, 2009).

Del 24 % propuesto como meta de implementación de la energía renovable hasta 2030, Cuba propone cubrir con la biomasa el 14 %, que es más de la mitad. El plan es cuadruplicar la participación actual de la biomasa de 3.5 %, siendo alta la expectativa que tiene Cuba por el potencial de la biomasa. Para cumplir esta meta, se hace necesario no solo "aumentar la producción de la caña de azúcar" sino también "implementar las plantas eficientes". Cuba propone aumentar la producción de azúcar y ya asegura con 934,000 hectáreas de caña de azúcar necesarias para lograr este aumento. Esta producción es suficiente para lograr el 14 % de generación eléctrica con biomasa.

En el año 2018 existían en Cuba 57 plantas de generación eléctrica con biomasa para una capacidad total de 470 MW (alrededor del 7.8% de la capacidad instalada total). AZCUBA proyecta construir de ahora en adelante plantas eficientes bajo las condiciones de vapor de alta temperatura y alta presión en las 22 refinerías azucareras existentes (potencia total de 755 MW) además, el Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) investigaba la posibilidad de convertir biogás producido a partir de excrementos de las granjas porcinas en combustible diésel (Renovable Cuba, 2020).

2.3 Estudio de la biomasa residual

2.3.1 Cuantificación de la biomasa residual

EEAOC

Para la estimación del potencial de la biomasa residual de plantas de limón en Tucumán, Argentina, se requiere información sobre ciertos parámetros como ser la superficie implantada, la densidad de plantación, la biomasa producida por cada planta, etc.

En el informe anual de la Federación Argentina del Citrus (FEDERCITRUS) se presentan las estadísticas de la actividad citrícola en cada provincia. Del informe anual correspondiente al año 2019 se puede extraer información sobre la distribución de la superficie dedicada a citrus por especie (Tabla 6). Así, en la Provincia de Tucumán el 96% de la superficie dedicada a citrus está destinada a la producción de limón, siguiendo en importancia la naranja con un 2,9% (FEDERCITRUS - Argentina, 2019).

Tabla 6: Estimación superficie plantada de frutales cítricos en Argentina (ha) – Año 2018.

Provincias	Naranja	Mandarina	Limón	Pomelo	Otros	Total
Entre Ríos	19.650	15.343	614	779	0	36.386
Misiones	1.900	2.965	786	360	327	6.338
Corrientes	12.926	7.845	3.469	472	0	24.712
Buenos Aires	1.557	30	62	36	0	1.685
Formosa	105	0	221	1.054	0	1.380
Jujuy	4.562	1.688	1.984	242	0	8.476
Salta	3.488	170	8.309	1.665	128	13.760
Tucumán	1.250	350	42.050	100	50	43.800
Catamarca	407	434	51	0	0	892
Otras	178	15	119	0	42	354
TOTAL	46.023	28.840	57.665	4.708	547	137.783

Fuente: (FEDERCITRUS - Argentina, 2019)

INTA, informes regionales 2017

Por otra parte, la Sección Sensores Remotos de la EEAOC lleva a cabo cada dos años un estudio sobre la superficie implantada de cítricos en la Provincia de Tucumán. Para la estimación de la superficie se utiliza información recabada a campo y de imágenes satelitales correspondientes a los satélites SPOT 5 y Landsat 8. Se aplican metodologías de clasificación multiespectral y análisis de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.), complementadas con relevamientos a campo. Cabe destacar que hasta los dos primeros años de la plantación, el reducido tamaño de las plantas y la espaciada disposición en el terreno, determinan que la firma espectral sea confusa, por lo que la clasificación se limita a plantaciones de cítricos de dos y más años de implantados.

En la Figura 18 se puede observar la distribución geográfica de los cultivos de cítricos en la Provincia de Tucumán que totalizan 44.990 ha, mientras que en la Figura 19 se visualiza esquemáticamente dicha distribución en departamentos junto con los valores absolutos y porcentajes correspondientes de superficie, ambas correspondientes al año 2020 (Carreras Baldrés, y otros, 2020). Por otra parte, en la Figura 20 se observa la distribución de la superficie de cítricos dulces y limón por cada departamento de la provincia (Carreras Baldrés, y otros, 2020).

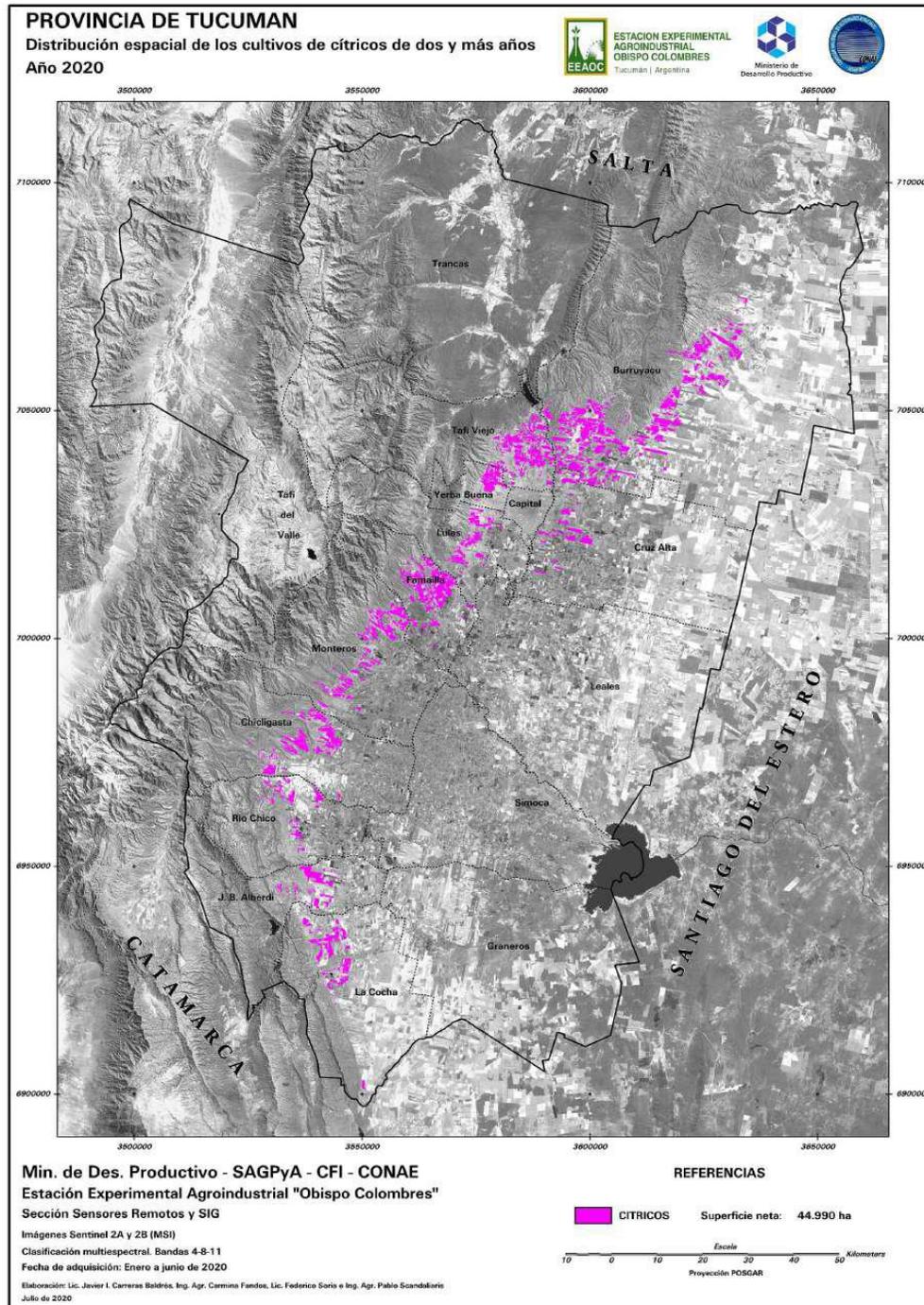


Figura 18: Distribución espacial de los cultivos de cítricos en Tucumán en el año 2020.

Fuente: (Carreras Baldrés, y otros, 2020)

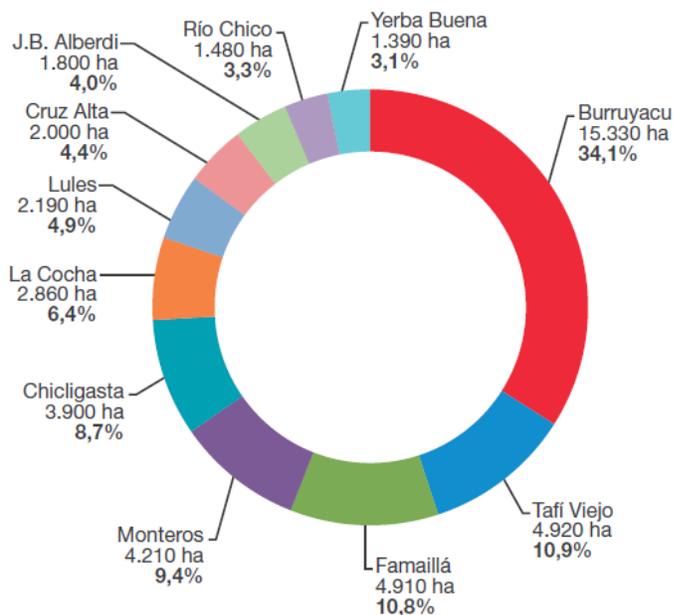


Figura 19: Superficie cubierta con cultivos de cítricos de dos años o más de edad por departamento en Tucumán en el año 2020.

Fuente: (Carreras Baldrés, y otros, 2020)

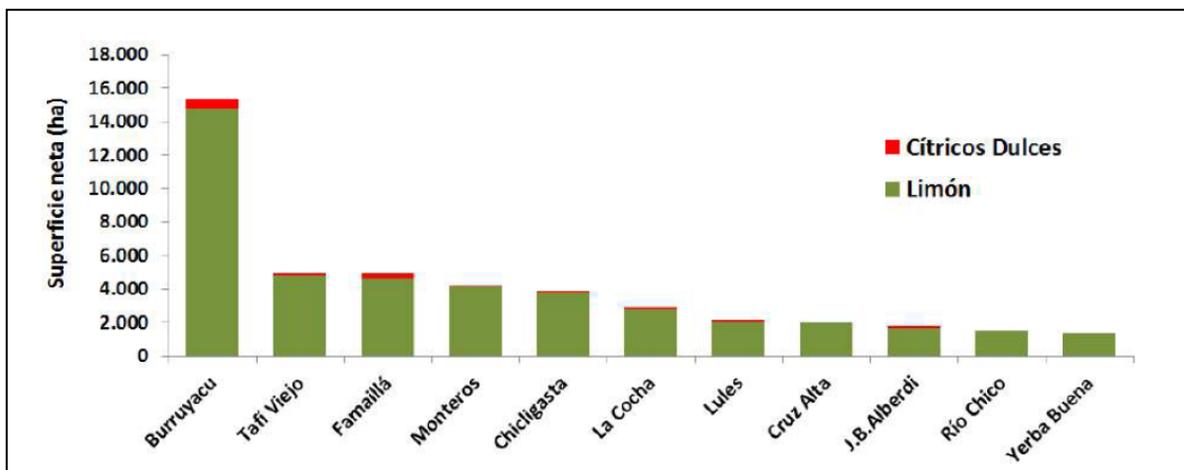


Figura 20: Distribución de la superficie implantada de cítricos dulces y limón.

Fuente: (Carreras Baldrés, y otros, 2020)

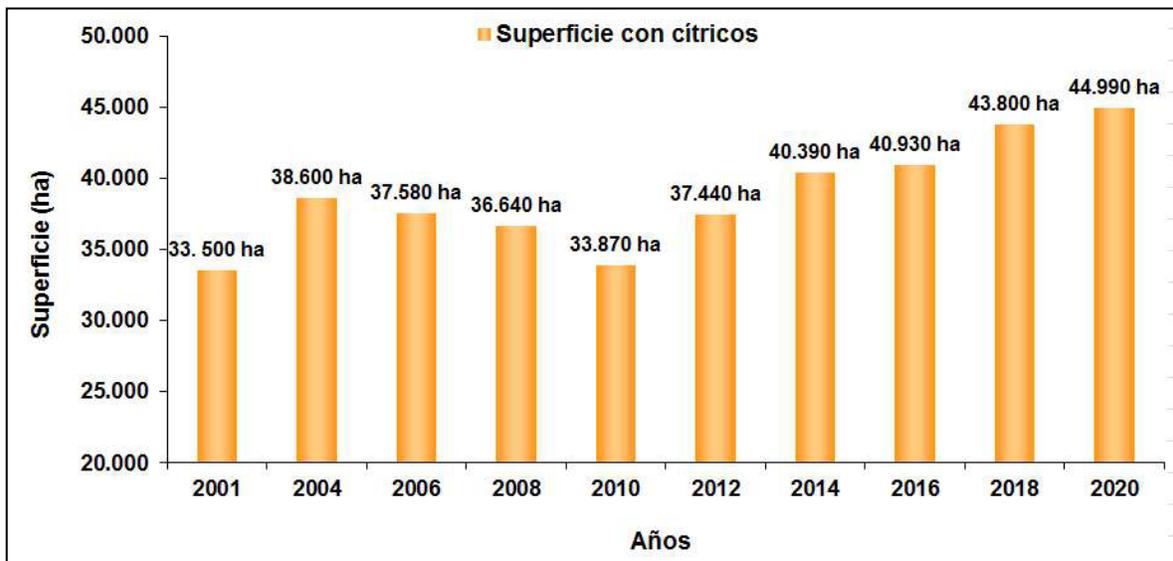


Figura 21: Evolución de la superficie neta con cítricos en Tucumán en el período 2001-2020.

Fuente: (Carreras Baldrés, y otros, 2020)

El estudio del año 2020 (Figura 20) indica que el cultivo de limón representa un 97% del total de la superficie con cítricos de la provincia, mientras que el 3% restante representa a los cítricos dulces. Burruyacú cuenta con la mayor superficie implantada con limón (14.770 ha) seguido por los departamentos de Tafí Viejo, Famaillá, Monteros y Chicligasta, con superficies en el rango de 3.800 ha y 4.800 ha. Asimismo, Burruyacú tiene la mayor área cubierta con cítricos dulces (560 ha), seguido por Famaillá (270 ha), Lules (170 ha), Alberdi (130 ha) y Tafí Viejo (120 ha).

Debido a que el estudio se lleva a cabo periódicamente se puede hacer una comparación con años anteriores (Figura 21). Entre 2001 y 2004 se observa un crecimiento de la superficie cultivada. Luego se presentó una tendencia decreciente hasta 2010, bajando a valores cercanos al del año 2001. Entre 2012 y 2020 se evidencia una nueva tendencia creciente. Entre 2010 y 2020 la superficie cultivada de cítricos aumentó 11.120 ha (Carreras Baldrés, y otros, 2020).

Las plantaciones cítricas alcanzan su potencial productivo aproximadamente entre los 8 y 14 años de plantados. A partir de allí y hasta los 20 años aproximadamente la producción se estabiliza, luego de lo cual comienza un período de decrecimiento. En el año 2020 se realizó un estudio de clasificación por edades de la superficie plantada con cítricos (Fandos, Soria, Baldrés, Scandalariis, Figueroa, & Salas, 2021). El trabajo se realizó mediante un análisis multitemporal de imágenes categorizadas tomadas desde el año 2004, empleando técnicas de SIG.

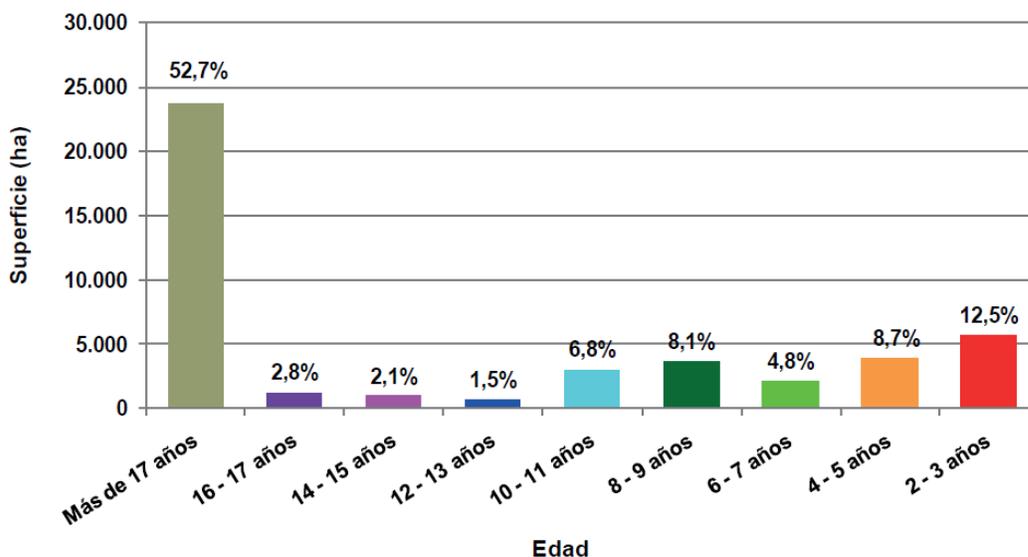


Figura 22: Distribución porcentual de la superficie citrícola 2020 en Tucumán según rango etario.

