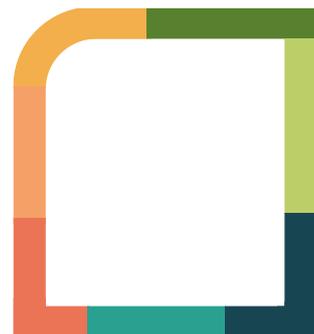


GUÍA TÉCNICA PARA EL DISEÑO DE PLANTAS DE COMPOSTAJE DE PODA URBANA



Guía técnica para el diseño de plantas de compostaje de poda urbana / Violeta Silbert Voldman ... [et al.] ; Contribuciones de Liliana Pietrarelli ... [et al.] ; Prólogo de Pamela Natan. - 1a ed. - San Martín : Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2025. Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-532-555-9

1. Residuos. I. Silbert Voldman, Violeta II. Pietrarelli, Liliana, colab. III. Natan, Pamela, prolog.
CDD 577.13

AUTORES

Silbert Voldman Violeta

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

vsilbert@inti.gov.ar

Ringuelet Ariel

Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNC

aringuel@agro.unc.edu.ar

Herrera Bolzón Ariel Héctor

Cooperativa de Trabajo Proyecto Hormiga

coop.proyectohormiga@gmail.com

Gaona Flores Maria Amparo

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

gaona.amparo@inta.gov.ar

COLABORADORES Y REVISORES

Pietrarelli Liliana

Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNC

liliana.pietrarelli@unc.edu.ar

Natan Pamela

Consultora Pamela Compost

pamelacompost@gmail.com

Teran Matías

Consultor independiente

teran.matias.n@gmail.com

Zaszczynski Cristian

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

czaszczynski@inti.gov.ar

Verberck José

Municipalidad de Córdoba

josevrbk@gmail.com

Javier Castellano

Municipalidad de Córdoba

javo.castellano@gmail.com

Eugenio Pettigiani

Consultora Axis Soluciones Ambientales

eugenio Pettigiani@gmail.com

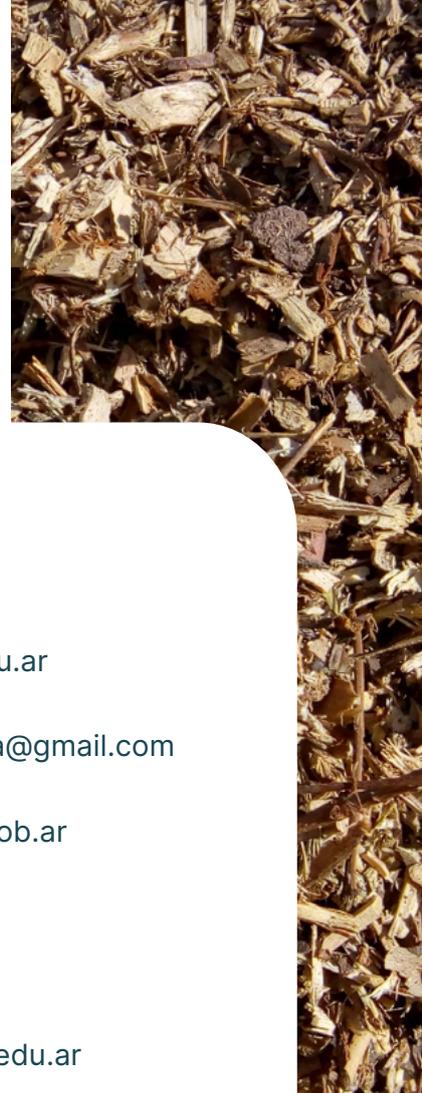
DISEÑO GRÁFICO

Gaspari Cecilia

cechugaspari@gmail.com

FOTOGRAFÍA

Salvo que se indique expresamente lo contrario en el pie de figura, todas las imágenes incluidas en este trabajo fueron tomadas por los autores, colaboradores o revisores del documento.





AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Ingenieros Agrónomos de la provincia de Córdoba que financió la edición de esta guía y co-financió la realización de parte de las experiencias expuestas. Éstas se realizaron a través del Proyecto N° 230 ADEC “Valorización agronómica y energética de residuos de poda, estandarización de procesos, productos y plan de aplicación de enmiendas para el cinturón verde de la ciudad de Córdoba” presentado al Fondo de Competitividad de la Agencia para el Desarrollo Económico de Córdoba (ADEC). Se ejecutó en conjunto con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, la Municipalidad de Córdoba, la Cooperativa de Trabajo Proyecto Hormiga Ltda, la Municipalidad de Unquillo y la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

A quienes colaboraron con la revisión de esta guía.

A la Cooperativa de Trabajo Proyecto Hormiga que sin su trabajo no hubiera sido posible llevar adelante la experiencia de compostaje en la planta de tratamiento de residuos de la municipalidad de Unquillo.



ESTRUCTURA DE LA GUÍA

En el cuerpo de esta guía se desarrollan los aspectos a tener en cuenta para el diseño de una planta de compostaje de poda urbana desde la caracterización de los residuos verdes (RV) en general y los residuos de poda (RP) en particular hasta la calidad de los compost de RP y sus potenciales destinos.

Se utilizan recuadros turquesas para relatar una experiencia de Investigación Acción Participativa entre las entidades co-ejecutoras del Proyecto N° 230 ADEC y en el marco de una interacción público-privada entre la municipalidad de Unquillo, Córdoba y la Cooperativa de Trabajo Proyecto Hormiga (CTPH). El resultado de la misma fue el diseño de una planta de compostaje de poda urbana para la municipalidad, la cual se presenta a modo de inspiración y fuente de información para otras localidades. Los recuadros azules contienen recomendaciones generadas a partir de la experiencia.

Al final de la guía se acompaña con un anexo de fichas técnicas con registros para sistematizar los procedimientos de caracterización de los RP, el monitoreo del proceso de compostaje y las operaciones unitarias para cada uno de los sectores de la planta de compostaje de poda urbana.

ÍNDICE

1. Los residuos de poda urbana	10
a. La problemática	11
b. Antecedentes	12
c. Características	16
d. Gestión integral	20
2. El compostaje de poda urbana	24
a. Caracterización de las materias primas	27
b. Diseño y cálculo de mezclas óptimas	29
c. Cálculo de mezclas óptimas para compostar	33
d. Seguimiento del proceso de compostaje	35
3. Diseño de una planta de compostaje de poda urbana	41
a. Localización y acondicionamiento del predio	42
b. Capacidad de planta y producto	48
c. Sectores y procesos productivos	50
d. Descripción de los sectores productivos	53
e. Equipamiento	66
f. Servicios requeridos	83
g. Higiene y seguridad	87
h. Plan de manejo anual para prevención de vectores	89
4. Calidad del compost de poda urbana	92
a. Marco normativo	93
b. Metodología de toma de muestras	94
c. Parámetros de calidad	96
5. Usos y aplicaciones del compost de poda urbana	100
a. Compost como enmienda	101
b. Compost como sustrato	104
6. Bibliografía	108
7. Glosario	110
8. Anexos	114

ABREVIATURAS

BCA: basural a cielo abierto

BCS: biocombustibles sólidos

ET: estaciones de transferencia de residuos

GIRSU: gestión Integral de residuos sólidos urbanos

RJ: residuo de jardinería

RP: residuo de poda

RSU: residuos sólidos urbanos

RV: residuo verde

PRÓLOGO

La gestión adecuada de residuos de poda y jardinería, llamados “residuos verdes”, es un desafío no sólo para los municipios y comunas sino para toda actividad en cuyo predio disponga de arbolado o un parque generador de césped, hojas, ramas y troncos: barrios cerrados, clubes de campo, parques industriales, establecimientos educativos, entre otros. Poco problematizado, el acopio arbitrario de estos residuos son el origen de puntos de arrojo y basurales, sitios de anidamiento de vectores de enfermedades, y focos de incendios pero, además, atenta contra su valor intrínseco en tanto materia orgánica para los suelos. Por tales motivos, su tratamiento es un imperativo. La “nobleza” de los residuos verdes para ser valorizados (quiero decir, su relativa “sencillez” frente a los residuos alimenticios) abre a los municipios a la posibilidad de integrar la práctica del compostaje en su gestión: capacitar recursos humanos, familiarizarse con la maquinaria, desarrollar procedimientos, autoabastecerse de sustrato para sus espacios verdes.

De ahí que este documento constituye una herramienta para aproximarse a la problemática desde una solución: las plantas de compostaje. He aquí una guía que permite, de una forma clara y sencilla, dar pistas y ejemplos para encarar el primer paso: dimensionar y diseñar un sitio de procesamiento de residuos verdes. A partir de la revisión bibliográfica y normativa, relevamientos y ensayos a campo, pero sobre todo del diálogo con los actores y su territorio, los autores construyen conocimiento y proponen una metodología asequible por los gobiernos locales. Este documento es también valioso por otro motivo, no menor: que emerge desde el trabajo conjunto de profesionales de diversas entidades estatales. Por ende, colegas del sector público, privado y cooperativo pueden acceder, una vez más, a un material de calidad en formato libre y gratuito. Los invito a aprovechar (y disfrutar) los saberes aquí contenidos y, en particular, incito a los gobiernos locales a sumar la práctica del compostaje de residuos verdes como una forma de accionar en pos de localidades más resilientes y economías más circulares.

Pamela Natan



PRESENTACIÓN

Esta guía surgió de una experiencia de articulación entre distintos actores del sector público y privado de la provincia de Córdoba, que exploraron mediante un abordaje integral, la valorización del residuo de poda urbana a través del compostaje con fines agronómicos.

Unquillo es una localidad del departamento Colón situada a unos 30 km de la ciudad de Córdoba sobre los faldeos orientales de las Sierras Chicas. La municipalidad realiza la recolección de los residuos de poda y una parte los chipea en su planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos (PTRSU). La Cooperativa de Trabajo Proyecto Hormiga (CTPH Ltda), entre los años 2019 y 2022 le agregó valor al material chipeado a través de la producción y comercialización de compost y otros bioinsumos.

En el marco de un proyecto interinstitucional de carácter científico-tecnológico se realizó una prueba piloto de compostaje de los residuos de poda chipeados. Los objetivos fueron: 1- la estandarización del proceso de compostaje; 2- la evaluación de la calidad final del compost y 3- el diseño de una planta de compostaje de poda urbana para la municipalidad de Unquillo que sirva como modelo para otras localidades en lo que refiere al manejo del arbolado y a la gestión integral de los residuos de poda.

El compostaje es una tecnología apropiada de triple impacto: a partir de un residuo, se puede obtener un producto que aumeta el contenido de materia orgánica del suelo, con todos sus beneficios que ello conlleva, e impacta positivamente en la producción de alimentos frescos de proximidad y en la generación de empleos verdes.



1 LOS RESIDUOS DE PODA URBANA

LOS RESIDUOS DE PODA URBANA

a. La problemática de los residuos de poda urbana

Los residuos de poda urbana (RP), junto a los restos de jardinería (RJ), conforman el universo de los residuos verdes (RV). El crecimiento de las áreas verdes en las ciudades ha dado lugar a un aumento de la cantidad de RV generados, convirtiéndose en un problema ambiental. En Argentina, la mayoría de las localidades disponen sus RV en basurales a cielo abierto (BCA) o en rellenos sanitarios con altos costos de transporte y disposición, siendo los RP la fracción más voluminosa (Fig. 1 y Fig. 2), difícil de enterrar y acumulada en superficie es un material con una carga de fuego importante para la generación de incendios.



Figura 2. Ingreso a la Planta de tratamiento de RSU de un camión con poda de la localidad de Unquillo, Córdoba.



Figura 1. Recolección urbana de residuos de poda en la localidad de Unquillo.

Para resolver esta problemática, algunos municipios utilizan chipeadoras para reducir su volumen, en algunos casos con la intención de realizar una valorización posterior. Sin embargo, en la mayoría de los casos estas iniciativas fracasan por la dificultad de sostener el proceso en el tiempo debido al mantenimiento intensivo y costoso de las chipeadoras que incluso no llegan a procesar todos los residuos de poda que se generan a diario, o por la falta de proyectos para la utilización del producto obtenido.

b. Antecedentes

En el año 2018, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) realizó un relevamiento de la generación de RV en Unquillo y otras ocho localidades de Sierras Chicas. Del mismo surgió que se generaban a diario aproximadamente 65 t/día o su equivalente en volumen, 650 m³ RV/día, de los cuales el 19 % pertenecían a la ciudad de Unquillo (Fig. 3). En el año 2023, según datos del municipio de Unquillo, se generaban unos 200 m³ RV/día.

Estos municipios se agruparon en el “ENTE de Cooperación Recíproca de Sierras Chicas” para resolver problemáticas comunes; particularmente las asociadas con el ordenamiento territorial, la protección del corredor biológico de Sierras Chicas, la erradicación de los Basurales a Cielo Abierto (BCA) y la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU). Algunos municipios disponen sus residuos en basurales cercanos a sus territorios y otros en el relleno sanitario de la ciudad de Córdoba a través de estaciones de transferencia.

Si bien las localidades con estaciones de transferencia han remediado sus BCA, el continuo ingreso de poda urbana y chatarra compromete su cierre definitivo, y constituye un riesgo permanente de incendios fácilmente propagables hacia el bosque serrano.

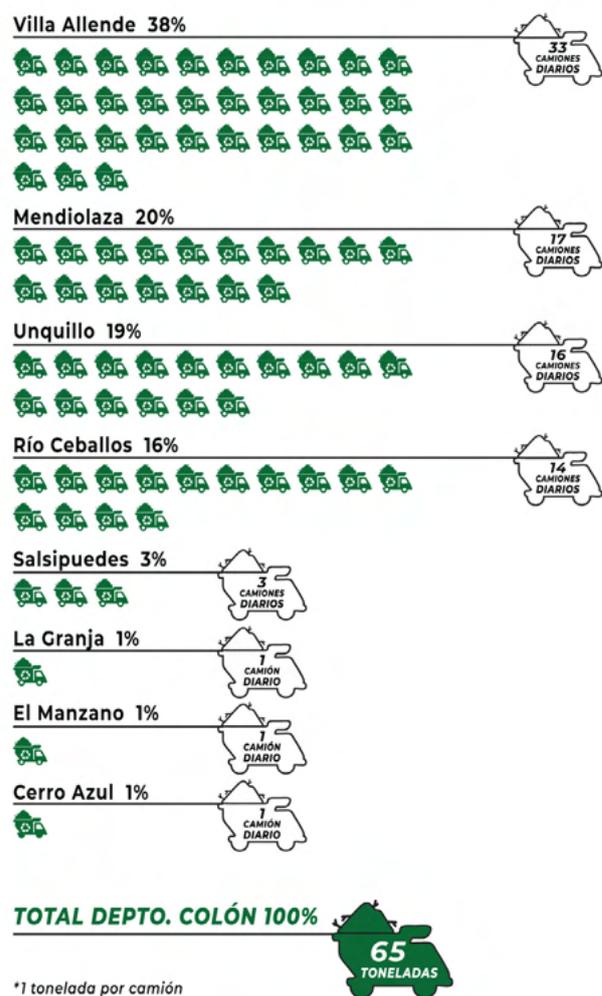
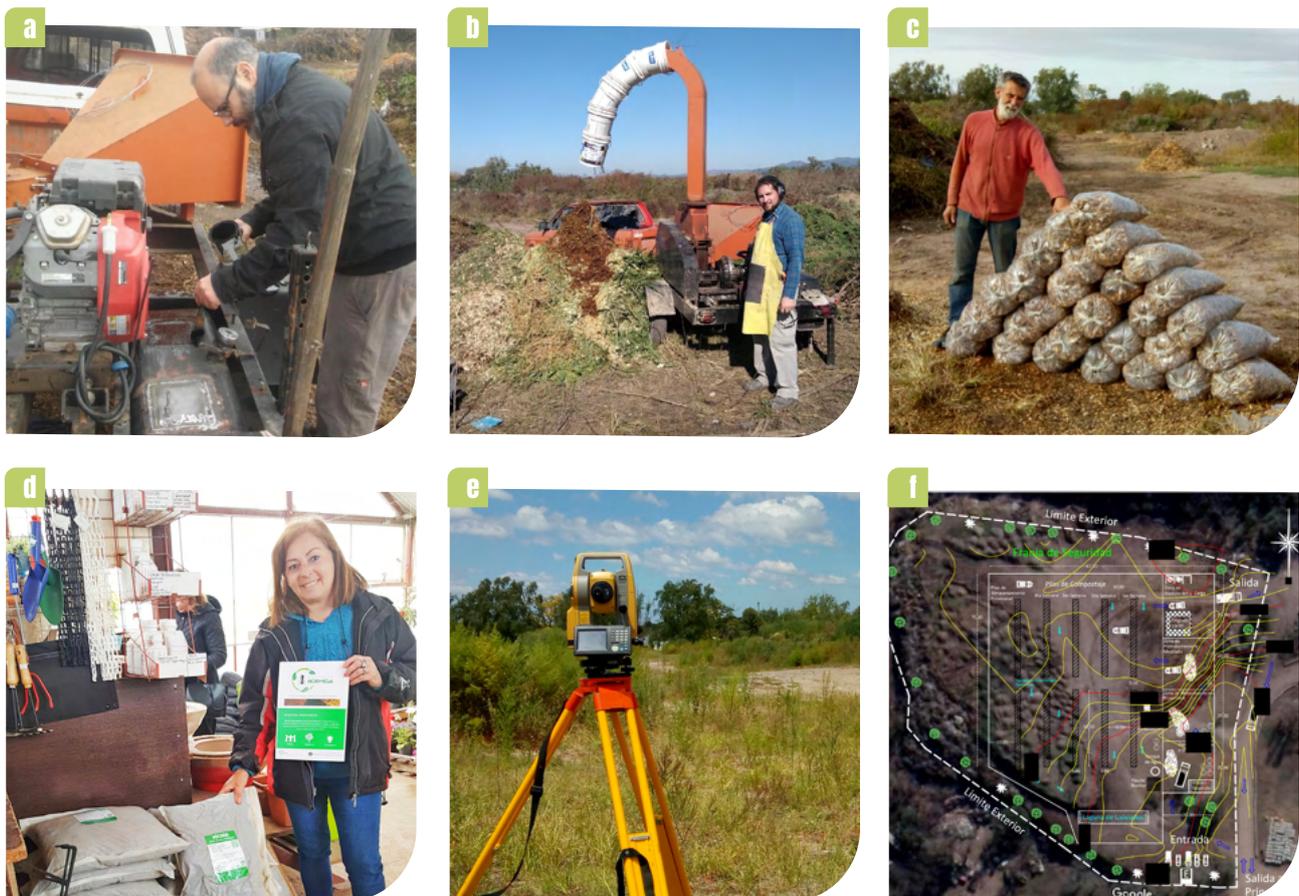


Figura 3. Porcentajes de generación de RV de los municipios del Ente de Cooperación Recíproca de Sierras Chicas. Fuente: www.proyectorhormiga.com.ar, a partir de datos generados por INTI.

La iniciativa de creación de la Cooperativa de Trabajo Proyecto Hormiga Ltda surgió a fines de 2018 por parte de un grupo de vecinos de la zona, debido a los riesgos ambientales que presentaba en ese entonces la acumulación de poda en la planta de tratamiento de RSU (PTRSU) de la municipalidad.

Los vecinos decidieron presentarle al municipio un proyecto socioproductivo de triple impacto que inicia con la puesta en marcha de una de

las chipeadoras que la municipalidad tenía en desuso. La finalidad era obtener datos sobre el funcionamiento y rendimiento de las máquinas, consumos de combustible y mantenimiento, características del material obtenido, posible destino comercial de los productos y diseño de una planta de producción de enmiendas y sustratos (Fig. 4). De esta manera, y con la aceptación de los viveros de la zona, se pudo validar que tanto el chip como otros productos obtenidos en ese momento eran comercializables.



En abril de 2019 el grupo de vecinos se conforma en una asociación civil Proyecto Hormiga y firma un convenio público-privado con el municipio denominado “Mejora de actividades e infraestructura del tratamiento de los residuos de poda en la localidad de Unquillo” vinculado a la investigación, capacitación, evaluación y fomento de actividades y procesos para el tratamiento de los residuos de poda. El lugar físico de implementación del mismo fue la Planta de Tratamiento de RSU del municipio.

La primera etapa del proyecto tuvo una duración de seis meses, durante la cual la asociación civil se encargó de gestionar la incorporación de dos chipeadoras adicionales pertenecientes a la provincia, así como la reparación y puesta a punto de otra chipeadora municipal y un molino a martillo. En este periodo se realizó una investigación exhaustiva sobre los procesos y mejoras en el tratamiento de los RV, la capacitación del personal municipal, el registro y análisis de datos, la obtención de productos y subproductos, y la escalabilidad comercial de los mismos. Como contraparte el municipio aportó los elementos de seguridad, el lugar físico y las chipeadoras con los insumos básicos para sus funcionamiento.

En el año 2020 la asociación civil Proyecto Hormiga se constituyó en una cooperativa de trabajo y logró afianzar el modelo de gestión y tratamiento de los RV junto a otros residuos orgánicos municipales, obteniendo métricas tanto en el ámbito productivo como en el comercial.

Conforme al convenio original, se continuó con la investigación, desarrollo y la validación del modelo socio productivo, mientras que el municipio se abocó íntegramente a la recolección y al chipeado de los RV.

Para ese entonces a la PTRSU ingresaban 16 camiones de poda por día de lunes a viernes con 10 m³ en promedio cada uno y se chipeaban 2 a 4 (12-25 % de lo ingresado) con una tasa de reducción de 8 a 1.

Durante los años 2020, 2021 y 2022 se lograron procesar y comercializar 1100 camiones de poda que equivalen a 1400 m³ de chip. El mismo fue utilizado como materia prima para elaborar diferentes productos y subproductos (compost, tierra fértil y bocashi) en una proporción del 40 al 60 % del total. Otros 1200 camiones que equivalen a 1500 m³ de chip de poda fueron destinados a la mejora de caminos internos y accesos en la PTRSU, a la producción de árboles nativos y a la donación de sustratos y enmiendas a proyectos socioambientales y de reforestación en el municipio. La CTPH destinó el 50 % de las utilidades a la reinversión en la cooperativa y a la distribución entre los socios, mientras que el otro 50 % se utilizó para el desarrollo de nuevos proyectos de triple impacto y a la inversión en equipamiento e insumos para el tratamiento de los residuos de poda.

La producción de enmiendas y sustratos se hacía en una escala artesanal, realizando los volteos de las pilas de chip de poda manualmente con pala y horquilla y el transporte del material en carretilla.

En el año 2020 la municipalidad adquirió una volteadora de compost de tiro lateral al tractor (Fig. 5) y en el año 2021 una trituradora de rodillos de doble eje (Fig. 6). Ambos equipos no pudieron ser puestos a punto por fallas en su funcionamiento. Recién a mediados de 2022, la CTPH pudo escalar la producción mediante la adquisición de una pala mecánica de 0,5 m³ de

capacidad, una cinta transportadora y comenzó el diseño y construcción de un tambor giratorio cribado para tamizado de 5 m de largo por 1 m de diámetro (Fig. 7).

La CTPH asumió un rol preponderante en cuanto a la difusión del proyecto, visibilización del modelo de articulación con el municipio y la promoción de la conciencia ambiental en la comunidad. Con la implementación de una política de “datos públicos”, participó activamente en conferencias y eventos compartiendo los resultados de las investigaciones, realizando charlas y talleres en instituciones educativas locales a nivel inicial, primaria y secundaria.



Figura 5. Volteadora.



Figura 6. Trituradora de rodillos.



Figura 7. Diseño y construcción de tambor giratorio.

Para el año 2022 buscando diversificar los destinos de la poda urbana, desarrolló junto al Centro de Investigaciones y Estudios sobre Cultura y Sociedad (CIECS) CONICET-UNC el Proyecto *Siempremonte* para producir estructuras portantes de madera de siempre verde (*Ligustrum lucidum*) una especie invasiva de las Sierras de Córdoba.

Si bien la Cooperativa sigue registrada, con balances y memorias al día, dejó de producir enmiendas y sustratos a mediados del año 2023. El cese de actividades en la PTRSU fue por dificultades del municipio en sostener la provisión de chip de poda a la Cooperativa debido a problemas con el mantenimiento de las chipeadoras y a la dificultad de poner a punto la trituradora de rodillos adquirida.

c. Características

La generación de RV se caracteriza por ser estacional, con predominancia de restos de poda y hojas en otoño-invierno y con abundancia de restos de jardinería en primavera-verano. De acuerdo a sus dimensiones, los RV pueden clasificarse en cuatro fracciones: fina, media, gruesa y compleja (Fig. 8). Éstas, mediante un acondicionamiento previo, pueden tener diferentes destinos productivos.



Figura 8. Fracciones de los RV y los distintos tratamientos para su potencial uso.

La **fracción fina** corresponde a los residuos de jardinería, compuestos por hojas secas o verdes, cortes de césped y restos de plantas herbáceas. Éstos pueden ser tratados mediante compostaje, previa separación de impropios, con los que vienen mezclados. La tarea de separar material impropio resulta mucho más complicada en el caso de los residuos de

jardinería, los que son embolsados junto a otros residuos, demandando mano de obra y tiempo extra que vuelve poco sustentable la tarea siendo más apropiada su rechazo.

La **fracción media** está compuesta de ramas de plantas leñosas (árboles, arbustos o enredaderas) de un diámetro menor o igual a 5 cm; con o sin hojas.

Puede ser chipeada y cuenta con dos potenciales destinos: 1) energético, para la producción de biocombustibles sólidos (BCS), uso directo en calderas y hornos, y 2) agronómico, en la producción de compost.

Dentro de esta fracción existen algunas especies vegetales que presentan dificultad para procesarlas con las chipeadoras a disco o tambor, que son las más comunes en los municipios (Fig. 9), como por ejemplo enredaderas o tallos de plátano (*Musa spp*). Dichas especies

se clasifican como **fracción compleja** y podrían llegar a procesarse si se contara con una trituradora de rodillos de doble o simple eje (Fig. 10). La **fracción gruesa** está constituida por ramas y troncos de plantas leñosas de un diámetro mayor a 5 cm. Su potencial destino es energético, ya sea trozada, para calefacción domiciliar (leña social) o alimentación de calderas industriales y hornos, como también triturada y utilizada como producto intermedio para la producción de BCS como pellets y briquetas.



Figura 9. Chipeadora de discos de la municipalidad de Unquillo, Córdoba.



Figura 10. Trituradora fija de rodillos de doble eje de la municipalidad de Unquillo, Córdoba.

experiencias

Experiencia de caracterización de residuos verdes en la localidad de Unquillo

En el invierno del año 2021, se realizó la caracterización de los residuos verdes de la localidad a lo largo de una semana (Fig. 11) para conocer el potencial agronómico de la fracción media de la poda. Se caracterizaron 21 camiones de recolección que representaron 438 m³ y 19,6 t. de carga. Para conocer el peso de la carga, los camiones fueron pesados antes y después de su descarga.

También se midió el volumen en la caja del camión (m^3). El material fue descargado sobre un playón o en el suelo, donde se clasificó por fracciones y se midió su volumen (m^3). Luego se determinaron las especies vegetales y la fracción media se trituró y se colocó en un bolsón para su pesaje. Del material chipecado se tomó una muestra compuesta para analizar en laboratorio las características físico-químicas con destino a la producción de compost. Por último, se pesó la fracción gruesa y el material impropio. La fracción media tuvo una participación del 68 % en volumen y solo 22 % en peso. Luego de chipecado tuvo una tasa de reducción en volumen del 90 %. Sólo se encontró un 2 % de fracción gruesa, lo que posiblemente se deba a que no llega a la planta porque se utiliza para calefacción a leña en los hogares.



