

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO NEGRO — SEDE ANDINA

Asignatura: Tratamiento y Reciclado de Residuos Sólidos

ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) TRABAJO PRÁCTICO N° 5

Integrantes / Grupo:	Artusso Julieta, Boock Catalina, Dorré Julián y Genovese Alma
Docente:	Esp. Ing. Emanuel Zenz
Fecha de Realización del Muestreo:	15/09/2026
Fecha de Entrega del Informe:	23/09/2026

Indice

1. Introducción y Marco Normativo.....	2
2. Objetivos del Trabajo Práctico.....	2
2.1. Objetivo General.....	2
2.2. Objetivos Específicos.....	2
3. Metodología y Diseño Experimental.....	3
3.1. Fase I: Muestreo Estratificado y Actores Clave.....	3
3.2. Equipos de Protección Personal (EPP) e Equipamiento Utilizado.....	3
3.3. Fase II: Protocolo de Cuarteo (Norma IRAM 29523).....	4
3.4. Fase III: Caracterización Física, Ensayo de Humedad y densidad.....	4
4. Modelo Matemático y Formulario de Cálculo.....	5
5. Planillas de Registro y Tablas de Laboratorio.....	5
6. Análisis y Resultados y Propuesta de Tratamiento.....	7
6.1. Representación Gráfica y Análisis de Composición.....	8
6.2. Propuesta Técnica de Tratamiento.....	9
7. Conclusiones y Recomendaciones.....	10
7.1. Conclusiones.....	10
7.2. Recomendaciones.....	10
8. Referencias y Normativa de Consulta.....	11

1. Introducción y Marco Normativo

La gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU) en ámbitos institucionales universitarios requiere diagnósticos precisos sobre la generación, cantidad y composición de los residuos emitidos. La Sede Anasagasti de la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN) funciona como un centro de alta afluencia diaria de estudiantes, docentes y personal no docente. Por ello, resulta indispensable caracterizar sus corrientes de residuos para evaluar la eficiencia de los hábitos de segregación en origen y diseñar alternativas de valorización técnica, especialmente para la fracción orgánica mediante procesos de compostaje.

El desarrollo metodológico de este estudio se fundamenta rigurosamente en la normativa técnica vigente:

- **Norma IRAM 29523:** Residuos sólidos urbanos. Determinación de la composición de residuos sólidos urbanos. Establece las directrices operativas para la clasificación manual por subfracciones físicas y la toma de muestra representativa.
- **Normas IRAM 29414/29415:** Guían los procedimientos normalizados de homogeneización, reducción y cuarteo para la obtención de muestras críticas sin sesgos de muestreo.

Asimismo, la determinación del contenido de humedad de la fracción orgánica se alinea con el ensayo estandarizado de secado en estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (**Standard Methods 2540 G / ASTM D5231**).

2. Objetivos del Trabajo Práctico

2.1. Objetivo General

Realizar el estudio de caracterización física y cuantificación de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados durante una jornada habitual de actividades en la Sede Anasagasti de la UNRN Sede Andina, con el fin de evaluar la factibilidad técnica de tratamiento para las fracciones recuperables.

2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar el esquema de muestreo y definir el mapa de actores clave a consultar.
- Ejecutar la recolección, homogeneización y técnica de cuarteo normada para la obtención de la muestra representativa de análisis.
- Realizar la segregación manual de subfracciones físicas y determinar el porcentaje de humedad (H%) de la fracción orgánica en laboratorio.
- Extrapolar la masa total generada en el día.
- Representar gráficamente la composición centesimal y elaborar una propuesta justificada de tratamiento para la fracción dominante.

3. Metodología y Diseño Experimental

3.1. Fase I: Muestreo Estratificado y Actores Clave

Se definió un muestreo del total de residuos generados por las distintas áreas funcionales de la Sede Anasagasti: Aulas, Sanitarios, Área Administrativa y Espacios de Circulación Común, cubriendo la jornada académica de turno tarde (13:30 a 22:00 hs).

Actor / Stakeholder	Rol en el Estudio e Información Requerida
Personal de Mantenimiento y Limpieza	Rutas internas de recolección, frecuencia de vaciado de cestos.
Servicios Generales y Coordinación	Logística, permisos de acopio y asignación del espacio físico seguro para las operaciones de cuarteo y clasificación de los residuos

Tabla 1: Mapa de Actores Clave Consultados

3.2. Equipos de Protección Personal (EPP) e Equipamiento Utilizado

- Equipos de Protección Personal: Guantes de nitrilo reforzados / anticorte, barbijo/respirador N95 para bioaerosoles, antiparras de policarbonato con protección lateral, guardapolvo/overol y calzado cerrado.
- Equipamiento de Muestreo y Laboratorio: Balanza digital de plataforma (capacidad de hasta 150 kg, precisión ± 100 g), balanza analítica (precisión ± 0.01 g), lona de polietileno de alto micraje (3 m $\times$ 3 m), pala plástica, estufa de secado con circulación forzada (105 °C), desecador de vidrio y cápsulas/placas de aluminio.