Fuente: (Fandos, Soria, Baldrés, Scandaliaris, Figueroa, & Salas, 2021)

En la Figura 22 se puede observar que el 52,7% de la superficie tiene más de 17 años de plantación y que el 21,3% se encuentra en el rango etario de 8 a 17 años.

Bajo las condiciones de la provincia y con la utilización de portainjertos tradicionales, se obtienen plantas de gran porte (entre seis y siete metros de altura) que requieren de la poda mecánica para mantener su productividad, facilitar la aplicación de productos fitosanitarios y realizar la cosecha. Esto llevó a la búsqueda de plantas de menor porte sin resignar la producción. Una de las características principales de la limonicultura tucumana es su adaptabilidad para utilizar un número apreciable de portainjertos. De todos los portainjertos introducidos y difundidos, el P. Trifoliata Flying Dragon es el único semi-enanizante. La utilización de plantas de menor tamaño permite trabajar bajo el concepto moderno de plantaciones de altas densidades, es decir: mayor cantidad de plantas por hectárea. La reducción en el tamaño de los árboles permitió que se plantasen entre 500 y 700 árboles por hectárea para alcanzar niveles productivos similares a los obtenidos con las plantaciones convencionales de 250 o 300 árboles por hectárea (Foguet, González, Vinciguerra, & Blanco, 1996).

Por otra parte, durante el período comprendido entre octubre de 2005 y abril de 2006, se realizó en la Provincia de Tucumán el Censo Provincial Citrícola. Las Tablas 7 y 8 extraídas del informe muestran los valores de densidad de las plantaciones activas y nuevas de limón y la proporción de variedades empleadas. De estas tablas se puede calcular una densidad de plantación media en el año 2006 de 276 plantas de limón por hectárea (sin contar las plantaciones abandonadas), siendo las variedades Eureka, Lisboa y Lisboa Limoneira 8A las de mayor presencia (Secretaría de Planeamiento - Dirección de estadística- Gobierno de Tucumán, 2006).

Tabla 7: Superficie y densidad de plantaciones de limón

	Superficie (ha)	Cantidad de plantas	Densidad (pl/ha)
Limón en producción activa	31.638,09	8.638.049	273,0
Nuevas plantas de limón	1.983,96	649.899	327,6
Plantaciones abandonadas	306,80	85.348	-
Total	33.928,85	9.373.296	

Fuente: (Secretaría de Planeamiento - Dirección de estadística- Gobierno de Tucumán, 2006)

Tabla 8: Plantas de limón en producción activa según variedad

Variedad	Cantidad de plantas	Proporción %
Eureka	3.039.955	35%
Lisboa Limoneira 8A	2.151.232	25%
Lisboa	2.121.844	25%
Génova	952.853	11%
Otras	372.165	4%
Total	8.638.049	100%

Fuente: (Secretaría de Planeamiento - Dirección de estadística- Gobierno de Tucumán, 2006)

Según el informe del INTA EEA Famaillá (INTA EEA Famaillá, 2013) es de práctica común que en cada renovación se incluyan plantaciones convencionales tales como Génova, Limoneira 8 A y Lisboa, en detrimento de Eureka, incrementándose también la superficie con Flying Dragon, incompatible con Eureka.

Índice de residuos de poda y de renovación de plantas

Las condiciones ambientales, el material vegetal utilizado y la tecnología de manejo, determinan que en Tucumán, el limonero tenga una alta tasa de crecimiento y que las copas alcancen grandes dimensiones. Normalmente, desde el octavo al décimo año de implantadas, las quintas comienzan a manifestar problemas estructurales. Ante esa situación, la poda se ha aplicado en muchos casos para solucionar problemas de tamaño de los árboles o de la densidad de plantación, en lugar de ser una práctica que acompañe al crecimiento para formar gradualmente una estructura productiva y mantener una distribución equilibrada.

En cuanto a la cuantificación de la poda de plantas de limón en Tucumán no se han encontrado estudios publicados. En la Sección Fruticultura de la EEAOC, personal de gran experiencia en el manejo de estos cultivos brindó valores aproximados que rondan los 40 kg de biomasa proveniente de poda por planta. Asimismo, según la misma fuente, se sabe que cada año se extrae entre un 2 y un 5% de las plantas para renovar la producción.

Para poder tener mayores datos se realizaron ensayos de cuantificación de poda y arranque de plantaciones en diferentes fincas ubicadas en la provincia de Tucumán, Argentina con distintas características.

En la Tabla 9 se muestran los datos de las fincas donde se llevaron a cabo los ensayos de poda. Se analizaron cinco repeticiones de grupos de tres árboles de limonero cada uno, de diferentes combinaciones de varietal y porta injerto, de variedades tradicionales como de semi-enanizantes.

Tabla 9: Características del lote donde se realizaron los ensayos de poda.

Características de los lotes muestreados					
Muestreo	A	B	C	D	E
Provincia	Tucumán	Tucumán	Tucumán	Tucumán	Tucumán
Departamento	Burruyacú	Chicligasta	Monteros	Monteros	Burruyacú
Localidad	El Naranjo	Los Cochamolles	Yacuchina	Yacuchina	El Naranjo
Especie	Limonero	Limonero	Limonero	Limonero	Limonero
Variedad de copa	Lisboa Frost Nucelar	Lisboa Frost Nucelar	Limoneira	Limoneira	Lisboa Frost Nucelar
Variedad de pie	Citrumelo Swingle	Citrumelo Swingle	Rampur	Flying Dragon	Flying Dragon
Edad de plantación [años]	20	29	18	18	20
Marco de plantación [m]	8 x 4	8 x 5	8 x 4	6 x 3	6 x 3
Pendiente	<1%		<1%	<1%	<1%
Riego	No	No	No	No	Si
Tipo de poda	Mecánica	Mecánica	Mecánica	Mecánica	Mecánica
Poda anterior	2019	2019	2019	2019	2019
Fecha de ensayo	ago-20	sep-20	jul-20	jul-20	jul-20

Para la selección de las plantas se tuvo en cuenta las siguientes condiciones:

- Bordura de tres árboles como mínimo de los extremos de las hileras
- Árboles representativos del lote (exceptuando árboles enfermos o refalles).

Se realizó una poda mecánica de lateral y techo con una podadora a discos giratorios de un eje rotativo sobre la hilera donde se encontraban los árboles seleccionados. Se recolectó manualmente en bolsas de arpillera la biomasa residual generada por los árboles marcados, y se pesó con báscula in situ. Se tomaron tres muestras de 10 kilos para su clasificación en hojas y ramas. Luego, se pesaron los subgrupos obtenidos en laboratorio. En las Figuras 23, 24 y 25 se pueden observar diferentes momentos de los ensayos de poda.

Con los datos obtenidos del pesaje total de poda dividido en el total de plantas estudiadas se obtuvo el índice I_p de residuos de poda, obtenido por poda de cada planta.

En la Tabla 10 se presentan los resultados de la cuantificación de los ensayos de poda.

Tabla 10: Resultados de cuantificación de la biomasa residual de poda.

Muestra	Copa	Pie	Zona	Edad años	Marco de plantación m x m	Biomasa residual promedio			
						kg/planta	t/ha	% hojas	% ramas
A	Lisboa	Citrumelo	Norte	20	8 x 4	48,29	15,09	41,1	58,9
B	Lisboa	Citrumelo	Sur	29	8 x 5	38,86	9,71	43,9	56,1
C	Limoneira	Rampur	Sur	18	8 x 4	30,95	9,67	48,0	52,0
Promedio						39,37	11,49	44,4	55,6
D	Limoneira	Flying Dragon	Sur	18	6 x 3	8,89	4,94	51,5	48,5
E	Lisboa	Flying Dragon	Norte	20	6 x 3	15,13	8,41	52,3	47,7
Promedio						12,01	6,67	51,9	48,1



Figura 23: Biomasa generada luego de poda de la hilera a la derecha



Figura 24: Recolección de la poda generada por los árboles muestreados

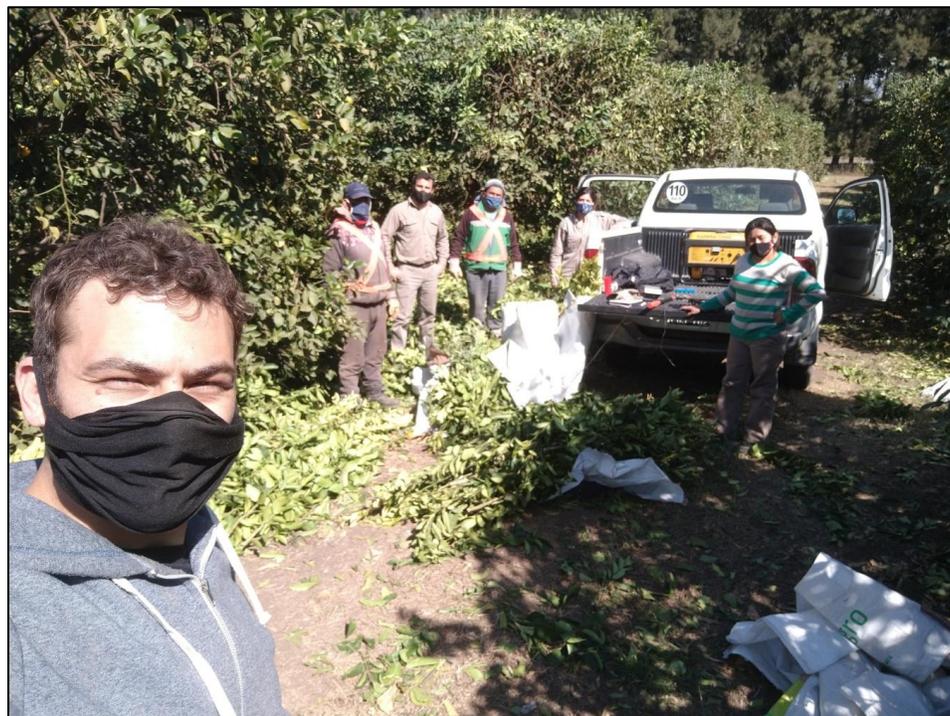


Figura 25: Pesaje de la biomasa generada de poda de los árboles muestreados.

También se realizaron ensayos de cuantificación de árboles que fueron arrancados para renovación de lote. Estos ensayos consistieron en la elección de los árboles con el mismo criterio de los ensayos de poda. Una vez arrancado el árbol se realiza una limpieza manual de las raíces quitando la tierra adherida. Con la ayuda de una motosierra, tijeras de podar, machete, etc. se separan las partes del árbol en:

- Raíces
- Pie
- Tronco
- Ramas primarias
- Ramas secundarias
- Ramas terciarias
- Hojas

Se pesan todas las partes y se toman muestras que serán analizadas en laboratorio. En la Tabla 11 se presentan las características de los lotes muestreados y en la Tabla 12 se pueden observar los resultados obtenidos de la cuantificación. En las Figura 26 se presenta un la distribución porcentual promedio de las partes que constituyen un árbol de limón.

Tabla 11: Características del lote donde se realizaron los ensayos.

Muestreo	F	G	H	I
Provincia	Tucumán	Tucumán	Tucumán	Tucumán
Departamento	Burruyacú	Tafí Viejo	Famaillá	Tafí Viejo
Localidad	El Naranjo	Lomas de Tafí	Sauce Huacho	Los Nogales
Especie	Naranja	Limonero	Limonero	Limonero
Variedad de copa	Valencia	Lisboa	Lisboa Frost Nucelar	Limoneira 8A
Variedad de pie	Citrumelo Swingle	Agrio	Citrango Troyer	Cleopatra
Edad de plantación [años]	30	29	22	34
Marco de plantación [m x m]	8 x 4	8 x 4	8 x 5	8 x 5
Riego	-	Si	Si	Si
Fecha de ensayo	dic-19	ago-21	sep/oct-21	oct-21

Tabla 12: Resultados de la cuantificación de la biomasa residual de arranque.

Variable	Unidad	Promedio
Total de biomasa	Kg/planta	442
Densidad de biomasa	t/ha	120,5
Hojas	%	3,94
Ramas terciarias	%	18,14
Ramas secundarias	%	23,63
Ramas primarias	%	24,38
Tronco	%	4,06
Pie	%	5,16
Raíces	%	20,69
TOTAL	%	100

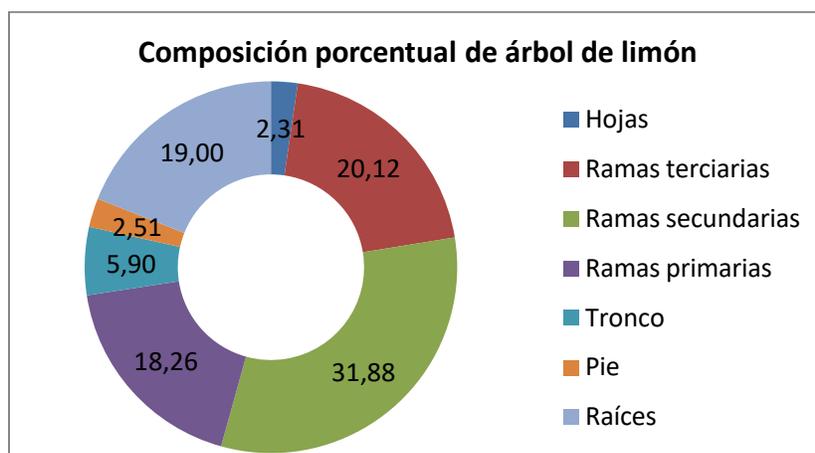


Figura 26: Distribución de partes del árbol de limón.

En las Figuras 27, 28 y 29 se pueden ver partes del proceso del ensayo de cuantificación de árboles arrancados para renovación de lotes.



Figura 27: Árbol arrancado, separación de sus partes con motosierra.



Figura 28: Separación de las partes del árbol.



Figura 29: Pesaje de las partes del árbol.

GBIO

En Brasil, para cuantificar el potencial energético de la biomasa residual de la poda de cítricos, la primera intención sería utilizar el método destructivo (Figura 30). La recopilación de datos se llevaría a cabo en el mismo período que las operaciones de campo, que son responsables de generar cantidades aceptables de biomasa.

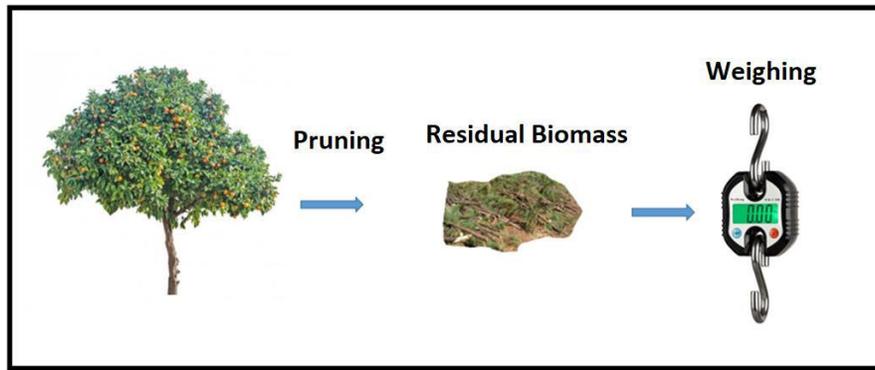


Figura 30: Método destructivo para recolección de datos de la biomasa residual de citrus.

Será importante determinar la frecuencia de las operaciones de poda para las cuales es necesaria una planificación, particularmente en un período de disponibilidad de biomasa. Otro factor importante es el marco de plantación porque dependiendo del número de plantas por hectárea, la cantidad de biomasa disponible será diferente. En promedio, el espacio entre naranjas es de 6 a 7 m entre líneas y de 3 a 4 m entre plantas (Figura 31).

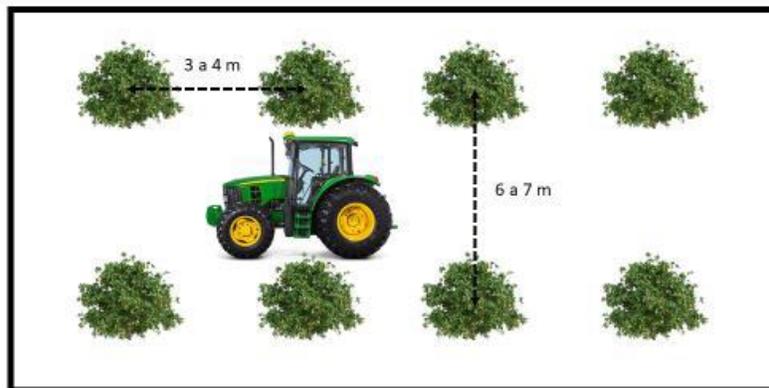


Figura 31: Marco de plantación promedio de naranjos en Brasil.

La Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA, 2021) especifica que el espaciamiento puede diferir según el tipo y tamaño de la planta. Estas especificaciones influyen directamente en la producción de biomasa residual (Tabla 13).

Tabla 13: Características de diferentes variedades de cítricos.

Cultivars	Plant size	Living space (m)	N. of plants (ha)
<i>Baianinha Orange and Valencia</i>	High	6 x 4	416
<i>Tahiti Lemon, Lima of Persia, and Pomelos</i>	High	5 x 4	500
<i>Pear Oranges, Parson Brown, Midsweet, Natal, and Rubi</i>	Medium	6 x 3	555
<i>Tangerines, Ponkan, Murcott</i>	Medium	5 x 3 ou 5 x 2	666 or 1,000

Source: (EMBRAPA, 2021)

Activar Win
Ve a Configurac

Al realizar la operación de poda, se eliminan ramas y hojas para mejorar el rendimiento fisiológico de la planta. Entre estas biomásas residuales, las hojas y flores tienen una mayor concentración de nutrientes que la madera, por lo que requieren su permanencia en el campo. El mayor interés está en las ramas, más precisamente, las ramas de más de 8 cm de diámetro. Las áreas de muestra en campo serían de aproximadamente 140 m² (14 m x 10 m) cubriendo 8 plantas por parcela, totalizando 2 parcelas por hectárea, como se muestra en la Figura 32.

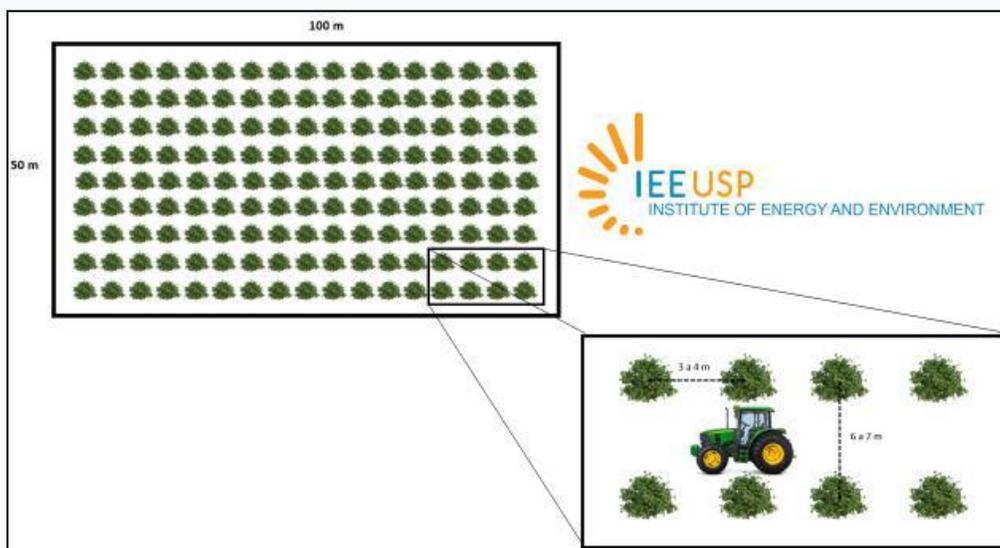


Figura 32: Arreglo de parcelas en el campo.

Según Fundecitrus - Ciencia y Sostenibilidad para la Citricultura, las variedades de naranja más plantadas en Brasil son las mencionadas en la Tabla 14. Se recolectaron muestras de material leñoso (rama), inflorescencia y hojas de los tres tipos de naranjas.

Tabla 14: Contenido de humedad de ramas de tres diferentes variedades de naranjos.

Sample	Variety	Biomass	Humid Weight (g)
1	Hamlin Orange	Leaf	75
		Branch	70
		Inflorescence	5
2	Pear Orange	Leaf	95
		Branch	45
		Inflorescence	35
3	Valência Orange	Leaf	60
		Branch	90
		Inflorescence	5

Source: Elaborated by the author.

La mayoría de los cultivares de cítricos florecen en la primavera y el tiempo de cosecha puede variar entre 6 y 16 meses. Esta variación provoca diferentes periodos de maduración, en general, se clasifican en 4 grupos: cultivares de maduración temprana, maduración de media temporada temprana, maduración de media temporada y maduración tardía. La naranja valencia se considera de maduración tardía, y los frutos maduran entre septiembre y enero. La copa es redondeada, el fruto tiene forma elíptica y la piel tiene un color naranja amarillento (Santoro, 2019). Figura 33 muestra la biomasa residual de la naranja valencia.



Figura 33: Biomasa residual del árbol naranja valencia.

Entre las principales variedades de naranja, la variedad Pera es una de las más importantes en Brasil, principalmente en São Paulo, debido a la tolerancia a ciertas enfermedades. Tiene características de alto rendimiento y calidad de su jugo en comparación con otras variedades, siendo la más preferida por los consumidores por ser una variedad dulce y ligeramente ácida (Salibe, Sobrinho y Müller, 2002). Santoro (2019) afirma que al igual que Hamlin y Pear, la naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) forma parte de las naranjas dulces comunes. Esto significa que los niveles de acidez varían de 0,9% a 1% cuando están listos para el consumo.

Debido al largo período de almacenamiento, se perdieron muestras de inflorescencias de la variedad “naranja pera” por ataque de hongos. Sin embargo, dado que la biomasa en cuestión es el material leñoso (madera), las muestras se pueden utilizar pronto para el análisis. La Figura 34 muestra la biomasa residual de la pera naranja.



Figura 34: Biomasa residual del árbol naranja pera.

En los últimos años se ha incrementado la plantación de naranjas dulces tempranas, como Hamlin, en las principales regiones productoras del país. Estos cultivares tempranos (Hamlin, Westin y Rubi) representan el 23% de las variedades de los huertos de São Paulo. Esto aseguró un aumento en la productividad de las huertas y una mayor oferta de frutos de calidad para el consumo en fresco y la industria. (Santoro, 2019). La Figura 35 muestra la biomasa residual de la naranja Hamilin.



Figura 35: Biomasa residual del árbol naranja Hamlin.

Debido a la pandemia del COVID-19, no está permitido realizar la toma de datos en sus respectivos huertos. Por lo tanto, las muestras fueron colectadas en el área experimental de la Facultad de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, São Paulo. Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico, debidamente rotuladas en un lugar ventilado.

CETER

En Cuba, dentro de las etapas del cultivo de cítricos la poda es la eliminación y/o acortamiento de parte de las ramas de un árbol para facilitar la formación, saneamiento, iluminación y la aireación de su copa, con el fin de mejorar la producción, el aprovechamiento de los nutrientes y calidad de los frutos.

Existen varios tipos de poda:

- Poda de formación: Se debe realizar en los primeros años y su objetivo es lograr una armazón fuerte, vigorosa y equilibrada capaz de soportar buenas producciones.
- Poda de mantenimiento: Consiste en la eliminación de ramas que brotan en lugares no deseados, ramas enfermas y/o secas que existan en el árbol.
- Poda de restauración o rejuvenecimiento: Es una poda fuerte que se realiza en las plantaciones viejas y agotadas, que conservan los troncos y ramas sanas. Se corta la armazón vieja y se deja solo parte de las ramas principales.

Además existen otras como el cambio de copa, de aclareo, superior o topping y la lateral o de setos. Esta actividad genera residuos biomásicos que deben ser tratados y eliminados del campo para evitar la propagación de enfermedades. Actualmente esta biomasa de origen leñoso es quemada a cielo abierto, generando contaminación ambiental y con un impacto negativo en la salud de la población circundante, liberando partículas y compuestos como CO₂, SO₂, NO_x entre otros (IIFT, 2011).

La cuantificación del residuo generado en las podas de cultivos plurianuales leñosos se realiza por medio de relaciones que dependen de la superficie agrícola con la generación de biomasa, llamadas RRS. Las relaciones RRS, son usualmente utilizadas en estudios de evaluación de biomasa para la estimación de la generación de residuos de poda. Para cuantificar la biomasa leñosa se parte de la superficie media cultivada por unidad de superficie cultivo (ha), multiplicando por la RRS correspondiente (Rodríguez et al., 2012).

Para la biomasa agrícola de cultivos leñosos actualmente el tratamiento más común para los restos de poda es el triturado. El segundo tratamiento más común es el apilado y quema en el campo. Después se realiza la recogida y posterior retirada. Para el aprovechamiento de estos recursos los agricultores lo han señalado como una alternativa para el ahorro de tiempo de trabajo y costos asociados al uso o contratación de maquinaria (picadora) y además al consumo de combustible. Las normativas medioambientales van a terminar por prohibir la quema de residuos de operaciones agrícolas, promoviendo bien su uso como abono o acondicionador de suelos, o su retirada para valorización energética. Por ello la recogida de la poda con fines energéticos, si bien no se está realizando en la actualidad a gran escala, parece que puede ser una alternativa factible a corto plazo (Rodríguez et al., 2012, Fernández, 2012).

En Cuba, los cítricos constituyeron uno de los principales rubros económicos del país. Actualmente este cultivo presenta una compleja situación, dada fundamentalmente por las carencias de insumos necesarios para su desarrollo debido a las dificultades económicas que presenta el país, y la presencia de enfermedades de alto impacto, que constituyen un peligro para las plantaciones, entre otros factores. Las especies de cítricos que se cultivan actualmente en Cuba con fines comerciales son: *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (naranjas), *Citrus paradisi* Macf. (toronjas) y *Citrus latifolia* Tanaka (lima ‘Persa’) (IIFT, 2011). A partir del 2005 los niveles de producción comenzaron a descender de forma reiterada. Sin embargo, en Cuba más del 70 % del volumen de las naranjas que se producían en el año 2005 era destinado a la industria de obtención de jugos, por lo que de su producción total de 490 mil 103 t en el año 2005 más de 340 mil 103 t eran destinadas a la industria procesadora con la finalidad de obtener jugos concentrados. Estos volúmenes eran aprovechados en cinco industrias procesadoras de cítricos, ubicadas en las provincias de Pinar del Río, Matanzas, Ciego de Ávila, Santiago de Cuba y en el municipio especial de Isla de la Juventud.

En la Figura 36 se muestra la superficie en producción de cítricos de Cuba, entre los que se discrimina naranja dulce, toronja y limón.

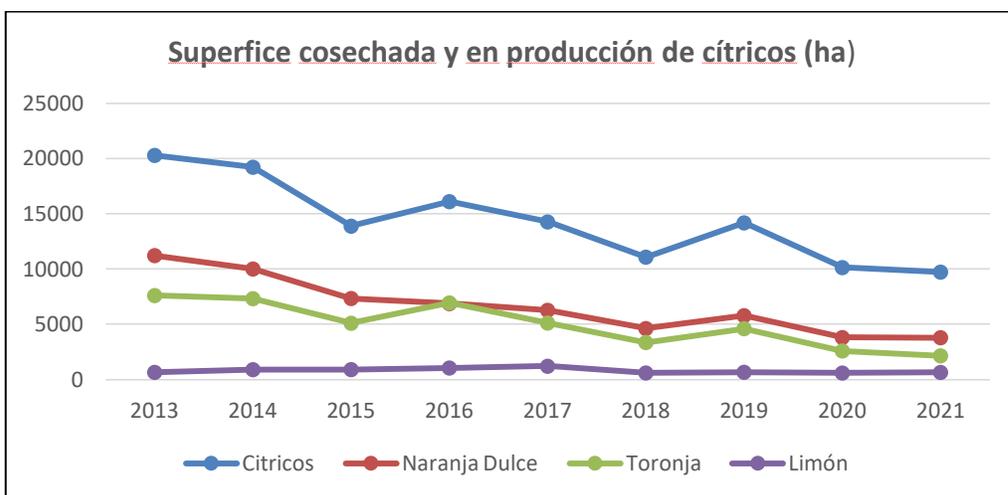


Figura 36: Superficie de cítricos periodo 2013-2021 en Cuba.



Figura 37: Producción de cítricos (Mt) periodo 2006-2016. Elaboración propia a partir de ONEI, (2018).

La producción de cítricos en Mt (miles de toneladas) en el periodo 2006 – 2016 se muestra en la Figura 37. Se puede apreciar que el año de mayor producción en el país, en esta etapa, fue el 2007, con 434 mil 700 t, aun cuando ya se había detectado la presencia del Huanglongbing (HLB), enfermedad que afecta grandemente a este cultivo (Llauger et al., 2010). En 2008 y 2009 se mantienen producciones estables del orden 370 mil t incluso después de severas tormentas tropicales y huracanes (en 2008 incidieron tres huracanes, Ike, Gustav y Paloma) y el impacto del HLB. A partir de 2010 la producción cítrica en Cuba comienza a disminuir sensiblemente en un orden aproximado de 70 mil t por año. En 2015 hubo una ligera recuperación, con una producción total de 115 mil 400 t. Si se analiza por las distintas especies, se observa claramente la disminución de la producción de naranja, y toronja, y en las estadísticas ni se reportan especies como mandarinas, lima u otras especies cítricas cuya presencia en estos momentos es casi nula. Las diversas causas

ya se han ido enunciando a lo largo de este trabajo. El cultivo del limón se mantiene estable; no crece su producción, pero tampoco disminuye la misma, no siendo así para el caso de la naranja dulce y la toronja, que si muestran una reducción significativa de sus volúmenes de producción, sobre todo en los últimos años.

Para la cuantificación de la biomasa residual se tomó como base de análisis 2 hectáreas de Limón persa, variedad que más se cultiva en Cuba, ubicada en la provincia de Guantánamo partiendo de la siguiente información:

- Distancia de plantación: 6x4 m con 416 árboles /ha.
- Se produce casi todo el año, con mayor producción en los meses de Junio, Julio y Agosto
- Meses de Poda: Enero/Febrero y Junio/Julio
- Rendimiento: 2t/ha, Máximo 15 t/año
- Biomasa residual por planta: 20 kg

Teniendo en cuenta estos datos de partida se calcula la biomasa generada total y su potencial energético.

Tabla 15: Resultado de la cuantificación de biomasa del CETER

Biomasa residual/ha	0.832 t/ha
Potencial biomasa residual al año	6.65 t/año
Energía MJ/año	25.37 MJ/año

2.3.2 Caracterización de la materia prima

EEAOC

Las muestras fueron procesadas en Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales de la EEAOC (LEMI), de Tucumán, Argentina, realizando las siguientes determinaciones:

- Análisis del contenido de humedad (W): secado en estufa a 105°C hasta peso constante.
- Análisis del contenido de cenizas (CZ), sólidos volátiles (SV), carbono fijo (CF): equipo termogravimétrico automatizado TGA 701, marca LECO, con atmosferas controladas de aire, nitrógeno y oxígeno, según la norma ASTM D 5142-02.
- Análisis del poder calorífico superior (PCS): equipo bomba calorimétrica automatizada, C5000, marca IKA, con operación adiabática, con atmosfera controlada de oxígeno, normas DIN 51900, ISO 19228, ASTM D240, ASTM D2015-96, ASTM D4809, ASTM D5865, ASTM D5868 y ASTM E711.
- Cálculo del poder calorífico inferior (PCI): el cálculo se realiza a partir del PCS, el contenido de humedad, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, según normas IRAM-ISO 17225.

- Análisis de fusibilidad de cenizas: determinación de las temperaturas de inicio de la deformación (DT), temperatura de ablandamiento (ST), temperatura de semiesfera (HT) y temperatura de fluidización (FT), por medio del calentamiento en horno automático con circulación forzada y atmósfera oxidante (O₂- CO₂) y reductora (CO₂-CO) , según norma ASTM D1857.
- Análisis elemental: determinación de la composición másica de C, H, O, N y S elemental en matrices orgánicas según norma ASTM D 5373-08 mediante el equipo de composición elemental marca LECO, modelo CHNOS628.
- Análisis de metales en cenizas: La metodología realizada para la determinación de los metales es una digestión vía seca (se hacen cenizas de las muestras en mufla a 550 °C), luego se re suspende con ácido nítrico y se lleva a volumen final con agua destilada. La cuantificación de los metales se llevo a cabo en un espectrómetro de absorción atómica con llama aire -acetileno (marca PerkinElmer) para Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Zn y Mn se realizó por absorción atómica, mientras que para K se realiza la emisión atómica.

A continuación se muestran los resultados de la caracterización de las muestras de poda en las Tablas 16 al 21.

Tabla 16: Resultados promedios del análisis inmediato en muestras de poda.

Variedades	Humedad (%b.h.)		Cenizas (%b.s.)		Carbono fijo (%b.s.)		Sólidos volátiles (%b.s.)	
	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas
Tradicional	46,11	52,65	3,30	8,88	15,97	12,99	80,73	78,13
Enanizante	41,38	45,87	2,82	7,52	18,67	15,77	78,50	76,72

Referencia b.s.: base seca; b.h.: base húmeda.

Tabla 17: Resultados promedios del análisis elemental en muestras de poda.