Figura 11. Proceso para la caracterización de RV: a. Pesaje de la carga; b. Medición del volumen de la carga; c. Separación de la descarga por fracciones; d. Medición volumétrica de cada una de las fracciones; e. Identificación de especies vegetales sin hojas según disposición de yemas, características de la corteza y duramen; f. Chipecado de la fracción media; g. Bolsón para pesar la fracción media chipecada; h. Toma de muestra de la fracción media chipecada; i. Pesaje de la fracción gruesa.



Del total de la fracción media, el 54 % en volumen, estuvo representado por tres especies vegetales: Siempre Verde (*Ligustrum lucidum*) 32 %, Olmo (*Ulmus procera*) 12 % y Tala (*Celtis ehrenbergiana*) 10 % (Fig. 12). El resto de las especies vegetales participaban en porcentajes menores al 4 %. Más del 70 % de las especies caracterizadas son exóticas e invasivas del bosque autóctono local ya que poseen un crecimiento rápido y voluminoso en comparación con las nativas

a

UNQUILLO (55 ESPECIES IDENTIFICADAS)

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFICO	%
Crataegus	<i>Pyracantha coccinera</i>	3
Espinillo	<i>Vachelli caven</i>	3
Garabato hembra	<i>Senegalia praecox</i>	4
Mora	<i>Morus spp</i>	4
Paraíso	<i>Melia azedarach</i>	4
Tala	<i>Celtis ehrenbergiana</i>	10
Olmo	<i>Ulmus procera</i>	12
Siempre verde	<i>Ligustrum lucidum</i>	32
Ocho (8) especies principales (%)		72
47 especies secundarias (%)		28
Perennifolias (%)		45
Caducifolias (%)		55



Figura 12. a. Porcentajes de las especies vegetales identificadas durante la caracterización de RV en la PTRSU de Unquillo, Córdoba. Especies predominantes: **b.** Siempre verde (*Ligustrum lucidum*); **c.** Tala (*Celtis ehrenbergiana*) y **d.** Olmo (*Ulmus procera*).

recomendaciones

Al momento de elegir especies para el arbolado urbano, es importante priorizar el uso de autóctonas respecto a las exóticas. Esto podría estar contemplado en un plan forestal municipal o en una ordenanza de residuos verdes como es el caso de Mendiolaza, Córdoba. En el anexo 1 del Programa de Residuos Verdes, (Ordenanza 815/2018) prohíbe la utilización como cerco vivo jazmín amarillo (*Jazminum mesnyi*), grates (*Pyracantha sp.*), crataegus (*Crataegus sp.*), cotoneaster (*Cotoneaster sp.*), bandera española (*Lantana camara*) por su invasividad y su importante aporte a los volúmenes de poda recolectados y recomienda el uso de Hiedra (*Hedera helix*), Ipomea (*Ipomoea sp.*), Pasionaria (*Passiflora aerulea*), Isipó timbó (*Serjania meridionalis*), Tasi (*Morrenia Odorata*), Sacha huasca (*Dolichandra cynanchoides*).

d. Gestión integral

Como se mencionó anteriormente, la generación de RV se caracteriza por ser estacional, y su principal origen se vincula con generadores específicos.

Dentro de los grandes generadores, también llamados generadores especiales, se encuentran los barrios cerrados, clubes de campo, centros deportivos, etc. Todos estos se caracterizan por tener grandes espacios verdes y por lo tanto requieren de programas especiales de gestión definidos por la normativa de cada localidad.

Las empresas y cooperativas que brindan el servicio de energía eléctrica y se encargan de las podas del arbolado que interfiere con el cableado aéreo y alumbrado también son consideradas grandes generadores así como los municipios que generan residuos verdes cuando realizan el mantenimiento de los espacios verdes urbanos: parques, plazas, banquetas, avenidas, calles y veredas.

Por otro lado se encuentra la generación domiciliar de residuos verdes proveniente de viviendas unifamiliares.

experiencias

La Secretaría de Planificación de la Municipalidad de Mendiolaza, Córdoba, en alianza estratégica con la Cooperativa de Trabajo Proyecto Hormiga, llevó a cabo dos experiencias de gestión pública (Fig. 13) durante los años 2022-2023, con el objetivo de brindar un abordaje integral a la problemática de los RV. “Podés con tu Poda” fue un programa de educación ambiental para generar conciencia en la reducción y valorización a nivel domiciliario. A través de talleres se brindaba información detallada sobre la elección de especies vegetales no invasoras, principalmente nativas según la Ordenanza Municipal 803/18 de arbolado público, el aprovechamiento de la fracción gruesa de la poda para leña y el compostaje de césped y hojas. De manera complementaria, el programa “Giro Verde”, basado en la Ordenanza Municipal 815/2018 de residuos verdes, buscaba transformar el paradigma de gestión lineal hacia una economía circular para maximizar la reutilización y el reciclaje de los residuos verdes en los hogares. De esta manera se cierra el ciclo de aprovechamiento de recursos, se reduce la contaminación ambiental, se innova con la propuesta de chipeado *in situ* para reducir el volumen de poda recolectada y la devuelve a los domicilios como chips para compostaje o compostada con la leyenda: “Tu poda vuelve como abono”.



Figura 13. Programas de la Municipalidad de Mendiolaza, Córdoba.

En el año 2021, INTI publicó la Guía para una gestión integral de residuos verdes municipales. La misma ofrece herramientas metodológicas para planificar la gestión integral de los residuos verdes a escala municipal. Desde la realización de un autodiagnóstico hasta el diseño de proyectos de agregado de valor. La valorización de los RV mediante compostaje es una de las alternativas que permite alcanzar este fin, tanto a nivel domiciliario como a escala industrial.

experiencias

Los RP que llegan en los camiones recolectores al predio de tratamiento en Unquillo contienen un importante porcentaje de especies arbóreas como Tala (*Celtis spinosa*), Garabato (*Senegalia praecox*) y Espinillo (*Vachellia caven*), entremezclados con otras especies del tipo enredaderas, como Clarín de Guerra (*Bignonia venusta*) y Jazmín Amarillo (*Jasminum mesnyi*), además de bolsas con restos de jardinería. Esta mezcla resulta en una maraña de ramas y espinas que se enganchan y dificultan la separación de la parva previa al chipeado o triturado, lo que provoca un gran esfuerzo físico y desgaste para los operarios que realizan esta tarea de manera manual.

Entre los meses de septiembre a noviembre de 2019, la CTPH ensayó un sistema de recolección diferenciada de RP. Este sistema consistió en recolectar, durante la primera y tercera semana del mes, las fracciones fina y compleja, mientras que las fracciones media y gruesa se recolectaron en la segunda y cuarta semana.

La fracción fina y compleja se depositó formando hileras directamente en el sector de compostaje activo. El resultado fue notable, eliminando casi por completo el tiempo dedicado a la separación, acondicionamiento y, sobre todo, el del traslado desde la zona de acondicionamiento a la zona de compostaje activo.

En cuanto a la fracción media chipeable, se logró una reducción del tiempo de desarme de la pila de RP en un 40 % y un menor esfuerzo físico por parte de los operarios.

Esta modalidad de recolección diferenciada permitió ser mucho más eficiente en cuanto a la dedicación de los operarios, ya que se enfocaron exclusivamente en la fracción media, lo que redujo la necesidad de personal adicional. Además, hubo un ahorro significativo de combustible y energía, ya que al ser un trabajo más fluido se mejoró la productividad de las maquinarias. De esta manera, se logró chipear el 100 % de la fracción media entrante en el periodo de prueba.

recomendaciones

Para el diseño de una planta de compostaje de residuos de poda se recomienda, en primer lugar, trabajar en un programa que permita reducir la cantidad de residuos a recolectar mediante la gestión descentralizada, y evitar el vertido en sitios de disposición final.

A nivel domiciliario, las campañas de sensibilización y acompañamiento de los hogares son fundamentales para cambiar hábitos inadecuados, como la quema de hojas o el embolsado de césped, por el compostaje domiciliario. El aprovechamiento de la fracción media de la poda requiere de un servicio más especializado con equipamiento apropiado para la realización del chipeo para su utilización en la compostera o como cobertura de canteros y del trozado de la fracción gruesa para calefacción o cocción.

Una vez que el residuo ya fue dispuesto en la vía pública, lo ideal es que se reduzca su volumen allí mismo para evitar su traslado e intentar que esos residuos acondicionados vuelvan a los domicilios como recursos.

El municipio podría responsabilizarse del retiro domiciliario de un volumen determinado de RP chipeando la fracción media in situ o en destino, para devolverle al generador el material para el co-compostaje con residuos de jardinería o su aplicación como cobertura de canteros o bien del trozado de la fracción gruesa para calefacción o cocción. La fracción fina correspondiente a los RJ y la fracción gruesa de los RP de jardines privados, deberían ser gestionados in situ para su reducción y aprovechamiento en origen (Fig. 14).

En cambio los grandes generadores deberían, contratar un operador de residuos para el retiro, acondicionamiento y valorización de sus residuos verdes.

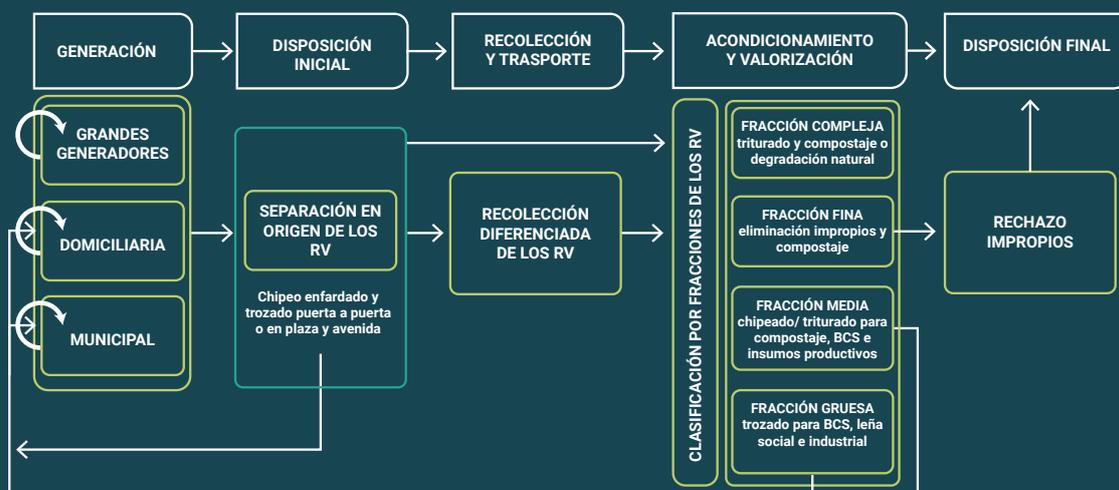


Figura 14: propuesta de gestión integral para los RV domiciliarios y de grandes generadores.



2

EL COMPOSTAJE DE PODA URBANA

EL COMPOSTAJE DE PODA URBANA

El compostaje es una tecnología apropiada para el reciclaje de poda urbana. El compost obtenido en este proceso es un material orgánico que puede ser incorporado a la economía del sistema como enmienda o como sustrato, si la calidad lo permite, ayudando a reducir emisiones de gases de efecto invernadero. Cuando una enmienda orgánica es incorporada al suelo, restituye y mejora los niveles de materia orgánica y, con ello, algunas propiedades importantes para su salud y para la producción agronómica.

Según la Resolución Conjunta SCyMA-SENASA 01/2019 *Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost*, define al compostaje como un proceso controlado de transformación biológica de la materia orgánica (por la acción microbiana), bajo condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno) y termófilas (temperaturas por encima de los 45 °C).

El proceso de compostaje se desarrolla en diferentes etapas o fases, cada una con determinados rangos y valores límites de temperatura (Tabla 1) generadas por la acción microbiana debiendo transcurrir tres etapas diferentes y en el orden enunciado: 1) una primera etapa mesófila en la que se alcanzan temperaturas entre 10 °C y 45 °C; 2) una segunda etapa termófila en la que se alcanzan temperaturas mayores a 45 °C y 3) una tercera etapa mesófila (o de maduración) donde la temperatura alcanza valores similares a la temperatura ambiente.

Según dicha normativa, el compost es un producto higienizado, estable y maduro que resulta del proceso de compostaje, el cual está constituido, mayormente, por materia orgánica que presenta poco parecido físico a la materia prima que le dio origen.

Tabla 1. Rangos de temperatura durante el proceso de compostaje.

FASES		RANGO DE TEMPERATURA
MESÓFILA INICIAL		DESDE 10 °C HASTA 45 °C
TERMÓFILA	INICIAL	IGUAL O MAYOR A 45 °C HASTA 55 °C
	HIGIENIZACIÓN	IGUAL O MAYOR A 55 °C
SEGUNDA MESÓFILA O MADURACIÓN		IGUAL O MENOR A 40 °C HASTA TEMPERATURA AMBIENTE

recomendaciones

A cada lote de compost terminado, se le debe hacer un análisis de calidad según la normativa vigente. Si cumple los estándares de calidad, se lo puede destinar como enmienda para diferentes usos: hortícola, paisajístico en espacios verdes urbanos y jardines particulares, en restauración de banquetas y áreas degradadas. También podría ser un componente para la elaboración de sustratos, con mayores exigencias de calidad (ver Capítulo 4: Calidad del compost de poda urbana).

La etapa termófila es la fase del proceso en la que se produce la descomposición biológica de las fracciones más fácilmente degradables, con el consecuente aumento de temperatura y evaporación de parte del agua contenida en el material vegetal. Se produce la máxima reducción del peso y del volumen, la estabilización parcial y la higienización del material cuando ocurren temperaturas superiores a los 55 °C (Fig. 1) siendo letal para muchos microorganismos patógenos y semillas de malezas.

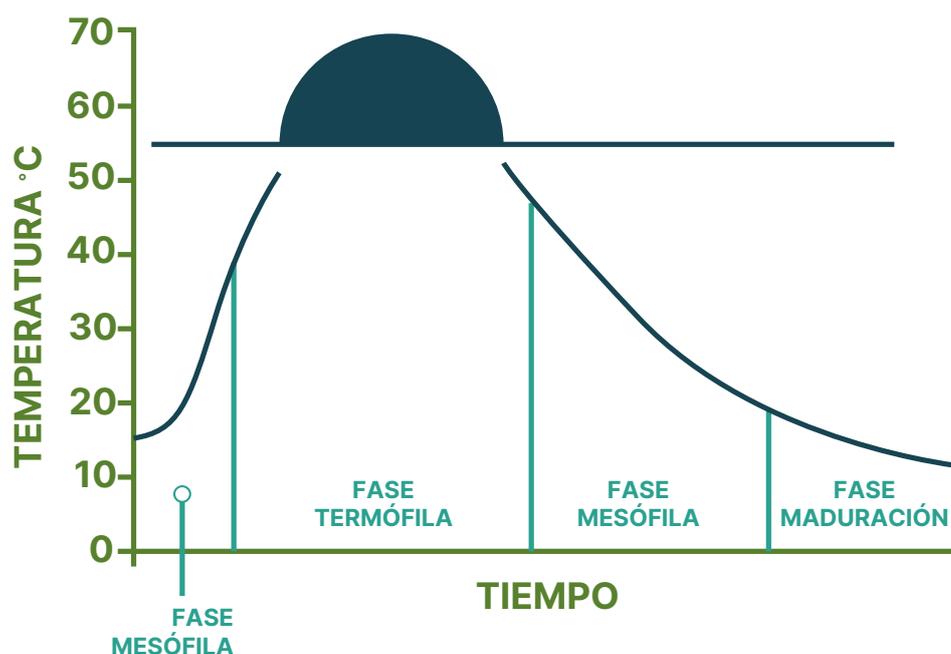


Figura 1. Etapa termófila de higienización. Adaptado de Lavado (2012).

a. Sistemas de compostaje

Los sistemas o métodos de compostaje (Fig. 2) se pueden clasificar según el aislamiento del material en abiertos y cerrados y dependiendo del modo de aireación en pasivos o forzados.



Figura 2. Sistemas o métodos de compostaje. Adaptado de Lavado (2012).

Las hileras o pilas según la Norma IRAM 29556-1 son montículos longitudinales que se conforman mezclando los residuos orgánicos a compostar en proporciones y condiciones tales que permitan el desarrollo adecuado del proceso. Estas pueden ser estáticas o con volteos, estar confinadas o al aire libre según la metodología y grado de mecanización de la planta.

Los sistemas abiertos en hileras o pilas con volteo mecanizado con poca inversión en equipamiento permiten tratar grandes volúmenes de RP. El volteo puede realizarse con una volteadora autopropulsada (Fig. 3a), una volteadora de arrastre de tiro lateral al tractor (Fig. 3b) accionada por la toma de fuerza del mismo y también con una minicargadora o cargador frontal (Fig. 3c).



Figura 3. Equipamiento para volteo. a. Volteadora autopropulsada del Centro Ambiental GIRSU Jujuy S.E; b. Volteadora de arrastre de tiro lateral al tractor de la planta de compostaje de la Municipalidad de San Miguel de Tucuman; c. Minicargadora de la planta de tratamiento de residuos verdes de la municipalidad de Córdoba.

Las hileras o pilas pueden tener sección triangular, trapezoidal, rectangular o semicircular cuyas dimensiones finales dependen del equipamiento para realizar el volteo (Fig. 4). En el caso de volteadoras, el ancho multiplicado por la altura real de trabajo de las mismas determina el área de la hilera (Fig. 4). Según la Norma IRAM 29556-1, 2012 las dimensiones apropiadas para conservar la temperatura en el centro de la hilera y evitar compactar materiales con estructura estable como los residuos verdes son de hasta 6 a 8 metros de base y 2,5 a 3,5 metros de altura.

El área de hilera o pila multiplicada por el largo de la misma, arroja el volumen en metros cúbicos de material que es posible acumular. El lugar donde se ubican las hileras se denomina cancha de compostaje. A la superficie ocupada por las hileras, se le debe sumar la ocupada por calles, pasillos, cabeceras y laterales. Las dimensiones de los mismos dependerá del equipamiento disponible y de la necesidad de espacio para circular.

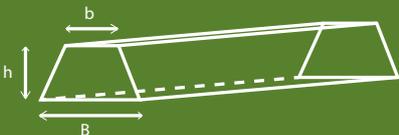
SECCIÓN	FORMA DE LAS HILERAS/PILAS	ÁREA DE HILERA/PILA (S)
TRAPEZOIDAL		$S = (B+b) / 2 \cdot H$
TRIANGULAR		$S = (B \cdot H) / 2$
RECTANGULAR		$S = (B \cdot H)$
SEMICIRCULAR		$S = X (B/2)^2 / 2$

Figura 4. Dimensiones del área de la hilera según forma de apilamiento del material. Fuente: Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje de la Agencia de Residuos de Cataluña, España.

b. Caracterización de las materias primas

Los materiales a ser tratados mediante compostaje deben ser previamente separados en origen y recolectados de manera diferenciada. Así lo establece el artículo del Anexo I de la Resolución Conjunta SCyMA-SENASA 01/2019, que explicita que no deben estar en contacto con ningún material o compuesto que se encuentre fuera de la lista positiva del mismo.

Los RV se encuentran dentro de la categoría 1. “Materiales exclusivamente vegetales, 1.1. Provenientes de parques, jardines u otras parquizaciones o zonas de recreo”.

La gran mayoría de los residuos de poda tienen relaciones carbono/nitrógeno (C/N) superiores al rango óptimo que se encuentra entre 25:1 a 35:1 y poseen baja degradabilidad debido a su elevado contenido de lignocelulosa. Lo mismo ocurre con el contenido de humedad, la cual es bastante inferior al rango adecuado que es entre 50 y 70 %. Estas características de los RP dificultan obtener un producto de alta calidad en corto tiempo.

Cuánto mayor sea la cantidad de restos frescos y verdes que tenga el material, como hojas, césped y restos de plantas herbáceas, más nitrógeno tendrá la mezcla inicial y la relación C/N será más cercana al óptimo.

Existen diferentes estrategias para favorecer la descomposición de los RP y la obtención de productos finales e intermedios en menor tiempo. La principal, previa a la conformación de pilas, es la obtención de tamaño adecuado del material a compostar reduciendo su tamaño mediante trituración o chipeado. Esto favorece la existencia de poros de diferentes dimensiones: microporos que retienen humedad, meso y macroporos que favorecen el movimiento del exceso de agua dentro de la pila y su aireación. Un buen equilibrio aire-agua durante el compostaje es fundamental para la obtención de un buen producto y para el desarrollo adecuado de las etapas, ya que se trata de un proceso biológico aeróbico.

La predominancia de un determinado rango del tamaño de partícula o fracción, en algunos casos, puede favorecer el proceso de compostaje, el cual depende de las características del material con el que se está trabajando, si está más o menos lignificado, su humectación interna y su forma, entre otros. Por ejemplo, no son lo mismo las partículas de viruta, que ofrecen una gran superficie para la acción microbiana y de absorción de humedad, que trocitos de ramas pequeñas, de forma alargada, con menor superficie específica, con mayor hidrofobicidad y tejidos más resistentes a la descomposición.

experiencias

Durante la caracterización de los RV de la localidad de Unquillo, los residuos chipeados fueron dispuestos en bolsones de 1 m³ ("big bags"). De cada bolsón se extrajo una muestra representativa y, por el método del cuarteo (Fig. 5), se obtuvieron dos muestras compuestas de 5 litros. Una muestra fue tamizada por zaranda de 10 mm y la fracción pasante fue enviada al laboratorio para la determinación de parámetros fisicoquímicos necesarios para caracterizar materias primas con destino a compostaje: materia orgánica (MO), nitrógeno total (NT), potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), humedad (H) y densidad aparente, según técnicas de la Resolución Conjunta SCyMA-SENASA, 01/2019 y Martínez *et al.* (2021).



Figura 5. Método de cuarteo: a. El material se separa en cuatro cuartos iguales y descartan dos opuestos; b. El material se vuelve a mezclar y se repite el paso de la figura; c. el material que va quedando se vuelve a mezclar hasta lograr la muestra buscada; d. muestra compuesta de 5 litros.

La relación C/N fue de 49:1, superior al valor óptimo. El porcentaje de humedad del material recién triturado fue de 30 %, luego de 30 días se redujo a 18 %. Esto indica la necesidad de incorporar riego y armar las pilas con material recién triturado o incluir un co-sustrato para compostar junto a los residuos de poda que posea elevado contenido de humedad y baja relación C/N como el césped recién cortado. Si no se pueden lograr estas condiciones, será necesario contar con espacio suficiente para mantener las hileras de poda triturada y compostando por más tiempo.



La otra muestra de 5 litros, fue tamizada con zarandas de 5, 10, 25 y 50 mm (Fig. 6) para conocer la composición granulométrica de la poda triturada con la chipeadora de discos. Se encontraron astillas largas mayores a 10 mm en una dimensión, pero muy angostas en otra muy posiblemente asociado a la falta de filo en las cuchillas de la chipeadora y a las características de la madera flexible de algunas especies vegetales. El 73 % de las partículas de poda chipeada eran menores a 10 mm en una de sus dimensiones.



Figura 6. Granulometría de la fracción media de la poda triturada y tamizada: a. Sin tamizar; b. 5 mm; c. 10 mm; d. 25 mm y e. 50 mm.



recomendaciones

Conocer las características fisicoquímicas de los residuos nos permite definir si las materias primas son apropiadas para compostarse solas o si es necesario mezclarlas con otras a las cuales se las llama co-sustrato.

El método de cuarteo es la forma de obtener una muestra representativa para analizar las materias primas. El resultado del análisis del laboratorio puede ser ordenado en fichas técnicas por cada materia prima (Anexo: Modelo de ficha técnica de materia prima). De esa manera podemos definir las mezclas óptimas para iniciar el proceso de compostaje en una planta de RV.

El tamaño de las partículas para compostar residuos orgánicos en general debe ser entre 0 y 50 mm, con una distribución más o menos uniforme en todos los rangos de tamaños: 0-10 mm; 10-20 mm; 20-30 mm; 30-40 mm y 40-50 mm.

En el caso de los residuos de poda urbana por la baja densidad y humedad, el tamaño de las partículas más adecuado para compostar es menor a 10 mm en ambas dimensiones.

c. Cálculo de mezclas óptimas para compostar

Para calcular las cantidades de dos o más materias primas integrantes de una mezcla óptima se requiere contar con los siguientes datos: peso, densidad, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono (C) y de nitrógeno (N) de cada residuo en cuestión. Con dicha información se procede a la realización del cálculo de la mezcla óptima, como se detalla a continuación.

Cálculo del contenido de humedad de la mezcla

$$\% H = (\text{kg material 1} * \% \text{ humedad material 1}) + (\text{kg material 2} * \% \text{ humedad material 2})$$

$$\text{kg material 1} + \text{kg material 2}$$

Cálculo de la relación C/N

$$C = ((\text{kg material 1} * \% C \text{ material 1}) * (100 - \% H \text{ material 1})) + (\text{kg material 2} * \% C \text{ material 2}) * (100 - \% H \text{ material 2}))$$

$$N = ((\text{kg material 1} * \% N \text{ material 1}) * (100 - \% H \text{ material 1})) + (\text{kg material 2} * \% N \text{ material 2}) * (100 - \% H \text{ material 2}))$$

Esta operatoria se suele hacer con una planilla de cálculo, introduciendo los valores mencionados. Modificando los valores de participación relativa (peso o volumen) de cada componente, se llega a las proporciones deseadas, buscando que la mezcla tenga un valor C/N lo más cercano posible al óptimo. Debido a que es mucho más fácil medir volúmenes que pesos en planta de compostaje, se utiliza el valor de densidad de cada material para calcular los volúmenes correspondientes por y realizar la mezcla:

$$\text{densidad} = \text{masa/volumen} \quad \text{-----> volumen (m}^3\text{)} = \text{m (kg)/ d (kg/m}^3\text{)}$$

Por ello en la planilla de cálculo también introducimos el valor de densidad de cada material, y nos da como resultado el volumen que debemos colocar para lograr la mezcla deseada. Para el caso de RV, el material 1 podría ser la poda triturada y el material 2 los residuos de jardinería. Conociendo el volumen de la herramienta a utilizar para realizar el traslado a la pila/hilera (minicargadora, pala frontal o caja de camión) se puede calcular la proporción de cada material, por ejemplo tres baldes de minicargadora de RP triturada + un balde de minicargadora de RJ (Fig. 7).



Figura 7. Minicargadora de la planta de tratamiento de restos verdes de la municipalidad de Córdoba.



El contenido de humedad modifica los porcentajes C y de N que cada material puede aportar. Ver anexo: planilla de cálculo de mezcla óptima y tamaño de pila/hilera.

d. Seguimiento del proceso de compostaje

El seguimiento del proceso es fundamental para lograr el mejor producto en el menor tiempo posible, en relación a la materia prima empleada. Periódicamente se deben monitorear dos variables: temperatura y humedad. La frecuencia de monitoreo es mayor durante la etapa termofílica (más de una vez por semana), en la que hay elevadas temperaturas y por lo tanto pérdida rápida de humedad por evaporación. También se debe asegurar una mínima porosidad para que haya siempre una adecuada cantidad de oxígeno, ya que se trata de un proceso aeróbico. En función de estas variables se toman decisiones sobre las siguientes dos operaciones: volteos y riego de las pilas o hileras.

En sistemas de compostaje abiertos en pilas dinámicas, con volteo, la Resolución Conjunta SCyMA-SENASA 01/2019 exige realizar al menos 5 volteos durante la etapa termofílica con un mínimo de 15 días acumulativos a temperaturas superiores a 55 °C para garantizar higienizar todo material. Cumplida la fase termofílica de higienización, la pila suele continuar con temperaturas superiores a los 45 °C varias semanas, incluso meses, hasta entrar en fase mesófila de maduración, por lo que se deberá seguir volteando una vez por semana para ajustar humedad y airear la pila. En sistemas abiertos con pilas estáticas se requieren de tres días consecutivos con temperaturas superiores a 55 °C y cobertura para asegurar temperatura en la superficie de la pila. En cambio en sistemas cerrados se exige 7 días con temperaturas superiores a los 60 °C.