Figura 1: Instrumental de pesaje utilizado en el laboratorio. (a) Balanza digital de plataforma empleada para la masa bruta por diferencia de tara. (b) Balanza analítica/precisión empleada para los ensayos gravimétricos de humedad y densidad.

3.3. Fase II: Protocolo de Cuarteo (Norma IRAM 29523)

- **Paso 0:** Se pesó la totalidad de las bolsas recolectadas al cierre de la jornada para registrar el Peso Total Bruto (W_{total}).
- **Paso 1:** Se clasificaron distintas corrientes, seleccionando la fracción orgánica para el cuarteo.
- **Paso 2:** Sobre una lona plástica se integró la masa mediante mezcla manual con pala hasta conformar un cono simétrico.
- **Paso 3:** Se aplanó suavemente el cono formando una torta circular uniforme de aproximadamente 30 a 40 cm de espesor.
- **Paso 4:** Se dividió la torta en cuatro cuadrantes mediante dos líneas perpendiculares en cruz.
- **Paso 5:** Se eliminaron dos cuadrantes opuestos en diagonal.
- **Paso 6:** Se mezclaron los dos cuadrantes conservados y se repitió el proceso iterativamente hasta obtener una muestra de ensayo de laboratorio con un peso de aprox 700g. Para con ellos determinar la humedad.



Figura 2: Secuencia fotográfica del procedimiento de homogeneización y cuarteo (Norma IRAM 29523). De izquierda a derecha: acopio e inspección de las bolsas recolectadas; mezclado y conformado del cono sobre la lona impermeable; y división transversal en cuadrantes para la obtención de la muestra representativa.

3.4. Fase III: Caracterización Física, Ensayo de Humedad y densidad

1. **Determinación de la Masa bruta por Diferencia de Peso:** Para el registro inicial de la masa total de las bolsas recolectadas (W_{bruto}) se empleó la técnica gravimétrica de diferencia de peso. Un operador previamente pesado ($m_{operador}$) se posicionó sobre la balanza digital portando cada bolsa de residuos, registrándose la masa combinada ($m_{combinada}$). La masa neta de los residuos recolectados se determinó mediante la Ecuación 1:

$$W_{bolsa} = m_{combinada} - m_{operador}$$

Este procedimiento garantiza la estabilidad en la lectura y minimiza los errores de medición derivados del apoyo irregular de las bolsas sobre la plataforma del equipo.

2. **Segregación Física:** Clasificación de la muestra $W_{muestra}$ en seis subfracciones normalizadas (Orgánicos, Papel/Cartón, Plásticos, Vidrios/Metales, Especiales/Peligrosos, Rechazo/Sanitario) y pesaje individual (M_i , muestra).
3. **Ensayo de Humedad (H%):** Se tomaron 2 réplicas (A-B) de la fracción orgánica (300 - 500 g cada una). Registro del peso tarado de la cápsula (W_0), peso con muestra húmeda (W_h), secado en estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas hasta peso constante, enfriamiento en desecador y registro del peso seco (W_s).
4. **Determinación de Densidad (kg/m^3):** Se midió el volumen de agua contenía en total un vaso de precipitados (V_{vaso}). Luego se vertió la muestra de residuos orgánicos sin compactación forzada, registrando la masa neta contenida (m_{muestra}). La densidad se calculó mediante la relación entre la masa neta y el volumen ocupado siguiendo la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m_{\text{muestra}}}{V_{\text{vaso}}}$$

4. Modelo Matemático y Formulario de Cálculo

Para el procesamiento de los datos experimentales obtenidos, se aplicaron las siguientes ecuaciones:

Porcentaje de Humedad (H%)	$H\% = [(W_h - W_s) / (W_h - W_0)] \times 100$
----------------------------	--

5. Resultados

A continuación se presentan las planillas normalizadas para el volcamiento de los datos obtenidos y el cálculo de la caracterización centesimal y humedad.

En la Tabla 2 se consolidan los resultados de la separación manual de la muestra representativa por subcategorías físicas, indicando sus masas netas y aportes porcentuales correspondientes.