Variedad	C (%b.s.)		H (%b.s.)		N (%b.s.)		S (%b.s.)		Cl (%b.s.)	
	Rama	Hoja	Rama	Hoja	Rama	Hoja	Rama	Hojas	Ramas	Hoja
Tradicional	41,35	39,75	6,40	6,33	0,60	1,51	0,14	0,17	0,03	0,04
Enanizante	42,77	41,11	6,65	6,50	0,53	1,59	0,16	0,21	0,02	0,04

Tabla 18: Resultados promedios del análisis de poder calorífico superior y cálculo del poder calorífico inferior en muestras de poda.

Variedad	Poder calorífico superior (kJ/kg b.s.)		Poder calorífico inferior (kJ/kg b.h.)	
	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas
Tradicional	17.464	16.794	7.534	6.015
Enanizante	17.637	16.851	8.480	7.236

Tabla 19: Resultados promedios de la fusibilidad de cenizas en muestras de poda con atmósfera oxidante.

Variedad	Temperatura deformación (°C)		Temperatura ablandamiento (°C)		Temperatura semiesfera (°C)		Temperatura fluidización (°C)	
	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas
Tradicional	912	825	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500
Enanizante	993	870	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500

Tabla 20: Resultados promedios de la fusibilidad de cenizas en muestras de poda con atmósfera reductora.

Variedad	Temperatura deformación (°C)		Temperatura ablandamiento (°C)		Temperatura semiesfera (°C)		Temperatura fluidización (°C)	
	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas
Tradicional	1128	923	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500
Enanizante	968	932	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500	> 1500

Tabla 21: Resultados promedios del análisis de metales en cenizas de muestras de poda.

Metales	Muestras			
	Tradicional		Enanizante	
	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas
g Ca/kg	8,0	31	10	29
g Mg/kg	0,50	1,7	0,7	2,0
mg Na/kg	89	104	150	204
g K/kg	9,6	17	10,5	18,5
mg Cu/kg	12	68	13	137
mg Fe/kg	116	167	25	172
mg Zn/kg	11	16	7	14
mg Mn/kg	-	20	-	21

Las Figuras 38 al 43 muestran los equipos empleados y las muestras analizadas.

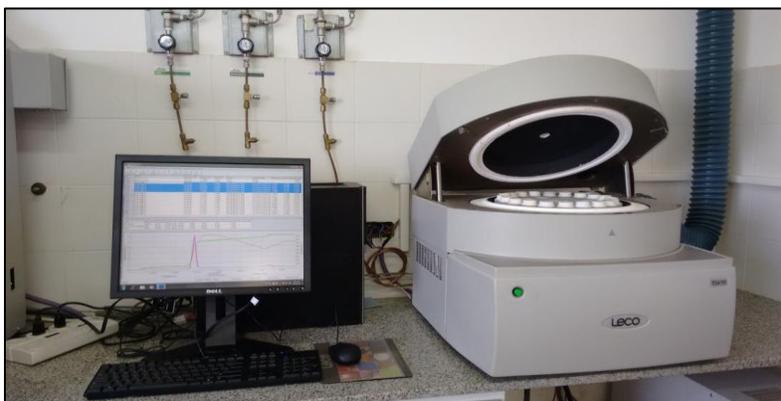


Figura 38: Equipo termogravimétrico automatizado TGA 701 marca LECO.



Figura 39: Equipo de composición elemental marca LECO modelo CHNOS628.



Figura 40: Bomba calorimétrica automatizada, C5000, marca IKA



Figura 41: Conos de cenizas que se expusieron a la atmosfera oxidativa, análisis de fusibilidad.

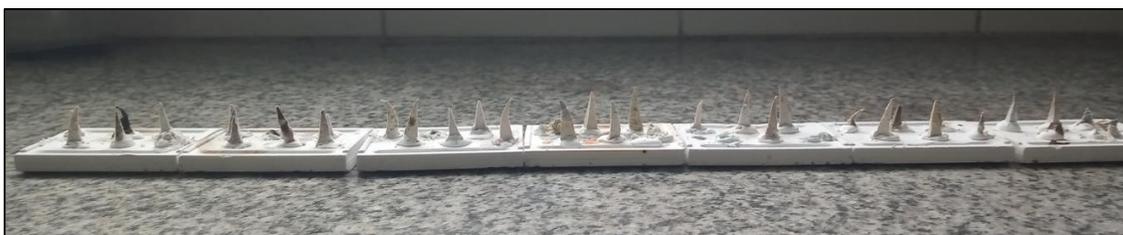


Figura 42: Conos de cenizas que se expusieron a la atmosfera reductora, análisis de fusibilidad.



Figura 43: Digestión ácida de muestras de cenizas en el análisis de metales.

De las tablas se puede ver que no existe diferencia significativa entre las muestras de paja convencional y las de paja semianizante. La humedad de las hojas es levemente mayor a la de las ramas y ronda en un 45% promedio. Esta humedad es elevada para usar la biomasa recién cortada como combustible por lo que necesita de una etapa de secado. Los volátiles facilitan la ignición, son lo que primero se descompone y generan la llama. El contenido de volátiles de las muestras es de alrededor de 80%. Además, se observa que las hojas presentan casi el triple del contenido de cenizas y de nitrógeno que las ramas. En general, el contenido de azufre y cloro es bajo por lo que no se tendría problemas en cuanto a la generación de sustancias tóxicas. En cuanto a la temperatura de fusión de cenizas, los resultados demostraron que la temperatura a la que inicia la deformación ronda los 1000°C pero que la temperatura de ablandamiento y de fusión es mayor a 1500° C, valor máximo que registra el equipo.

A continuación se muestran los resultados de la caracterización de las muestras de arranque en las Tablas 22 al 27.

Tabla 22: Resultados promedios del análisis inmediato en muestras de arranque.

Parte	Humedad (%b.h.)	Cenizas (%b.s.)	Carbono fijo (%b.s.)	Sólidos volátiles (%b.s.)
Ponderado sin hojas ni raíces	25,05	2,93	17,88	79,16
Hojas	54,70	11,04	13,41	75,56
Ramas terciarias	23,27	3,42	17,73	78,80
Ramas secundarias	24,04	2,37	18,37	79,27
Ramas primarias	27,31	3,20	17,70	79,09
Tronco	21,94	3,04	17,42	79,48
Pie	27,75	2,45	17,47	80,08
Raíces	22,72	3,02	18,52	78,46

Tabla 23: Resultados promedios del análisis elemental en muestras de arranque.

Parte	C (%b.s.)	H (%b.s.)	N (%b.s.)	S (%b.s.)	Cl (%b.s.)
Ponderado sin hojas ni raíces	43,00	6,61	0,39	0,17	0,03
Hojas	39,77	6,29	2,13	0,26	0,03
Ramas terciarias	42,45	6,63	0,33	0,16	0,03
Ramas secundarias	42,67	6,09	0,39	0,17	0,02
Ramas primarias	43,88	7,06	0,40	0,19	0,04
Tronco	41,17	6,48	0,69	0,19	0,03
Pie	43,73	6,93	0,32	0,15	0,04
Raíces	43,70	6,57	0,61	0,14	0,04

Tabla 24: Resultados promedios del análisis de poder calorífico en muestras de arranque.

Parte	Poder calorífico superior (kJ/kg b.s.)	Poder calorífico inferior (kJ/kg b.h.)
Ponderado sin hojas ni raíces	18.276	12.617
Hojas	16.971	5.733
Ramas terciarias	18.049	12.173
Ramas secundarias	18.026	12.095
Ramas primarias	18.401	11.593
Tronco	19.098	13.269
Pie	18.987	11.951
Raíces	19.177	13.160

Tabla 25: Resultados promedios del análisis de fusibilidad de cenizas en muestras de arranque en atmósfera oxidante.

Parte	Temperatura deformación (°C)	Temperatura ablandamiento (°C)	Temperatura semiesfera (°C)	Temperatura fluidización (°C)
Ponderado sin hojas ni raíces	1095	> 1500	> 1500	> 1500
Hojas	1113	> 1500	> 1500	> 1500
Ramas terciarias	1049	> 1500	> 1500	> 1500
Ramas secundarias	1075	> 1500	> 1500	> 1500
Ramas primarias	1156	> 1500	> 1500	> 1500
Tronco	1056	> 1500	> 1500	> 1500
Pie	1086	> 1500	> 1500	> 1500
Raíces	1082	> 1500	> 1500	> 1500

Tabla 26: Resultados promedios del análisis de fusibilidad de cenizas en muestras de arranque en atmósfera reductora.

Parte	Temperatura deformación (°C)	Temperatura ablandamiento (°C)	Temperatura semiesfera (°C)	Temperatura fluidización (°C)
Ponderado sin hojas ni raíces	987	> 1500	> 1500	> 1500
Hojas	1030	> 1500	> 1500	> 1500
Ramas terciarias	983	> 1500	> 1500	> 1500
Ramas secundarias	1028	> 1500	> 1500	> 1500
Ramas primarias	939	> 1500	> 1500	> 1500
Tronco	1091	> 1500	> 1500	> 1500
Pie	950	> 1500	> 1500	> 1500
Raíces	1008	> 1500	> 1500	> 1500

Tabla 27: Resultados promedios del análisis de metales en cenizas de muestras de arranque.

Muestras	Metales							
	Ca g/kg	Mg g/kg	Na mg/kg	K g/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg
Hojas	37	2,2	146	8,1	43	236	18	22
Ramas terciarias	14	0,6	167	2,8	17	96	10	0,0
Ramas secundarias	13	0,5	152	1,5	15	99	10	5,9
Ramas primarias	12	0,4	147	1,1	19	128	9,2	3,9
Tronco	13	0,3	99	1,0	49	89	8,8	7,2
Pie	7,8	0,3	78	0,9	17	154	13	8,3
Raíz	8,9	0,5	100	1,7	4,6	98	11	16

De las muestras de árboles con pie convencional se puede observar que la humedad de las hojas es el doble de la correspondiente a la parte leñosa que ronda en un 25%. Esto significa que se puede utilizar la madera como combustible sin necesidad de una etapa de

secado adicional. El contenido de volátiles de las muestras es próximo al 80%. Se observa que las hojas presentan un mayor contenido de cenizas que las hojas de poda. Esto quizás se debe a que las hojas de la biomasa de poda corresponden a nuevas ramas que tuvieron bastante menor exposición a la tierra ambiente como las hojas del centro del árbol. En general, el contenido de azufre y cloro es bajo por lo que no se tendría problemas en cuanto a la generación de sustancias tóxicas. En cuanto a la temperatura de fusión de cenizas, los resultados demostraron que la temperatura a la que inicia la deformación ronda los 1000°C pero que la temperatura de ablandamiento y de fusión es mayor a 1500° C. Teniendo en cuenta que la temperatura en los hornos de combustión puede alcanzar 900° C no se tendrían problemas de incrustaciones debido a que la temperatura de fusión de las cenizas es mayor.

GBIO

En Brasil, los ensayos de laboratorio fueron realizados por el Laboratorio de Química y Fabricados/Bionano/IPT, previa trituración de todo el material y tamizado en malla 60. Las pruebas se realizaron en el período del 28/06/2021 al 16/07/2021, se utilizaron aproximadamente 170 g de material lignocelulósico de cítricos (naranjas) para los análisis, siendo una mezcla de tres materiales genéticos diferentes (Valencia, Pera, Naranjas Hamilin). En las pruebas de laboratorio solo se utilizaron ramas debido al potencial energético, los tipos de pruebas fueron:

- Humedad: La determinación del contenido de humedad se basó en el Método de prueba estándar - ASTM E871-82(19). Los equipos e instrumentos utilizados fueron un termómetro, balanza de precisión debidamente calibrada y una estufa de secado.
- Poder calorífico superior: El poder calorífico se determinó con el Método de prueba estándar - ASTM D5865/D5865M-19. Los equipos e instrumentos utilizados fueron una bomba calorimétrica y una balanza de precisión debidamente calibrada.
- Cenizas: El contenido de cenizas se basó en el Método de prueba estándar - ASTM D1102-84(13). Los equipos e instrumentos utilizados fueron termómetro, cronómetro, mufla y una balanza de precisión debidamente calibrada
- Análisis elemental: La determinación de los contenidos de carbono, hidrógeno y nitrógeno se basó en la norma ASTM D5373-16 – Método A. Los equipos utilizados fueron analizador de carbono, hidrógeno y nitrógeno y balanza de precisión debidamente calibrados.
- Azufre total: La determinación del contenido de azufre total, con base en la norma ASTM D4239-18e1 – Método A. Los equipos utilizados fueron analizador de azufre y balanza de precisión debidamente calibrados.
- Cloro: La determinación del contenido de cloruro en base a la Norma DIN 51727-11 y ASTM D4327-17. Para el análisis de la biomasa se utilizó el siguiente equipo:

cromatógrafo iónico, estufa de secado y balanza de precisión debidamente calibrada.

Según las pruebas realizadas en el laboratorio del Instituto de Investigación y Tecnología – IPT (Sao Paulo, SP, Brasil) demostraron que la biomasa residual de cítricos tiene un gran potencial en la generación de energía, debido a las características. Incluso el secado de la biomasa al aire libre, tiene una característica de humedad de biomasa relativamente baja (Tabla 28 = 13,9%), en comparación con el residuo de pino, que tiene un promedio de 42% (Parigot, 2014). dependiendo de la región del país y el lugar de recolección. El mismo autor también observó que el contenido de humedad es inversamente proporcional al poder calorífico.

El poder calorífico inferior de la biomasa residual de cítricos es de 14.497 kJ.kg-1 (Tabla 28), los residuos de Pino y Eucalipto generalmente utilizados para energía, tienen un promedio de 16.747 kJ.kg-1 (Menezes, 2013) y 17.585 kJ.kg-1. 1 (Neiva, Furtado y Finzer, 2018), respectivamente.

El contenido de cenizas de la biomasa de cítricos es de $5,5 \pm 1,1$ %, Silva (2013) estudiando el contenido de cenizas de Eucalyptus grandis notó una variación de 0,2 a 0,6 %. Similar a los resultados obtenidos por Brito y Barrichelo (1979) con 0,30 a 0,53% de especies de eucalipto. Según ENplus - Certificación europea de pellets y briquetas (EPC, 2015), el contenido de cenizas no cumple con los requisitos (máximo 2% = ENplus B), pero los contenidos de nitrógeno y cloro están permitidos. Los contenidos de azufre se encuentran en los niveles permitidos (0,2%) por la resolución CONAMA/MMA N° 499 - 6 de octubre de 2020.

Tabla 28: Resultados promedios de la caracterización de muestras de GBIO.

Unit	Laboratory Test	Result
%	Moisture Content	13.9
kcal/kg	Higher Calorific Value	3,816
kcal/kg	Lower Calorific Value	3,462.6
%	Ash content	5.5 ± 1.1
%	Carbon Contents	46.7
%	Hydrogen Contents	6.2
%	Nitrogen Contents	0.8
%	Sulfur content	0.1
%	Chloride content	0.0092 ± 0.0003

CETER

En Cuba, se tomaron muestras de biomasa leñosa de limón y naranja valenciana que se caracterizaron en laboratorio (Figura 44).



Figura 44: Muestras de biomasa del CETER

Se realizaron los siguientes análisis:

- En la Facultad de Ingeniería Química de la Cujae se realizaron análisis de humedad.
- En los laboratorios de la Universidad de ciencias Aplicadas de Mittelhessen, Alemania se realizaron contenido de cenizas y punto de fusión, contenidos volátiles, análisis elemental y análisis energético.

En la Tabla 29 se muestran los métodos empleados para la caracterización de la biomasa muestreada.

Tabla 29: Métodos empleados para la caracterización de muestras del CETER

Items	Métodos
Contenido de agua y humedad	DIN EN 14774
Contenido de Cenizas	DIN EN 14775
Contenido de Volátiles	DIN EN 15148
Contenido de Carbono	DIN EN 51734
Composición elemental C,H,N,S	DIN EN 15104
Poder Calorífico	DIN EN 14918
Punto de Fusión de la Ceniza	DIN EN/TS 15370-1

En las Figuras 45, 46 y 47 se muestran algunos equipos empleados en la caracterización de la biomasa y las muestras preparadas para su análisis.



Figura 45: Molino de ultracentrifugación empleado para reducir el tamaño de las muestras.



Figura 46: Muestras de cenizas para análisis de fusibilidad del CETER.



Figura 47: Equipo de fusibilidad de cenizas de la Universidad de ciencias Aplicadas de Mittelhessen.

En las Tablas 30 y 31 se muestran los resultados de la caracterización de las muestras en laboratorio.