En sistemas abiertos, la temperatura se mide con termómetro de sonda o aguja en distintos puntos de la pila, o cada 5 metros en una hilera, tratando de introducirlo hasta una profundidad cercana al centro. Esta variable permite determinar la fase del proceso en la que se encuentra. Hacer al menos 2 mediciones en una pila permite asegurarse que sea representativo, y no un valor aislado. Si los dos valores son muy diferentes se puede tomar un tercer punto (Fig. 8) y luego sacar un promedio de las tres mediciones.



Figura 8. Puntos de inserción del termómetro de varilla para monitoreo de temperatura.

Al igual que la temperatura, el seguimiento de la humedad en la pila es muy importante para la toma de decisiones de manejo. Si bien se puede contar con equipos para determinar humedad en campo, el método “del puño” es suficiente para decidir si es necesario regar las pilas. En cada uno de los puntos de medición de temperatura o muy cercano a estos, se toma un

puñado del material, se aprieta y observa (Fig. 9). Luego se establecen grados de humedad según criterios definidos previamente:

- **Grado 1.** El puñado no se aglomera y el color del material es claro. La mezcla tiene menos de 30 % de agua (está muy seca, con falta de humedad).
- **Grado 2.** El puñado no se aglomera y el color del material es oscuro. La mezcla tiene entre un 30 % y 40 % de agua (está seca, con poca humedad).
- **Grado 3.** El puñado mantiene la forma compacta (croqueta) y se humedece la mano sin gotear (Fig. 9). Debe quedar así: la mezcla tiene entre un 40 % y 60 % de agua (tiene un adecuado contenido de humedad).
- **Grado 4.** El puñado mantiene la forma compacta (croqueta) y se humedece la mano cayendo algunas gotas entre los dedos. La mezcla tiene entre un 60 % y 70 % de agua (está mojada y tiene un contenido adecuado de humedad).
- **Grado 5.** El puñado no mantiene la forma y el material tiene aspecto “barroso”, se escapa entre los dedos, chorrea agua y puede tener olor, significa que la mezcla tiene un contenido de agua mayor a 70 % (es una mezcla saturada, con exceso de humedad).



Figura 9. Método del puño para estimar porcentaje de humedad.



Se recomienda llevar un registro de temperatura y humedad por cada uno de los puntos de monitoreo de las pilas e hileras y promediarlos para tomar decisiones de manejo, principalmente volteo y riego (Anexo: Planilla de registro de control y manejo del proceso de compostaje). Contar con un registro confiable de temperatura, particularmente en la etapa termofílica, reduce la cantidad de análisis de patógenos que es necesario realizar, según Anexo IV- Tabla N° 1 Nivel de patógenos de la Resolución Conjunta 01/2019.

experiencias

Como parte de las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto ADEC N° 230, se diseñó y ejecutó de manera participativa un ensayo de compostaje. El objetivo fue conocer la calidad de los compost elaborados a partir de la poda de la localidad de Unquillo.

El ensayo se realizó en la planta de tratamiento de RSU de la municipalidad (Fig. 10) ubicada sobre la ruta provincial S-441, pavimentada, la cual conecta la ruta provincial E53.



Figura 10. Localización de la planta de tratamiento de RSU de la municipalidad de Unquillo. Fuente: Google. (sf). Recuperado el 3 de noviembre de 2024. <https://maps.app.goo.gl/WqAetLFCQjdvBz2k9>

experiencias

Para la realización del ensayo, se utilizó la fracción media de la poda chipeada durante la caracterización de los RV. Dicha fracción fue tamizada por zaranda de 10 mm, utilizando para el ensayo el material pasante.

Se armaron pilas de aproximadamente 2 m³ cada una (Fig. 11).



Figura 11. Pilas armadas para el ensayo de compostaje en la planta de tratamiento de RSU de Unquillo, Córdoba.

experiencias

Registro de temperatura:

A lo largo del proceso y durante los 180 días, se controló la temperatura y la humedad. Durante todo el ensayo de compostaje, la temperatura fue registrada entre tres y cuatro veces por semana (Fig. 12). Se tomaron tres mediciones por pila para sacar luego un promedio. En los mismos puntos o muy cerca de estos, se estimaba el grado de humedad mediante el método del puño. Al final del proceso se habían registrado 83 observaciones, con las correspondientes decisiones de manejo.



Figura 12. Registro de temperaturas a lo largo del ensayo.

De acuerdo al grado de humedad y de la temperatura registrada, se tomaban las decisiones respecto al riego (Fig. 13a) y al volteo de las pilas (Fig. 13b).



Figura 13. Monitoreo de las pilas de compost durante el ensayo de compostaje en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos de Unquillo, Córdoba: a. Riego y b. Volteo.

experiencias

Desde el inicio del ensayo se observó la dificultad del material para llegar a la humectación adecuada (grado 3-4), atribuida al escurrimiento entre partículas y a la excesiva evaporación. Para disminuir la evaporación se decidió reducir los volteos al mínimo, por lo que fueron menos frecuentes que los riegos, realizados estos cada cinco días, en promedio. De las tres pilas de compost de poda triturada (P1, P2 y P3), sólo la P3 logró superar ampliamente la cantidad de días adecuados de higienización del material (Fig. 14), posiblemente debido a que se armó con material que había recibido agua de lluvia y esa humedad se mantuvo a lo largo del ensayo. También se observó que el uso de cobertura plástica ayudaba al mantenimiento de la humedad entre riegos.

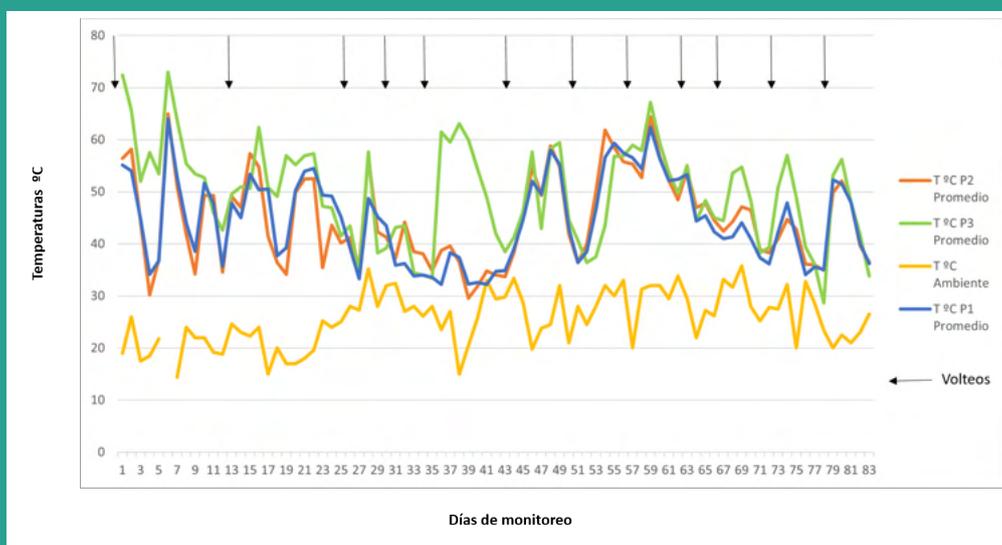


Figura 14. Variación de temperatura para las tres pilas (P1, P2 y P3).

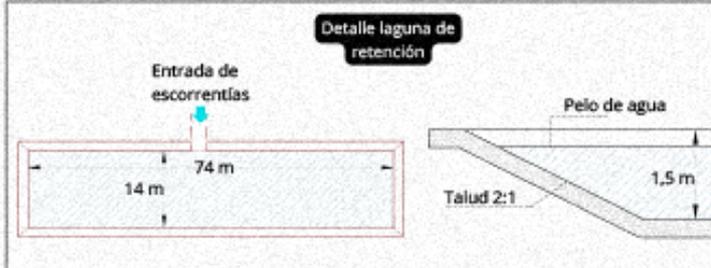
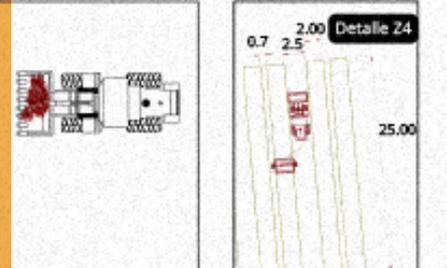
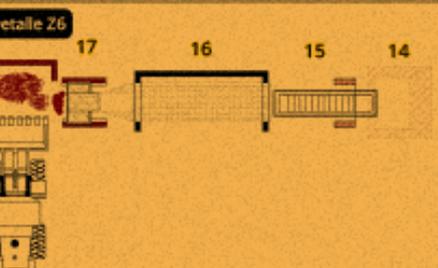


Compartimiento de descarga - Camiones.
 Compartimiento de descarga - Epec - Particulares.
 Compartimiento de descarga del pulmón de alivio.
 Volquete para impropios.

8 Acondicionamiento y trozado de la fracción gruesa.
 9 Acopio de leña.
 10 Trituradora a mandíbulas.
 11 Acopio transitorio de materias primas.

12 Administración - oficina.
 13 Laboratorio.
 14 Tolva.
 15 Cinta transportadora - elevadora.
 16 Criba - Trommel.

17 Molino a martillos.
 18 Acopio de producto terminado.
 19 Toma de agua principal.
 20 Tanque de reserva de agua.
 21 Envasado, acopio y salida de producto terminado.



3

DISEÑO DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE DE PODA URBANA

DISEÑO DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE DE PODA URBANA

A continuación se presentan los requisitos y condicionantes a tener en cuenta para el diseño de una planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP. El diseño de la planta de la localidad de Unquillo se presenta a modo de ejemplo. Muchas de las consideraciones fueron adoptadas de la Resolución 102/2023 del Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos

Aires “Reglamento Técnico de las condiciones de localización, acondicionamiento, operatoria, seguimiento y control bajo las cuales se regirá la metodología de tratamiento biológico por compostaje de los residuos orgánicos” y de la “Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje de la Agencia de Residuos de Cataluña”, España.

a. Localización y acondicionamiento del predio

Accesos: los predios en donde se decida instalar una planta de compostaje de residuos verdes deberán tener accesos con caminos transitables para camiones con una capacidad de gran porte y bajo cualquier condición climática, durante todo el año. Esto es a los fines de permitir el ingreso de los residuos y el egreso de los productos. Es importante que se tenga en cuenta la posible existencia de población sobre los caminos de acceso a la planta ya que la circulación será permanente y podría generar molestias en los vecinos adyacentes a la planta.

Perímetro: el predio debe estar delimitado con un cerco perimetral a los efectos de evitar el ingreso de personas no autorizadas y la

entrada de animales. En el perímetro del predio se deberán realizar las tareas de control de roedores. Se deberá colocar una barrera o cortina forestal colindante al cerco perimetral entre 3 a 5 metros hacia el interior del predio, para frenar los vientos que puedan llevar olores, ruidos y material particulado principalmente en el caso de las plantas de compostaje de RP hacia las zonas pobladas. La ubicación de las hileras deberá ser paralela a la pendiente natural del terreno y en lo posible que coincida con la dirección predominante de los vientos en ese lugar. Entre la cortina forestal y el cerco perimetral deberá existir una calle de seguridad que cumpla la función de cortafuegos, y que permita el paso de vehículos para actuar ante alguna contingencia.

experiencias

El diseño de la planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP de la municipalidad de Unquillo cuenta en parte con un alambrado perimetral de alambre romboidal de 2 metros de altura y en uno de sus laterales y fondo, alambre de 7 hilos.

El predio posee una superficie de 80 000 m² (Fig. 1) y el espacio seleccionado para el diseño de la planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP tiene una superficie de 25 000 m².



Figura 1. Superficie destinada a planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP. Fuente: Google. (sf). Recuperado el 3 de noviembre de 2024. <https://maps.app.goo.gl/WqAEtLFCQjdvBz2k9>

La distancia desde el sector de compostaje activo a la vivienda más cercana es de 170 m, y al curso de agua más cercano es de 150 m. El nivel estático del acuífero freático se encuentra a más de 4 m de profundidad (Fig. 2).

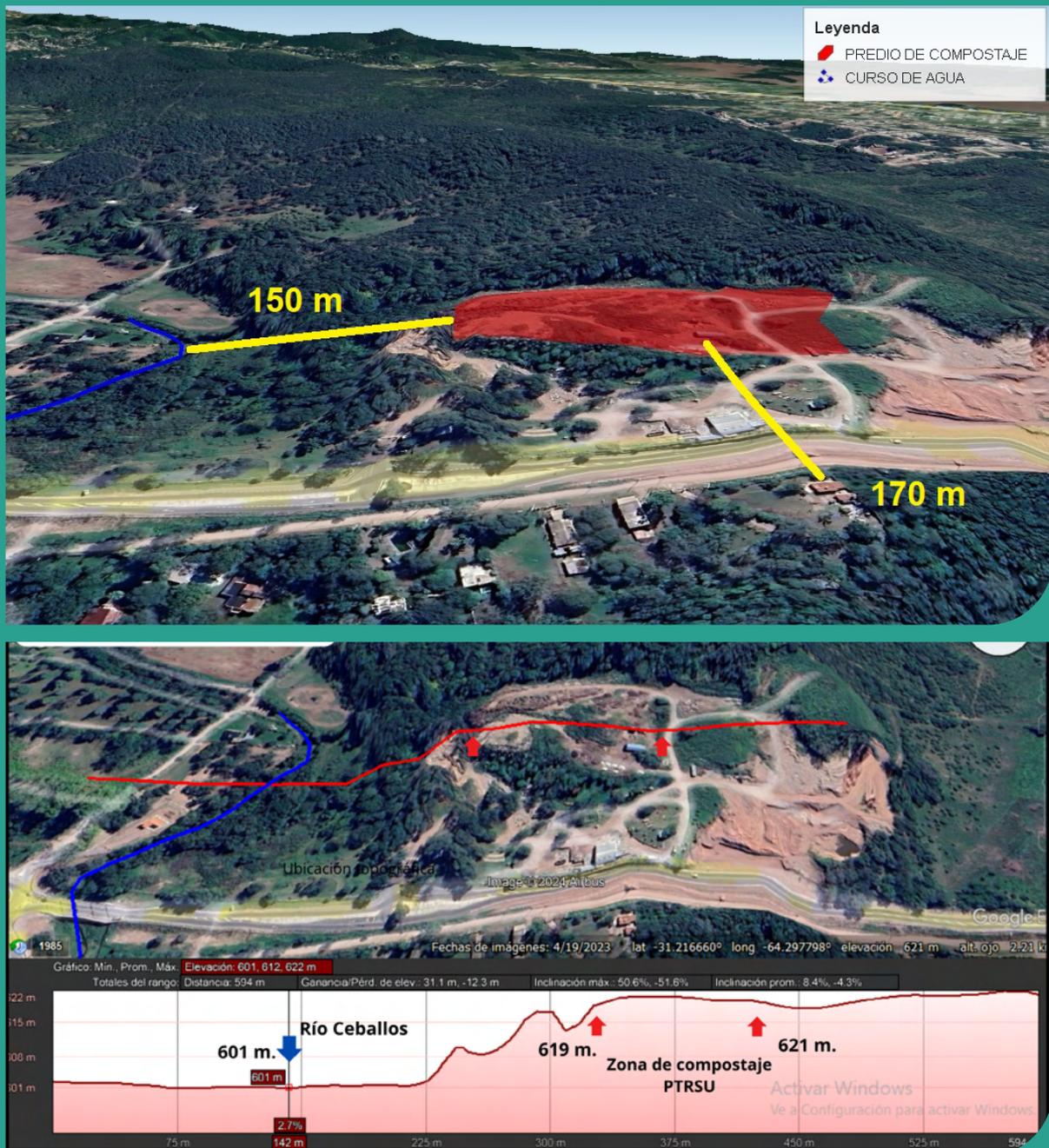


Figura 2. El nivel estático del acuífero freático. Google. (sf). Recuperado el 3 de noviembre de 2024. <https://maps.app.goo.gl/WqAEtLFCQjdvBz2k9>

Distancia a cursos de agua: de acuerdo con la Resolución 102/2023, las plantas que procesen hasta 15 t de RV/día (150 m³ o 15 camiones de 6 m³) y exclusivamente RV no existen restricciones para el emplazamiento, pero para una capacidad superior, incluídos otros residuos orgánicos, se deberá guardar una distancia de al menos 150 metros hasta cualquier vivienda permanente (distancias referidas desde el sector de compostaje activo), al menos 50 metros del curso o cuerpo de agua más cercano y al menos 150 metros de cualquier pozo de toma de agua ya sea público o privado.

No debe ubicarse dentro del perímetro en donde la operación de la planta pueda comprometer la utilización presente de captaciones y acuíferos con fines de extracción de agua para consumo humano. El nivel estático del acuífero freático-deberá estar ubicado a una profundidad mínima de 1,5 m sobre el nivel del mismo (máxima estacional), respecto al nivel natural del terreno.

Captación de lixiviados: se deberá diseñar un sistema de captación, conducción y eventual bombeo de los lixiviados hacia un reservorio (laguna, estanque, cisterna o similar). Dicho sistema deberá estar dimensionado de acuerdo al volumen y tipo de residuos orgánicos a ser tratados. En el caso de los RV en general y los RP en particular, la cantidad de líquidos provenientes de los mismos es prácticamente nula correspondiendo los lixiviados a la lluvia caída sobre la superficie de tratamiento denominada "agua de escorrentía sucia" y podría conducirse hasta un reservorio o laguna de retención. En todos los casos no es necesario pavimentar el terreno, siempre y cuando sólo se composten RP sin soluciones nitrogenadas para acelerar el

proceso o con la incorporación de hasta un 30% de césped. Siendo suficiente contar con una superficie de tierra compactada con pendiente adecuada hacia la laguna de retención.

Una laguna de retención es una estructura diseñada para contener el volumen total de agua que podría precipitarse sobre la superficie de compostaje durante un evento climático extremo. Dado que el agua podría contener contaminantes como sedimentos y sustancias provenientes del material en descomposición, la retención de este caudal máximo evita que dichos contaminantes puedan llegar a ríos, lagos u otros cuerpos de agua.

Por lo tanto el sistema de captación de estas aguas de escorrentía sucia estaría dimensionado de acuerdo a la superficie de los sectores y a la precipitación máxima diaria (24 horas) por un período de retorno de 30 años. Para la obtención de la misma se debe recurrir a una tormenta o lluvia de diseño, modelo que permite estimar la magnitud y la frecuencia de las lluvias máximas para rangos de 5 a 1440 minutos de duración y 2 a 100 años de recurrencia.

Drenajes y control de inundaciones: deberá existir un sistema de drenaje para contener los escurrimientos provenientes del exterior en su parte alta y contar con una pendiente mínima del 0,5 % y máxima del 3 %, para que los escurrimientos del agua pluvial no produzcan encharcamientos ni erosión por escorrentía superficial. Deberán mantenerse los drenajes superficiales para la escorrentía en la periferia de la planta de compostaje para evitar que las aguas pluviales de los terrenos adyacentes entren en contacto con los materiales de la planta y agua de escorrentía sucia.

experiencias

Para el cálculo de la precipitación máxima en la localidad de Unquillo, se utilizaron las relaciones i-d-T (curvas intensidad-duración-periodo de retorno) de la estación Pan de Azúcar (ID 4532) y se adoptó la distribución de lluvias de la estación La Suela (ID 4919).

La lluvia máxima en 24 horas por un periodo de retorno de 30 años fue de 134,2 mm.

Se diseñó una laguna de retención que contenga las aguas de escorrentía del sector de compostaje activo y el resto de las aguas pluviales que escurren por la pendiente natural del terreno.

El agua recolectada en la laguna de retención puede ser utilizada para riego de las hileras y de la barrera forestal o como fuente de agua para control de incendios.

El dimensionamiento de la laguna de retención se realizó utilizando la siguiente fórmula²:

$$\text{Volumen } m^3 = \frac{S \text{ m}^2 \times \text{Lluvia máxima 24h } l/m^2 \times F_s}{1000 \text{ l/m}^3}$$

Donde:

S = la superficie de la instalación, en este caso, el sector de compostaje: 11 330 m².

Máxima precipitación = precipitación máxima diaria en los últimos 30 años: 134,2 l/m² o mm de lluvia.

Fs = factor de seguridad. Este factor se aplica para aumentar la capacidad de la laguna de retención y se relaciona con la pluviometría anual media del siguiente modo:

Fs = 1,25, si la pluviometría anual media es inferior a los 600 mm.

Fs = 1,5, si la pluviometría anual media es superior a los 600 mm.

En este caso la pluviometría anual supera los 600 mm, por lo tanto se toma un valor de 1,5. Se obtiene un volumen de 2 281 m³. De este volumen, se asume que un 10% se infiltra en el terreno, por lo que el volumen a contener en la laguna es de 2 052 m³. Tomando una profundidad del reservorio de 1,50 m, taludes 2:1, y la geometría del terreno, resulta una laguna de 80 m de largo y 20 m de ancho.

² Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje (2016). Agencia de Residuos de Cataluña (extraído de la Guía de suport per al disseny i l'explotació de plantes de compostatge).

experiencias

La zona de compostaje termofílico o activo (Z4) se encuentra en una zona elevada respecto al resto de las áreas, por lo tanto, no existen ingresos de aguas pluviales provenientes de otros sectores. La pendiente natural del terreno destinado al emplazamiento del sector de compostaje activo de la planta de compostaje de Unquillo es superior al 5 %, por lo que se deberán realizar movimientos de suelo para lograr una pendiente máxima del 3 % en sentido norte-sur. De esta manera, los escurrimientos superficiales de la zona de compostaje activo pueden ser captados por el sistema de canalización (Fig. 3) y conducidos a la laguna de retención ubicada al sur de la misma.

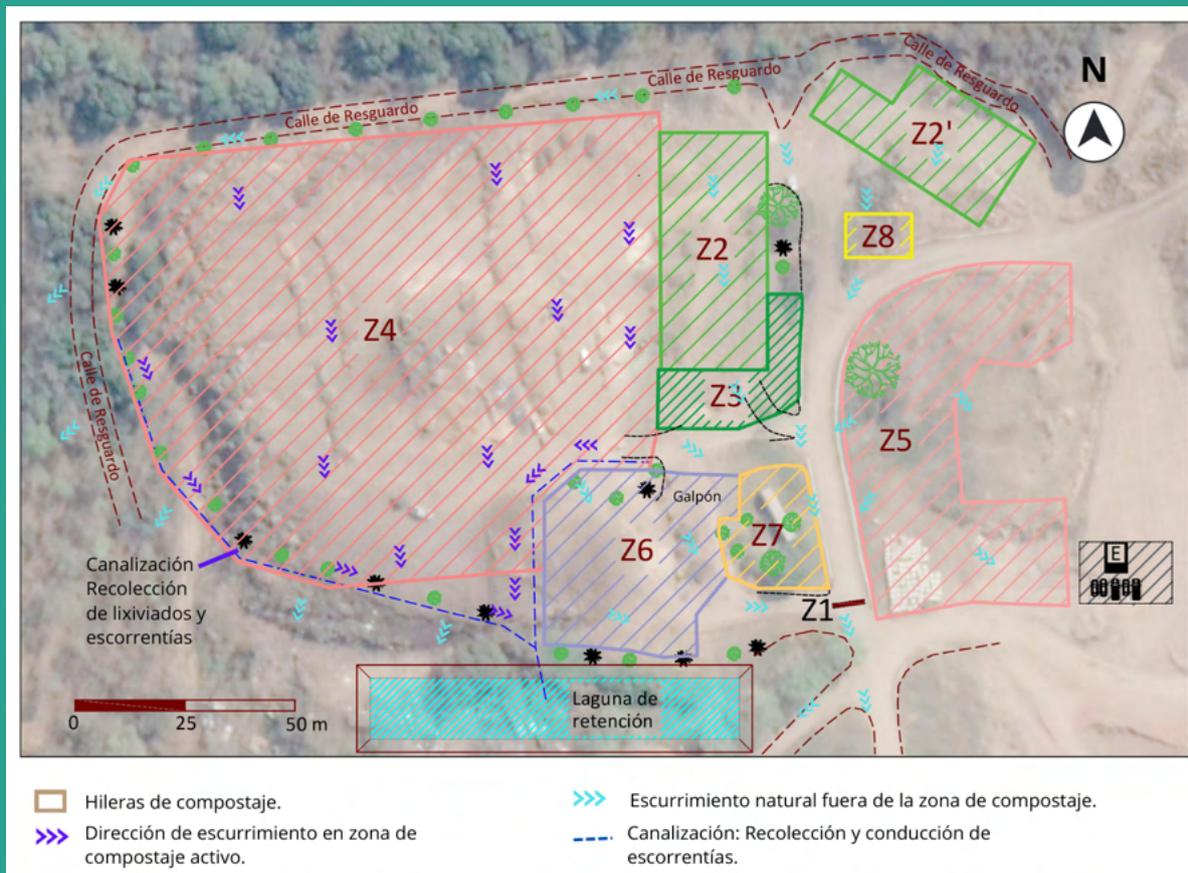


Figura 3. Sistema de canalización de agua de escorrentía sucia. Diseño: Violeta Silbert y Ariel Herrera. Dibujo: Ariel Herrera.

b. Capacidad de planta y productos

La capacidad de cualquier planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP debería calcularse para recibir el 100 % de la fracción media de la poda ya sea en forma de material triturado o ramas, como así también la fracción gruesa de la poda, la cual se debe desarmar y trozar para su aprovechamiento como leña social.

Respecto a los residuos de jardinería (RJ), también se propone dimensionar la planta para recibir y tratar el 100 % de los mismos, aunque se recomienda ir trabajando en paralelo con acciones que fomenten el reciclado en origen. De esta manera es posible ir disminuyendo progresivamente la recolección de césped y hojas secas de los domicilios y espacios verdes municipales.

La meta municipal debería ser recolectar, recibir y tratar mediante compostaje la fracción media de la poda chipeada y destinar la fracción gruesa a leña social. El espacio destinado inicialmente al tratamiento de RJ, a futuro se puede utilizar para la producción de enmiendas y sustratos a partir del chip de poda urbana. Con algunas mejoras en la zona de recepción de residuos de poda y compostaje activo se pueden incorporar otros residuos de origen vegetal o animal como co-sustratos de la poda chipeada.

Los productos y subproductos según procesos productivos y destinos posibles se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Productos y subproductos.

FRACCIONES	PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS	POSIBLES DESTINOS
PODA FRACCIÓN MEDIA Y COMPLEJA	Poda triturada/chipeada	Compostaje solo o co-sustrato para compostar con RJ. RP sin hojas (chip marrón) productivos (bcs, mulch, biofiltro, cama animal, sustrato para hongos comestibles, etc.)
	Compost clase a y b	Enmienda para agricultura, ganadería, forestación y áreas verdes. Sustrato para viveros y uso en contenedores.
PODA FRACCIÓN GRUESA	Leña	Aprovechamiento directo para leña social e industrial.
JARDINERÍA FRACCIÓN FINA	Compost clase a y b	Enmienda para agricultura, ganadería, forestación y áreas verdes. Sustrato para viveros y uso en contenedores.

experiencias

Según el estudio de caracterización de RV realizado en julio de 2021, en Unquillo se generaban de lunes a viernes 200 m³ de RV/día, equivalentes a 20 camiones/día con caja volcadora de 6 m³ capaces de trasladar hasta 10 m³ que en promedio pesaban una tonelada. En la tabla 2 se muestra la generación anual de los residuos verdes discriminados por fracción. El 80 % de la generación de la localidad de Unquillo es proveniente de domicilios.

Tabla 2. Generación anual (en volumen) por fracciones de los RV de la ciudad de Unquillo.

FRACCIONES	TODO EL AÑO (52 SEMANAS)	
	m ³	%
PODA FRACCIÓN MEDIA	30 680*	59
PODA FRACCIÓN GRUESA	210	0,4
PODA FRACCIÓN COMPLEJA	9 152*	17,6
JARDINERÍA FRACCIÓN FINA	11 596	22,3
IMPROPIOS FRACCIÓN RECHAZO	364	0,7
TOTAL	52 000 m³	100 %

*Se asume que luego del triturado/chipeado la fracción compleja y media de la poda se reduce nueve veces su volumen, quedando 4 426 m³ de chip para compostar junto a los RJ que luego del proceso de compostaje se reduce a la mitad.

