

# Recuperación de los residuos sólidos en el Tecnológico de Costa Rica a 15 años de la creación de la actividad permanente Manejo de Residuos Institucionales MADI

Recovery of solid waste at Costa Rica Institute of Technology 15 years after the creation of the permanent activity Institutional Waste Management MADI

Joaquín Jiménez-Antillón<sup>1</sup>, Alina Rodríguez-Rodríguez<sup>2</sup>,  
Macario Pino-Gómez<sup>3</sup>

---

*Fecha de recepción: 28 de marzo de 2018*  
*Fecha de aprobación: 29 de mayo de 2018*

Jiménez-Antillón, J; Rodríguez-Rodríguez, A; Pino-Gómez, M. Recuperación de los residuos sólidos en el Tecnológico de Costa Rica a 15 años de la creación de la actividad permanente Manejo de Residuos Institucionales MADI. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32-1. Enero-Marzo 2019. Pág 92-106.

DOI: <https://doi.org/10.8845/tm.v32.i1.4121>

- 
- 1 Docente investigador Escuela de Química. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: joajimenez@itcr.ac.cr
  - 2 Regente Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: alirodriguez@itcr.ac.cr
  - 3 Docente investigador Escuela de Química. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: mpino@itcr.ac.cr



## Palabras clave

Estudio de composición; residuos sólidos valorizables; relleno sanitario; universidades.

## Resumen

Se realizó un análisis de la generación de los residuos producidos en el Campus Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica, tanto para los materiales recuperados por el Centro de Acopio Institucional (MADI), así como para los residuos enviados al relleno sanitario. Las cantidades de los residuos valorizables fueron proporcionados por el MADI. Se emplearon referencias bibliográficas para contar con las cantidades de los residuos orgánicos provenientes de la Soda Comedor. Las cantidades de residuos enviados al relleno sanitario se obtuvieron mediante un estudio de composición durante el primer semestre del 2013 y 2014, basándose en la metodología recomendada por el Ministerio de Salud de Costa Rica, MINSA. Los tipos de residuos se simplificaron en tres categorías: valorizable, compostable y no recuperable. Se escogió el 50% de los centros de transferencia de materiales, que son enviados al relleno. El estudio de composición se basó en muestras que variaron entre el 23,3 y el 73,4% de la masa total de residuos de los centros de transferencia. Se encontró que del total de residuos enviados al relleno un  $(60 \pm 1)$  % no eran valorizables, mientras que un  $(29 \pm 2)$  % y un  $(12 \pm 1)$  % pudieron ser recuperados por MADI o compostables, respectivamente. Para el 2015, el MADI recuperó el 63% de los residuos con potencial valorizable y la Soda Comedor un 66% de los residuos de alimentos. Sin embargo, se debe trabajar en una estrategia que pueda mejorar el desempeño de la gestión de residuos sólidos institucionales.

## Keywords

Composition study; valorizable solid waste; sanitary landfill; universities.

## Abstract

An analysis of the generation of the waste produced at the Central Campus of the Costa Rica Institute of Technology was carried out, both, for the materials recovered by the Institutional Collection Center (MADI), as well as for the waste sent to the landfill. The amounts of the recoverable materials were provided by MADI. Literature references were used to count the quantities of organic waste from the Institutional Restaurant. The amount of waste sent to the landfill were obtained through a composition study during the first semester of 2013 and 2014, based on the methodology recommended by the Costa Rica Ministry of Health (MINSA). The waste types of this methodology were simplified into three categories: recoverable, compostable and non-recoverable. 50 % of the transfer stations of waste sent to landfill were chosen. The composition study was carried out on samples that varied between 23.3 and 73.4 % of the total mass of waste from the chosen transfer stations. It was found that from the total waste sent to the landfill  $(60 \pm 1)$  % were not recoverable, while  $(29 \pm 2)$  % and  $(12 \pm 1)$  % were recoverable by MADI or compostable, respectively. For 2015, MADI recovered 63% of the total waste with recyclable potential of the total institutional waste stream, and the Restaurant 66% of total food waste. However, the institute must work on a strategy that can improve the performance of the integral management of institutional solid waste.