Categoría / Subfracción Física	Peso Muestra M_i , muestra (kg)	Peso Extrapolado M_i , total (kg)	Composición Centesimal (% M_i)
1.1. Orgánicos Compostables (yerba mate, café)	6	6	52,92%
1.2. Orgánicos No Compostables (restos de carne, grasas, lácteos)	0,112	0,112	0,99%
2. Papel y Cartón (hojas, impresiones, cajas, servilletas limpias)	1,191	1,191	10,51%

3. Plásticos (PET, PEAD, envoltorios film, vajilla descartable)	0,87	0,87	7,67%
4. Vidrios y Metales (botellas, frascos, latas de aluminio/hojalata)	0,152	0,152	1,34%
5. Rechazo / Sanitario (papel higiénico, servilletas usadas, barrido)	2,9	2,9	25,58%
6. Otros	0,112	0,112	0,99%
TOTALES	Wmuestra = 11,337	Wtotal = 11.337	100.0 %

Tabla 2: Clasificación Física de RSU y Composición Centesimal (Norma IRAM 29523).

Aclaración y Justificación Metodológica

La metodología teórica de referencia plantea un diseño de muestreo aleatorio estratificado por áreas funcionales (aulas, sanitarios, administración, laboratorios y circulación común). No obstante, para el desarrollo del presente trabajo práctico, se procedió al análisis de una muestra global integrada por 2 bolsas representativas del volumen recolectado en esa franja horaria (13:30 a 22hs). Dado que el material no fue segregado previamente por origen en el momento de la recolección, la muestra se trató como una unidad composicional única e integrada.

La Norma IRAM 29523 contempla la técnica de homogeneización y cuarteo sucesivo únicamente cuando la masa total recolectada W_{total} excede la capacidad de procesamiento del laboratorio (fijando una masa de ensayo $W_{muestra}$ de entre 20 kg y 40 kg).

En este caso, al abarcar la muestra un volumen acotado de 2 bolsas y contar con la capacidad operativa para clasificar el 100% del material recolectado, no se aplicó la reducción por cuarteo. Por lo tanto, el Peso Muestra evaluado en balanza es equivalente al Peso Total analizado ($W_{muestra} = W_{total}$). Por consiguiente, el factor de extrapolación ($\frac{W_{total}}{W_{muestra}}$) resulta igual a 1, siendo la masa extrapolada de cada subfracción ($M_{i,total}$) exactamente igual a la masa de la balanza ($M_{i,muestra}$).

Cabe destacar que a la tabla propuesta por la cátedra se le realiza una modificación sobre “5. Peligrosos / Especiales (pilas, cartuchos, barbijos, EPP usado)” dado que de esta manera no se contempla otros tipos de residuos. De esta manera, se cambia el nombre por “6. Otros (fibrones, chicles, envases de tetrapack)”.

La Tabla 3 sintetiza las lecturas gravimétricas obtenidas en estufa a 105°C para la determinación del porcentaje de humedad de la fracción orgánica compostable.

	Peso Cápsula W0 (g)	Peso Cápsula + Muestra Húmeda Wh (g)	Peso Cápsula + Muestra Seca Ws (g)	Humedad H% (%)
Réplica 1 (A)	219,9	553,3	302,2	75,31
Réplica 2 (B)	196,3	583,1	291,7	75,34
PROMEDIO	208,1	568,2	297	H%prom = 75,3

Tabla 3: Ensayo de Humedad en Estufa a 105 °C (Fracción Orgánica)

Adicionalmente a la caracterización física y al ensayo de humedad, se determinó la densidad aparente del material orgánico compostable.

V _{vaso} [mL]	m _{muestra} [g]	Densidad (kg/m ³)
1171,5	534.5	460

Tabla 4: Cálculo de densidad (Fracción Orgánica)

6. Análisis y Resultados y Propuesta de Tratamiento

En coherencia con la estrategia de muestreo global integrado adoptada:

Gráfico Circular de Composición Centesimal (%): Se elabora y presenta para reflejar la distribución porcentual en masa de cada una de las 6 subfracciones físicas sobre el total de la muestra.

Gráfico Circular de Barras por Estratos (%): Se omite en este informe, puesto que la muestra no fue subdividida por sectores ni áreas funcionales durante la recolección, lo que impide la comparación intersectorial de volúmenes.