La planta de compostaje de residuos de poda de la localidad fue dimensionada para tratar inicialmente 200 m³ de RV/día, con una proyección en el mediano a largo plazo de procesar solamente el 15 % de los RJ y la fracción compleja procesarla en la trituradora de rodillos. En la tabla 3 se muestran los productos a obtener según procesos productivos y destinos posibles.

Tabla 3. Productos de la planta de compostaje de RV de la localidad de Unquillo (m³/año)

FRACCIONES	PRODUCTOS	m ³ /año
PODA FRACCIÓN MEDIA Y COMPLEJA	COMPOST CLASE A Y B	2 210*
PODA FRACCIÓN GRUESA	LEÑA SOCIAL	210
JARDINERÍA FRACCIÓN FINA	COMPOST CLASE A Y B	5 800*

*Se asume una reducción mínima del 50 % durante el proceso de compostaje.

c. Sectores y procesos productivos

Para dimensionar la planta según la capacidad máxima de procesamiento, se definen las superficies necesarias para cada uno de los sectores y sus procesos productivos asociados (Fig. 4).

Toda planta de tratamiento de RV y compostaje de RP se organiza en torno a tres sectores productivos:

- 1- Sector de recepción y acondicionamiento de materia prima.
- 2- Sector de compostaje.
- 3- Sector de acondicionamiento y acopio de producto terminado.

Además de los sectores productivos son necesarios dos sectores de apoyo a la producción:

- 1- Sector administrativo y auxiliares (laboratorio, depósito).
- 2- Sector de almacenamiento de agua de escorrentía sucia, acopio de agua para riego y control de incendios.

En el sector administrativo se llevará el registro de los procedimientos de la planta y el control de los ingresos de los camiones. En este sector deberán estar en concordancia con el número de trabajadores de acuerdo con los principios de seguridad e higiene para prevenir riesgos de trabajo.

En el sector auxiliar se contará con un depósito para guardado de herramientas de mantenimiento, limpieza, desinfección y reparación de maquinaria, equipos, vehículos y otros. Por separado se guardará la nafta o gas oil y aceite para las chipeadoras y minicargadoras.

Este sector debe contar con un sistema de captación, conducción, equipamiento e infraestructura necesarios y suficientes para asegurar que los residuos líquidos aquí generados no sean integrados al proceso de compostaje debido a que pueden contener grasas, aceites, combustibles u otros materiales indeseables para el proceso. Con base en esta lógica, los residuos especiales que se generen deberán ser manejados conforme al marco normativo vigente.

Un laboratorio para análisis rápidos es muy importante para el monitoreo del proceso de compostaje y la calidad del producto terminado.

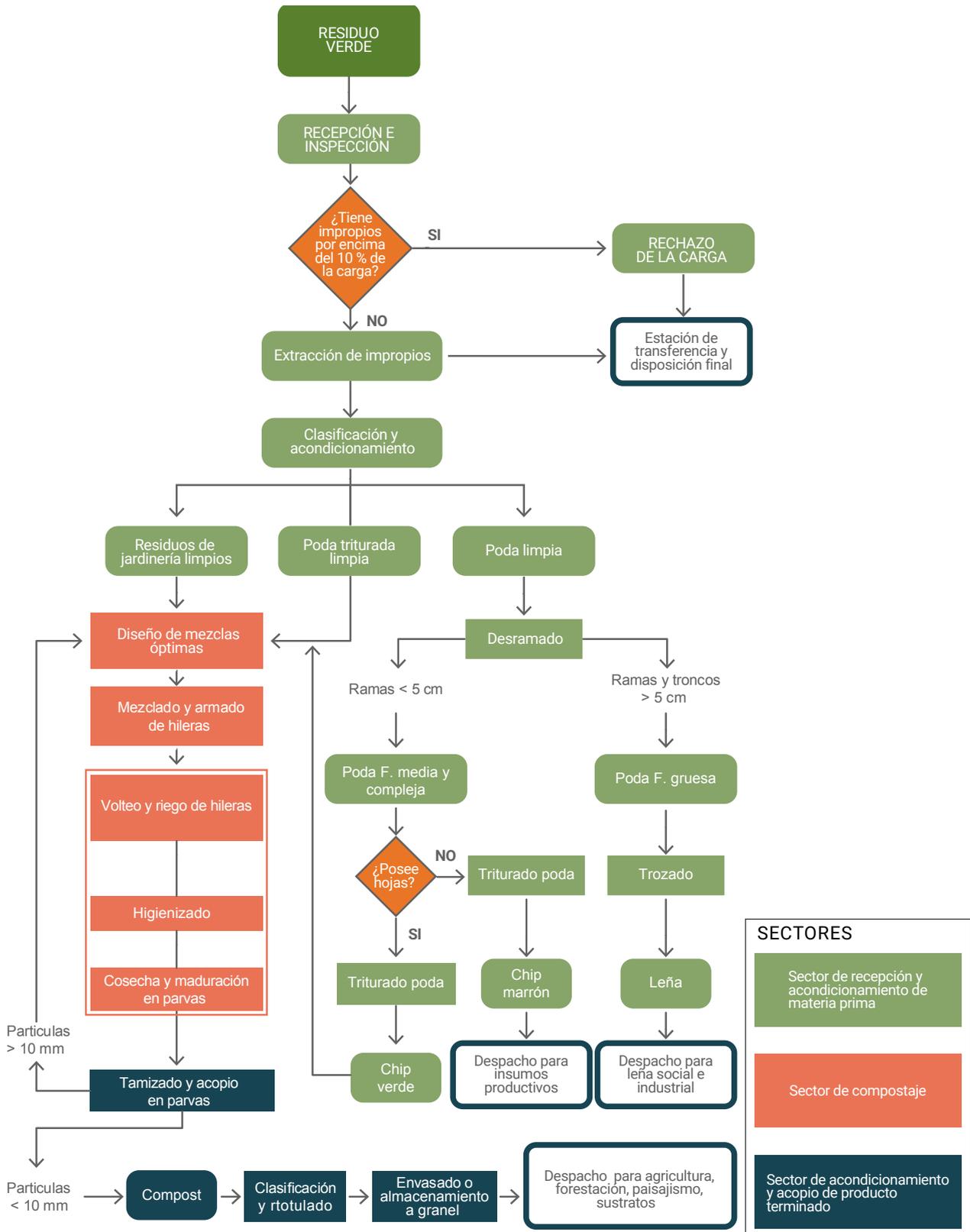


Figura 4. Flujograma general de la planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP.

experiencias

La planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP de Unquillo fue diseñada con cinco sectores y ocho zonas (Fig. 5). La disposición de cada zona se ha proyectado considerando una serie de condicionantes: la cantidad de material a procesar, las características morfológicas del sitio, la infraestructura, las calles y las maquinarias existentes, los espacios disponibles y los vientos predominantes.

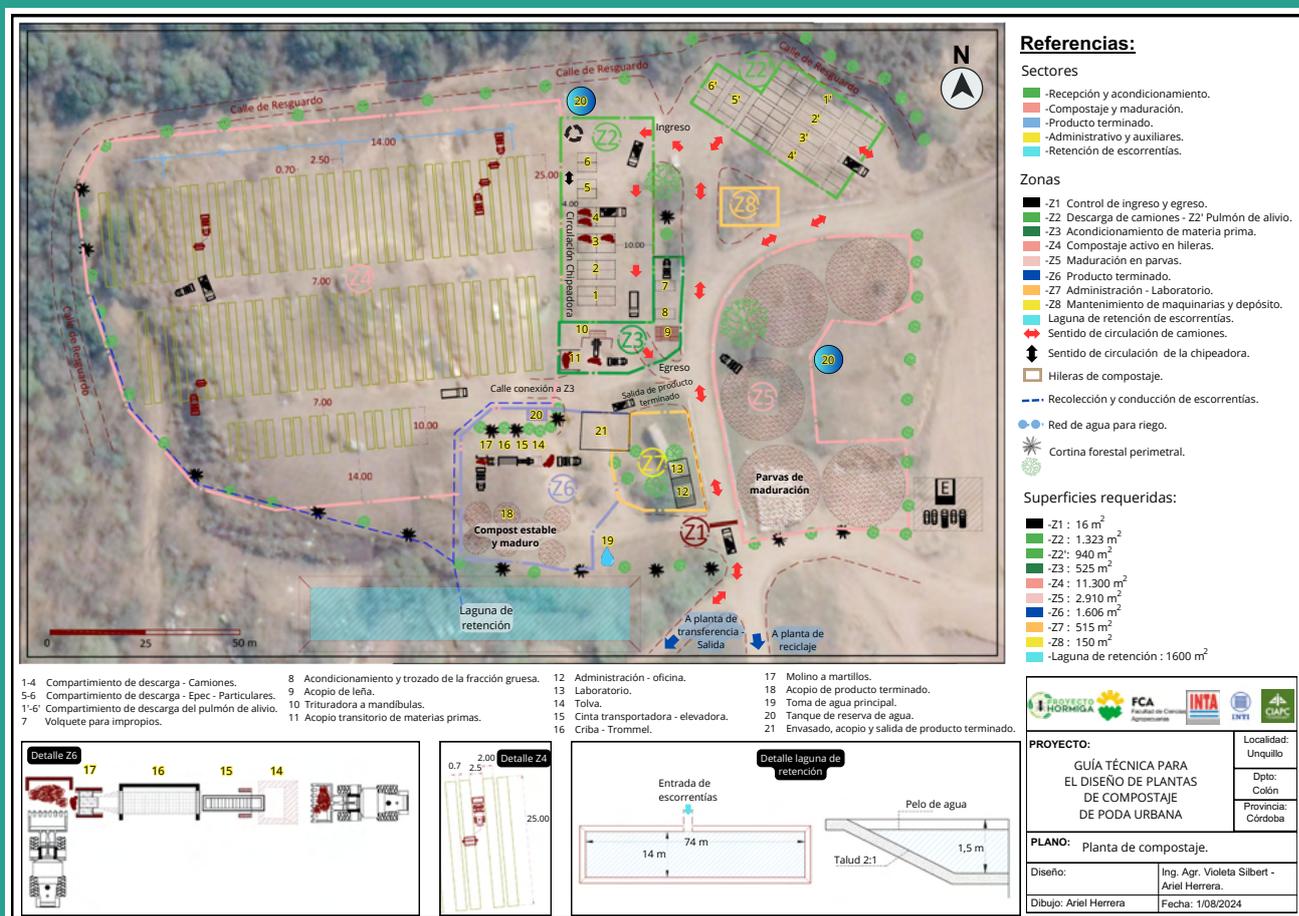


Figura 5. Sectores y zonas de la planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP diseñada para Unquillo, Córdoba. Fuente por: Diseño: Violeta Silbert y Ariel Herrera. Dibujo: Ariel Herrera.

! Para ver imagen ampliada ir a capítulo 8. Anexos.

d. Descripción de los sectores productivos

1- Sector de recepción y acondicionamiento de materias primas

Toda planta de compostaje deberá contar una zona de recepción (Z1) para realizar las tareas de control de ingreso y egreso de materiales, personas, vehículos y equipos. En el caso de las plantas de tratamiento de RV y compostaje que se encuentren dentro del mismo predio que la transferencia de RSU, clasificación y envasado de materiales reciclables, puede existir un control común con una báscula para camiones y luego un control para cada una de las unidades productivas entre las cuales se encuentra esta. Independientemente donde se ubica Z1 se deberá controlar el ingreso de RV. Cada camión que ingrese se debe identificar con la patente o un código propio a la cual estará asociada la capacidad máxima de carga, la zona de recolección, las fracciones y cantidad de RV que ingresa ese día. Durante la recepción se realiza la inspección visual de la carga. En caso de observar presencia de impropios por encima del 10 %, se recomienda el rechazo de toda la carga y su envío a estación de transferencia y disposición final (Fig. 6). En una primera etapa de gestión integral de RV en una localidad, el trabajo con los generadores y operadores de residuos será fundamental para alcanzar esos porcentajes.

En una zona de descarga de camiones (Z2) deberá disponerse de espacio suficiente para los movimientos de los mismos y la acumulación temporal de los RV. En el caso de plantas de

compostaje que solamente procesen RV que son de lenta degradación no es necesario impermeabilizar el suelo donde se realiza la descarga, acopio temporal y acondicionamiento de los residuos ya que la generación de lixiviados es prácticamente nula.

Una tercera zona (Z3) se utiliza para el acondicionamiento y acopio transitorio de materias primas, productos y subproductos que debe estar adaptada para permitir las operaciones de extracción de impropios, desramado, clasificación por fracciones, trozado de la fracción gruesa de la poda y triturado de la fracción media (Fig. 6). Las ramas y troncos de diámetro superior a 5 cm pueden ser desarmadas y trozadas con machetes, motosierras, desramadoras y/o trozadoras para la obtención de leña social e industrial. Las ramas de diámetro menor son chipeadas o trituradas. Las ramas con hojas, una vez procesadas, su destino es la producción de compost (chip verde), ya sea solas como en conjunto con los RJ (co-compostaje). Cuanto antes se trituren las ramas con hojas y se trasladen a la zona de compostaje activo, más efectiva será la conservación de la humedad al inicio y durante todo el proceso de compostaje. Las ramas sin hojas (chip marrón) pueden ser utilizadas como subproducto para la producción de biocombustibles sólidos e insumos productivos como mulch, cama animal, biofiltro y/o sustrato para hongos comestibles, etc. (Fig. 6).

El factor de reducción de volumen de la poda triturada/chipeada es entre siete a nueve veces.

Una vez implementado el modelo de gestión integral de RV en la localidad, los grandes generadores podrán ingresar a la planta con RP triturados/chipeados fuera de la época de recolección de RP, los cuales deberían seguir el mismo circuito que el resto de las corrientes de RV.

La fracción media de la poda que ingrese triturada se puede tamizar con una zaranda de 10 mm para obtener un triturado grueso libre de hojas similar al chip marrón. El resto del triturado con hojas es similar a un chip verde y su mejor destino o es el compostaje solo o el compostaje con otra materia prima rica en nitrógeno y con mayor humedad como puede ser el césped cortado.

Tanto las operaciones de desramado, trozado y triturado se pueden realizar directamente sobre las canchas de compostaje para evitar tener que trasladar la poda triturada al sector de compostaje.

El flujo de material leñoso en esta zona debe administrarse bajo condiciones seguras, sin riesgo de incendio, tratándose de un material combustible. Por ello, deben mantenerse alejados de las instalaciones, equipos y otros materiales del sitio, con barreras naturales o artificiales. También se recomienda instalar sistema de riego contra incendios y alarma con nichos hidrantes y bocas de incendios de acuerdo a la dimensión del predio y acopio de material que se tiene en planta.

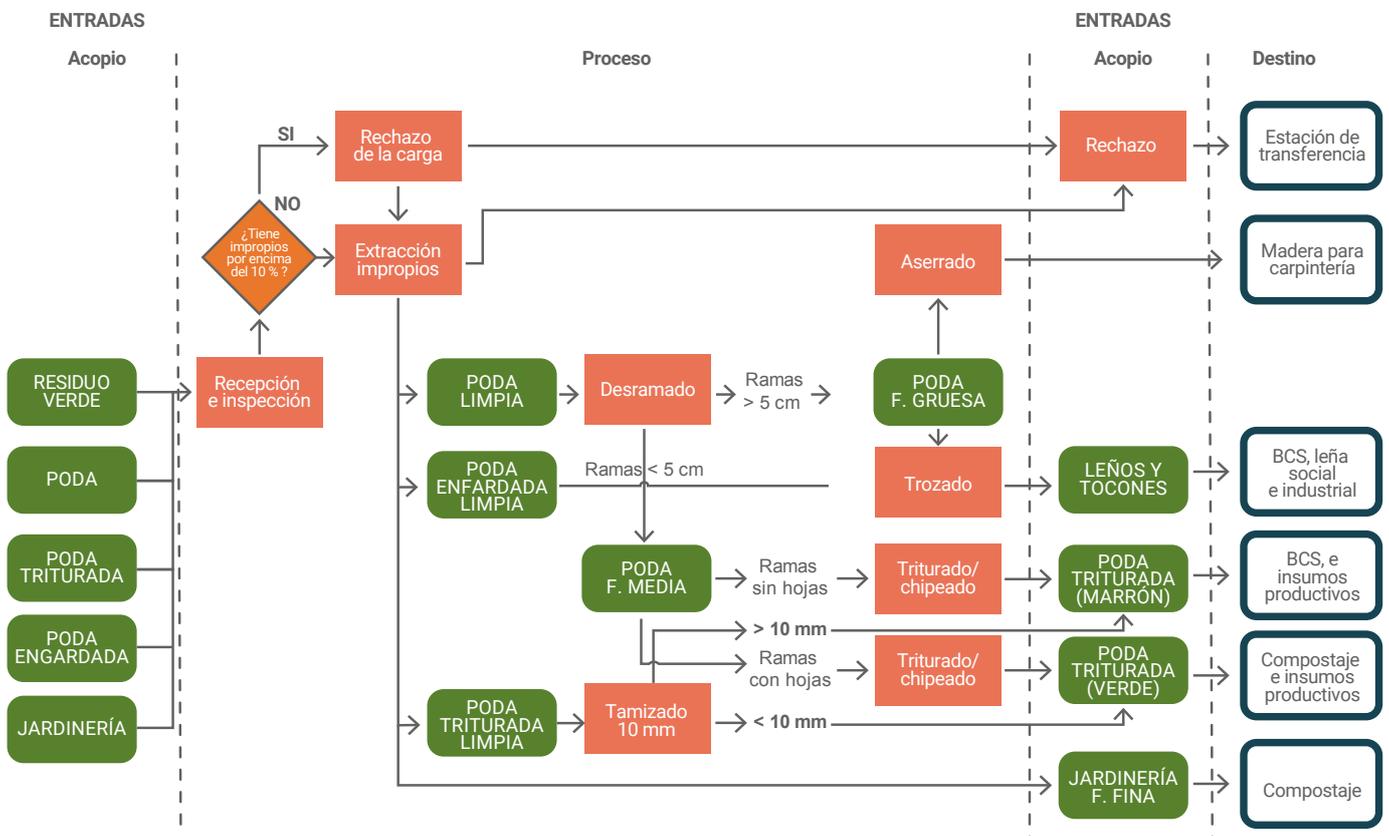


Figura 6. Flujograma del sector de recepción y acondicionamiento de materias primas.

experiencias

Los RV en la localidad de Unquillo provienen en su mayoría de domicilios (79 %), los cuales son recolectados puerta a puerta por camiones contratados por la municipalidad según cinco zonas de generación que recorren una vez por semana durante todo el año, (Fig. 7). También existen operadores informales (jardineros o pequeñas empresas) que se encargan del mantenimiento de jardines privados (de viviendas familiares o barrios cerrados) y que llevan los residuos directamente a la planta al igual que la empresa que provee el servicio de electricidad genera RP cuando realiza el mantenimiento del tendido eléctrico.

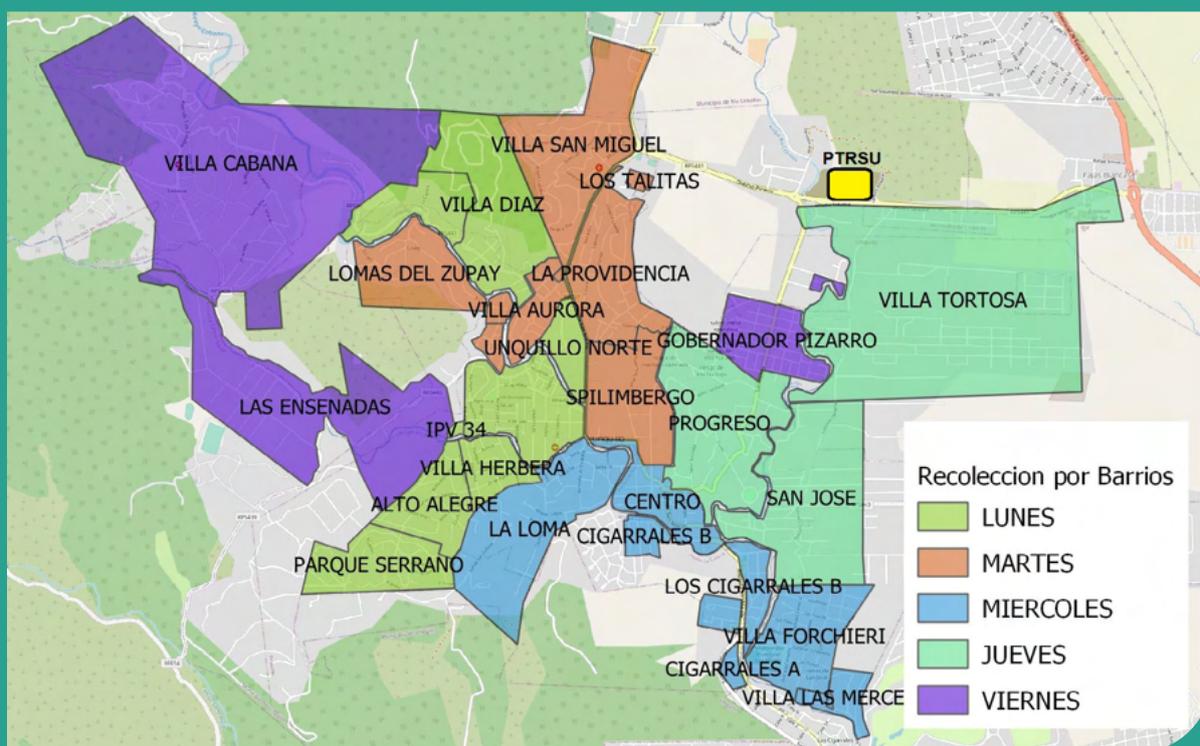
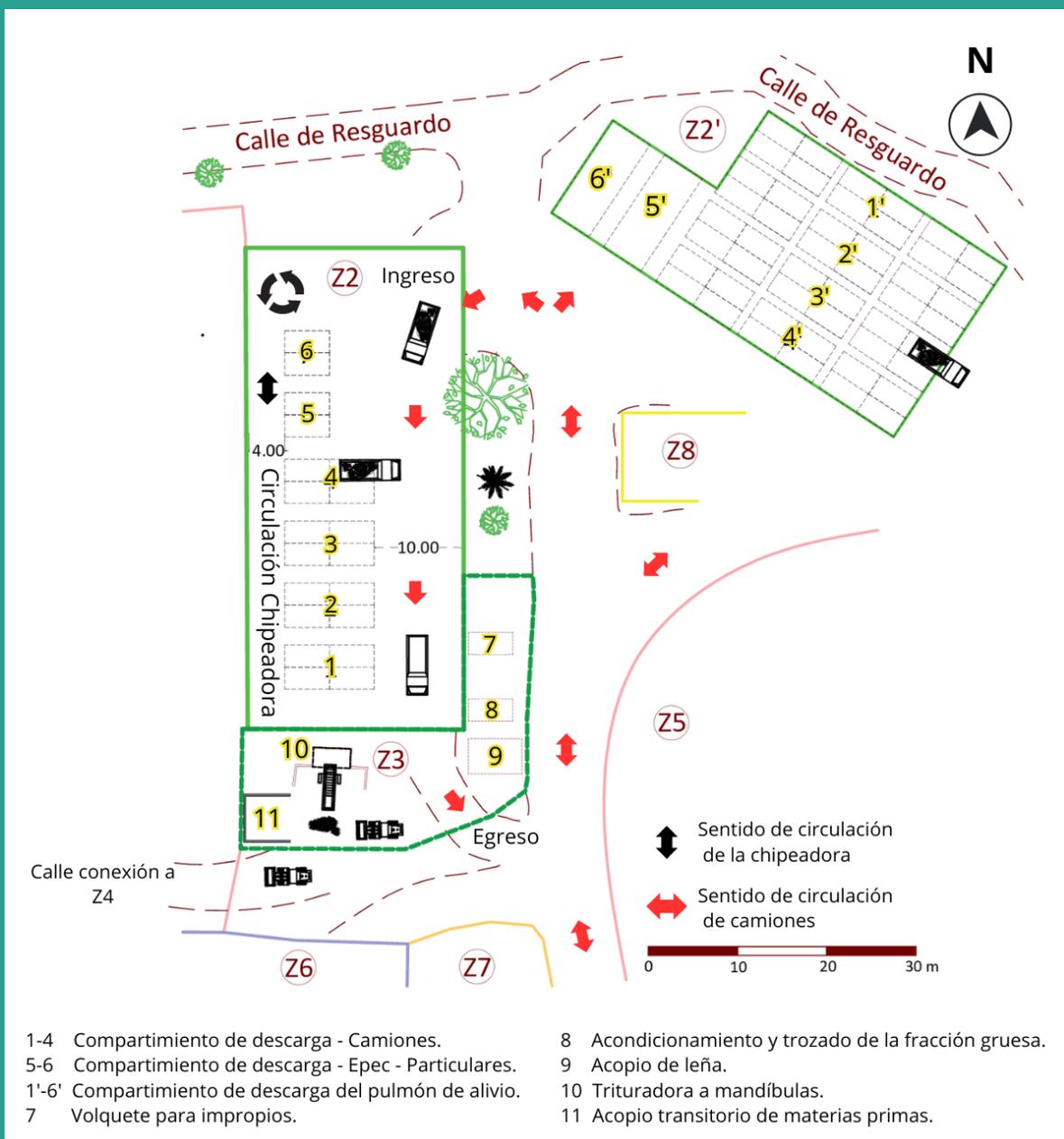


Figura 7: Zonas de recolección de RV domiciliarios, Municipalidad de Unquillo, Córdoba.

La zona de descarga de camiones (Z2) se diseñó sectorizando diferentes compartimentos: uno para particulares, otro para la empresa de energía eléctrica y cuatro para los camiones que realizan la recolección domiciliaria por zonas.



Los mismos están separados por un pasillo de 2 a 2,5 m y su finalidad es poder identificar el origen, controlar la trazabilidad del residuo, permitir la circulación de operarios y la manipulación de las ramas (Fig. 8).



experiencias

Cada compartimiento a su vez está dividido en dársenas de 2,5 metros por 5 metros (20 en total) capaces de almacenar cada una 10 m³ de residuos de poda. También hay un espacio de circulación y maniobra para los camiones hacia el este (calle de 10 m) y otro al oeste destinado al movimiento de la chipeadora móvil (calle de 4 m y cabecera de giro).

La chipeadora móvil se utiliza en situaciones en que la trituradora de rodillos no funcione o se haya acumulado poda por alguna razón. También podría utilizarse para realizar chipeado de poda in situ como se mostró el caso del programa “*Podes con tu poda*” de la municipalidad de Mendiolaza, Córdoba.

El pulmón de alivio (Z2') tiene una superficie de 940 m² con la capacidad para acopiar la poda entrante por 3 días.

El acondicionamiento de materias primas (Z3) contempla un espacio de 12,5 m² para ubicar un volquete donde disponer los materiales impropios, 12,5 m² para trozar la fracción gruesa y 24 m³ para acopiar la leña durante tres meses como máximo. En el sector en donde está ubicada la trituradora existe un total de 90 m² correspondientes a la trituradora, espacios de tránsito y manipulación por parte de los operarios, estructura de recepción, descarga y retiro del material triturado. Además hay 25 m² para acopio transitorio del material triturado y 57 m² para la calle de salida de camiones provenientes de Z2. A esto se le suman 304 m² para la circulación de maquinaria, espacios de seguridad, espacios compartidos, separación entre compartimentos y otros remanentes, dando un total de 2790 m² para el sector de recepción y acondicionamiento de materia prima (Tabla 4).



Tabla 4. Espacios requeridos para el sector de recepción y acondicionamiento de materia prima.