Tabla 30: Resultados de la caracterización de muestras del CETER

Muestras	% Humedad	% Cenizas/ Punto de Fusión	% Carbono Fijo	% Sólidos Volátiles	PCS / PCI MJ/kg
Naranja Valenciana	11.23 ± 0.56	5.94 ± 0.04/ 600(°C)	17.37	75.59 ± 0.09	19.01/17.2
Limón	43.96 ± 0.56	5.65 ± 0.02/ 565(°C)	15.97	78.25 ± 0.20	17.73/15.25

Tabla 31: Resultados del análisis elemental de muestras del CETER

Muestras	% C	% H	% N	% S
Naranja Valenciana	47.11 ± 0.20	6.24 ± 0.04	1.01 ± 0.12	0.5 ± 0.01
Limón	41.25 ± 0.10	6.5 ± 0.03	1.05 ± 0.18	0.18 ± 0.20

2.3.3 Estudio de la logística de la biomasa desde el campo a los centros de acopio

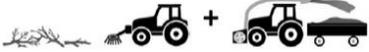
En la Provincia de Tucumán, Argentina, las actividades de poda y renovación de plantas de citrus se llevan a cabo de forma anual durante el invierno. Las actividades comienzan luego del término de la cosecha comenzando generalmente en el mes de junio y finalizando en el mes de septiembre. Por otro lado, la actividad industrial de la caña de azúcar y del limón tiene su inicio aproximadamente en el mes de abril y finalizando alrededor de octubre. Debido a que la generación de biomasa se concentra prácticamente en cuatro meses luego de iniciada la zafra, se debe realizar un cuidadoso estudio de las alternativas de logísticas a utilizar.

Reducción volumétrica

Para ser utilizada en calderas de combustión la biomasa debe ser acondicionada en tamaño y humedad. Este acondicionamiento puede darse en el mismo lugar donde se genera la biomasa o en centros de acondicionamiento. Dependiendo del tipo de caldera se necesitará biomasa en astillas de tamaño menor a 5 cm. Si se requiere este último, proveniente de los árboles de arranque, simplemente se puede trocear la biomasa con una motosierra. Para el caso de las astillas, existe una diversidad de chipeadoras en el mercado. En la Tabla 32 se muestran diferentes opciones de trituradoras y chipeadoras que cuentan con un sistema de recolección y reducción del volumen anterior o posterior al tractor, con diferentes sistemas de acopio: carros con o sin sistema de vuelco, sistemas de llenado de bolsas, que cuentan o no con un sistema de hilerado previo. Estos equipos pueden ser accionados con una toma de

fuerza del motor del tractor o autopropulsados. Además, existen enfardadoras forestales que pueden incluir una trituración previa del material.

Tabla 32: Diferentes tecnologías para la recolección y reducción de la biomasa de poda.

Tech	Figure	Code	Description
Shredders and shredders		[M1]	Windrowing + harvest with shredder in front
		[M2]	Windrowing + harvest with shredder at rear
		[M3]	Windrowing + harvest with rear shredder and bin
		[M4]	Windrowing + harvest with rear shredder and big-bag
		[M5]	Integrated windrowing and harvest with rear shredder
		[M6]	Integrated windrowing and harvest with rear shredder and bin
		[M7]	Integrated windrowing and harvest with rear shredder and big-bags
Chippers		[CH1]	Windrowing + harvest with chipper in front
		[CH2]	Windrowing + harvest with rear chipper and bin
		[CH3]	Integrated windrowing and harvest with rear chipper and bin
		[CH4]	Integrated windrowing and harvest with rear chipper and big-bags
		[CH5]	Automotive chipper with rear trailer
Balers		[BL1]	Windrowing + harvest with standard hay baler
		[BL2]	Windrowing + harvest with rear baler
		[BL3]	Integrated windrowing and harvest with rear baler
		[BL4]	Windrowing + harvest with front-mini-baler
Integrated pruning and harvest		[PP1]	Pre-pruning integrated with collection and shredding/chipping
		[PP2]	Pre-pruning integrated with collection and shredding/chipping in an automotive machine

Activar Win

Activar Wi
Ve a Configur

En este proyecto se llevaron a cabo ensayos de chipeado con muestras de poda (ramas terciarias) y con muestras de mayor grosor correspondientes a ramas primarias, tronco y pie de árboles arrancados con una chipeadora transportable con sistema de alimentación

manual. Para este estudio se empleó una astilladora de cuchillas de la empresa Vermeer Co., modelo BC1000XL con un rendimiento de entre 50 y 60 plantas por hora y un motor Caterpillar C2.2L, con una potencia de 49 HP (Figura 48). La astilladora posee un sistema SmartFeed que supervisa y controla automáticamente las funciones de alimentación y corte de la máquina cuando están muy cargados para mantener un rendimiento óptimo del motor. Además tiene una barra de control de alimentación de cuatro posiciones (parada de emergencia, avance, posición neutral y retroceso) y una barra de parada de alimentación inferior con dos niveles de sensibilidad. El consumo de combustible de la chipeadora es de 8 l/h de diesel a 3000 rpm. Este equipo cuenta con dos cuchillas que requieren de cambio cada 150 días de operación aproximadamente.

En la Figura 49 y 50 se pueden observar las muestras de biomasa de poda antes y después del chipeado respectivamente. Como resultado se obtuvo un diámetro de chip promedio de 13,5 cm, con una densidad aparente de 235 kg/m³ para las ramas terciarias. Para las ramas de primarias, tronco y pie se obtuvo un diámetro de chip promedio de 7,40 cm, con una densidad aparente de 256 kg/m³.



Figura 48: Astilladora de la empresa Vermeer Co. modelo BC1000XL.



Figura 49: Muestra de poda antes del chipeado.



Figura 50: Chip de poda obtenido con la astilladora BC1000XL

Secado

El secado se puede realizar en la trocha donde cae la biomasa de poda, en playas de cosecha o bajo cubierta en centros de acondicionamiento. También se puede realizar antes o después de la recolección o antes y después de la reducción volumétrica.

En este proyecto se estudió la curva de secado de la biomasa de poda en ramas en playa de cosecha, para lo cual se arrastró la misma desde la trocha con un rastrillo dirigido por un tractor. El ensayo se realizó en la localidad de El Naranjo en el departamento de Burruyacú, con restos de poda de la variedad Lisboa sobre pie Citrumelo. Se creó un montículo que se dejó secar a cielo abierto, tomándose muestras periódicamente del lateral norte, lateral sur, techo y centro (Figura 51). Este ensayo se llevó a cabo entre los meses de agosto a noviembre de 2020, que corresponden a meses de clima seco. Se tomaron datos meteorológicos de la localidad Timbó Nuevo distante a 6 km de El Naranjo, de la página de Agrometeorología de la EEAOC.

A mediados de octubre se registró la temperatura máxima en el período del ensayo de 41,8°C, mientras que la temperatura mínima fue de -1,6 °C correspondiente al día 21 de agosto. La temperatura media del ambiente en el ensayo fue de 19,1°C (Figura 52, Tabla 33). La humedad relativa media fue del 54%, variando desde un mínimo de 17% a un máximo de 88% (Figura 53). Se registraron en total 13,5 mm de precipitaciones repartidos en los últimos días de agosto y las últimas semanas de octubre (Figura 54). La velocidad del viento media fue de 1,7 km/h con un pico de 74 km/h a fines de septiembre (Figura 55).



Figura 51: Toma de muestra del medio de la parva en experiencia de secado.

Tabla 33: Parámetros meteorológicos desde el 15/08/2020 al 06/11/2020 de la localidad Timbo Nuevo

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura máxima absoluta	°C	41,8
Temperatura media	°C	19,1
Temperatura mínima absoluta	°C	-1,6
Amplitud térmica	°C	16,5
Días con heladas	días	2
Horas con heladas	h	8,6
Humedad relativa máxima absoluta	%	88
Humedad relativa media	%	54
Humedad relativa mínima absoluta	%	17
Precipitación total	mm	13,5
Precipitación máxima diaria	mm	4,3
Días con precipitaciones	días	12
Viento medio	km/h	1,7
Viento máximo	km/h	74,0

Fuente: www.agromet.eaac.gob.ar

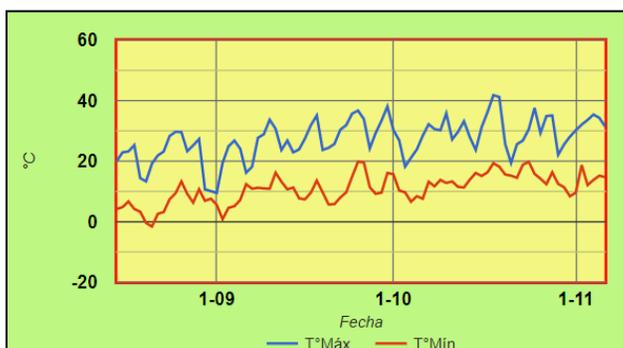


Figura 52: Temperatura del aire entre los días 15/08/2020 al 06/11/2020 en Timbo Nuevo

Fuente: www.agromet.eaac.gob.ar

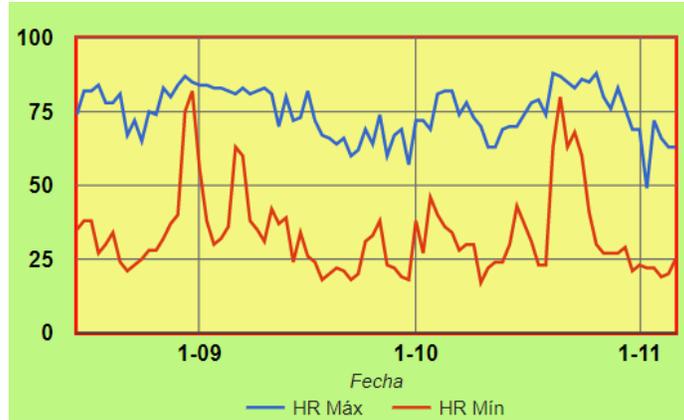


Figura 53: Humedad del aire entre los días 15/08/2020 al 06/11/2020 en la localidad Timbo Nuevo
 Fuente: www.agromet.eaac.gov.ar

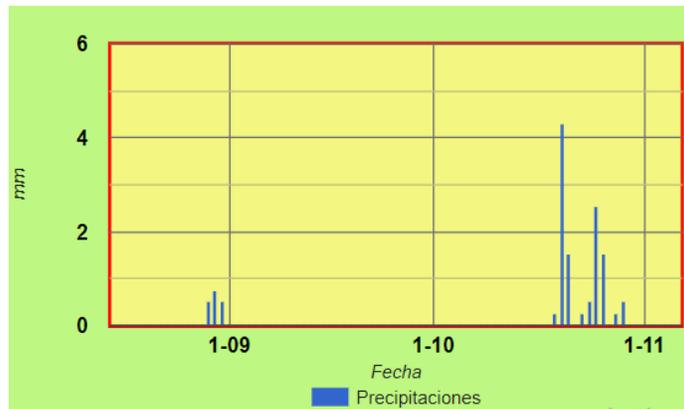


Figura 54: Precipitaciones entre los días 15/08/2020 al 06/11/2020 en la localidad Timbo Nuevo
 Fuente: www.agromet.eaac.gov.ar

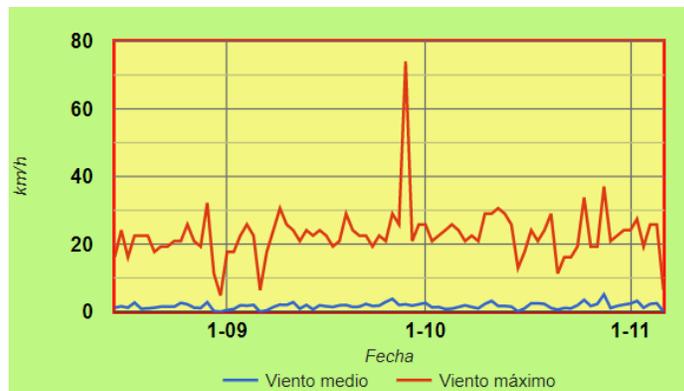


Figura 55: Velocidad de viento entre los días 15/08/2020 al 06/11/2020 en la localidad Timbo Nuevo
 Fuente: www.agromet.eaac.gov.ar

En la Tabla 34 y la Figura 56 se pueden observar los resultados del ensayo de secado a cielo abierto.

Tabla 34: Variación de la humedad de las muestras de poda a cielo abierto.

Fecha	Humedad (%)			
	Medio	Lateral sur	Lateral norte	Techo
15/8/2020	49,69	49,69	49,69	49,69
21/8/2020	25,98	22,34	10,56	19,97
28/8/2020	21,69	11,88	8,06	9,44
6/11/2020	5,09	6,20	4,43	6,31
Disminución de humedad en 6 días	47,7	55,0	78,7	59,8
Disminución de humedad en 13 días	56,3	76,1	83,8	81,0

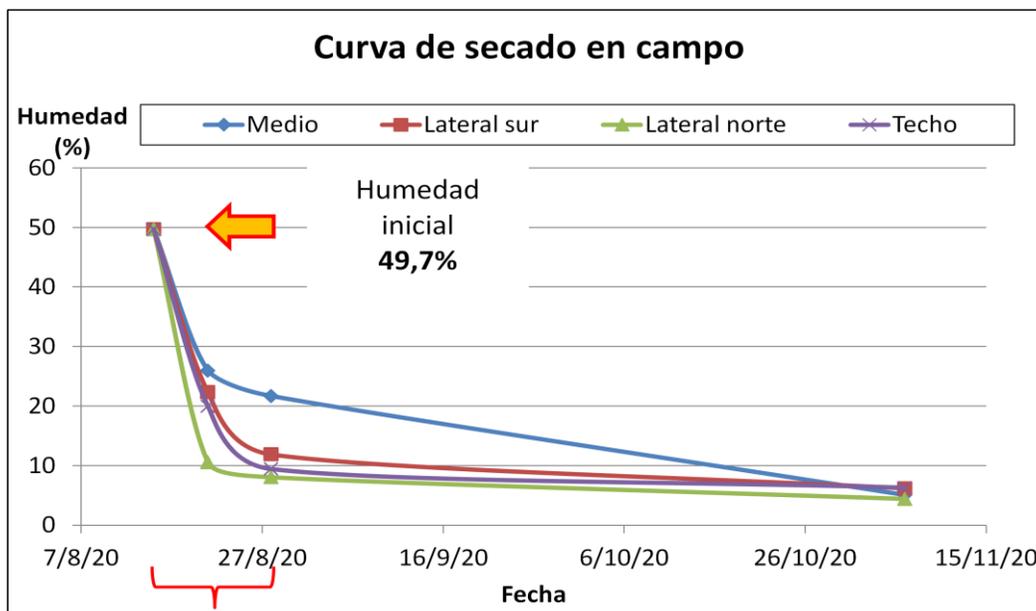


Figura 56: Curva de secado a cielo abierto de muestras de poda.

Como puede observarse, en 13 días las muestras de los laterales y del techo bajaron su humedad a valores menores al 12%, es decir, una disminución de aproximadamente el 80% de la humedad inicial. En la misma fecha, la muestra del medio que tiene menor aireación bajó su humedad a 21,7%, un valor aceptable para ser empleado como combustible. Al finalizar el estudio en noviembre, antes de que comience el período de precipitaciones, la humedad de las muestras fue de alrededor de 5,5%. Esta experiencia muestra que se puede llevar a cabo un secado natural en las playas de cosecha obteniéndose niveles satisfactorios de humedad en tan solo dos semanas.

También se realizó una experiencia de secado bajo cubierta, en galería, de ramas ubicadas en una jaula entre los meses de septiembre a noviembre del 2021 (Figura 57). El ensayo se

realizó en una galería de nuestra institución ubicada en El Colmenar, departamento de Tafí Viejo. Se tomaron datos meteorológicos del lugar registrados en la página de la EEAOC. Durante el ensayo se tuvo una temperatura media de 22,4°C, con mínimo de 15,9°C y máximo de 38,2°C (Figura 58, Tabla 31). La humedad relativa media en el periodo ensayado varió entre 10 y 98%, con una media de 60% (Figura 59). Además, se registraron 10 días con precipitaciones, con una máxima diaria de 32,8 mm (Figura 60). La velocidad del viento media fue de 5,9 km/h con un pico de 54,7 km/h en noviembre (Figura 61). La radiación media en estos días fue de 183.8 W/m² con una máxima de 1445 W/m² (Figura 62).



Figura 57: Muestra de poda en jaula sobre galería en la EEAOC.

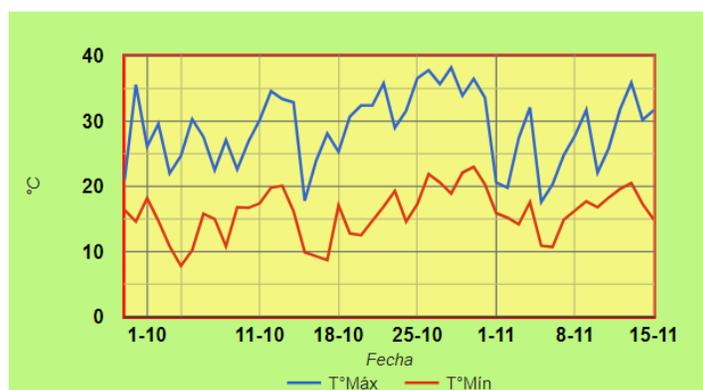


Figura 58: Variación de la temperatura del aire entre los días 29/09/2021 al 15/11/2021 en El Colmenar.