6.1. Representación Gráfica y Análisis de Composición

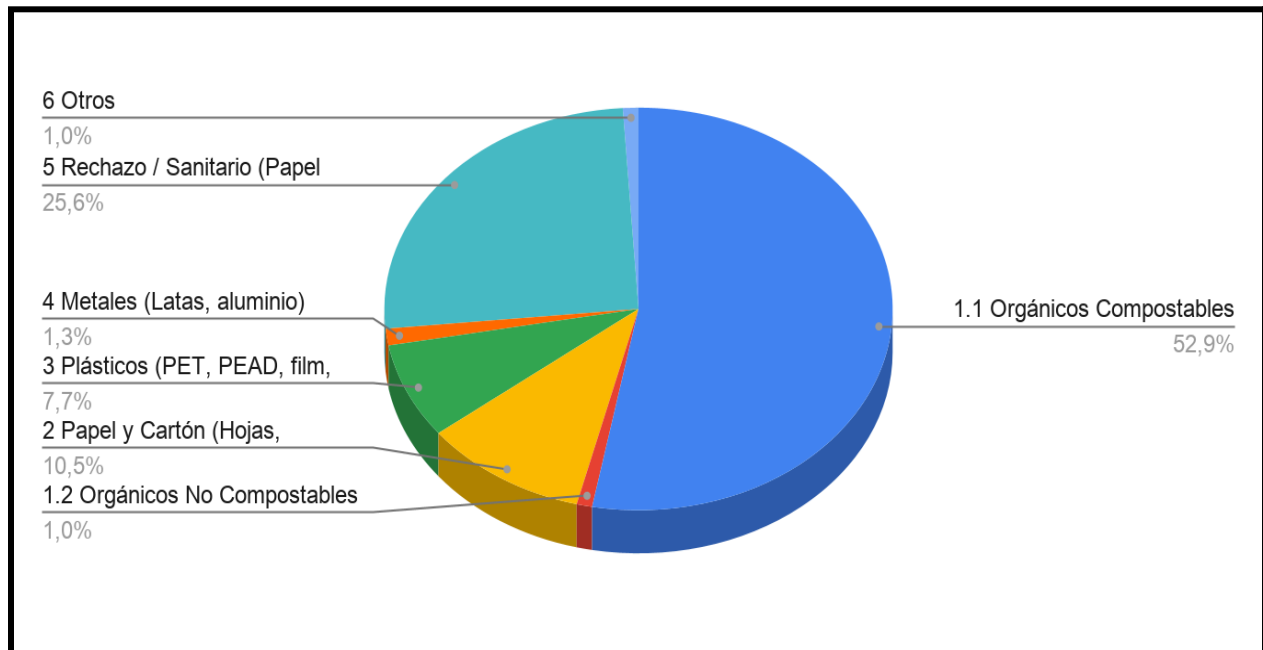


Figura 3: Composición física porcentual de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en la Sede Anasagasti de la UNRN (expresada en % de peso fresco).

La composición de los residuos generados en la sede Anasagasti muestra un claro predominio de los residuos orgánicos compostables, que representan el 52,9 % del total. Este grupo constituye la categoría de mayor participación y supera ampliamente al resto de las fracciones identificadas.

En segundo lugar se encuentran los residuos correspondientes a rechazo/sanitarios, con un 25,6 %, lo que evidencia una participación significativa de materiales que, de acuerdo con su naturaleza, presentan menores posibilidades de recuperación o reciclaje. En conjunto, los residuos orgánicos compostables y los residuos de rechazo/sanitarios representan aproximadamente el 78,5 % del total caracterizado.

Entre las fracciones potencialmente recuperables se destaca papel y cartón, que alcanza el 10,5 %, seguido por los plásticos, con un 7,7 %. Los metales presentan una participación considerablemente menor, representando el 1,3 % del total. Por su parte, los residuos orgánicos no compostables constituyen el 1,0 %, mientras que la categoría otros representa también el 1,0 %.

En términos generales, los resultados muestran que la mayor proporción de los residuos generados corresponde a la fracción orgánica compostable. A su vez, existe una participación relevante de materiales potencialmente recuperables, principalmente papel, cartón y plásticos, que en conjunto representan el 18,2 % de los residuos caracterizados. Estos resultados permiten identificar oportunidades para mejorar la separación en origen, el compostaje de la

fracción orgánica y la recuperación de materiales reciclables, reduciendo la cantidad de residuos destinados a disposición final.

6.2. Propuesta Técnica de Tratamiento

Los resultados de la caracterización realizada en la sede Anasagasti muestran que la fracción de orgánicos compostables constituye el 52,9 % de los residuos generados, siendo la categoría de mayor participación. Este resultado permite identificar al compostaje como una estrategia prioritaria para reducir la cantidad de residuos destinados a disposición final y avanzar hacia un modelo de valorización de los residuos dentro de la propia institución.