ZONAS	ESPACIOS	SUPERFICIE (m ²)
Z2	DÁRSENAS PARA DESCARGA DE CAMIONES	200
	DÁRSENAS PARA DESCARGA DE EPEC-PARTICULARES	50
	CALLE DE CIRCULACIÓN DE CAMIONES	544
	CALLE DE CIRCULACIÓN DE LA CHIPEADORA	162
	CABECERA DE GIRO DE LA CHIPEADORA	194
	ESPACIO INTER DÁRSENAS	82
	ESPACIO DE SEGURIDAD Y DE TRÁNSITO ENTRE TRITURADORA Y DÁRSENAS	45
	ESPACIOS DE MANIOBRA DE MAQUINARIA Y PERSONAL - ESPACIOS REMANENTES	48
Z2'	PULMÓN DE ALIVIO POR UNA PARADA EN LA PLANTA (3 DÍAS)	940
Z3	TRITURADORA, ESPACIO DE OPERACIÓN Y ESTRUCTURA DE MONTAJE Y DESCARGA	90
	CALLE DE CIRCULACIÓN DE CAMIONES	57
	ACOPIO DE MATERIAL IMPROPIO (VOLQUETE)	12,5
	ACONDICIONAMIENTO Y TROZADO DE LA FRACCIÓN GRUESA (LEÑA)	12,5
	ACOPIO DE LEÑA SOCIAL E INDUSTRIAL	24
	ACOPIO TRANSITORIO DE MATERIAL TRITURADO	25
	ESPACIOS DE MANIOBRA DE MAQUINARIA Y PERSONAL - ESPACIOS REMANENTES	304
TOTAL		2 790 m²

2. Sector de compostaje

En este sector se debe contemplar dos zonas, una de compostaje activo (**Z4**), desde el armado de las hileras hasta completar la etapa de higienización del material, y la otra de maduración en parvas (**Z5**).

La superficie requerida para la zona de compostaje activo (**Z4**) estará en función del sistema de compostaje seleccionado, el volumen de residuos por tratar diariamente, la duración del proceso de higienización, los espacios necesarios entre hileras y perímetro de la zona para la maniobra de equipos.

experiencias

La zona de compostaje activo (**Z4**) de la planta de Unquillo, fue diseñada para un sistema de compostaje abierto en hileras para ser mezcladas con volteadora de tiro lateral al tractor. La capacidad de tratamiento del sector de compostaje fue calculada para una volteadora de 2 m de ancho real de trabajo y una altura real de 1,5 m, dando un área de hilera de 1,5 m². Por las características del sitio, se conformó un grupo de 32 hileras de 25 m de largo, otro de 30 hileras también de 25 m de largo y un tercer grupo de 14 hileras de 10 m de largo para aprovechar el espacio restante. En total se cuenta con 76 hileras capaces de contener durante el proceso de compostaje activo 2550 m³ de material.

Para optimizar el espacio disponible, las hileras se agruparon de a dos, con un pasillo de 2,5 m entre pares para la circulación del tractor y dentro del grupo, un espacio de 0,7 m para el apoyo de una rueda de la volteadora (Fig. 9). Además existen calles de 7 m entre grupos de hileras para la circulación de camiones que vuelcan el material triturado directamente sobre las hileras. En las cabeceras de las hileras se dejó un espacio de 14 m para permitir el giro del tractor con la volteadora y 5 m a los costados.

Con la fracción media y compleja de la poda triturada más los RJ que ingresan diariamente (62 m³/día) en dos meses u ocho (8) semanas, trabajando de lunes a viernes se completan todas las canchas de compostaje.

Según las dimensiones de las canchas de compostaje, espacios de circulación y maniobra de la maquinaria, la superficie requerida para la zona de compostaje activo es de 11 330 m² (Tabla 5).

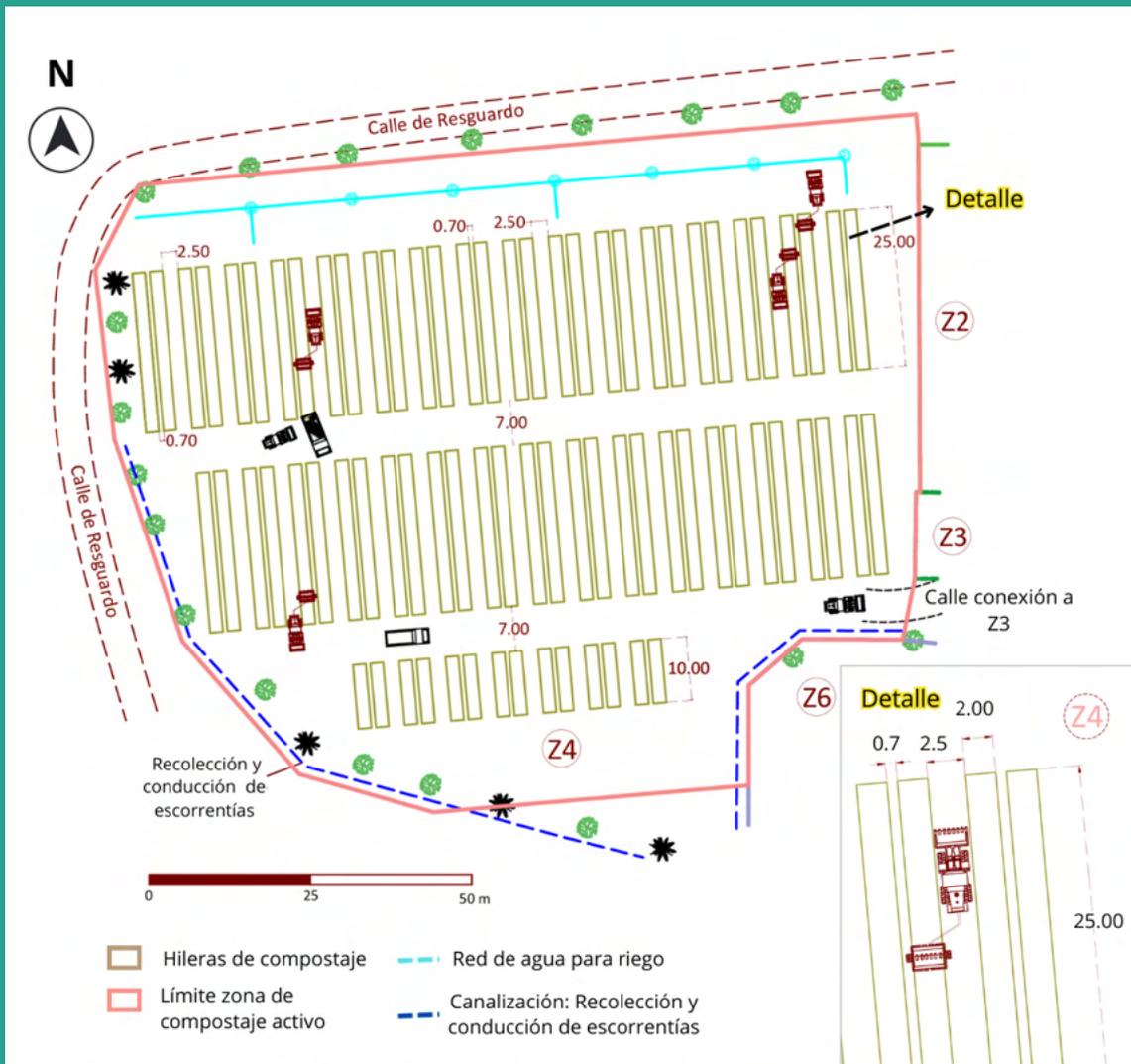


Figura 9. Zona de compostaje activo en hileras con volteo mecanizado. Fuente: Diseño: Violeta Silbert y Ariel Herrera. Dibujo: Ariel Herrera.

Tabla 5. Espacios requeridos para el sector de compostaje activo.

ESPACIOS	SUPERFICIE (m ²)
SUPERFICIE OCUPADA POR HILERAS.	3 380
SUPERFICIE OCUPADA POR CALLES DE 7 m.	1 077
SUPERFICIE OCUPADA POR PASILLOS DE 2,5 m Y 0,7 m.	2 564
SUPERFICIE OCUPADA CABECERAS Y LATERALES.	4 309
TOTAL	11 330 m²

Una vez finalizada la etapa de higienización, el material se comienza a trasladar desde la zona de compostaje activo a la zona de maduración en parvas (Z5), donde se conforman montículos cónicos de 11 m de radio y 2,5 m de altura, con una capacidad de 316 m³ cada uno equivalente a dos (2) semanas de producción. Allí, el material se mantiene durante 12 semanas más antes de ser trasladado finalmente al sector de acondicionamiento y acopio de producto terminado.

Cuando alguna de las hileras aún no haya alcanzado la etapa de higienización por algún inconveniente durante el proceso, puede ser cosechada bajo la denominación de material estabilizado, destinados a la biorremediación y/o revegetación de suelos. El material que haya cumplido la etapa de higienización será enviado a la zona de maduración en parvas (Z5) hasta complementar un tiempo mínimo total de 20 semanas entre la zona de compostaje activo en

hileras y la maduración. Finalmente las parvas se trasladan al sector de acondicionamiento y acopio del producto terminado (Z6), donde será tamizado, clasificado, rotulado, envasado y despachado. El tamizado también se podría realizar antes de la etapa de maduración para eliminar partículas muy gruesas y acelerar el proceso. Durante el armado de las hileras se debe realizar el primer riego para alcanzar una humedad promedio entre 50 % y 70 % al iniciar el proceso de

compostaje. Se debe mantener esa humedad con una frecuencia de riego mínima semanal, hasta completar la etapa termófila de higienización. Durante la etapa de maduración en parvas, el riego se puede espaciar hasta dos semanas dependiendo del clima del lugar y época del año. En la zona de compostaje activo (**Z4**), el riego se puede realizar con una volteadora provista de un carro regador anexo que bombea el agua con un sistema eléctrico que se conecta al tractor.

En este caso, el tanque debería tener una capacidad tal que permita tratar toda la zona de compostaje activo y con ello hacer más eficiente el consumo de combustible durante el volteo. En la etapa de maduración las parvas de compost se pueden regar con manguera.

La decisión de regar y voltear será tomada mediante un monitoreo diario de la temperatura y

humedad hasta finalizada la etapa termófila. Luego el control se puede espaciar. El compostaje no debería durar menos de 120 días en total para considerar que el material se encuentra estabilizado. La Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje de la Agencia de Residuos de Cataluña, si bien dice que el tiempo de ambas etapas no se puede precisar, fija un mínimo de seis meses para residuos de baja tasa de degradabilidad como los RV.

Además del tiempo transcurrido para decidir el momento de cosecha de las parvas y envío al sector de acondicionamiento del producto terminado, se deberían utilizar parámetros organolépticos y fisicoquímicos de fácil determinación en el laboratorio de la planta de compostaje. Estos son pH, conductividad eléctrica, índice de germinación, color, olor, densidad y semillas viables.

3. Sector de acondicionamiento y acopio de producto terminado

En este sector se realiza la clasificación del producto terminado (**Z6**), según parámetros de calidad y destino del producto (enmienda de suelo o sustrato para contenedores), rotulado, envasado y almacenamiento (Fig. 10).

El compost terminado se tamiza por una zaranda con cribas de 10 mm y el material pasante será utilizado como compost, previo análisis y clasificación según parámetros de calidad en compost Clase A y B. Los compost clasificados se pueden envasar o almacenar a granel hasta

su despacho. Cada hilera, luego del proceso de compostaje, tiene una tasa de reducción del volumen inicial estimado de 50 %. Una vez tamizado por una criba de 10 mm reduce su volumen un 10 % más.

El compost puede ser almacenado a granel al aire libre o bajo techo, ya envasado. El compost tamizado será clasificado y rotulado según parámetros de calidad en clase A y B (Tabla 3 del Anexo IV de la Res. Conj 01/2019).

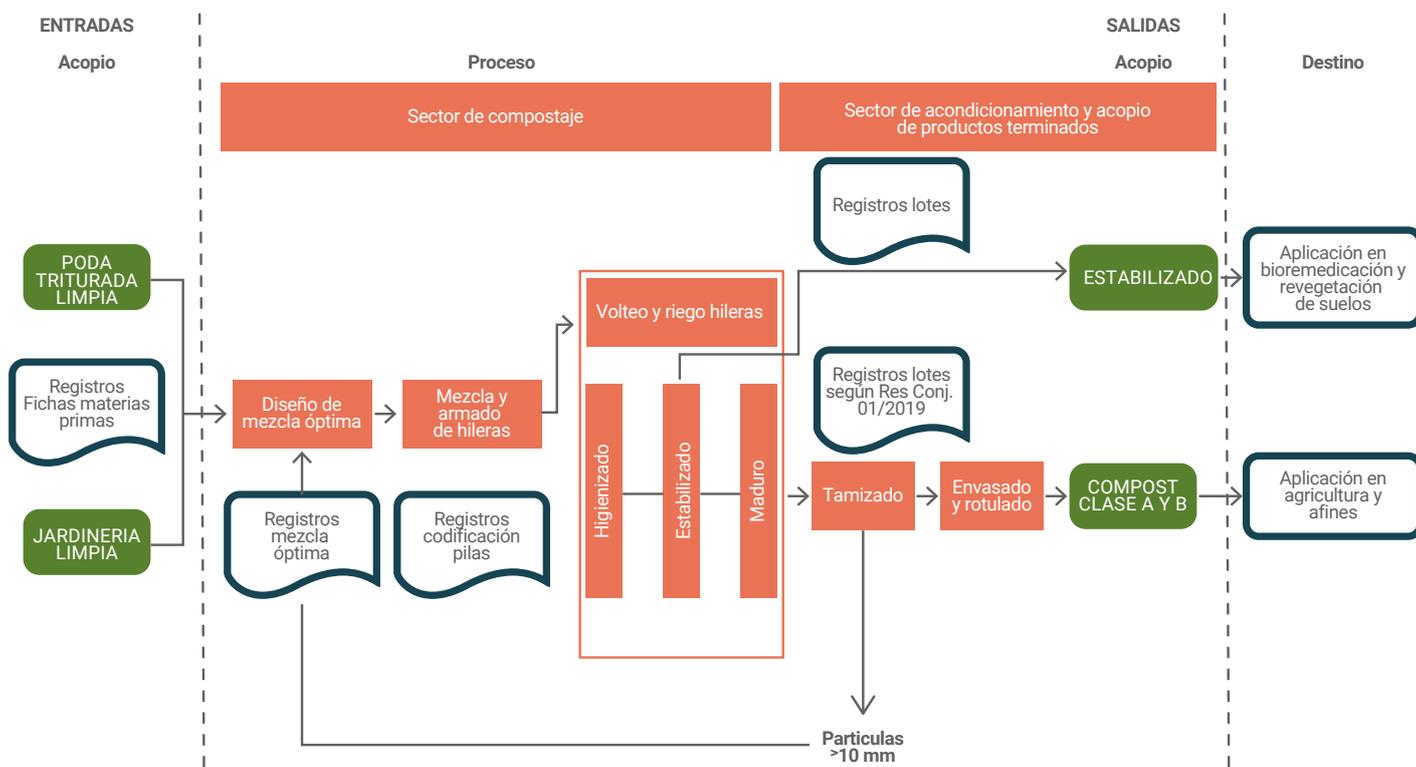


Figura 10. Flujograma del sector de compostaje y acondicionamiento del producto terminado.

experiencias

La zona de acondicionamiento de producto terminado (Fig. 11) se diseñó considerando los espacios y la infraestructura disponibles tanto del municipio como de la CTPH así como la maquinaria ya existente, la que se encontraba en desarrollo y aquella que se proyectaba adquirir.

Luego del tamizado del compost queda un material remanente (partículas mayores a 10 mm) que se incluye en una nueva mezcla de residuos de jardinería y poda triturada para el armado de una nueva hilera. Es habitual tener un remanente del orden del 10 % de partículas mayores de 10 mm.

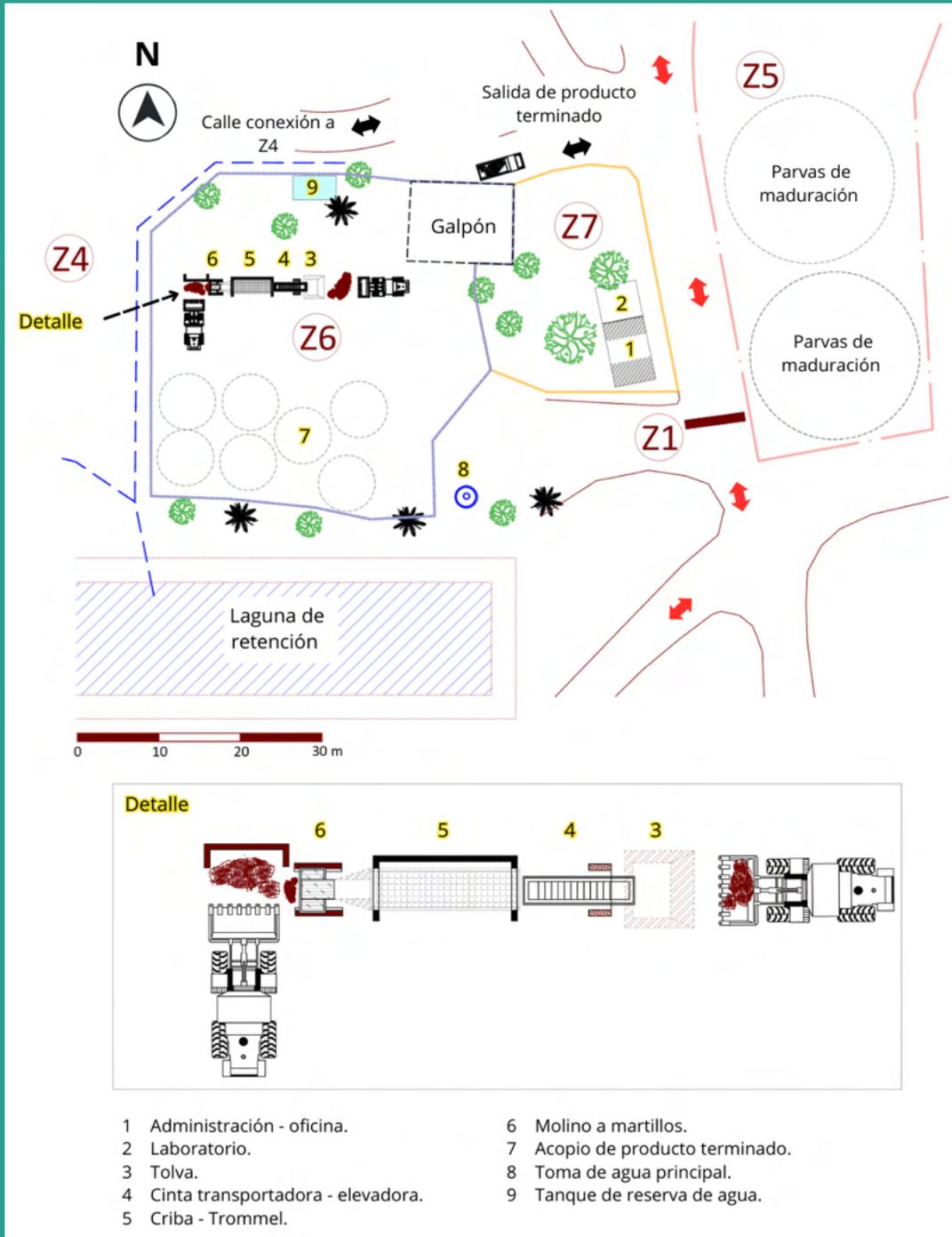


Figura 11. Zona de maduración (Z5) y acondicionamiento de producto terminado (Z6). Diseño: Violeta Silbert y Ariel Herrera. Dibujo: Ariel Herrera.



Tabla 6. Espacios requeridos para el sector de acondicionamiento y acopio del producto terminado.

ESPACIOS.	SUPERFICIE (m ²)
SISTEMA TOLVA-CINTA-CRIBA-MARTILLO-ACOPIO.	50
ESPACIOS ADICIONALES A LOS COSTADOS DEL SISTEMA ANTERIOR.	50
ALMACENAMIENTO DEL COMPOST A GRANEL.	189
ALMACENAMIENTO DE COMPOST TAMIZADO Y ENVASADO (INCLUIDA LA ENVASADORA). GALPÓN.	100
ZONA DE MANIOBRA DE CAMIONES Y DE PALA MECÁNICA. CARGA A GRANEL Y CIRCULACIÓN VEHICULAR - PEATONAL.	415
ESPACIO PARA TANQUE DE RESERVA DE AGUA Y BARRERA FORESTAL.	108
TOTAL	912 m²

El espacio de almacenamiento para el material tamizado se calcula de manera de disponer un 50 % de compost a granel al aire libre y el otro 50 % envasado en galpón.

El material remanente, ingresa directamente desde la criba a un molino a martillos que disminuye y homogeniza su tamaño. Este remanente puede reingresar nuevamente al circuito de compostaje o ser comercializado como cobertura o mulch.

e. Equipamiento

Cada uno de los sectores y zonas de la planta requiere equipamiento y servicios particulares. En el caso de la energía eléctrica, se debe evaluar si el equipamiento seleccionado requiere alimentación monofásica (M) o trifásica (T), y se debe conocer la demanda de potencia nominal en W o kW. Este dato es importante para cuantificar la potencia eléctrica necesaria y poder planificar los distintos circuitos eléctricos de manera balanceada.

Entre las principales máquinas que se requieren para el funcionamiento de una planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP se encuentran los equipos para movimientos de material (pala, tractor con pala o minicargadora), para triturar o chipear la poda (chipeadoras y trituradoras), para voltear el material durante el proceso de compostaje y para tamizar el material (criba trommel).

Las minicargadoras o palas frontales son equipos que se utilizan en todas las etapas de

una planta de este tipo, desde el traslado de los residuos a la zona de acondicionamiento, las materias primas a la zona de compostaje activo, el volteo del compost en proceso y terminado (Fig. 12).

Si bien es posible realizar el volteo con estos equipos, suele ser más desuniforme y lento que con volteadora, corriendo el riesgo de generar pozos y contaminar con tierra el compost. Otro inconveniente es el aumento del consumo de combustible. Pero, debido a que esta máquina tiene muchos usos, se la puede utilizar para volteo en los comienzos de una planta de compostaje, hasta poder adquirir un equipo específico para remover las hileras o pilas de compost.

Existen dos tipos principales de volteadoras, las de arrastre de tiro lateral al tractor, que la altura de la misma limita la cantidad de material a tratar y las volteadoras autopropulsadas que tienen mayor altura de trabajo y por ende mayor capacidad de tratamiento por superficie, pero son mucho más costosas (Tabla 7).



Figura 12. Minicargadora. Planta de tratamiento de restos verdes de la municipalidad de Córdoba.

Tabla 7. Características comparativas del equipamiento mecánico para volteo de las hileras de compost.

	MINICARGADORA O PALA MECÁNICA	VOLTEADORA DE TIRO LATERAL AL TRACTOR	VOLTEADORA AUTOPROPULSADA
VENTAJAS	Versátil, maniobrable en espacios reducidos. Se pueden utilizar pasillos más estrechos entre las hileras de compost y aumentar el área de las mismas logrando mayor capacidad de tratamiento por superficie.	Otorga eficiencia y uniformidad en el volteo. Tiene entre mediana y baja capacidad de tratamiento, dependiendo de las características de cada volteadora.	Otorga alta eficiencia y uniformidad en el volteo. Ideal para grandes volúmenes en superficies reducidas por la mayor capacidad de trabajo de la volteadora (área de la hilera) y menor ancho de trabajo, lo que reduce la distancia entre hileras.
DESVENTAJAS	Poca eficiencia en el volteo. Mayor tiempo de volteo por unidad de superficie. Mayores costos operativos por mantenimiento y combustible. Potencial contaminación con tierra arrastrada por la pala.	Requiere de un tractor compatible, un mantenimiento regular y mayor superficie destinada a pasillos que faciliten la circulación del tractor entre las hileras.	Muy costosa. Requiere mantenimiento especializado.
	 <p>Planta de tratamiento de restos verdes de la Municipalidad de Córdoba.</p>	 <p>Planta de compostaje de residuos verdes de la ciudad de San Miguel de Tucumán.</p>	 <p>Centro Ambiental GIRSU, Jujuy.</p>

Al igual que las volteadoras de compost, las máquinas chipeadoras/trituradoras también requieren de una evaluación integral para decidir cuáles son los modelos más adecuados para adquirir.

Los procesos de chipeado y triturado son esenciales para reducir el volumen de estos residuos, facilitando su transporte, almacenamiento y posterior aprovechamiento en aplicaciones como compostaje, biomasa energética o cobertura de suelos. A continuación, se detallan ambos proce-

sos, los tipos de equipos involucrados y sus principales características.

El chipeado o astillado es el proceso de cortar y reducir los residuos de poda, como ramas y troncos, en pequeños fragmentos o chips. Este proceso se realiza utilizando máquinas llamadas chipeadoras, que pueden ser de tambor o de disco (Fig. 13). El corte se realiza con cuchillas que trabajan a muchas revoluciones. Los chips resultantes son de tamaño uniforme y definido cuya longitud puede variar entre 2 y 10 cm.

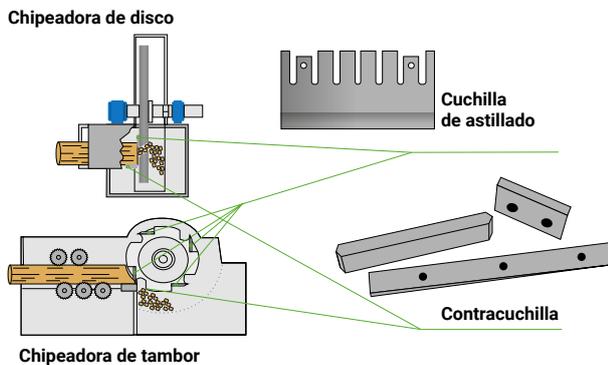


Figura 13. Cuchillas y tipo de cortes de las chipeadoras de disco y de tambor.

Las chipeadoras de disco utilizan un disco rotativo en el que se montan cuchillas de corte que giran a altas revoluciones entre 600 y 2 000 RPM. Pueden procesar troncos y ramas hasta cierto diámetro, dependiendo de la configuración específica de la máquina y las cuchillas utilizadas (las de mayor capacidad alcanzan diámetros de hasta 300 mm). El número de cuchillas en el disco de corte afecta la frecuencia y la eficiencia con la que el material se corta mientras pasa por la chipeadora. Un mayor número de cuchillas generalmente significa más cortes por revolución del disco, lo que puede resultar en chips más pequeños y uniformes. Una mayor velocidad del disco resulta, en un procesamiento más rápido del material y en chips más pequeños, ya que el material es cortado con mayor frecuencia por unidad de tiempo. Las chipeadoras de tambor emplean un tambor cilíndrico que rota horizontalmente, con cuchillas dispuestas en su superficie. Cuantas más cuchillas tenga mayor será la cantidad de cortes que se realizan por revolución. Esto suele resultar en chips más pequeños y uniformes con cada pasada por las cuchillas. Algunas chipeadoras permiten ajustar la velocidad del tambor (500 a 1500 RPM) y la configuración de las

cuchillas según el tipo de material y el tamaño deseado de los chips.

Estas chipeadoras son más robustas que las de disco y están diseñadas para operaciones que requieren mayor flexibilidad en el tamaño del producto final.

Tanto las chipeadoras de discos como las de tambor pueden ser alimentadas manualmente (Fig. 14) o de manera asistida por grúa



Figura 14. Chipeadora de tambor con alimentación manual de la Municipalidad de Córdoba.

(Fig. 17), cargador frontal o pala mecánica (Fig. 15 y Fig. 16). Este equipamiento auxiliar facilita el proceso de carga y mejora la eficiencia operativa en entornos donde se manejan grandes volúmenes de material. En el caso de la alimentación por grúa se utiliza para levantar y cargar troncos grandes y ramas pesadas directamente en la tolva de alimentación de la chipeadora. En cambio, la alimentación por cargador frontal o pala mecánica se usa para volcar directamente el material en la tolva de la chipeadora.