Fuente: www.agromet.eaac.gob.ar

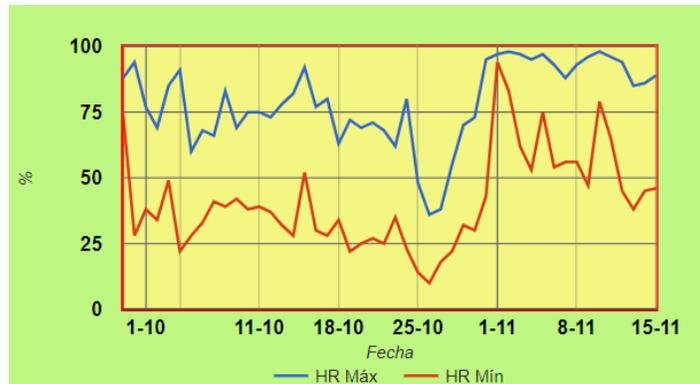


Figura 59: Humedad del aire entre los días 29/09/2021 al 15/11/2021 en El Colmenar.

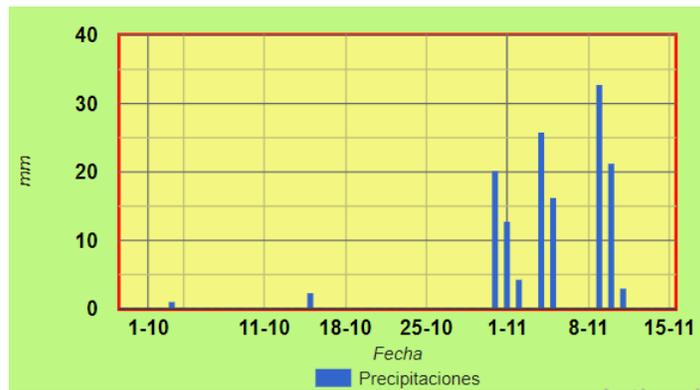


Figura 60: Precipitaciones entre los días 29/09/2021 al 15/11/2021 en El Colmenar.

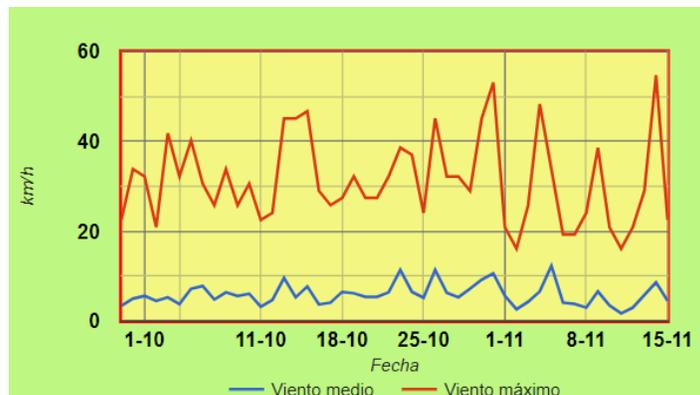


Figura 61: Velocidad del viento entre los días 29/09/2021 al 15/11/2021 en El Colmenar.

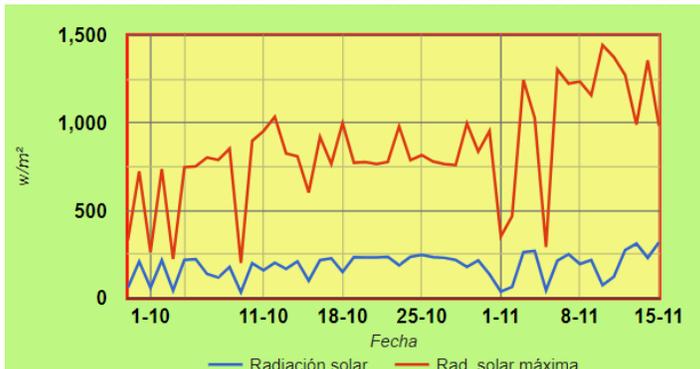


Figura 62: Radiación solar entre los días 29/09/2021 al 15/11/2021 en El Colmenar.

Tabla 35: Parámetros meteorológicos desde el 29/09/2021 al 15/11/2021 de El Colmenar.

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura máxima absoluta	°C	38,2
Temperatura media	°C	22,4
Temperatura mínima absoluta	°C	15,9
Amplitud térmica	°C	13
Días con heladas	días	0
Horas con heladas	h	0
Humedad relativa máxima absoluta	%	98
Humedad relativa media	%	60
Humedad relativa mínima absoluta	%	10
Precipitación total	mm	140,2
Precipitación máxima diaria	mm	32,8
Días con precipitaciones	días	10
Viento medio	km/h	5,9
Viento máximo	km/h	54,7
Radiación solar media	W/m ²	183,8
Radiación solar máxima	W/m ²	1445,0

Se tomaron muestras periódicamente para análisis de humedad. Los resultados se muestran en la Tabla 36 y en la Figura 63.

Tabla 36: Variación de la humedad de la muestra bajo cubierta.

Fecha	Humedad (%)
29/09/2021	52,77
1/10/2021	31,17
4/10/2021	23,47
7/10/2021	16,74
13/10/2021	13,4
19/10/2021	10,56
26/10/2021	8,24
3/11/2021	5,78
9/11/2021	3,98
15/11/2021	3,51
Disminución en 5 días	55,5
Disminución en 9 días	68,3

Se puede observar que en tan sólo 9 días las muestras llegaron a menos de 17% de humedad desde un valor inicial de casi 53%, es decir, una disminución de 68% de la humedad. Comparando esta experiencia con la de secado a cielo, abierto se puede observar que el secado bajo cubierta es más rápido, aunque requiere de una infraestructura adecuada y grandes superficies para realizar la adecuación de la humedad del combustible.

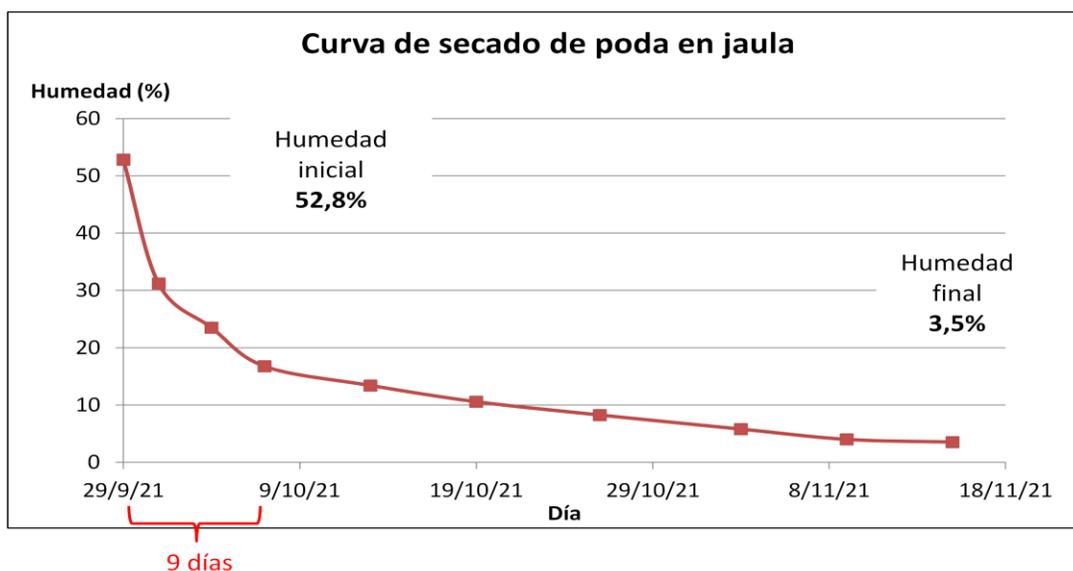


Figura 63: Curva de secado natural de muestras en jaula y bajo cubierta.

2.3.4 Ensayos preliminares de combustión en calderas

Habiendo demostrado con análisis en laboratorio que la biomasa de poda y renovaciones de plantaciones es apta para ser usada como combustible, se necesita evaluar su comportamiento en calderas. Para ello se realizó un ensayo en una caldera de leña de una fábrica de dulce de leche de la provincia de Tucumán, Argentina, durante la zafra 2021. Esta caldera es de la marca Fontanet, cuenta con 40 m² de superficie de calentamiento trabaja a 8 kg/cm² y posee tiro natural (Tabla 37).

Tabla 37: Especificaciones técnicas de la caldera de Alba Clara.

Caldera	
Marca	Fontanet
Fabricante	A. y F. Fontanet S.R.L.
Fecha de fabricación	2005
Número	3.247
Superficie calefacción [m ²]	40
Presión de trabajo [kg/cm ²]	8
Presión de prueba [kg/cm ²]	12
Medio de impulsión	Tiro natural
Combustible utilizado	Leña de limonero

Durante el ensayo se pesó la cantidad de leña a alimentar (Figura 64) y se registró el caudal de agua de alimentación a la caldera con un caudalímetro de ultrasonido FLEXIM, modelo

FLUXUS F601. También se realizó un análisis de gases de combustión mediante Analizador electrónico de gases Testo, determinándose la composición molar exenta de agua, entre otros parámetros (Figura 65). Asimismo, se cuantificó las cenizas generadas durante la combustión, se tomaron muestras de estas y junto con las muestras de la biomasa original se llevaron a laboratorio para realizar el análisis inmediato y energético. A partir de los resultados obtenidos del ensayo, se determinaron por medio de balances de masa y energía el rendimiento térmico correspondiente, el índice de generación de vapor y el consumo del aire de la combustión.

El consumo de leña de limonero durante el ensayo fue de 202,7 kg/h, mientras que el consumo de agua fue de 0,6 m³/h con una temperatura de 81,5 °C, generándose vapor saturado a 6,5 kg/cm² (Tabla 38).

Tabla 38: Condiciones promedio del ensayo de combustión en Alba Clara.

Variables	Caldera Fontanet
Presión de vapor saturado [kg/cm ²] ¹	6,5
Caudal de agua de alimentación [m ³ /h]	0,6
Temperatura de agua de alimentación [°C]	81,5
Consumo de leña [kg/h]	202,7



Figura 64: Alimentación de la caldera de Alba Clara con leña de arranque de limoneros.

¹ Datos de instrumentos de fábrica



Figura 65: Análisis de gases de la caldera de Alba Clara.

En la Figura 66 se puede observar la variación en el tiempo del caudal de agua de alimentación.

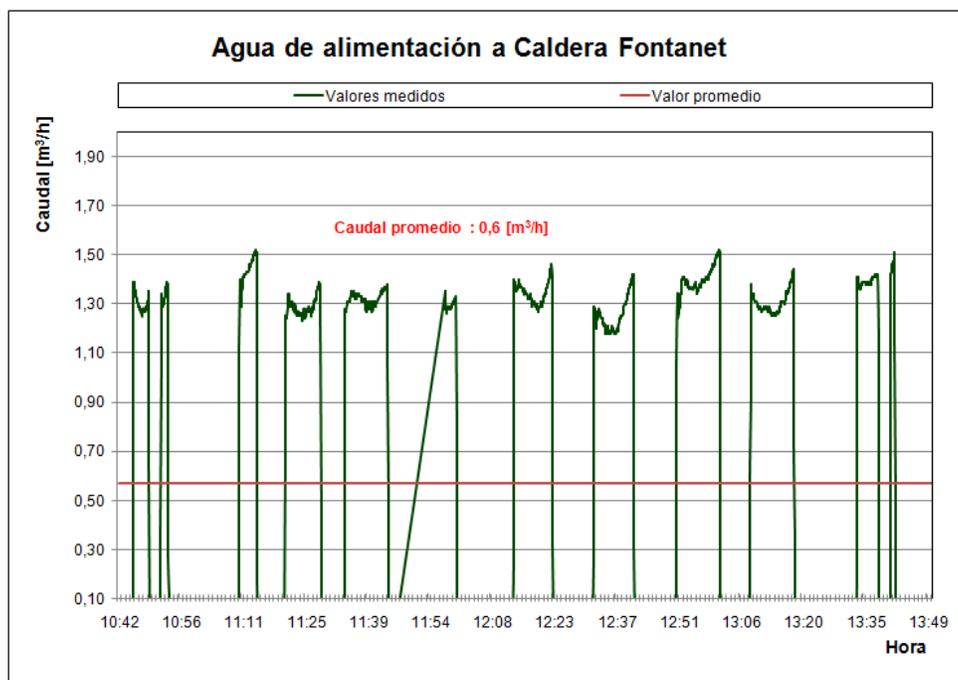


Figura 66: Caudal de alimentación de agua a la caldera de Alba Clara.

Las mediciones de flujo de agua se lograron con un elevado nivel de calidad de la señal de medición del instrumento utilizado, lo que infiere un alto grado de confiabilidad a las mediciones ultrasónicas. Bajo estas condiciones el error de las mediciones está comprendido en $\pm 5,0$ %.

Cabe destacar que el análisis de gases de combustión se realizó en el visor trasero en la cámara de combustión por lo que la temperatura promedio de los gases resulto de 719,9 °C. Los gases generados se componen por 6,76% de CO₂, 13,91 % de O₂ en base seca y 786 ppm de CO (Tabla 39).

Tabla 39: Resultados promedios del análisis de gases de salida en Alba Clara.

Parámetro	Unidad	Valor
O ₂	% molar b.s.	13,91
CO	ppm	786
CO ₂	% molar b.s.	6.76
TA	°C	35
TH	°C	719,9

Referencias:

- O₂: concentración de oxígeno.
- CO: concentración de monóxido de carbono.
- CO₂: concentración de dióxido de carbono.
- TA: temperatura del aire ambiente.
- TH: temperatura de los gases de combustión.

La cantidad de ceniza obtenida en el cenicero de la Caldera Fontanet durante el ensayo fue de 14,7 kg/h aproximadamente. Los resultados de los análisis en laboratorio se reflejan en la Tabla 40. Se puede observar que la leña de limoneros tenía baja humedad, y bajo contenido de cenizas. El poder calorífico superior es similar a otras biomásas de origen leñoso. De las cenizas obtenidas en la combustión, casi un 44 % corresponden a material orgánico que todavía puede quemarse.

Tabla 40: Resultados del análisis inmediato y del poder calorífico superior.

Muestra	Humedad [%]	Cenizas [%] b.s.	Sólidos volátiles [%] b.s.	Carbono fijo [%] b.s.	Poder calorífico superior [kJ/kg] b.s.
Leña de limoneros	16,23	2,40	79,82	17,79	18.830
Cenizas de la combustión	0,53	56,16	21,44	22,41	10.871

Los resultados de los balances de masa y energía de la caldera se muestran en el esquema de la Figura 67.

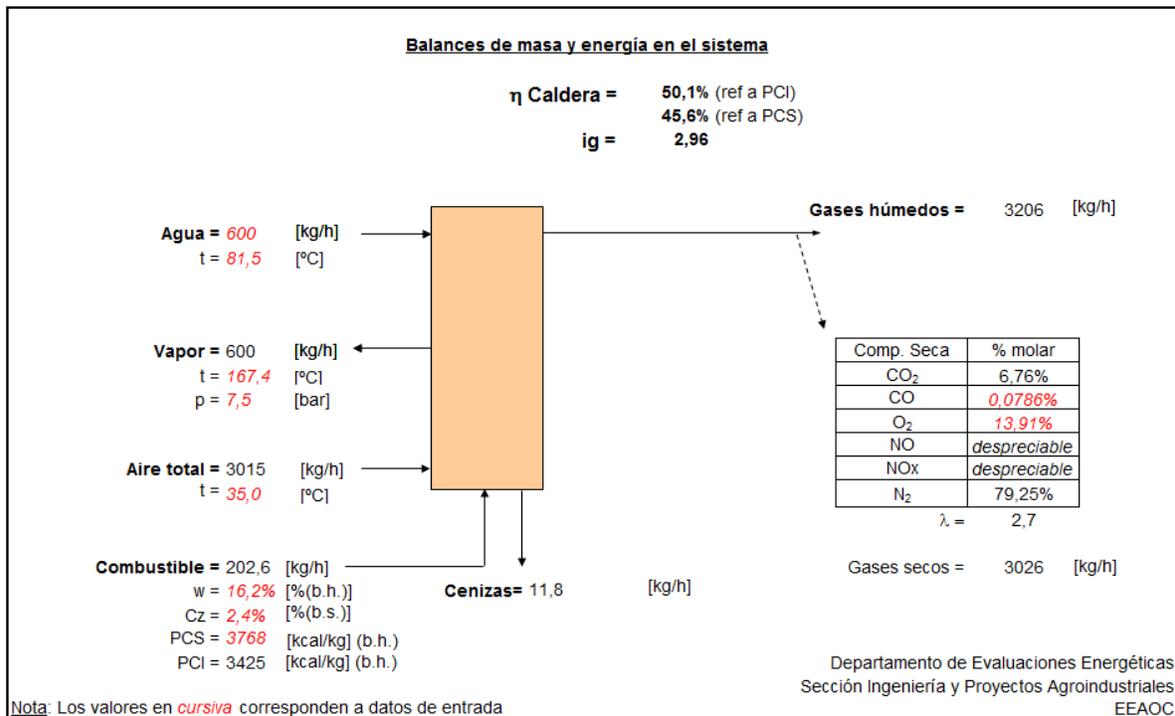


Figura 67: Resultados del balance de materia y energía de la caldera de Alba Clara.