En este sentido, resulta pertinente señalar que la Universidad ya había iniciado previamente una experiencia de separación de residuos orgánicos y compostaje, mediante la instalación de tachos destinados específicamente a la disposición diferenciada de este tipo de residuos. Sin embargo, dicha iniciativa debió ser discontinuada debido a cuestiones administrativas y burocráticas vinculadas a su implementación, por lo que los recipientes destinados a la separación de orgánicos fueron retirados.

Por este motivo, la propuesta no parte de la necesidad de crear una iniciativa completamente nueva, sino de retomar y fortalecer una experiencia que ya había sido puesta en marcha dentro de la Universidad, incorporando las condiciones necesarias para garantizar su continuidad y funcionamiento. La existencia previa de la iniciativa constituye, además, un antecedente institucional que puede facilitar la recuperación de hábitos de separación por parte de la comunidad universitaria.

La reactivación del programa podría realizarse tomando como marco de referencia la Resolución MAYDS N.º 104/2023, que crea el Plan de Compostaje Institucional (PCI) como estrategia para la valorización de residuos orgánicos y establece lineamientos para su tratamiento in situ en ámbitos institucionales. La resolución contempla expresamente la participación de instituciones públicas y privadas y las invita a adherir al PCI mediante una carta de adhesión.

En consecuencia, se propone retomar el sistema de separación de orgánicos en la sede Anasagasti, reinstalando los recipientes específicos y articulándolos con un sistema de compostaje institucional. La implementación debería contemplar, además, una instancia de sensibilización y capacitación de estudiantes, docentes, no docentes y personal de mantenimiento, junto con la definición de responsables para el retiro de los residuos orgánicos, el mantenimiento de las composteras y el seguimiento del proceso.

De esta manera, la propuesta busca dar continuidad a una práctica que ya había sido iniciada por la Universidad, superando las dificultades administrativas que llevaron a su interrupción y dotándola de un esquema institucional formal y permanente. La adopción de los lineamientos establecidos por el PCI permitiría ordenar el proceso mediante un diagnóstico, la selección y dimensionamiento del equipamiento, la capacitación, la definición de procedimientos operativos y el seguimiento de los resultados.

Además, esta medida debería complementarse con la separación de las fracciones secas reciclables. Si bien su proporción es menor, papel y cartón representan el 10,5 % y los plásticos el 7,7 %, por lo que su recuperación mediante puntos de separación diferenciada permitiría abordar de manera integral las principales fracciones valorizables identificadas en la caracterización.

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones

La caracterización de RSU en la Sede Anasagasti de la UNRN (con una masa total de 11,337 kg recolectada durante la jornada) determinó que la fracción dominante corresponde a los residuos orgánicos compostables (yerba mate, café, restos vegetales), los cuales representan el **52,92%** del total de los residuos generados.

El ensayo de laboratorio arrojó un contenido promedio de humedad del **75,3%** y una densidad de **460 kg/m³** para la fracción orgánica. Estos valores confirman condiciones idóneas para el desarrollo de procesos aeróbicos de degradación mediante compostaje in situ.

Las subfracciones secas potencialmente recuperables integran un **18,18%** del total de la muestra, destacándose el papel y cartón (**10,51%**) y los plásticos (**7,67%**), sumados a metales (**1,34%**), lo que ofrece una oportunidad clara para la implementación de circuitos de reciclaje.

La corriente sanitaria y de rechazo representó un **25,58%** del total, constituyendo la segunda fracción con mayor peso, la cual no es susceptible de valorización bajo las condiciones actuales y debe ser destinada a la disposición final.

7.2. Recomendaciones



Figura 4: Vasos plásticos descartables obtenidos en el muestreo.

Durante el muestreo, se identificaron, asimismo, una cantidad considerable de vasos plásticos descartables provenientes de la máquina expendedora de café (*Figura 4*). Por lo cual, se sugiere reemplazarlos por vasos biodegradables o reutilizables. Con el objetivo de reducir la generación de residuos plásticos.

8. Referencias y Normativa de Consulta

- IRAM 29523. Residuos Sólidos Urbanos. Determinación de la composición de residuos sólidos urbanos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM 29414 / 29415. Residuos Sólidos. Muestreo y preparación de muestras para ensayos químicos y físicos.
- Standard Methods 2540 G. Total, Fixed, and Volatile Solids in Solid and Semisolid Samples. APHA-AWWA-WEF.
- ASTM D5231. Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS). (2023). Resolución 104/2023: Plan de Compostaje Institucional.