Las chipeadoras de este tipo suelen tener una tolva o boca de alimentación grande donde se introduce el material a ser triturado. Desde allí, el material es arrastrado hacia el tambor de corte por un sistema de alimentación automático o por gravedad, dependiendo del modelo.

El triturado es el proceso de fragmentar el residuo de poda en partículas más pequeñas, mediante el uso de trituradoras. Estas máquinas son esenciales en operaciones industriales de gran escala y en plantas de tratamiento de residuos verdes. Es un proceso más agresivo que el chipeado.

Este proceso implica cortar, romper y desmenuzar el material utilizando mecanismos como rodillos, rotores o ejes con diversos sistemas de corte tipo cuchillas, paletas, martillos, dientes, placas, etc. Por lo general trabajan a bajas revoluciones. Los fragmentos resultantes pueden variar en tamaño y forma. Según el largo del rodillo se pueden clasificar de mediana y gran escala. Rodillos entre 600 mm a 1500 mm se considera de mediana escala y mayores a 1 200 mm y hasta 3000 mm de gran escala. Las primeras generalmente son accionadas con motor eléctrico y las segundas con motor hidráulico o motor a combustión.

Independientemente de la capacidad de tratamiento y del modo de accionamiento pueden ser móviles o fijas (estacionarias). Muchas de estas máquinas en la industria funcionan en serie (trituradores primarios y secundarios) realizando pre-triturado-triturado y post triturado para de esta manera procesar todo el material disponible (reducción progresiva) y obtener una astilla del tamaño y forma que se requiere con menor desgaste y consumo de energía de las máquinas (Fig. 18).



Figura 15. Chipeadora de tambor alimentada con pala mecánica. Planta de Tratamiento de Residuos Forestales. Gestionada por el gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y operada por EVA SA.



Figura 16. Pala mecánica de la Planta de Tratamiento de Residuos Forestales.



Figura 17. Trituradora de rodillos móvil alimentada con grúa montada sobre oruga. Composul Compostagem. Turvo, Santa Catarina, Brasil. Fuente: Marcos Aurélio Salvaro de Souza.



Figura 18. Trituradora de rodillos móvil montada sobre ruedas en línea con tamizadora para material fino (con destino a compostaje) y grueso (para energía). Planta de Tratamiento de Residuos Forestales. Gestionada por el gobierno de la CABA y operada por EVA SA.

En el caso de las trituradoras móviles, por su gran porte, es más complejo su traslado al lugar donde se encuentran los residuos. Si bien se los puede movilizar al lugar donde se hace el acondicionamiento, no es conveniente trasladarlas porque la logística es compleja y los costos son altos.

Su utilización es más apropiada en las plantas de tratamiento de RV, para procesar grandes volúmenes de poda sin requerir tanto personal para su operatoria.

Las chipeadoras móviles, de disco o de tambor, pueden ser accionadas por la toma de fuerza del tractor o por motores de combustión de la propia máquina. Es bastante sencillo trasladarlas para reducir el volumen de la poda en el lugar donde se genera, mejorando su transportabilidad y acopio. Sin embargo, no siempre es bien aceptado por la población debido a los ruidos y polvo que genera la máquina. Además, se requiere de un camión o una chipeadora con carro incorporado para acopiar el material hasta su traslado (Fig. 19 y Fig. 20).



Figura 19. Chipeadora de discos móvil de la municipalidad de Mendiolaza, Córdoba, realizando chipeo de los RP "puerta a puerta", en los hogares de la localidad.



Figura 20. Chipeadora de tambor de la municipalidad de Córdoba realizando chipeado en la costanera norte del río Suquía de la ciudad.

A continuación se presentan algunas diferencias y consideraciones de cada una de las máquinas para chipecado o triturado de poda urbana.

Tabla 8. Consideraciones de cada máquina para reducción de volumen.

CARACTERÍSTICA	CHIPEADORAS DE TAMBOR O DISCO	TRITURADORAS DE RODILLOS
DESCRIPCIÓN	Existen equipos de bajo porte de 50 a 200 HP ideales para chipecado en origen y gestión descentralizada o traslado a planta de un menor volumen. En planta lo ideal es tenerlas para ordenar sectores o a disposición cuando las trituradoras están en mantenimiento. Las megachipeadoras de 500 HP se utilizan para tratamiento en destino pero requieren de un procesamiento mínimo de 15 000 a 25 000 t/año.	Equipos de porte mediano (con rodillos de 600 mm a 1500 mm) y gran escala (rodillos mayores a 1200 mm y hasta 3000 mm). Los primeros generalmente son accionados con motor eléctrico (trituradoras estacionarias) y los segundos con motor hidráulico o a combustible (trituradoras móviles). Se encuentran hasta 500 HP.
CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO	Bajas a alta, dependiendo del equipo. Desde 5 a 100 m ³ /h dependiendo de la potencia y configuración del tambor/disco.	Alta. Entre 25 y 150 m ³ /h, con alta eficiencia en volumen continuo.
TIPO DEL MATERIAL A PROCESAR	Fracción media y gruesa. Material leñoso seco o húmedo, ramas y troncos rectos y uniformes, con un diámetro consistente. Es más exigente sobre el tipo de material a procesar.	Todas las fracciones dependiendo del equipo según la luz entre rodillos y tipos de elementos de corte. Madera fresca, seca o mezclada con otros residuos. Material irregular y heterogéneo (incluyendo raíces y ramas torcidas).
TAMAÑO MÁXIMO DEL MATERIAL	Ramas y troncos de hasta 30 cm de diámetro, dependiendo del modelo de chipecadora.	Ramas, troncos y residuos mixtos de hasta 40 cm de diámetro y 1 metro de longitud o más, según el diseño.
CONTAMINANTES TOLERADOS	Baja tolerancia a contaminantes como piedras, metales o arena, que puedan dañar las cuchillas.	Alta tolerancia a contaminantes, aunque se recomienda realizar una preselección para evitar desgaste excesivo.
REQUERIMIENTO DE PREPARACIÓN	Generalmente requiere preparación previa, como corte o troceado manual para ramas muy grandes o curvas y separación con minicargadora de ramas enmarañadas para alimentación manual.	Escasa preparación previa, ya que puede procesar directamente material voluminoso e irregular.
VERSATILIDAD	Alta. Son móviles y se pueden trasladar al sitio donde se genera el residuo. Son ideales para uso en terrenos irregulares y operaciones móviles.	Baja. Se debe considerar en la adquisición de la máquina el modo de traslado. Limitada movilidad; requiere transporte especializado. Se recomienda triturar en destino.
TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS	Producción de partículas uniformes entre 2 y 10 cm según el ajuste de las cuchillas.	Producción de partículas poco uniformes entre 5 y 20 cm, según material y el tipo de trituradora.
FORMA DE LAS PARTÍCULAS	Chips o astillas de forma geométrica definida, principalmente plana y alargada.	Fragmentos irregulares, con bordes angulosos y formas variadas.
SUPERFICIE DE LAS PARTÍCULAS	Lisa y uniforme debido al corte preciso de las cuchillas.	Rugosa y áspera por el efecto de trituración y desgarró.

COSTO INICIAL	Medio. Costo entre 20 000 y 100 000 USD dependiendo de la capacidad.	Alto. Costo inicial desde 50 000 USD, con mantenimiento especializado.
MANTENIMIENTO	Alto. Requiere mantenimiento de las cuchillas que se desafilan o se rompen y de las piezas que se desueldan o se rompen por las vibraciones o los traslados. Se debe sopletear y limpiar con hidrolavadora 2 veces por semana. Se cambian los filtros de aire y aceite de acuerdo a las horas de funcionamiento según la potencia del motor.	Medio pero altamente especializado. Requiere recambio de los sistemas de corte (cuchillas, paletas, martillos, dientes, placas, etc), cambios de filtros de aceite y engrasado en los rodamientos de la cinta inclinada. El equipo se debe sopletear y limpiar con hidrolavadora una vez por semana.
RIESGO DE ATASCAMIENTO	Medio a alto dependiendo del material. Riesgo moderado si el material es fibroso o húmedo.	Bajo si se trabaja con una trituradora adecuada. Bajo riesgo debido a su capacidad para manejar material heterogéneo y sistemas de embrague para material impropio.
RESISTENCIA A MATERIALES DUROS O ABRASIVOS	Bajo. Generan un desgaste acelerado y desafilado de las cuchillas.	Alto. Las cuchillas o martillos son fabricados en aceros endurecidos o aleaciones especiales con alta resistencia al desgaste y a la abrasión.
MANO DE OBRA	Alto a medio. Si la alimentación es manual, se requiere de dos a tres operarios para realizar la alimentación y un operario con minicargadora para acomodar el material (separar ramas enmarañadas).	Baja. Se requiere de un operario con pala frontal o grúa para alimentar la trituradora de manera asistida y el maquinista que maneja la trituradora y el operario que supervisa el material antes de ser cargado con la pala frontal y ser descargado en la tolva de la trituradora.
FACILIDAD DE OPERACIÓN	Alta. Con mantenimiento complejo.	Moderada.
EFICIENCIA ENERGÉTICA	Alta eficiencia en el procesamiento de madera blanda y material de pequeño diámetro.	Mayor eficiencia en el manejo de materiales duros, húmedos o mezclados, pero con un consumo energético superior.
POTENCIA INSTALADA	Varía entre 10 y 200 kW en aplicaciones industriales. Las chipeadoras pequeñas pueden utilizar motores eléctricos o a combustión de 10 a 50 HP.	Requiere mayor potencia, generalmente entre 30 y 500 kW en aplicaciones industriales. Equipos pequeños utilizan motores eléctricos o hidráulicos desde 20 HP hasta más de 100 HP.
VELOCIDAD DE OPERACIÓN	Alta velocidad de rotación del tambor o disco (entre 1 000 y 2 000 RPM), optimizando el consumo energético en relación con la cantidad de material procesado.	Baja velocidad de operación (entre 200 y 800 RPM), lo que aumenta el consumo energético al procesar materiales más duros o compactos.
MODO DE ACCIONAMIENTO	Pueden ser accionadas por motores eléctricos, a combustión o toma de fuerza de tractor, siendo los eléctricos los más eficientes en términos de consumo energético.	Accionadas por motores eléctricos o hidráulicos de alta potencia, con un consumo energético elevado pero constante. Las trituradoras de gran porte son accionadas con motores a combustión.
MOVILIDAD	Alta (no necesita infraestructura fija).	Baja. Algunas trituradoras requiere instalación fija.
RUIDO	Alto.	Medio a bajo sobre todo cuando son eléctricas.
EFICIENCIA EN EL PROCESADO	Baja. (procesa fracciones específicas, menos eficiente).	Alta. (procesa el 100% de la poda).

<p>ASPECTO DEL MATERIAL ACONDICIONADO</p>		
<p>DESTINO PRINCIPAL DEL MATERIAL ACONDICIONADO</p>	<p>Biomasa para calderas, compostaje, coberturas decorativas (mulch).</p>	<p>Biomasa de baja calidad para compostaje, relleno de terrenos, cobertura de relleno sanitario, restauración suelos, cama animal, biofiltros, etc.</p>
<p>USO INDUSTRIAL DEL MATERIAL ACONDICIONADO</p>	<p>Biocombustibles sólidos de calidad uniforme, producción de tableros aglomerados.</p>	<p>Trituración primaria en plantas de reciclaje, reducción volumétrica para transporte.</p>

experiencias

La CTPH tenía varias estrategias para lograr el tamaño óptimo de las partículas de poda para compostar (Fig. 21). Debido a que las ramas verdes aún conservan sus propiedades elásticas, es común que el corte de las cuchillas de las chipeadoras no sea lo suficientemente efectivo y se produzcan astillas fibrosas de gran tamaño. Lo mismo sucede con las ramas verdes de pequeño diámetro de determinadas especies, cuya corteza se desgarran y se presenta en forma de cintas o largas tiras. Por lo tanto, después de triturar la poda con una chipeadora a discos, el material se acopiaba, cubría con una membrana plástica (silo bolsa) y se generaban las condiciones para el comienzo del proceso de compostaje. Transcurrido un tiempo relativamente corto (aproximadamente 20 días), las partículas fibrosas empezaban a perder su elasticidad y se volvían más frágiles. Luego se pasaban por un molino de martillo y finalmente por una zaranda de 10 mm denominada "hormizaranda". El material más fino se utilizaba para compostar y el más grueso para su uso como cobertura (mulch).

experiencias



Figura 21. Aspecto y tamaño del material triturado según la tecnología utilizada: a. 10 g de poda triturada en chipeadora de discos, b. 10 gramos de poda triturada chipeadora de discos y luego en molino de martillo, c. 10 g de poda triturada en molino de martillo y pasada por una hormizaranda de 10 mm.

recomendaciones

Recomendaciones y aspectos a tener en cuenta para la toma de decisiones en la elección y compra de una chipeadora/trituradora:

- Realizar previamente un estudio de caracterización de los RV.
- Diseñar el modelo de tratamiento de los RV de acuerdo a los recursos disponibles.
- Elegir la potencia y tamaño de la boca de entrada en relación al volumen y diámetro de las fracciones de poda predominantes.
- Considerar el peso y las dimensiones de la chipeadora/trituradora para asegurarse de que sea manejable en las áreas de trabajo.
- Asegurarse de que las piezas de repuesto y el servicio técnico estén disponibles.
- La maquinaria debe tener todas las protecciones necesarias para evitar accidentes.
- Si el chipeo es realizado in situ, mediante puntos móviles podría ser preferible que la chipeadora cuente con motor propio.
- Las chipeadoras con toma de fuerza del tractor suelen tener menor mantenimiento que las que son accionadas por motor independiente, pero necesitan de un tractor de mediana potencia (en el orden de 80 CV).
- Una batea de recepción horizontal disminuye el esfuerzo físico realizado para la alimentación de la chipeadora y puede prevenir posibles lesiones de los operarios.
- Las cuchillas reversibles son una buena opción para alargar su vida útil.
- Solicitar una demostración del equipo antes de la compra para evaluar su rendimiento en condiciones reales de trabajo, si fuera posible.
- Contar con herramientas acordes al uso del equipo. Llaves tubos (juego completo), destornilladores phillip y planos, amoladoras, saca filtros, compresor, hidrolavadora, banco de trabajo con morza, soldadora, llave francesa, etc.
- Disponer de machetes, palas, horquillas y motosierras. Son herramientas fundamentales para la inspección y corte de las ramas antes de ingresar en la boca de la chipeadora.

Una vez adquirido el equipamiento para triturar o chipear la poda, es fundamental contar con un procedimiento de mantenimiento y cuidado de cuchillas.

El mantenimiento preventivo y el afilado regular de las cuchillas en chipeadoras y trituradoras son fundamentales para optimizar la eficiencia operativa, reducir el consumo energético y asegurar la durabilidad de los equipos. Una máquina bien mantenida no sólo alcanza un rendimiento superior, sino que también contribuye a la disminución de los costos operativos, como el consumo eléctrico y el desgaste prematuro de componentes.

El afilado de las cuchillas de las chipeadoras

debe realizarse utilizando herramientas especializadas, siguiendo los procedimientos técnicos establecidos en las hojas de datos proporcionadas por el fabricante (Fig. 22). Esto asegura que el ángulo y la precisión del corte se mantengan en los parámetros óptimos.

En el caso de las trituradoras, que generalmente incorporan cuchillas intercambiables, testas piezas son esenciales para garantizar una operación eficiente y segura, además de contribuir al control del consumo energético. El inadecuado mantenimiento de las cuchillas intercambiables, acorta la vida útil de las mismas, disminuyendo la calidad del material chipeado/triturado y aumentando los costos y tiempos de inactividad (Fig. 23).



Figura 22. Mantenimiento diario de la chipeadora de discos de la municipalidad de Cósquin, Córdoba.



Figura 23. Mantenimiento de cuchillas de chipeadora de tambor.

recomendaciones

Recomendaciones en el uso de las chipeadoras/ trituradoras:

Normas de higiene y seguridad:

- Cumplir con todas las normas de higiene y seguridad establecidas en los manuales de usuario.
- Asegurar de que todos los operarios están capacitados en el uso seguro de la chipeadora o trituradora.
- No utilizar la máquina en ambientes peligrosos, que estén húmedos o mojados.
- Mantener el área de trabajo limpia. El desorden puede ocasionar accidentes.
- Verificar que el motor se encuentre totalmente apagado y todas sus partes detenidas.

Elementos de seguridad:

- Siempre utilizar los elementos de protección personal: guantes, protección facial, protección respiratoria para el polvillo de madera, protección auditiva. Calzado de seguridad y ropa de trabajo adecuada: no utilizar ropa suelta, corbatas, anillos o cualquier elemento que pueda quedar atrapado en la máquina.
- Verificar que el equipo de protección esté en buen estado antes de cada uso.

Mantenimiento y carga de combustible:

- Realizar el mantenimiento y la carga de combustible en una zona diferente a la de chipeo, para evitar incendios, derrames y contaminación.
- Apagar la máquina y dejar que se enfríe antes de reabastecer combustible.

Condición del material para chipear/triturar:

- No contaminar la poda con tierra, ya que esta puede dañar las cuchillas. Esta acción es frecuente al levantar ramas con la minicargadora, pala mecánica.
- Retirar cualquier material extraño que esté mezclado con las ramas a podar, como piedras o metal.



- El chipeo/triturado de residuos de poda en estado verde prolonga la duración del filo de las cuchillas.

Carga del material:

- Alimentar la máquina de manera uniforme para evitar sobrecargas.
- Mantener un flujo constante de material a través de la chipeadora/trituradora. Esto optimiza el rendimiento del motor y se utiliza el combustible de manera más eficiente. La operación continua puede mejorar la productividad al reducir el tiempo de inactividad y aumentar la cantidad de material procesado.
- Se recomienda que siempre haya dos personas durante la alimentación de la chipeadora. De este modo, si se produce un enganche, habrá alguien que pueda parar la máquina. Es fundamental utilizar protecciones de cuero para brazos y torso con el objetivo de disminuir riesgos de enganche de ramas en la ropa.

Documentación y registros:

- Mantener un registro permanente, de mantenimiento y de cualquier intervención y/o reparación realizada. Documentar las horas de uso de la máquina y las intervenciones de afilado de cuchillas.

Mantenimiento de máquinas chipeadoras/trituradoras:

1- Lubricación de las partes móviles:

- Controlar diariamente el nivel de los líquidos lubricantes, así como el estado de las mangueras y conectores.
- Lubricar regularmente todos los puntos de pivote y rodamientos.
- Utilizar el tipo de lubricante adecuado especificado en el manual del equipo.

2- Control de la tensión y el estado de las correas:

- Inspeccionar diariamente las correas para asegurarse de que estén en buen estado, sin grietas ni desgastes excesivos.



- Ajustar la tensión de las correas según las especificaciones del fabricante para evitar deslizamientos y garantizar una transmisión de potencia eficiente.
- Cambiar las correas según las horas de uso o tiempo transcurrido, según se cumpla primero y de acuerdo a lo recomendado por el fabricante.

3- Afilado de las cuchillas:

- Revisar las cuchillas regularmente para detectar signos de desgaste o daño.
- Afilar las cuchillas con la frecuencia recomendada para mantener un corte eficiente y reducir la carga sobre el motor (variable según el material con el que están compuestas). Un cambio en la forma y tamaño de las astillas puede denotar la necesidad de afilado (Fig. 24). Cuando las astillas tienden a alargarse en partidas sucesivas, es un indicador de que las cuchillas empiezan a desafilarse.
- Seguir las instrucciones del fabricante para mantener el ángulo correcto y el método de afilado.



Figura 24. Aspecto de las astillas producidas por una cuchilla afilada (a) y una cuchilla desafilada (b).

- Contar con un banco de trabajo y las herramientas correspondientes para afilar las cuchillas como una morza para poder fijarlas durante el afilado.

4- Inspección de las partes fijas con soldaduras:

- Revisar diariamente todas las soldaduras en el chasis y otras partes estructurales para detectar grietas o daños.
- Reparar cualquier soldadura defectuosa para evitar fallos estructurales.



5- Verificación y ajuste de los tornillos:

- Inspeccionar y ajustar todos los tornillos y pernos periódicamente, ya que las vibraciones durante el uso pueden aflojarlos.

6- Presión de las ruedas:

- Comprobar la presión de los neumáticos regularmente y ajustarla según las especificaciones del fabricante.
- Inspeccionar los neumáticos para detectar signos de desgaste o daños y reemplazarlos si es necesario.

7- Mantenimiento de la barra de la toma de fuerza:

- Revisar la barra de la toma de fuerza para asegurarse de que esté limpia y libre de daños.
- Lubricar la junta de la toma de fuerza según las indicaciones del fabricante.
- Asegurarse de que las protecciones de seguridad estén en su lugar, libres de objetos extraños y funcionen correctamente.

8- Inspección general y limpieza:

- Limpiar la chipeadora después de cada uso para evitar la acumulación de residuos que puedan afectar su funcionamiento. Sopleteado o compresor y lavado con hidrolavadora, detergente, cepillo o escoba.
- Inspeccionar el equipo en busca de signos de desgaste, corrosión o daños en general y realizar las reparaciones necesarias de inmediato.

9- Filtros y sistema de combustible:

- Cambiar los filtros de aire y combustible según el programa de mantenimiento recomendado.
- Verificar el sistema de combustible para detectar fugas o daños y asegurarse de que el tanque de combustible siempre esté limpio. Chequear que la tapa permanezca cerrada y si está falseada sustituirla.

experiencias

A continuación se detallan los principales equipos seleccionados para la planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP de Unquillo, sus características técnicas y su ubicación en la planta (Tabla 9).

Tabla 9. Equipamiento para una planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP.

NOMBRE	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	CANT.	ZONA DE UBICACIÓN EN LA PLANTA	REQUERIMIENTOS (INDICAR VALORES DE REFERENCIA O RANGOS)			
				AGUA FRÍA	AGUA CALIENTE	COMBUSTIBLE	ELECTRICIDAD
TANQUES DE PROVISIÓN DE AGUA DE RIEGO	Tanque/s cisterna de almacenamiento de agua de 40 000 litros de 6 m de diámetro por 1,5 m de profundidad.	2	1 en Z4 1 en Z5	x			
MINICARGADORA	Con balde de 250-300 litros para trasladar material dentro de la planta y alimentar la trituradora/chipeadora.	1	Z2-Z3 y Z4			x	
CHIPEADORA MÓVIL	De tambor con cuchillas con capacidad para procesar hasta 100 a 150 m ³ ramas/día de hasta 15 centímetros de diámetro.	1	Z2			x	
TRITURADORA FIJA	De rodillos. Doble o simple eje. Alimentación trifásica y capacidad para procesar 150-200 m ³ de ramas de hasta 15 centímetros de diámetro.	1	Z2				x
MOTOSIERRAS		2	Z2			x	
CONTENEDOR PARA ACOPIO DE IMPROPIOS DE 6 M ³	Metálico trapezoidal.	1	Z2				
VOLTEADOR O REMOVEDOR DE COMPOST CON TANQUE REGADOR	Accionado por arrastre de tiro lateral al tractor. Para ancho de pila de compostaje de 3 m y una altura máxima de 1,5 m. Capacidad de remoción nominal de 1 800 m ³ /h Tanque regador de 3 000 litros mínimo y bombeo con sistema eléctrico conectado al tractor.	1	Z4				
TRACTOR	Entre 40 y 90 HP, con reductor de velocidad (Menos de 0,6 Km/h).	1	Z4			x	



TERMÓMETRO	Digital o analógico con sonda mayor a 30 cm rango de medición 0 a 100 °C.	1	Z4				
ZARANDA DE COMPOST	Con tolva de carga para alimentación con rodillo sinfín. Con criba de malla de 10 mm recambiable por una de 5 mm.	1	Z6				X
EMBOLSADORA DE COMPOST	Con tolva y embolsado mecanizado .	1	Z6				
BOMBA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA SUCIA DE ESCORRENTÍA	Sumergible/Horizontal. Caudal: 8 000-10 000 l/h.	1	Tratamiento del agua sucia de escorrentía				X
PEACHÍMETRO Y CONDUCTÍMETRO	Peachímetro con rango de medición 0 a 14 y buffer para calibración en tres puntos (4,7 y 10) Conductímetro con rango de 0 a 20 dS/m y solución de calibración en 12,88 dS/m.	1	Laboratorio				
INCUBADORA PARA BIOENSAYOS	Regulable a 20 a 25 °C .	1	Laboratorio				
ESTUFA DE SECADO	Con circulación forzada de aire para trabajar a 70 ± 5° C y a 36 °C.	1	Laboratorio				
HELADERA	Regulable a 4 °C para conservar muestras y soluciones de calibración.	1	Laboratorio				
BALANZA ANALÍTICA	Con capacidad de hasta 150 g, con una resolución de 0,1 mg, calibrada.	1	Laboratorio				
TABLERO ELÉCTRICO GENERAL	Gabinete con protección IP 65.	1	Servicios				X

f. Servicios

Instalación de agua

El agua a utilizar para el consumo de las personas y sanitarios (lavado de manos) tiene que ser potable, reuniendo las condiciones exigidas por las autoridades sanitarias nacionales, provinciales y/o municipales, a cuyo efecto se prevé la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos periódicos.

Puede considerarse el uso de termotanques solares para la provisión de agua caliente al sector de uso del personal de la planta.

El agua utilizada en el proceso de compostaje puede provenir del sistema de captación de aguas pluviales y de escorrentía sucia, la cual será bombeada a una cisterna en la zona de compostaje activo. Debe realizarse un estudio previo para evaluar la calidad de la misma, que no tenga carga e inconvenientes de EPT, nitratos y otros compuestos inconvenientes.



Al calcular el consumo de agua de riego, se considera que un metro cúbico de chip de poda recién triturada/chipeada pesa 200 kg y el 30 % es agua (60 kg). Para llevar la humedad al 50 % es necesario añadir 80 litros por cada metro cúbico de chip. Se recomienda calcular un riego semanal hasta finalizar la etapa termofílica de higienización y luego cada 15 días disminuyendo la necesidad de agua a la mitad ya que el material reduce su volumen en igual proporción también.

El cálculo de la cantidad de agua necesaria para alcanzar un contenido de humedad del 50 % (dentro del rango óptimo) se puede realizar a partir de las siguientes ecuaciones:

$$Ma = Ms/st - Ms/si$$

$$Ms = Mti \times (1 - hi)$$

Donde:

- *Ma* es la masa o peso del agua necesaria para llegar al 50 % de humedad.
- *Ms* es la masa seca (peso) en el material recién triturado o chipeado.
- *Mti* es la masa total inicial del material "en estado húmedo".
- *hi* es el contenido de humedad inicial del material en fracción decimal.
- *si* es el contenido de sólidos inicial descontando *hi* ($si = 1 - hi$).
- *st* es el contenido de sólidos totales objetivo descontando *ho* ($st = 1 - ho$).
- *ho* es el contenido de humedad objetivo en fracción decimal.

En el cálculo de *Ma*, el primer término *Ms/st* es el peso final del material después de que se ha añadido agua. El segundo término *Ms/si* es el peso inicial del material antes de que se añada agua. La diferencia es el peso del agua añadida para llevar el material al contenido de humedad objetivo.



experiencias

Volumen del chip de poda: 1 m³

Masa total inicial del chip de poda (Mti): 200 kg

Humedad inicial (hi): 30 % (hi=0,3)

Contenido de sólidos inicial (si): si=1-hi=0,7

Contenido de sólidos totales objetivo (st): st=1-ho=0,5

Humedad final deseada (ho): 50 % (ho=0,5)

$$Ma = Ms / st - Ms / si$$

$$Ms = Mti \times (1 - hi)$$

$$Ms = 200 \times (1 - 0,3)$$

$$Ms = 140 \text{ kg}$$

$$Ma = (140 \text{ kg} / 0,5) - (140 \text{ kg} / 0,7)$$

= 280 kg - 200 kg = 80 kg de agua inicial para llevar el material de 30 % al 50 % de humedad.