Se observó que la caldera opera con un elevado factor de dilución (promedio $\lambda = 2,7$). En base al ensayo realizado en la Caldera Fontanet, se determinó un rendimiento térmico de operación (η_{Caldera}) de 50,1 % respecto al PCI de la leña de limón, con un índice de generación de vapor (ig) de 2,96 kg/kg. Asimismo, el consumo de aire de combustión fue de 3.015 kg/h y los gases secos efluentes por chimenea fueron de 3.026 kg/h.

2.4 Diseño y evaluación de una planta de aprovechamiento de biomasa residual en Tucumán – Argentina

2.4.1 Evaluación técnica preliminar del proyecto

Se analiza el caso de una fábrica de procesamiento de limón ubicada en el departamento de Famaillá, provincia de Tucumán como muestra el mapa de la Figura 68. Se supone que la citrícola en cuestión procesa 60 t/h de fruta fresca, con un tiempo de operación de la planta de 22 hs/día. Se estima la superficie de fincas que necesita la planta para abastecerse de fruta durante la zafra de 5 meses, teniendo en cuenta un rendimiento de 50 t/ha y una derivación del 70% de la cosecha a industria. Se calcula una superficie necesaria de 5657 ha de limoneros dispuesta alrededor de la planta, con una distancia máxima a las fincas de 15 km.

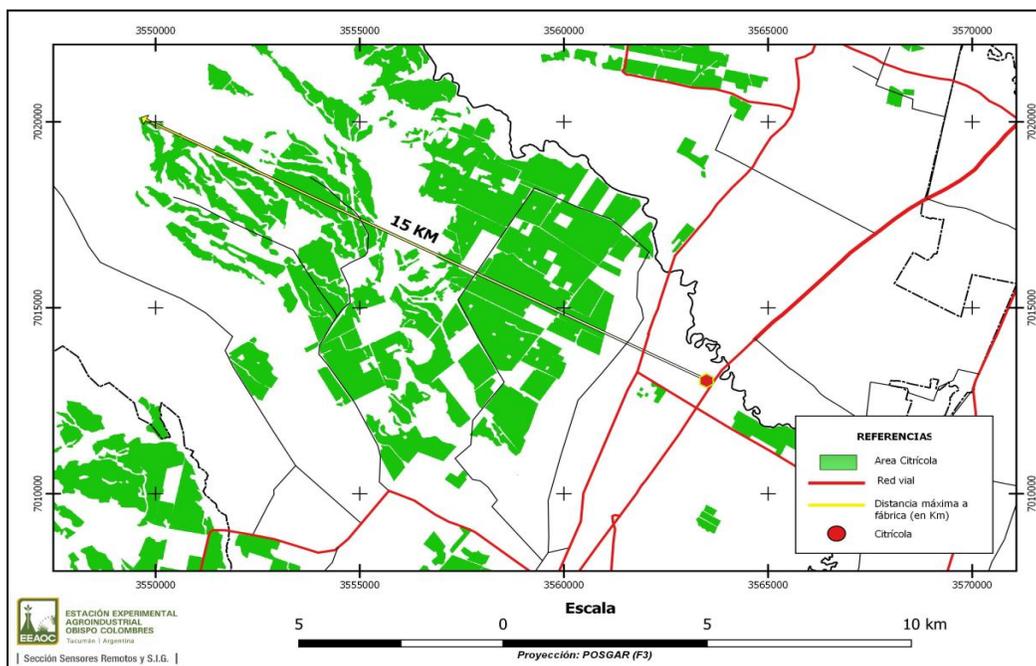


Figura 68: Distancia máxima de finca a fábrica.

Biomasa generada

El índice I_p de residuos de poda de 20 kg por planta, obtenido por poda de cada planta se empleó para estimar de manera preliminar la biomasa potencial de poda en la provincia de Tucumán. La biomasa potencial se refiere a la totalidad de la biomasa generada por un cultivo en una región determinada. Se asumió una densidad promedio de plantación de 300 plantas por hectárea. Además se consideró una fracción destinada a renovación de plantas (no se poda) de 5% de plantaciones tradicionales. Para la estimación de la biomasa disponible no se consideraron otros usos en la actualidad. Asimismo, existen pérdidas debido a los sistemas de recolección, transporte, acondicionamiento y almacenaje de la biomasa. En este caso, se asumió una pérdida del 10% para calcular finalmente la biomasa útil. La cuantificación de la biomasa también puede ser expresada como densidad de biomasa, realizando el cociente con la superficie de cultivo. Los resultados se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41: Resultados de la estimación de biomasa generada en las fincas.

Biomasa residual leñosa	Poda		Renovaciones		Total
	t/año	t/ha.año	t/año	t/ha.año	t/año
Biomasa seca potencial	22.003	4,1	24.489	86,6	46.492
Biomasa seca disponible	22.003	4,1	24.489	86,6	46.492
Biomasa seca útil	19.802	3,3	22.040	69,3	41.842
	47%		53%		

La biomasa útil generada por las fincas de la citrícola estudiada al 15% de humedad asciende a 41.842 toneladas por año, de la cual el 47% proviene de la poda y el 53% a las renovaciones de lote.

Potencial energético

La cantidad total de recurso utilizable multiplicada por su poder calorífico inferior a la humedad definitiva de utilización de la biomasa, permite conocer la cantidad de energía disponible a la entrada del sistema de valorización. Este potencial de energía se calcula con la siguiente ecuación:

$$PE = BUS * PCI_{bh} * 1000$$

Donde:

- PE: Potencial energético, en MJ/año.
- *w*: humedad definitiva de utilización de la biomasa
- PCI_{bh} : Poder calorífico inferior de la biomasa a la humedad *w*, en MJ/kg.

Como resultado se obtuvo un potencial total de más de 572 mil Giga Joule que se desaprovechan cada año para esta superficie estudiada (Tabla 42).

Tabla 42: Potencial energético de la biomasa generada en fincas.

	Unidad	Poda	Renovaciones	Total
Biomasa seca útil	t/año	19.802	22.040	41.842
Poder calorífico inferior al 15% de humedad	MJ/kg	13,379	13,379	
Potencial energético	MJ/año	264.938.584	307.324.645	572.263.229

Biomasa necesaria

Tomando en cuenta el poder calorífico inferior del gas natural de 9300 kcal/Nm³, una eficiencia de combustión para el gas de 85% y para la biomasa de 75% se calcula que 3,14 kg de biomasa al 15% de humedad equivalen energéticamente a un m³ de gas natural en condiciones normales de presión y temperatura.

Teniendo en cuenta un consumo de gas natural de 50 Nm³/t fruta procesada y una zafra de 5 meses, se calcula la cantidad necesaria de gas natural para el procesamiento de la fruta de 10.890.000 Nm³ por año, derivándose un 70% a secaderos y lo restante a caldera. Con el equivalente energético anteriormente calculado se estima la biomasa necesaria. Los resultados se pueden observar en la Tabla 43.

Tabla 43: Potencial energético de la biomasa generada en fincas.

Equipos	Consumo de gas natural		Biomasa necesaria	
	Nm ³ /año	kW	t/año	t/mes
Secadores	7.623.000	21.237	29.945	9,1
Caldera	3.267.000	9.102	10.267	3,1
TOTAL	10.890.000	30.339	40.212	12,2

La biomasa necesaria total es de 40.212 t por año para abastecer de energía a la planta. Comparando este valor con la biomasa generada por las fincas, se puede concluir que las mismas pueden cubrir las necesidades de la planta procesadora, con un excedente de 1.631 toneladas anuales.

Disponibilidad de la biomasa

Actualmente la biomasa se genera entre los meses de junio a septiembre, mientras que la operación de la citrícola comienza en abril y finaliza en agosto. Este desfase entre la oferta y la demanda de biomasa genera una necesidad de almacenamiento de casi 18 mil toneladas por año que serán utilizadas en la siguiente zafra (Tabla 44).

Tabla 44: Desfasaje de la biomasa generada y la necesaria en fábrica.

Mes	Genero	Necesito	Excedente	Acumulado
Junio	10.461	8.042	2.418	2.418
Julio	10.461	8.042	2.418	4.837
Agosto	10.461	8.042	2.418	7.255
Septiembre	10.461		10.461	17.715
Octubre a Marzo				17.715
Abril		8.042		9.673
Mayo		8.042		1.631
Junio	10.461	8.042	2.418	4.049
Julio	10.461	8.042	2.418	6.467
Agosto	10.461	8.042	2.418	8.886
Septiembre	10.461		10.461	19.346

Este problema se puede solucionar, adelantando las actividades de renovación de los lotes a los meses de marzo – abril, de manera tal que la oferta vaya en línea con la actividad fabril y sólo se necesita almacenar 1.631 toneladas (Tabla 45).

Tabla 45: Desfasaje de la biomasa generada y la necesaria en fábrica.

Mes	Genero	Necesito	Excedente	Acumulado
Abril	8.368	8.042	326	326
Mayo	8.368	8.042	326	652
Junio	8.368	8.042	326	978
Julio	8.368	8.042	326	1.305
Agosto	8.368	8.042	326	1.631
Septiembre a Marzo			0	1.631

Etapas del procesamiento

Teniendo en cuenta los ensayos realizados en campo, se propone la siguiente secuencia de etapas de procesamiento de la biomasa (Figura 69):



Figura 69: Etapas de procesamiento de la biomasa.

La biomasa de poda se traslada desde la trocha hacia la playa de cosecha más cercana. Allí se deja secar a cielo abierto por dos semanas. Pasado este tiempo se lleva hacia la playa de cosecha una trituradora móvil a la cual se alimenta con la biomasa seca sin las hojas. La biomasa triturada cae directamente sobre el camión que la transportará a la citrícola. En el caso de la biomasa de renovaciones, con una motosierra se separan las ramas y las raíces del tronco y pie de cada árbol y se deja secar de la misma manera que la poda. Luego se trocea con la chipeadora y se carga el camión. Una vez que la biomasa seca llega a la fábrica, se descarga y se lleva al depósito de stock desde donde se traslada con palas cargadoras hasta los consumidores finales. La caldera de gas deberá ser reemplazada por una caldera de biomasa y los quemadores de gas deberán ser sustituidos por hornos de combustión. Debido a que los gases de combustión de los hornos no pueden estar en contacto directo con la cáscara de limón, se debe además adicionar intercambiadores de calor para calentar el aire que ingresará en los secaderos.

2.4.2 Evaluación económica preliminar del proyecto

En Argentina, el precio de gas natural se encuentra en alrededor de USD 12 por millón de BTU (julio 2022), debido a la escasez del insumo y a la guerra entre Rusia y Ucrania. Este valor es el doble al correspondiente al año pasado. Debido a que se cree que esta es una situación puntual y que el precio del gas natural volverá a USD 6 por millón de BTU, se toma este último como valor de referencia para el cálculo de costos derivados de su consumo, que equivale a \$30 por m³ de gas natural. Teniendo en cuenta un cambio de \$136 por USD, la situación actual de consumo de gas natural en fábrica lleva a un costo anual de \$327.948.799 (Tabla 46).

Tabla 46: Desfasaje de la biomasa generada y la necesaria en fábrica.

Gas natural	Consumo		Costo
	Nm ³ /año	USD/año	\$/año
Caldera	7.623.000		98.384.640
Secaderos	3.267.000		229.564.159
TOTAL	10.890.000		327.948.799

El proyecto de reemplazo de gas natural por biomasa puede dividirse en dos fases, una correspondiente al campo y otra referente a la planta procesadora. En la fase de campo se recolecta y acondiciona la biomasa, transformándola en un combustible. Para esta etapa es necesario llevar la biomasa a la playa de cosecha, astillarla y cargar el material obtenido en los camiones para finalmente transportarla a la planta.

Debido a que algunos productores actualmente llevan la biomasa a las playas de cosecha para quemarla, no se considera esta actividad dentro de los costos. Se analizan:

- Costo de astillado
- Costo de cargado
- Costo de transporte

Para el astillado se tomó en cuenta las características de la astilladora modelo BC1000XL de la marca Vermeer (Figura 70), anteriormente utilizada en los ensayos de reducción de volumen. Esta astilladora tiene una capacidad de 15 t/h de biomasa, con un consumo de combustible de 15 l/h. El precio de combustible se asume en \$136 por litro de diesel (julio 2022). Por ser una actividad que se realiza en el campo se considera un tiempo de operación de 12 hs en dos turnos. De los cálculos para poder abastecer la planta se necesitan dos astilladoras de la misma capacidad.



Figura 70: Etapas de procesamiento de la biomasa.

En cuanto a la carga de la biomasa, se tuvo en cuenta un tractor con pala de 1 m³ de capacidad, de motor de 115 HP, con máxima capacidad de carga de 1000 kg. Se estima que se necesitarán dos de estos tractores para poder abastecer la planta con la cantidad de biomasa necesaria por día.

Con respecto al transporte, se utilizó para los cálculos un camión tipo volquete de 40 m³ de capacidad. Con una densidad aparente de astillas de 250 kg/m³, este camión puede transportar 10 t por viaje. Teniendo en cuenta una velocidad promedio de 70 km/h, se necesitaran dos camiones trabajando por turno para cubrir los requerimientos.

Para cada una de estas actividades se incluyó el costo derivado del personal necesario con su respectivo salario y la adición del 65% por cargas sociales.

En la Tabla 47 se presentan los resultados del análisis de costos para estas actividades.

Tabla 47: Costos derivados de la carga, astillado y transporte de la biomasa (julio 2022).

Costos	\$/año	\$/t	USD/t
Carga	5.003.281	224	1,65
Astillado	8.627.054	204	1,50
Transporte	13.175.180	311	2,29
Total	26.805.515	739	5,43

En la Tabla 48 se detallan las inversiones necesarias para poder transformar la biomasa en combustible.

Tabla 48: Inversión necesaria para la recolección de RAC (julio 2022).

Equipos	Moneda	
	USD	\$
Astilladoras	120.758	16.423.088
Tractores cargadores	76.000	10.336.000
Camiones	168.000	22.848.000
Total	364.758	49.607.088

Cabe destacar que los ingenios azucareros de nuestra provincia cuentan con calderas bagaceras a las que se alimenta bagazo junto con una proporción de chips de diferentes maderas. Esto se hace para poder extender el abastecimiento de energía cuando finaliza la molienda (ya no se produce bagazo), para los requerimientos de la producción de alcohol en las destilerías. Por lo tanto, es importante evaluar, como primera etapa de este proyecto, la venta de la biomasa como combustible para reemplazar los chips que compran los ingenios y otros consumidores de la provincia, por ejemplo chips de pino, eucalipto, etc. proveniente de otras regiones. Estos chips tienen un valor de alrededor de USD 40 por tonelada. Al comparar este valor con el costo de acondicionamiento y transporte de la biomasa junto con la inversión, se puede deducir que es una buena opción de comercialización a estudiar con más detalle.

2.4.3 Evaluación ambiental del proyecto

Se realizó una evaluación ambiental con el objetivo de comparar el impacto ambiental potencial de subproductos de limón en la provincia de Tucumán, empleando la biomasa de limoneros como combustible, con respecto al proceso convencional de producción utilizando gas natural. Para ello se utiliza la metodología del análisis de ciclo de vida, descrita en las normas ISO 14040 y 14044.

El sistema considerado comprende desde la producción de limón en fincas del sur de la provincia hasta la producción de jugo concentrado, cáscara deshidratada, aceite esencial de limón y pulpa. La unidad funcional se definió como “la producción de 1 t de cada producto industrializado”.

Los escenarios energéticos analizados fueron:

- Escenario convencional: Producción de derivados del limón empleando gas natural en la caldera.
- Escenario con biomasa: Producción de derivados del limón empleando biomasa residual de limoneros en caldera.

Al ser el sistema bajo estudio un sistema multiproducto se usó el criterio de asignación de cargas ambientales por valor económico. Para el análisis de inventario se cuantificaron los flujos de entrada y salida al sistema. Los datos se obtuvieron de entrevistas a agricultores, personal de fábrica y técnicos de la EEAOC, como así también de cálculos de balances de

materia y energía. Además, se tomaron datos de bibliografía disponible y de la base de datos internacional Ecoinvent v.3.

El método de evaluación de impacto del ciclo de vida seleccionado para el presente estudio es el modelo ReCiPe Midpoint v1.12, uno de los más difundidos y aceptados actualmente. Este método estima el impacto ambiental a través de dieciocho categorías de impacto (indicadores de punto medio - midpoint), tales como acidificación, cambio climático, ecotoxicidad, entre otros. Cabe destacar que se excluyeron las categorías de impacto no relevantes para este estudio. Además, se trabajó con la herramienta informática Simapro v9.3.

A continuación se describen los resultados obtenidos en la fase de evaluación de impacto del ciclo de vida e interpretación para los escenarios energéticos analizados.