El sector de compostaje activo de la planta de Unquillo, tiene la capacidad para alojar 2 550 m³ de material distribuidos en 68 hileras de 37,5 m³ cada una. Es decir que se requiere de un riego inicial de 3 000 litros por hilera. El riego inicial se realiza una vez por semana hasta completar la etapa de higienización del material (etapa 1), que se estima en 8 semanas. Luego se inicia la etapa de maduración (etapa 2), la que tiene una duración mínima de 12 semanas, hasta completar los 120 días en compostaje.



Durante la etapa 2 el riego se puede realizar cada 2 semanas disminuyendo a la mitad la cantidad acorde a la pérdida de volumen del compost en proceso:

1. Etapa 1:

Se agregan 80 l de agua por m³.
Duración: 8 semanas.

2. Etapa 2:

El volumen se reduce a la mitad: $2\ 550\ m^3 / 2 = 1\ 275\ m^3$.
Se agregan 40 l de agua por m³.
Duración: 12 semanas (con aplicación cada 2 semanas).

Cálculos por m³ de compost:

1. Riego inicial: 80 l/m³.

2. Etapa 1: 8 semanas x 80 l/m³ = **640 l/m³.**

3. Etapa 2: 40 l/m³.

Número de aplicaciones: 12 semanas / 2 semanas = 6 aplicaciones.

Agua total para 6 aplicaciones: 40 l/m³ x 6 aplicaciones = **240 l/m³.**

Cantidad total de agua por m³ de compost:

Riego inicial: 80 l/m³.

Etapa 1: 640 l/m³.

Etapa 2: 240 l/m³.

Total por m³: 80 l + 640 l + 240 l = **960 l/m³.**

Consumo total de agua en litros para todo el volumen de compost (2 550 m³):

Riego inicial:

Agua total para 2 550 m³ = 80 l/m³ x 2 550 m³ = 204 000 l.

Etapa 1:

Agua total para 2 550 m³ = 640 l/m³ x 2 550 m³ = 1 632 000 l.

Etapa 2:

Agua total para 1 275 m³ = 240 l/m³ x 1 275 m³ = 306 000 l.



Consumo total de agua en m³ para las 20 semanas: $204 \text{ m}^3 + 1\,632 \text{ m}^3 + 306 \text{ m}^3 = 2\,142 \text{ m}^3$

Consumo anual (52 semanas): $5\,569,2 \text{ m}^3$

Capacidad de recolección y retención de agua de lluvia.

Precipitación media anual: 800 mm (milímetros)

Superficie recolectora (zona de compostaje activo Z4): $11\,300 \text{ m}^2$.

Pérdida por infiltración: 10 %.

1. Volumen total de agua recolectada (sin pérdidas):

- Volumen = Precipitación anual × Superficie recolectora.
- Volumen = $0,8 \text{ m} \times 11\,300 \text{ m}^2 = 9\,040 \text{ m}^3$

2. Pérdidas por infiltración:

- Pérdida = Volumen total × 10 %
- Pérdida = $9\,040 \text{ m}^3 \times 0,10 = 904 \text{ m}^3$

3. Volumen final de agua recolectada (descontadas las pérdidas):

- Volumen recolectado = Volumen total - Pérdidas.
- Volumen recolectado = $9\,040 \text{ m}^3 - 904 \text{ m}^3 = 8\,136 \text{ m}^3$

Resultado final:

El volumen total de agua recolectada y retenida por la laguna de retención, considerando una precipitación anual de 800 mm y una superficie recolectora de $11\,300 \text{ m}^2$ con un 10 % de pérdidas por infiltración y evaporación, es de **$8\,136 \text{ m}^3$** anuales. Por lo tanto es un volumen suficiente para su utilización en el proceso de compostaje.

g. Higiene y seguridad

Se deben tener en cuenta las medidas necesarias de seguridad e higiene: salidas de emergencia, instalación de extintores de diferentes características en función del tipo de fuego, protecciones adecuadas en todas las transmisiones (poleas, correas, etc.) de los equipos o máquinas, y otras que se consideren necesarias. La laguna de retención de aguas de escurrirías también cumple la función de fuente de agua para controlar un incendio que pueda ocurrir dentro de la planta o en la zona colindante a la misma. Se debe contar con conexiones rápidas para su bombeo a los tanques cisterna y para de allí distribuir donde se requiera.

Se debe realizar un estudio de carga de fuego. El mismo debe estar elaborado y firmado por un profesional matriculado.

Durante el manejo de las chipeadoras/trituradoras es fundamental contar con elementos de seguridad, como protectores auditivos, lentes, zapatos de seguridad, guardapolvos, mangas, protectores de tibias y guantes de cuero. Durante el chipeado/triturado de la poda se produce la voladura de pequeñas partículas de madera similares al aserrín (Fig. 25) de las cuales hay que protegerse los ojos principalmente.

Es habitual el uso de minicargadoras para separar las ramas finas de la poda que se enredan y



Figura 25. Voladura de material durante el chipeado en la planta de tratamiento de residuos verdes de la ciudad de Córdoba.

apelmazan en el camión durante su traslado a planta. En este caso se deben extremar las medidas de atención durante su circulación ya que los ruidos y las partículas en suspensión pueden dificultar la detección de la presencia de la misma (Fig. 26).

Lo mismo ocurre durante el volteo del material en la zona de compostaje o en el tamizado del producto terminado. El polvo en suspensión y los ruidos de los equipos hacen necesario el uso

permanente de protectores auditivos

En caso de utilizarse sustancias tóxicas en la planta (como raticidas e insecticidas) deben almacenarse en recintos separados y ser manipulados solamente por personal capacitado.

Los productos de limpieza y desinfección tienen que almacenarse en sitios cerrados con llave y nunca deben estar en contacto con alimentos, envases, etiquetas, cajas, bandejas, utensilios, y otros implementos.



Figura 26. Acondicionamiento del material para alimentar la chipeadora de tambor de la planta de tratamiento de restos verdes de la ciudad de Córdoba.

h. Plan de manejo anual para prevención de vectores

El plan de manejo anual preventivo cuenta con tres programas de control:

- a) Programa de control de roedores
- b) Programa de control de moscas
- c) Programa de control de cucarachas

Programa de control de roedores.

Debe contemplarse un plan de manejo anual preventivo para roedores ya que son los vectores más probables en una planta de compostaje de residuos de poda.

Este programa involucra las siguientes acciones y frecuencia:

1. Eliminación de residuos sólidos urbanos: los residuos generados en la planta deben ser dispuestos en bolsas cerradas, en contenedores ubicados junto a las instalaciones que pueda haber para uso del personal de la planta.
2. Desmalezamiento perimetral externo: se debe mantener desmalezado todo el perímetro de la planta. Frecuencia: mensual en verano; trimestral el resto del año.
3. Control químico de roedores: debe ser realizado en el perímetro externo de la planta colocando tubos cebadores numerados correlativamente y registrados. Cada tubo tendrá una etiqueta donde se indicará el número de cebo, ingrediente activo y concentración, marca comercial y número de registro del producto usado, antídoto y el signo de veneno (calavera con tibias cruzadas). Se utiliza la cantidad de rodenticida recomendada por la empresa de control de plagas. Frecuencia: estos puntos de cebo (Fig. 27) son numerados y revisados quincenalmente, realizando la correspondiente reposición. Los consumos se registran en una planilla que se debe actualizar con cada observación. Se inspecciona la presencia de

madrigueras y posibles lugares de escondite principalmente en el sector de recepción y acondicionamiento de materia prima producto terminado donde los roedores pueden anidar en la fracción gruesa de la poda, en el chip/triturado de poda y en compost terminado, los que son cebados con 1 o 2 bloques de rodenticida. Estos puntos de cebo se registran y reponen cada 15 días.



Figura 27. Tubo cebador para control de roedores de la Planta de compostaje de la Asociación de Horticultores de Bernal Querétaro, México. Fuente: Aldea Verde.

A continuación se presenta una guía orientativa para minimizar el riesgo de presencia de roedores (Tabla 10).

Tabla 10. Guía de autoevaluación para la prevención de roedores.

CATEGORÍAS	1. ALTO POTENCIAL	2. BAJO POTENCIAL	3. PREVENCIÓN	PUNTAJE
Ubicación de la zona de compostaje activo	El compost se encuentra contra una pared, en un rincón oscuro, en desorden, cubierto por plantas o en donde hay poco tránsito.	El compost se encuentra contra la pared, en un rincón oscuro, en donde hay poco movimiento, pero hay al menos 1 m de espacio entre el compost y la pared más cercana.	El sistema de compostaje se encuentra en una zona abierta con abundante luz y constante movimiento.	_ / 3
Superficie	El sistema de compostaje está ubicado sobre tierra suelta, mantillo, arena, etc.	El compost está ubicado sobre tierra compactada, malla de acero o grava triturada.	El compost está ubicado en una superficie dura como losas de concreto, de acero o piedra, etc.	_ / 3
Manejo	Regularmente hay restos de comida expuestos, el compost es volteado muy poco, no hay un seguimiento metódico para saber la madurez del compost ni la frecuencia de los volteos. No hay suministro de materias primas ricas en carbono.	Los restos de comida se almacenan y cubren al llegar a la pila o hilera, el compost se voltea con frecuencia, pero no hay un método de seguimiento para saber la madurez del compost. Hay poco suministro de materias primas ricas en carbono.	Todos los insumos tienen contenedores propios para su debido almacenamiento. Los materiales ricos en nitrógeno están cubiertos con materiales ricos en carbono para reducir los olores. Hay un horario de volteo semanal para cada pila de compost y un método de registro para saber la madurez de cada una de las pilas. Hay abastecimiento constante de materias primas ricas en carbono.	_ / 3
Biofiltro	Las nuevas hileras o pilas con restos de comida crudos no están cubiertas de ninguna manera.	Las nuevas pilas se cubren con una capa delgada de materiales marrones o compost maduro.	Las nuevas pilas reciben una capa de 3,5 m de compost maduro y las pilas continúan sellándose con materia prima rica en carbón (marrones) después de cada volteo hasta que no se observen restos de comida en las pilas.	_ / 3
La nota mínima es 8/12.				
Una puntuación de 1 en cualquier categoría anula una calificación aprobatoria.				

Adaptado de Biocycle Net: <https://www.biocycle.net/rodent-reduction-rubric>

Programa de control de moscas

1. Eliminación de residuos sólidos urbanos: al igual que en el control de roedores se requiere de la eliminación de residuos sólidos urbanos y de la limpieza de calles del sector de compostaje, donde puede haber quedado durante la formación o volteo de la pila de compostaje restos de material fresco ideales para que las larvas de moscas puedan refugiarse y cumplir su ciclo de desarrollo.

2. Control preventivo de infestación de moscas: es fundamental realizar volteos frecuentes en las pilas o hileras de compostaje para evitar zonas con excesos de humedad y olores, garantizando la aireación adecuada. También se puede agregar trampas pegajosas en el sector de acopio de materias primas o en el perímetro de la zona de compostaje activo (Fig. 28).



Figura 28. Trampas pegajosas. Planta de Compostaje de Asociación de Horticultores de Bernal Querétaro, México. Fuente: Aldea Verde.

3. Control biológico de larvas: una vez que se observe el material infestado, en primer lugar se debe abrir la pila o hilera para que los insectos benéficos (escarabajos, avispas, etc.) tengan acceso a las larvas. Luego de ser necesario, se puede aspejar con bioinsecticidas las materias primas o pilas de compost por ejemplo (*Bacillus thuringiensis*) Estos productos no son dañinos para los microorganismos ni contaminan el producto comercial con trazas de metales pesados.

Programa de cucarachas

Las cucarachas suelen anidar al igual que los roedores en el sector de recepción y acondicionamiento de materias primas y producto terminado.

Para lo cual se puede incluir cebos los cuales deben ser monitoreados quincenalmente, realizando la correspondiente reposición.

Los consumos se registran en una planilla que se debe actualizar con cada observación. Este monitoreo y registro se puede hacer junto con el de roedores.



4

CALIDAD DEL
COMPOST DE
PODA URBANA

CALIDAD DEL COMPOST DE PODA URBANA

a. Marco normativo

Cuando se evalúa la calidad de un compost se tienen en cuenta tres aspectos: sanitarios, ambientales y agronómicos. Para poder ser utilizado, el producto obtenido debe ser inocuo para la salud humana y no contener cantidades inconvenientes de elementos potencialmente tóxicos (EPT), comúnmente llamados “metales pesados”.

La buena calidad como enmienda orgánica se completa con los conceptos de madurez y de estabilidad. El primero asegura la ausencia de compuestos fitotóxicos para los vegetales y el segundo garantiza un abastecimiento lento y constante de nutrientes.

Una diferencia fundamental entre un residuo orgánico y un compost es que en éstos se incrementa la estabilidad biológica. Si se adiciona la misma cantidad de material inicial y de compost en un suelo, al cabo de un año, solamente queda alrededor de un tercio del primero respecto al segundo.

Los residuos contienen mayor cantidad de N soluble respecto a los compost. Esto es una desventaja de los compost respecto a la provisión de N para las plantas a corto plazo (días, semanas) pero es una ventaja ambiental a su favor porque evita pérdidas por volatilización, lixiviación y escorrentía. Un ejemplo muy común

es la utilización de guano en la producción hortícola durante la preparación del suelo como aporte de N soluble principalmente.

En cambio en los compost, la liberación del N y de otros nutrientes es lenta, pero más uniforme y constante (3-5 años). Debido a estas características, es muy poco frecuente calcular la dosis de aplicación en función del aporte de nutrientes, porque las cantidades serían sumamente elevadas. Pero, aunque su principal objetivo sea el de incrementar la materia orgánica del suelo, se debe estimar la cantidad de N y P aportados para evitar sobre oferta de nutrientes especialmente cuándo se realiza fertilización concentrada sobre los cultivos.

A los fines de calificar y clasificar los compost, regular su producción, comercialización y uso, es necesario remitirse a la norma correspondiente que establece parámetros, métodos y límites específicos que se deben cumplir.

La Resolución conjunta SCyMA-SENASA 01/2019 define el marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost en la República Argentina.

Los compost contemplados en la presente norma deberán cumplir con los requisitos sanitarios, de estabilidad y de madurez detallados en su respectivo anexo. Luego, según si alcanzan

o no los valores límites establecidos para los parámetros de calidad se presentan tres posibilidades de clasificación para cada compost: dos clases con posibilidad de ser registrados y comercializados, (A sin restricción de uso y B con restricción de uso) o rechazado. Los métodos de ensayo para cada una de las determina-

ciones requeridas se encuentran en el anexo V. Para la aplicación de los compost clase B deberá contemplarse la dosis anual de carga y la carga máxima admitida de EPT según los valores límites indicados en la Tabla N°5 del anexo IV de dicha resolución.

b. Metodología de toma de muestras

Al igual que las materias primas, para caracterizar los compost, es necesario tomar una muestra compuesta representativa del volumen del lote o partida del compost terminado e idealmente luego del tamizado del material para su comercialización. En el caso que se desee conocer las características de los compost en proceso, en pilas que tienen más de 10 metros de largo se deberán tomar submuestras de 1 kg por cada 5 metros lineales a partir de los 15 cm de profundidad, desde la superficie. Lo ideal es

llegar a una muestra compuesta de 7 a 10 litros. Las sub-mezclas se juntan, se homogenizan y mediante el método del cuarteo se toman 3 partes de igual volumen para su posterior análisis. Generalmente se solicitan 2 muestras para pilas de menos de 10 metros de largo, para lo cual se deben tomar no menos de 3 submuestras y luego proceder de la misma manera. Las muestras finales deberán introducirse en bolsas plásticas cerradas y correctamente rotuladas para enviar al laboratorio.

En el anexo VI de la Resolución conjunta SCyMA-SENASA 01/2019 se presenta un modelo de tabla de registro de partida/lote, tanto para los resultados de laboratorio del producto terminado como también para el seguimiento del proceso durante la etapa de higienización.

experiencias

Al final del ensayo de compostaje realizado en la PTRSU de la municipalidad de Unquillo con la CTPH, se tomaron muestras compuestas de cada una de las tres pilas mediante el método del cuarteo (Fig. 1) para su acondicionamiento y análisis en laboratorio.

COSECHA DE PRODUCTO



CUARTEO PARA COLECTAR MUESTRA



TAMIZADO DE LA MUESTRA



Figura 1. Cuarteo para toma de muestra de compost terminado.

c. Parámetros de calidad

El compost obtenido a partir de poda triturada/chipeada suele ser pobre en nitrógeno (N), con relaciones C/N superiores a 20/1 (Tabla 1). Consecuentemente, el aporte de N como nutriente será limitado, no solamente por la poca cantidad total sino porque las relaciones C/N amplias favorecen su inmovilización o “secuestro” temporario, por la microbiota del propio compost y del suelo donde se lo aplique. Se trata de un nutriente esencial para los vegetales y los microorganismos, el de mayor demanda y de menor disponibilidad en los suelos.

Los residuos verdes también aportan otros nutrientes esenciales como el fósforo (P), pero en bajas cantidades, menores a los residuos orgánicos animales. Si bien esto puede limitar su suministro para los vegetales, tiene la ventaja de

que disminuye la posibilidad de contaminación de aguas superficiales o subterráneas cuando aumenta su concentración en el suelo por la aplicación de enmiendas y fertilizantes. Para poder relacionar dosis de aplicación con la liberación de nutrientes, se deben realizar ensayos de mineralización (ver más adelante) y ajustarlos con ensayos a campo locales.

De todos modos, el principal objetivo de un compost no es aportar nutrientes sino proporcionar materia orgánica a los suelos si se utiliza como enmienda orgánica, y aportar porosidad si se utiliza como sustrato. Los compost de RV y en particular de RP con relaciones C/N altas tienen la ventaja de persistir más tiempo en el suelo y de contribuir en mayor medida al secuestro de C de la atmósfera.



experiencias

Los resultados de laboratorio del ensayo de compostaje en la PTRSU de la municipalidad de Unquillo con residuos de poda triturados/chipeados, de granulometría menor a 10 mm (Tabla 1), indicaron que, a pesar de las elevadas relaciones C/N al inicio del proceso (49/1), luego de 180 días la relación C/N bajó a 24,4 promedio, lo cual se corresponde con un compost clase B. El valor de producción de dióxido de carbono ($\text{mg CO}_2/\text{kg h}$) está indicando que el compost se encuentra aún inestable. Esto se corresponde con el gran contenido de carbono (C) final, el bajo contenido de N-nitratos y el comportamiento de la temperatura hasta el día 180.



Cuando las pilas eran regadas y volteadas, volvían a tomar temperatura, hasta alcanzar 40 °C promedio.

Tabla 1. Determinaciones obtenidas en compost de poda chipeada del ensayo en la PTRSU Unquillo.

DETERMINACIONES		VALORES OBTENIDOS	Valores referencia (SCyMA-SENASA, 2019)
Tamaño de partículas (% en peso)	≤ 2 mm	42,3 ± 10,1	-
	2 mm a ≤ 5 mm	45,7 ± 7,5	
	> 5 mm a ≤ 10 mm	10,0 ± 2,7	
	> 10 mm a ≤ 25 mm	2,3 ± 0,6	
	> 25 mm a ≤ 50 mm	0,3 ± 0,6	
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)		0,59 ± 0,0	< 4 A < 6 ds/m B
Potencial hidrógeno (pH)		8,13 ± 0,3	5 - 8,5
Carbono soluble en agua CSA (g kg ⁻¹)		4,0 ± 0,4	< 10
CSA/NT		0,31 ± 0,0	< = 0,7
Producción de dióxido de carbono (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)		221,8 ± 32,9	< 120
H (%)		33,6 ± 1,6	< 60
Fósforo (P Olsen, ppm)		290 ± 30	-
Índice de germinación (IG, %)		86,0 ± 31,2	> 60
Nitrógeno Total (NT, %)		1,3 ± 0,1	-
Materia orgánica (MO, %)		56,1 ± 12,2	≥ 20
Relación carbono/nitrógeno (C/N)		24,4 ± 4,6	≤ 20 A < 30 B
N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)		5,0 ± 0,7	< 400
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)		44,7 ± 0,3	-



N-NH ₄ ⁺	0,1 ± 0,0	< 0,3
Coliformes fecales NMP g ⁻¹ compost en base seca	2,7 x 10 ²	< 1 000
Salmonella sp NMP ⁴ g ⁻¹ compost en base seca	ausencia	< 1
Cadmio (mg kg ⁻¹)	9,7 ± 3,8	1,5 clase A 3 clase B
Cobre (mg kg ⁻¹)	28,0 ± 1,1	150 A 450 B
Cromo total (mg kg ⁻¹)	32,7 ± 14,3	100 A 270 B
Mercurio (mg kg ⁻¹)	0,5 ± 0,1	0,7 A 5 B
Níquel (mg kg ⁻¹)	17,3 ± 6,4	30 A 120 B
Plomo (mg kg ⁻¹)	15,5 ± 3,0	100 A 150 B
Zinc (mg kg ⁻¹)	26,8 ± 9,6	300 A 1 100 B
Arsénico (mg kg ⁻¹)	3,3 ± 0,7	15 A 30 B

Los resultados hacen pensar que, con un ajuste en la granulometría inicial, y una mejor estrategia para mantener la humedad durante el proceso, se podría alcanzar la estabilidad para este período de tiempo y una relación C/N final algo menor, idealmente menor o igual a 20, para lograr obtener un compost clase A como indica la normativa.

El contenido de cadmio (Cd) excede los máximos permitidos por la norma para la clase B, y por lo tanto no se puede inscribir ni comercializar. Es posible que los contenidos de cadmio provengan de la contaminación cruzada del arbolado público con el humo proveniente de los escapes de combustión de los vehículos en la vía pública o partículas de material proveniente de las cuchillas de las máquinas de triturado o chipeo. La presencia de coliformes fecales por encima de los límites permitidos se atribuye a la contaminación de los tanques de agua utilizados para riego, sin tapa, por excrementos de palomas principalmente.

Tanto los niveles de EPT como los de patógenos, deben considerarse como principios precautorios y, cuando excedan los límites permitidos, además de restringir su uso, deberá rastrearse el origen de la contaminación, tratar de eliminarla, o al menos disminuirla. Los valores máximos de carga anual de EPT a añadir a un suelo se calculan en función de la concentración de EPT en compost y del valor límite de EPT (Tabla N°5 de la Resolución conjunta SCyMA-SENASA 01/2019).

Además, se debe tener en cuenta la concentración de cadmio (Cd) en el suelo a aplicar. En caso de contenidos medios-altos, también es recomendable analizar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y monitorear adsorción-desorción en el tiempo.

La Resolución también establece valores límites de carga máxima permitida para cada EPT en diez años.



5

USOS Y APLICACIONES DEL COMPOST DE PODA URBANA

USOS Y APLICACIONES DEL COMPOST DE PODA URBANA

El uso de compost otorga múltiples beneficios a los suelos, y otros medios de cultivo, por su aporte de materia orgánica estable y madura. Mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas: otorga mayor estabilidad estructural y porosidad, aumenta la infiltración, mejora la capacidad de retención del agua, regula el pH y estimula la actividad microbiana. El principal objetivo de un compost no es aportar nutrientes sino materia orgánica a los suelos, si se lo utiliza como enmienda, y porosidad si se lo utiliza como sustrato. Sin embargo, también puede suministrar cantidades discretas de algunos macro y micronutrientes a los vegetales.

El compost de residuos verdes, en los que predomina la poda urbana, puede cumplir con las características y beneficios mencionados, siempre y cuando cumpla con los estándares de un adecuado proceso y las recomendaciones de calidad para cada uso.

a. Compost como enmienda

Hay muchas variables que impiden hacer recomendaciones detalladas respecto a la utilización de enmiendas orgánicas, como es el caso del compost. La dosis, la forma de uso y la frecuencia, dependen fundamentalmente de: 1) las características del material inicial, del proceso y de la calidad final del compost, 2) las características del suelo donde se aplicará, 3) el nivel de intervención antrópica del mismo: si ha sido cultivado y por cuánto tiempo, previamente fertilizado, enmendado y/o alterado por labranzas, o si se trata de un sitio natural, 4) el tipo de vegetación que crece allí: nativa, exótica, ornamental, alimenticia u otro

tipo, 5) el clima de la región donde se aplicará y 6) en caso de ser suelo cultivado, si es en seco o bajo riego (importante conocer la cantidad y calidad del agua que se va a aplicar).

El efecto de la enmienda es más rápido si se mezcla con el suelo, pero esto implica una acción mecánica que tiene el inconveniente de deteriorar las propiedades físicas edáficas y acelerar la mineralización. En la mayoría de los casos se coloca en superficie (Fig. 1), lo que provoca un efecto "mulch" en el primer año, y luego se va incorporando a la matriz del suelo, liberando nutrientes lentamente.



Figura 1. Aplicación de compost en un sistema hortícola en ciudad de Córdoba, en el marco del proyecto Córdoba y su desarrollo sostenible. Diseño y prueba piloto de un modelo de gestión integral de residuos pecuarios y su aplicación agronómica, cofinanciado por ADEC.

Es frecuente utilizar dosis de 10-40 toneladas/hectárea de compost maduro y estable en cultivos hortícolas cada 4-6 años. Mayores dosis y/o frecuencias solamente son recomendables con un debido control de calidad del compost y que sea compatible con: i) las propiedades del compost (cantidad de N, fósforo, salinidad, EPT, entre otros), ii) las características físicas y químicas del suelo donde se aplicarán, iii) los vegetales que allí crecerán y iv) el sistema de

riego, frecuencia y cantidad de agua aplicada. Esto se debe a que pueden llegar a acumularse cantidades no deseadas, contaminantes y/o tóxicas de EPT, de N y de P, fundamentalmente.

En casos de altas dosis y/o frecuencias, también se deberá monitorear periódicamente el agua subterránea y el suelo en profundidad (1-2 m).

La mineralización de compuestos orgánicos. Su transformación a compuestos inorgánicos.

En el compost estabilizado se produce un proceso continuo de descomposición, degradación y mineralización-inmovilización. Simultáneamente ocurren diferentes cambios e interacciones químicas, como lo es la solubilización-insolubilización de elementos nutrientes (como el fósforo). La mineralización es el pasaje de compuestos orgánicos complejos a compuestos inorgánicos simples, realizado por un conjunto de microorganismos que extraen energía y elementos de este proceso. En el mismo, el carbono orgánico se transforma en gas inorgánico (CO_2), el nitrógeno (N) y el azufre (S) orgánicos se transforman en compuestos inorgánicos como el amonio (N-NH_4^+), el nitrato (N-NO_3^-) y el sulfato (S-SO_4^-). La inmovilización es el proceso inverso, la utilización de elementos (ej. N-NO_3^-) para formar compuestos orgánicos.

Las tasas de mineralización anuales del N orgánico son sumamente variables, debido a todos los factores que condicionan la descomposición de la materia orgánica, mencionados anteriormente: entre menos de 0 % y hasta 40 %. Para climas templado-húmedos-subhúmedos, y materiales con relación C/N mayores de 20/1, es frecuente tener rangos entre 0 y 10-15 % el primer año y entre 2 y 5 % hasta el quinto año luego de la aplicación. A su vez, las cantidades de N orgánico son variables.

experiencias

Ejemplo del cálculo de mineralización de nitrógeno orgánico del compost obtenido durante el ensayo de compostaje de poda chipeada, con un contenido de 1,3 % (tabla 1).

Asumiendo una mineralización promedio de 10 % anual (dato que debe surgir de un ensayo de mineralización y su ajuste con ensayo a campo, para cada compost y suelo).