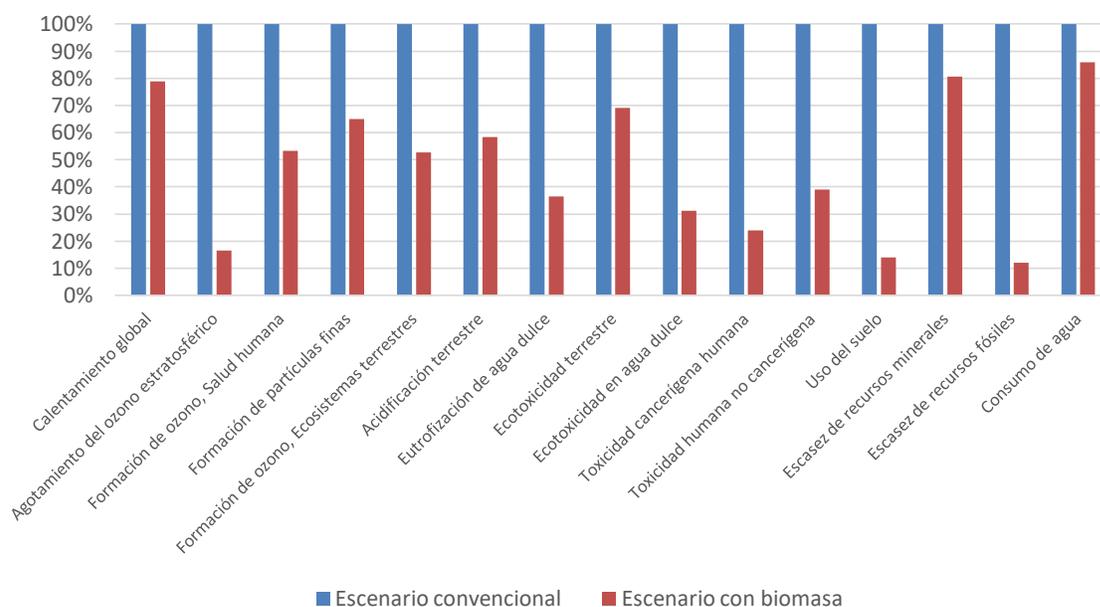


Figura 71: Perfil ambiental comparativo de los escenarios analizados.

La Figura 71 muestra una comparación de los impactos ambientales potenciales asociados a cada uno de los escenarios analizados. En abscisas se presentan quince de las categorías de impacto de la metodología ReCiPe-MidpointV1.12. El eje y muestra una escala porcentual, donde el 100% corresponde al escenario con mayor impacto ambiental para cada categoría. El escenario con uso de biomasa presenta un mejor desempeño ambiental, que el escenario convencional, en todas las categorías de impacto. Es interesante notar una mejora apreciable con el uso de biomasa en caldera, en las categorías agotamiento de recursos fósiles, uso del suelo y agotamiento del ozono estratosférico. Esto se debe a la naturaleza esencialmente renovable (biológica) del combustible. Por la misma razón, en la categoría de calentamiento global, se observa una disminución de más del 20% del impacto por emisiones de gases de efecto invernadero.

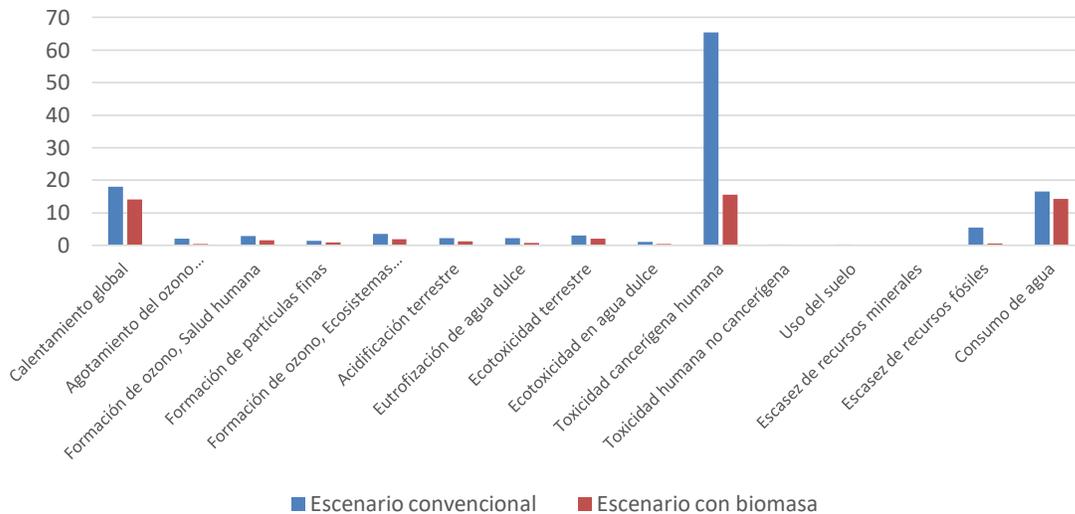


Figura 72: Perfil ambiental a nivel de normalización.

La Figura 72 muestra los resultados de la normalización de los impactos ambientales para los escenarios estudiados. El eje de las ordenadas es adimensional. Se observa que la mayor puntuación del impacto ambiental corresponde a la categoría toxicidad cancerígena humana y es apreciable para el escenario convencional, este resultado está relacionado principalmente con la generación de cenizas, escoria de los hornos y la producción misma de gas natural. Otras categorías que contribuyen al impacto ambiental son calentamiento global y consumo de agua, debido a la producción y uso de cada combustible y al consumo de agua por riego en las fincas.

En conclusión, la sustitución del gas natural de origen fósil, por combustibles de carácter renovable en la reducción de emisiones de CO₂ equivalente por año, influye positivamente en el sector industrial. Además, la producción y aplicación de agroquímicos, el riego y el uso de combustibles fósiles en las tareas y transporte de insumos, son algunos aspectos a tener en cuenta para crear un manejo más sostenible en el sector agrícola.

3 Conclusiones

En resumen, el proyecto pudo cumplir con sus objetivos planificados. Este proyecto permitió ampliar el conocimiento sobre la biomasa residual del cultivo de citrus para su aprovechamiento energético, además de establecer estrechas relaciones con colegas de CETER (Cuba) y GBio (Brasil) que trabajan en la temática.

Se pudo concluir que la biomasa proveniente de poda y renovaciones de plantaciones puede ser un producto más de la citricultura y no un problema. Se pudo cuantificar la biomasa generada, obteniéndose 40 kg por planta al 45% de humedad por poda de limoneros, con un 50 % de ramas; y 420 kg por cada planta arrancada. Se determinó que en una plantación con marco de plantación convencional la poda representa una densidad de 3,3 t/ha de biomasa leñosa al 15 % de humedad, mientras que las renovaciones producen 69,3 t/ha de

biomasa, sin contar hojas y raíces, a la misma humedad. Del análisis en laboratorio se pudo concluir que la biomasa puede ser utilizada como combustible, al tener un bajo contenido de cenizas (3% en base seca) y una temperatura de deformación mayor a 900 °C, mientras que la temperatura de fusión es superior a 1500°C. Asimismo, se pudo comprobar que el secado natural a cielo abierto puede disminuir la humedad de la biomasa a más de la mitad en menos de dos semanas. Del análisis energético se puede decir que un metro cúbico de gas natural equivale energéticamente a 3,14 kg de biomasa de limoneros al 15 % de humedad.

La evaluación del proyecto de sustitución de gas natural en una citrícola por biomasa de limoneros fue positiva. Se pudo verificar teóricamente que una citrícola que procesa 60t/h de limón puede reemplazar el gas natural que se usa en caldera y en secadores de cáscara con la biomasa que genera sus propias fincas. En la primera fase de este proyecto que involucra la generación del combustible y su posible comercialización, es necesario invertir en la compra de dos astilladoras, dos camiones de transporte, y dos palas cargadoras. Además la evaluación ambiental fue positiva, la sustitución del gas natural de origen fósil, por combustibles de carácter renovable reduce los indicadores de impacto ambiental, entre ellos las emisiones de CO₂ equivalente por año en el sector industrial.

-----0-----

4 Bibliografía

Acampora A., S. Croce, A. Assirelli, A. Del Giudice, R. Spinelli, A. Suardi, L. Pari.(2013). Product contamination and harvesting losses from mechanized recovery of olive tree pruning residues for energy use. *Renewable Energy* 53, 350-353. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.009>

Agencia Extremeña de la Energía. (2013). *Los residuos agrícolas de poda*

ANEEL, 2018, Banco de Informações de Geração – BIG, Agência Nacional de Energia Elétrica, disponível em <http://www.aneel.gov.br>

Boletín Renovable.cu, ISSN 2219-6919, No.11, Noviembre, 2020. Disponible en: <http://www.cubaenergía.cu>.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Usos Diretos e Propriedades Da Madeira Para Geração De Energia. IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, v. 52, n. 1, p. 7, 1979.

Carreras Baldrés, J., Fandos, C., Soria, F., Scandalariis, P., Dardo, F., Aranda, N., y otros. (2020). Estimación del área implantada con cítricos en Tucumán en 2020 y comparación con años precedentes. *Reporte Agroindustrial - Relevamiento satelital de cultivos en la provincia de Tucumán* (97)

CORDIS, https://cordis.europa.eu/result/rcn/190901_es.html

Diaz G. y Paz D. (2017).Evaluación técnico-económica de una planta de gasificación de biomasa residual del cultivo del limón para el abastecimiento energético de una citrícola de Tucumán. Parte I. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 94 (2): 33-45.

Diaz G. y Paz D. (2018).Evaluación técnico-económica de una planta de gasificación de biomasa residual del cultivo del limón para el abastecimiento energético de una citrícola de Tucumán. Parte II. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 95 (1): 1-12.

Diaz G., G. Zamora Rueda, M. Mistretta, C. Gutiérrez, F. Peralta, M. Golato y D. Paz. (2017). Estudio preliminar de la caracterización energética de la poda de limón en la provincia de Tucumán. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 94 (2): 71-74.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/citros>>. Acesso em: 7 mar. 2021.

Energéticas y ambientales (CEETA), Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara.

EPC. Quality Certification Scheme For Wood Pellets.European Pellet Council: Part 3. Bélgica, Europe: European Pellet Council (EPC), 2015. Disponível em: <<https://enplus-pellets.eu/en-in/component/attachments/?task=download&id=103>>. Acesso em: 5 mar. 2020.

EUOPRUNING; <http://www.euopruning.eu/>

Extremera San Martín D. Energías Renovables en Cuba: Perspectivas, investigación. Febrero 2021. Disponible en: <http://www.cubadebate.cu>.

Fandos, C., Soria, F. J., Baldrés, J. I., Scandaliaris, P., Figueroa, D., & Salas, H. (2021). Diferenciación de edades en el monte cítrico tucumano al año 2020. *Reporte Agroindustrial - Relevamiento satelital de cultivos en la provincia de Tucumán*.

F.A.O. Food and Agriculture Organization. Disponible em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 7 mar. 2021.

FAO. Citrus Fruit fresh and processed Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017. Disponible em: <http://www.fao.org/3/a-i8092e.pdf>

FEDERCITRUS - Argentina. (Mayo de 2019). *Federación Argentina de Citrus*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2022, de La Actividad Cítrica Argentina: <https://www.federcitrus.org/estadisticas/>

Fernández Puratich. 2012. Valorización integral de la biomasa leñosa agroforestal a lo largo del gradiente altitudinal en condiciones mediterráneas. Tesis Doctoral, Universidad

Flores Marco, N., Anschau, A., & Carballo, S. (Septiembre de 2011). Academia. Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de Uso de biomasa para la generación de energía eléctrica en la provincia de Tucumán - INTA: http://www.academia.edu/11741217/USO_DE_BIOMASA_PARA_LA_GENERACION_DE_ENERGIA_ELCTRICA_EN_LA_PROVINCIA_DE_TUCUMAN_INTA

Foguet, J. L., González, J. L., Vinciguerra, H. F., & Blanco, A. S. (1996). Trifoliata Flying Dragon como portainjerto semi-enanizante para limoneros en Tucumán. *Avance Agroindustrial*, 10-12.

Gregori M.A et al. Metodología para el aprovechamiento energético de Biomasa en Cuba. Proyecto Biomet. AECID, 2009.

Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical (IIFT). 2011. Instructivo Técnico para el cultivo de los cítricos, Biblioteca ACTAF. Ministerio de la Agricultura La Habana, Cuba. p 42.

INTA EEA Famaillá. (2013). Recuperado el 7 de Noviembre de 2014, de Análisis Económico de la campaña cítrica en Tucumán y dinámica del Mercado -Año 2012: <http://www.lillo.org.ar/revis/lilloa/2015-52-1/03.pdf>

Llauger, R.; M. Luis; C. Collazo; I. Peña; C. González; L. Batista; L. Pérez; A. Borroto; D. Pérez; D. López, E. Alonso; I. Acosta; J.C. Casín; L.A. Torres; D. Hernández y J.L. Rodríguez. 2010. Huanglongbing y su vector en Cuba. *Epidemiología y manejo. CitriFru*. 27 (2): 3-14.

MATTOS JUNIOR, D. DE *et al.* CITROS: principais informações e recomendações de cultivo. *Audiology Japan* Campinas, SPIAC, , 2005. Disponible em: http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/43.pdf

MENEZES, M. J. S. Minas e Energia Eduardo José Fagundes Barreto Gonçalo Rendeiro Manoel Nogueira Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida Soluções Energéticas para

a Amazônia. Cascavel, PR, Brazil: Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), 2013.

NEIVA, P. S.; FURTADO, D. B.; FINZER, J. R. D. Capacidade Térmica E Poder Calorífico De Biomassa EucaliptoII Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais. Anais...Uberaba, MG: Universidade de Uberaba (Uniube), 2018Disponível em: <file:///C:/Users/user/Downloads/paloma-silva-neiva.pdf>

ONEI, 2018. Sector Agropecuario Indicadores seleccionados. Disponible en: <http://www.onei.cu> Recuperado septiembre de 2020.

ONEI, 2019. Sector Agropecuario Indicadores seleccionados. Disponible en: <http://www.onei.cu> Recuperado septiembre de 2020.

PARIGOT, P. Relação entre a Umidade e o Poder Calorífico da Biomassa Utilizada na COCELPA. Curitiba, PR, Brasil: Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2014.

Politécnica de Valencia. España. p 302.

Posluszny, J. A. (Marzo de 2012). Curso Biomasa I, Maestría en Energías Renovables. Salta, Salta, Argentina.

Proto A. R., S. Benalia, S. Papandrea, B. Bernardi, R. Bonofiglio., A. Leuzzi, G. Zimbalatti, A. Tonolo, L. Pari y F. Gallucci. Harvesting citrus and olive pruning residues for energy use in southern Italy. 27th European Biomass Conference and Exhibition, 27-30 May 2019, Lisbon, Portugal.

Rodríguez Machín, L. Bertrán–Glean, D.H, Pérez –Bermúdez. R.A, Arteaga–Pérez, L.E. 2012. Métodos de estimación de biomasa potencial. Monografía. Centro de Estudios de Tecnologías

SALIBE, A. A.; SOBRINHO, J. T.; MÜLLER, G. W. Sinopse De Conhecimentos E Pesquisas Sobre a Laranja ‘ Pêra ’. LARANJA, v. 23, n. 1, p. 15, 2002.

SANTORO, M. Laranja valência, uma cultivar tardia. Disponível em: <[https://blog.aegro.com.br/laranja-valencia/#:~:text=A valência é uma cultivar,bom tamanho e formato elíptico.](https://blog.aegro.com.br/laranja-valencia/#:~:text=A%20val%C3%ancia%20%C3%A9%20uma%20cultivar,bom%20tamanho%20e%20formato%20el%C3%ADptico.)>. Acesso em: 3 mar. 2021.

Secretaria de Planeamiento - Dirección de estadística- Gobierno de Tucumán. (2006). *Secretaria de Planeamiento - Dirección de estadística*. Recuperado el 2014 de Noviembre de 20, de Censo Citrícola Provincial: <http://estadistica.tucuman.gov.ar/archivos/Informe%20del%20Censo%20Ctricola.pdf>

SILVA, A. G. Condicionamento de resíduo de Eucalyptus grandis para produção de biocombustível sólido Condicionamento de resíduo de Eucalyptus grandis para produção de biocombustível sólido. Salvador, BA, Brazil: Universidade Federal da Bahia, 2013.

UP_RUNNING, <http://www.up-running.eu/>

Velázquez-Martí B., E. Fernández González; I. López Cortés,y A. J. Callejón-Ferre.(2013). Prediction and evaluation of biomass obtained from citrus trees pruning. Journal of Food Agriculture and Environment. 11(3&4):1485-1494. <http://hdl.handle.net/10251/62958>

Velázquez-Martí, B.; E. Fernandez-González, I. López-Cortés, y D. M. Salazar-Hernández. (2011). Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean olive groves. *Biomass Bioenergy* 35, 3453-3464. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.042>

Velázquez-Martí, B.; J. Estornell, I. López-Cortés, J. Martí-Gavilá. (2012). Calculation of biomass volume of citrus trees from an adapted dendrometry. *Biosystems Engineering* 112, 285-292. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.04.011>