1 kg compost = 0,013 kg N orgánico
 100 % 0,013 kg N orgánico
 10 % X = 0,0013 kg N mineralizado

Para espacios verdes de parques, plazas y canteros, a modo de orientación general, y para que tenga un efecto positivo sobre las propiedades físicas del suelo, sugerimos colocar entre 2 y 4 kg de compost por m² en superficie, con una frecuencia no mayor de cuatro o seis años. Esto representa 20.000 - 40.000 kg de compost/ hectárea.

Siguiendo con el ejemplo anterior:

1 kg de compost 0,0013 kg N mineral / primer año
 40 000 kg de compost X = 52 kg N mineral / primer año

También hay que tener en cuenta el aporte de nutrientes en forma mineral que posee el material. Para el caso del N, se utiliza el dato de N mineral en forma de nitrato (N-NO₃⁻) que aporta el análisis de laboratorio correspondiente, y, eventualmente el N mineral en forma de amonio, (N-NH₄⁺) que en la mayoría de los casos suele ser bastante inferior y poco significativo.

Tomando como ejemplo el tratamiento de poda (P) del ensayo de compostaje (tabla 4):

- El contenido de N-NO₃⁻ es de 45 mg/kg, el cálculo sería:
 1 kg de compost de poda..... 0,000045 kg N-NO₃⁻
 40 000 kg de compost..... x = 1,8 kg N-NO₃⁻
- El contenido de N-NH₄⁺ es de 5 mg/kg, el cálculo sería:
 1 kg de compost..... 0,005 kg NH₄⁺
 40 000 kg de compost..... x = 0,2 kg NH₄⁺



recomendaciones

Realizar ensayos de mineralización con las enmiendas producidas es una buena herramienta para estimar los efectos que tendrá la incorporación de una determinada cantidad a un suelo dado, y particularmente para cuantificar la liberación de N y P. Si bien se trata de situaciones ideales y en condiciones controladas, permite proyectar posibles efectos resultantes de la interacción suelo-sustrato a corto y mediano plazo. Aportan información útil y necesaria para realizar diagnósticos, definir usos, frecuencias y dosis de aplicación.

b. Compost para sustrato

Otro destino posible del compost es como constituyente de mezclas para sustratos, en proporciones muy variables, pero mucho mayores respecto a las utilizadas como enmiendas. De acuerdo al SENASA en su Resolución 431/2024 define a los sustratos como todo material distinto del suelo, colocado en un contenedor en mezcla o puro, que permite el anclaje del sistema radicular desempeñando la función de soporte para la planta.

En una definición más completa, podemos decir que sustrato es "todo material poroso, usado solo o en combinación con otros, que colocado en un contenedor (u otras situaciones de confinamiento), proporciona anclaje para las plantas, adecuados niveles de agua y de oxígeno, permite una libre circulación de agua y gases para el

buen desarrollo de las plantas que crecen en él y puede o no intervenir en su nutrición".

Existen muchos tipos de sustratos, con diferentes propiedades, pero la principal característica de todos ellos es su elevada porosidad total, mayor a la de los suelos que suele ser de entre 40 y 60 %.

Cómo ya se señaló, el compost posee muchas cualidades y su uso otorga beneficios para el crecimiento vegetal, pero hay que hacer algunas consideraciones para su utilización específica como sustrato. El uso de un material para este fin es de tipo intensivo, en concentraciones variables pero elevadas y utilizado en situaciones particulares y exigentes, en lugares confinados como son los contenedores y maceteros, con volúmenes limitados para el desarrollo de las

raíces. Por ello se debe conocer muy bien sus características y sus propiedades, a los fines de realizar las mezclas adecuadas.

Además de cumplir con los límites y parámetros de calidad que determina la normativa vigente para compost, cuando éste es destinado a sustrato, debe caracterizarse con parámetros y metodologías propias de estos materiales: porosidad total, capacidad de aire, capacidad de agua, densidad de sustrato y granulometría.

Es importante resaltar que el uso inadecuado de compost como sustrato (excesiva cantidad y/o deficiente calidad) puede ocasionar problemas en la germinación y crecimiento de los vegetales, e inclusive ocasionar la muerte por efectos tóxicos (inmadurez), pH y salinidad inconveniente, entre otros factores.

¿Qué cantidad de compost se utiliza en las mezclas para contenedores?

Es variable según las características físicas y químicas del material de origen, el tipo de proceso, su calidad final y las necesidades según el destino de uso: germinación o trasplante, especie y tipo de vegetal, ornamental, forestal, hortícola, etc. Cuando su calidad y el destino lo permite, se puede llegar a utilizar en mezclas hasta un 30-50 %. Excepcionalmente podría ser más, por ejemplo para la multiplicación de algunos árboles con fines de forestación y restauración, e inclusive algunas hortícolas. Una posible limitante del uso de compost puros obtenidos a partir de material vegetal es

su pH ligeramente alcalino, inapropiado para la mayoría de las especies florales tradicionales, pero no así para especies de zonas semiáridas, como es el caso de los vegetales del Chaco Serrano, del Chaco Seco y del Espinal del centro-norte de la Argentina.

Se ha resaltado la porosidad como una propiedad fundamental de los sustratos, y algunos compost pueden tenerla en cantidad insuficiente para ser utilizada en altas proporciones, especialmente cuando se necesita alta capacidad de aire o porosidad de aire.

Los compost con relaciones C/N amplias (>20/1), como los de residuos de poda, tienen como ventaja que son más estables en el tiempo, por lo que la porosidad total y la porosidad de aire es más duradera. Esto es especialmente importante para el uso de sustratos en contenedores donde los vegetales estarán varios meses o años. Aún tratándose de compost estables, las relaciones C/N bajas estimulan la actividad microbiana, la descomposición y la mineralización, por lo que disminuye el tamaño de las partículas fundamentalmente a expensas de los macroporos responsables de la aireación. Si bien aportan N mineral al vegetal, disminuye su calidad física con el tiempo.

Otra limitante puede ser la elevada salinidad, especialmente en compost o lombricompostos provenientes de estiércoles, la cual tiene efectos inhibitorios por elevación del potencial osmótico y/o toxicidades específicas.

El compost obtenido a partir de residuos verdes contienen menor concentración salina y por eso se pueden llegar a utilizar puros en almácigos (Fig. 2). Algunos compost de restos de alimentos puros pueden llegar a tener elevada salinidad.



Figura 2. Plantín de lechuga sembrado en sustrato de compost 100 % de residuos alimenticios y residuos verdes (derecha) y en sustrato del mismo compost y suelo mineral 50 % : 50 %. (izquierda).

Las cubiertas verdes o “techos verdes” son una nueva tecnología en proceso de expansión, en la cual el uso del compost tiene muchas posibilidades de aplicación. Si bien los componentes que predominan son inorgánicos, la inclusión de compost en las mezclas de sustratos para cubiertas verdes de tipo “intensivas”, con espesores de más de 30 cm, en cantidades variables entre 30 y 80 %, puede mejorar sus propiedades físicas, la retención de agua, la supervivencia, el crecimiento y el desarrollo de los vegetales. En la medida que se pueda favorecer la utilización de compost en viveros (Fig. 3), se estimula el empleo de un recurso

sustentable y económico y se desalienta el uso de sustratos con impacto ambiental negativo, como es el caso de turbas y mantillos. Es muy importante que cada productor o viverista realice sus propios ensayos con materiales caracterizados, probando mezclas y proporciones, debido a la gran variabilidad existente entre los diferentes compost destinados a sustratos y a la diversidad en las necesidades de cada especie vegetal, dependiendo de su estado y condiciones de manejo.



Figura 3. Producción de sustratos para plantines de árboles, en el vivero de la CTPH ubicado en la PTRSU de la municipalidad de Unquillo, Córdoba.

Factores a tener en cuenta como posibles limitantes en algunos compost utilizados para sustrato en altas concentraciones.

- Granulometría inadecuada (muy fina o muy gruesa), pH alcalino, salinidad elevada, insuficiente porosidad de aire, dificultad de humectación. Soluciones: Realizar mezclas con otros sustratos aptos, de manera de obtener valores apropiados; humectar un tiempo antes de utilizar.

- Deficiente calidad por inestabilidad y/o inmadurez, lo que pueden ocasiona inmovilización (déficit) de N y/o fitotoxicidad, respectivamente. Solución: Completar el proceso compostaje, manteniendo la humedad apropiada y realizando volteos para acelerar el proceso.

- Variabilidad en el producto (por variación en el material de origen, en el proceso, y/o entre diferentes productos). Soluciones: Seleccionar productos y materiales confiables y adecuados.

- Discontinuidad de la oferta de residuos en el año. Soluciones: Elegir generadores con volumen adecuado, acopiar.

- En la mayoría de los casos, las limitantes se pueden minimizar, eliminar y/o manejar, realizando el propio compost-sustrato.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia de Residuos de Cataluña. 2016. Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje. https://residus.gencat.cat/web/content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf

Andretich, M.D. y Bertero, J.M. 2014. Potencialidad energética de los residuos de poda de la ciudad de Unquillo. FCEFN, UNC.

Benito, M., Masaguer, A., Antonio R., y Moliner A. 2005. «Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media». Bioresource technology 96:597-603. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.006>

Garrido G., Pettigiani E. Silbert V., Mazzeo N., Cruz N. 2021. Guía para una gestión integral de residuos verdes municipales. Herramientas para planificar en el territorio. Libro digital, PDF Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-950-532-462-0

IRAM 29556-1. 2012. Calidad ambiental. Calidad de suelo. Compostaje aeróbico. Parte 1: Conceptos básicos, factibilidad del tratamiento y buenas prácticas del proceso de compostaje de residuos verdes.

Lavado, Raúl S. 2012. Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidades de uso. En: Compostaje en la Argentina: experiencias de producción, calidad y uso. Eds. Mazzarino, M. J. y Satti P. 1a ed. Buenos Aires, Orientación Gráfica Editora, pp: 3-12.

Martinez, L. E., Rizzo, P. F., Bres, P. A., Riera, N. I., Beily, M. E., & Young, B. J. (2021). Compendio de métodos analíticos para la caracterización de residuos, compost y efluentes de origen agropecuario y agroindustrial. Ediciones INTA. Disponible en: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/10587>

Ministerio de Ambiente de la provincia de Buenos Aires 2023. Resolución 102/2023. 24 de abril de 2023. Boletín Oficial N° 29492. Disponible en: <https://normas.gba.gob.ar/ar-b/resolucion/2023/102/355530>

Pettigiani E., Garrido G., Silbert V., Castellano J., García S., Pietrarelli L., Moretti G., Rearte M. 2021. Caracterización del potencial energético de los residuos verdes de la ciudad de Córdoba, Argentina. Encuentro Iberoamericano de Redes de Biomasa y Bioenergía. Camino a la sustentabilidad energética. Evento virtual. 13,14 y 15 de octubre de 2021. Actas del evento. Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-84-15413-45-5. Disponible en https://www.cytod.org/sites/default/files/actas-iberoredes_2021.pdf.

Ringuelet A. y Koristchoner J. 2023. «Evaluación de calidad de un compost domiciliario y su efecto en la multiplicación y crecimiento inicial de lechuga (*Lactuca sativa* L.)» Horticultura Argentina. Horticultura Argentina, 42 (107): 46-62. Disponible en: <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/gdtlej4uq>.

Ringuelet A., Rollán A. A del Carmen, Koritschoner J. J., Blarduni V. y Vargas M. L. 2019. «Elaboración de enmiendas y de sustratos con fines productivos y didácticos en una planta de compostaje de residuos vegetales urbanos en la UNC. Disponible en: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/26063>».

Rynk R., Cooperband L., Oshins C., Wescott, H., Bonhotal J., Schwarz M., Sherman R., y Brown S. 2022. «Chapter 1 - Why compost?» Pp. 1-26 en *The Composting Handbook*, editado por R. Rynk. Academic Press.

SENASA, 2024. Resolución N° 431/2024. Registro nacional de fertilizantes, enmiendas, acondicionadores, sustratos, protectores y materia. Sancionada el 24 de abril de 2024. Publicada en el Boletín Nacional del 25-Abr-2024. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-431-2024-398542>

SCyMA-SENASA 2019. Resolución N° 01/2019 conjunta de la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental y del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost. Sancionada el 10 de enero de 2019. Boletín Nacional N° 34031. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-1-2019-318692/texto>

Schneider, L. I. 2022. «Plan de Gestión Integral de los residuos verdes de la ciudad de Santa Fe, Argentina Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/6725>».

Silbert Voldman V., Gaona Flores M. A., Bonomi F., Pietrarelli L., Ringuelet A. Compostaje de poda urbana: estrategias para optimizar el proceso y obtener un compost de calidad Publicaciones INTA Digital-Revista ASACOMP edición especial pagina 429 · 1 nov. 2024. Disponible en: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/21139>

GLOSARIO

AGENTES PATÓGENOS: entidades biológicas que pueden provocar enfermedades a su huésped.

BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS: productos derivados de la biomasa sólida que son susceptibles de utilización directa en los procesos de conversión energética y que se obtienen a partir de la biomasa mediante transformaciones, generalmente de naturaleza física, tales como el astillado, la molienda y el secado (briquetas, chips, pellets).

BIOMASA: fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura, aserraderos, residuos agroindustriales y municipales. Puede ser herbácea, y/o leñosa, esta última con mayor contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina.

COMPOST: producto higienizado, estable y maduro que resulta del proceso de compostaje. Está constituido, mayormente, por materia orgánica que presenta poco parecido físico a la materia prima que le dio origen.

COMPOSTAJE: proceso controlado de transformación biológica de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas y termófilas. Por acción microbiana deben transcurrir tres etapas diferentes y en el orden enunciado: 1) Una primera etapa mesófila; 2) Una etapa termófila; 3) Una segunda etapa mesófila, o de maduración.

DOSIS ANUAL DE CARGA DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS: cantidad máxima de un elemento potencialmente tóxico (en base seca) que puede ser aplicado a una unidad de superficie de suelo en UN (1) año (kg/ha. año) sin superar la carga máxima admitida en 10 años.

ENMIENDA: toda sustancia o mezcla de sustancias de carácter inorgánico, orgánico o biológico que incorporada al suelo modifique favorablemente sus caracteres físicos, fisicoquímicos, químicos o biológicos, sin tener en cuenta su valor como fertilizantes.

ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (EPT): son elementos tóxicos aún en bajas concentraciones, comúnmente denominados 'metales pesados' a pesar que algunos de ellos no son metales. Varios son micronutrientes esenciales para las plantas y los animales y su deficiencia limita la producción agropecuaria.

ESTABILIDAD: situación estacionaria de un proceso de descomposición biológica. Condición por la cual se alcanza el equilibrio de la actividad biológica y constancia en la temperatura que debe ser similar a la del ambiente. A mayor estabilidad menor degradabilidad y menor actividad microbiana.

ETAPA MESÓFILA: fase del proceso de compostaje en la que se alcanzan temperaturas entre 10 °C y 45 °C.

ETAPA TERMÓFILA: fase del proceso de compostaje en la que se alcanzan temperaturas mayores a 45 °C.

FERTILIZANTE: todo producto que incorporado al suelo o aplicado a los vegetales o sus partes, suministre en forma directa o indirecta sustancias requeridas por aquellos para su nutrición, estimular su crecimiento, aumentar su productividad o mejorar la calidad de la producción. Estos productos podrán ser de naturaleza inorgánica, orgánica o biológica. Los de naturaleza inorgánica u orgánica deberán contener principalmente elementos nutrientes primarios: nitrógeno, fósforo, potasio y/o elementos nutrientes secundarios: calcio, magnesio o azufre y/o elementos menores o micronutrientes: boro, cinc, cobre, hierro, molibdeno, manganeso, cloro y el cobalto, susceptibles de ser aplicados en forma capaz de ser asimilados por vegetales. Los de naturaleza biológica deberán contener organismos viables que suministren directa o indirectamente nutrientes a la planta o ejerzan una acción beneficiosa para el desarrollo de los vegetales.

HIDROFÓBICO: material con poca capacidad de humectación o con capacidad para repeler el agua.

HIGIENIZACIÓN: proceso que involucra el o los tratamientos tendientes a la disminución del contenido de agentes patógenos por debajo de los límites establecidos por la normativa vigente, con el objetivo de proteger la salud pública y el ambiente.

INERTES: material inorgánico que puede venir mezclado con los residuos a compostar como ser vidrio, plásticos, metales, áridos, caucho, entre otros.

MADURACIÓN O SEGUNDA ETAPA MESÓFILA: fase del proceso de compostaje durante la cual la temperatura desciende hasta valores similares a la ambiental aún en condiciones de humedad y aireación óptimas. Durante esta fase el producto se estabiliza y madura.

MADUREZ: calidad del producto estable y sin sustancias fitotóxicas que puedan afectar el crecimiento vegetal. Se alcanza con la finalización efectiva del proceso de compostaje.

MATERIAS PRIMAS: residuos, de origen animal o vegetal, factibles de ser compostados.

LIXIVIADO: líquido que percola de los residuos a tratar, durante el proceso de compostaje, principalmente en la primera etapa de compostaje activo.

MATERIAL ESTRUCTURANTE: conjunto de materiales secos y con elevada relación C/N que ofrecen porosidad a la pila/hilera en proceso de compostaje, favoreciendo el intercambio gaseoso, aportando carbono y absorbiendo el exceso de humedad. Suelen utilizarse partículas de entre 2 y 5 cm de chips de poda, poda triturada, viruta de madera sin tratar, residuos vegetales como cáscara de maní y maíz entre otros. Son parcialmente degradados durante el proceso (co-compostaje).

PARTIDA o LOTE: cantidad de producto generado en un determinado sitio en condiciones similares, con las mismas materias primas y el mismo proceso, que resulta en un producto final de características homogéneas, factible de ser sometido a una certificación de su calidad.

PARVA: montículo cónico de residuos orgánicos en proceso de compostaje durante la etapa de maduración.

PILA / HILERA / BIOPILA DE COMPOSTAJE: montículo longitudinal, normalmente de sección triangular o trapezoidal, que se conforma mezclando los residuos orgánicos a compostar en proporciones y condiciones tales que permitan el desarrollo adecuado del proceso. Las pilas pueden ser estáticas o con volteos, estar confinadas o al aire libre según la metodología y grado de mecanización de la planta.

PLANTA DE COMPOSTAJE: instalación adecuada y autorizada por la autoridad competente para el tratamiento de residuos orgánicos por compostaje.

RECHAZO: fracción de residuos desechables o impropios que no pueden ser ni reciclados ni valorizados, por lo que necesitan trasladarse en un sitio de disposición final. Puede ser tierra, escombros, chatarra, plásticos, papel, textil y calzado.

RECOLECCIÓN DIFERENCIADA: la recolección en la que un flujo de residuos separados en origen, se mantiene diferenciada, según su tipo y naturaleza, para facilitar un tratamiento específico.

RESIDUO ORGÁNICO: cualquier residuo susceptible de sufrir transformación biológica, ya sea aeróbica o anaeróbicamente.

RESIDUOS VERDES: son residuos vegetales como pastos cortados, hojas secas y ramas, que se generan como resultado del cultivo, poda y mantenimiento de jardines, parques, espacios públicos, así como de la conservación de paisajes. Pueden ser herbáceos, arbustivos o leñosos según su grado de lignificación. Se caracterizan por ser una fracción no uniforme, ni en tipología ni en composición, debido a su naturaleza, estacionalidad y origen heterogéneo.

RESIDUOS DE JARDINERÍA: conocido como *yard trimming* en inglés. Está compuesto principalmente por restos de corte de césped, hojas verdes o secas de árboles, arbustos y cercos. Restos de plantas herbáceas de trasplantes, recambios y raleos.

RESIDUOS DE PODA: conocido como *yard pruning* en inglés. Está compuesto principalmente por ramas, troncos y raíces (para el caso de extracción) de árboles con o sin hojas. Ramas y raíces de arbustos con o sin hojas.

RIEGO: incorporación de agua, residuos líquidos o lixiviados aptos para obtener el nivel de humedad necesario del proceso. Según la etapa en que se encuentre el proceso deberá considerarse la calidad y cantidad del mismo.

SEPARACIÓN EN ORIGEN: segregación de residuos en el sitio en que son generados según categorías que permitan un tratamiento específico de valorización.

SUSTRATO: todo material sólido distinto del suelo, natural, mineral, orgánico o de síntesis que, colocado en un contenedor, en mezcla o puro permite el anclaje del sistema radicular desempeñando la función de soporte para la planta.

TAMIZADO / CRIBADO: proceso de separación de material inicial (poda triturada/chipeada) o final (compost) a los fines de obtener fracciones con determinado rango de tamaño de partículas, acorde a la naturaleza, al propósito y/o al destino del mismo, extraer impropios o recuperar material estructurante luego del proceso de compostaje.

TRATAMIENTO IN SITU: es la adecuación de los restos de jardinería o los restos de poda, que, mediante maquinaria móvil, por ejemplo, una chipeadora, se los trata en el lugar donde se generan (plazas, parques, instituciones, residencias) con el objetivo de reducir su volumen. Luego, estos residuos pueden ser trasladados a la planta municipal o quedar en el mismo sitio para su aprovechamiento.

VALOR LÍMITE: Cifra establecida que expresa el valor máximo admisible de la concentración de un determinado elemento o compuesto químico en el material resultante del compostaje. La concentración de un determinado elemento o compuesto químico que puede incorporarse a un suelo o a otro cuerpo receptor en condiciones controladas.

VOLTEO: movimiento del material a los fines de homogeneizar la distribución de los diferentes componentes de la mezcla y su contenido de humedad, y mantener la correcta aireación para el suministro de oxígeno en toda la pila o hilera. También se puede airear el material sin movimiento, aplicando diferentes técnicas pasivas (convección) o activas (presión o succión), utilizando ductos.

ANEXOS

Modelo de ficha técnica de residuos.

CÓDIGO RESIDUO:			
DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO:			
ÉPOCA DE PROVISIÓN DEL RESIDUO (meses):			
RESULTADOS DE ANÁLISIS		FECHAS DE ANÁLISIS	
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:			
Materia orgánica % (MO) por calcinación			
Nitrógeno Total (NT) (Kjeldahl + nitratos) (%)			
Carbono orgánico (CO) (MO/1,8) (%)			
Relación CO/NT (C/N)			
pH (suspensión acuosa 1:5)			
CE (suspensión acuosa 1:5) (ds/m)			
Humedad (H) (%)			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:			
Densidad (kg/m ³)			
POSIBLES PROBLEMAS:			
Presencia de elementos potencialmente tóxicos (EPT)			
Presencia de semillas viables			
Generación de olores y lixiviados			
Patógenos/vectores asociados por el tipo de residuos			
Presencia de materias extrañas (impropios)			
ACONDICIONAMIENTO DEL RESIDUO EN EL LUGAR DE ORIGEN:			
ACONDICIONAMIENTO DEL RESIDUO EN LA PLANTA:			
ACOPIO TRANSITORIO DEL RESIDUO EN EL LUGAR DE ORIGEN:			

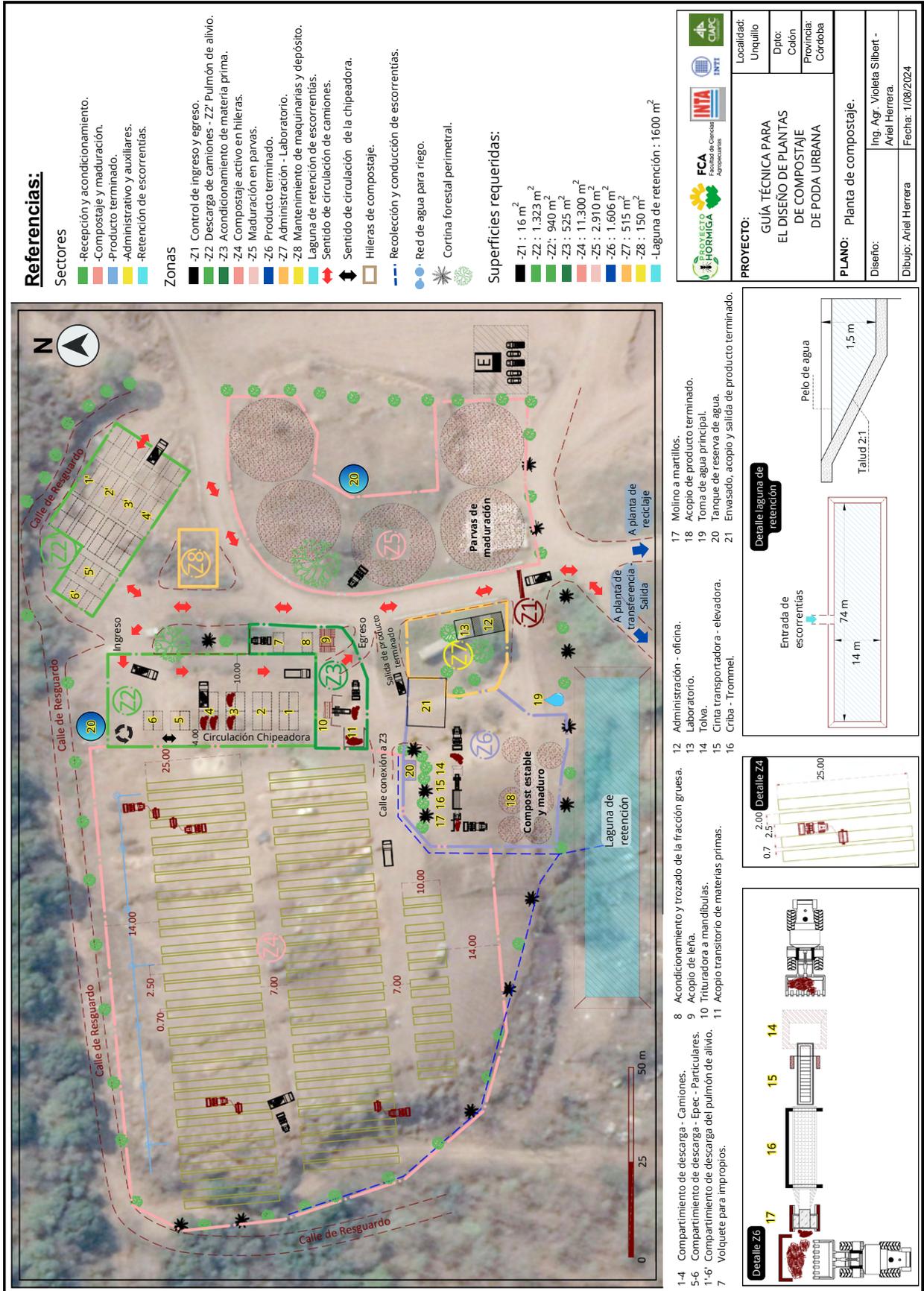
Planilla de cálculo de mezcla óptima y tamaño de pila/hilera.

N° Materia- prima	Código Materias primas	Características físico-químicas de las materias primas						Tamaño de pila				
		H (%)	C (%)	N (%)	Q (kg o t)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Participación (%)	Área de pila (m ²)	Largo de pila (m)		
Cálculo del contenido de humedad de la mezcla												
Cálculo de la relación C/N de la mezcla												
TOTAL												
Cálculo del largo de hilera												

Donde:

Q = peso fresco (kg o t)

Sectores y zonas de la planta de acondicionamiento de RV y compostaje de RP diseñada para Unquillo, Córdoba.



PROYECTO:	GUÍA TÉCNICA PARA EL DISEÑO DE PLANTAS DE COMPOSTAJE DE PODA URBANA	Localidad: Unquillo
		Dpto: Colón
		Provincia: Córdoba
PLANO:	Planta de compostaje.	
Diseño:	Ing. Agr. Violeta Sibert - Ariel Herrera.	
Dibujo:	Ariel Herrera	Fecha: 1/08/2024

GUÍA TÉCNICA PARA EL DISEÑO DE PLANTAS DE COMPOSTAJE DE PODA URBANA



Instituto
Nacional
de Tecnología
Industrial



FCA
Facultad de Ciencias
Agropecuarias



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina



MUNICIPALIDAD
DE UNQUILLO



Secretaría de
**Ambiente Sustentable
y Economía Circular**

ISBN 978-950-532-555-9



9 789505 132559