## Introducción

La gestión de los residuos sólidos en los países en desarrollo posee diferentes problemas, cuyas soluciones están ligadas principalmente por condiciones culturales y de política, falta de recursos tanto técnicos como económicos. El problema más importante es la disposición final, cuyo impacto más relevante es la contaminación de aguas subterráneas por lixiviados y la generación de gases con efecto invernadero provenientes de botaderos a cielo abierto sin ningún control ambiental [1], [2]. Costa Rica no escapa a ese problema donde según el Censo de Población y Vivienda del año 2011, cerca de un 83% de los hogares encuestados disponían los residuos sólidos (RS) a un sitio de disposición final con camión recolector, un 5% los enterraba, cerca de un 10% los quemaba y alrededor de un 2% los tiraba a lotes baldíos, ríos, quebradas o al mar [3]. La situación se agrava al considerar que el país con 5 millones de habitantes (2018) [4], la generación de RS domiciliarios alcanza un valor de 0,66 Kg por habitante por día [3] dando una generación total diaria de más de 3 300 toneladas métricas.

En zonas urbanas la gestión de los residuos sólidos es mucho más eficiente que el que se brinda en zonas rurales, por ejemplo, en el Gran Área Metropolitana de San José (GAM) los RS se envían principalmente a rellenos sanitarios, mientras que en zonas rurales los gobiernos locales carecen de recursos para disponerlos adecuadamente, siendo estos enviados a vertederos a cielo abierto y/o descargados directamente en los cauces de los ríos donde no reciben ningún tipo de tratamiento [5].; esta situación se ha agravado por la marcada expansión de la actividad turística en las zonas rurales [6].

Las municipalidades desempeñan un papel fundamental en la gestión de los residuos sólidos, sin embargo, el aumento descontrolado de residuos hacia las municipalidades, causado por el incremento en la población y la acelerada urbanización, ha traído como consecuencia un incremento en el costo social y económico relacionado con la recolección, transporte y disposición final de los RS [7]. Por ejemplo, en Costa Rica en el año 2010 se publica la Ley para la Gestión Integral de Residuos (GIR) donde se asigna a las municipalidades las funciones específicas para la gestión integral de los RS que se generan en sus cantones. Sin embargo, actualmente en este sector existe un pobre desempeño para lograrlo atribuido principalmente a la insuficiencia de ingresos y a la falta de actualización de las tarifas por servicios municipales [8]. Se sabe que la composición porcentual de los RS es predominantemente materia orgánica biodegradable la cual varía entre un 50 y 60% en peso, sin embargo, a la fecha, el compostaje no es una prioridad en los planes de manejo del sector municipal porque esta tecnología requiere de una elevada inversión inicial [5]. El manejo inapropiado de los residuos provenientes de alimentos en rellenos y botaderos contribuye de un 4% a un 11% en las emisiones de gases con efecto invernadero a nivel mundial [2]. Actualmente, 31 de las 81 Municipalidades no dan servicio diferenciado de recolección de RS valorizables en viviendas [3] y según esta misma fuente, solo 5 cantones del país superan una tasa de recolección de RS valorizables del 5%.

Una forma de aportar a este panorama es la incorporación de programas de manejo de RS en los centros de estudio superior. El caso de las universidades es bastante interesante debido al gran tamaño de las mismas, y más que todo porque estas tienen a cargo la gestión de sus propios RS. Debido a la naturaleza integral de sus actividades, las universidades pueden fácilmente diseñar sus propios sistemas de manejo de residuos [1]. Además, las universidades están en la capacidad y tienen la responsabilidad de mostrar sus experiencias a la comunidad nacional. Universidades como el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) conforman un espacio con dimensiones y actividades de consumo similares a las de una pequeña ciudad.

En el TEC, la actividad permanente Manejo de Residuos Institucionales (MADI) ha sido la entidad responsable de gestionar los residuos sólidos ordinarios generados en su Campus Central desde el año 2000 [9]. Su principal objetivo ha sido aumentar la separación de

materiales recuperables para ser reutilizados o reciclados con el fin de reducir su disposición en vertederos. El TEC es una universidad estatal que en su Sede Central Cartago actualmente cuenta con una población de 8 830 habitantes, según el Departamento de Recursos Humanos y la Oficina de Registro para el 2017, incluidos estudiantes y funcionarios.

El propósito de este trabajo es mostrar la experiencia del TEC en el manejo de los RS como un ejemplo para otras universidades de países en desarrollo.

Los estudios de composición son importantes para el adecuado manejo de los RS en instituciones, porque de estos se obtiene el potencial de recuperación de materiales valorizables, la identificación de las fuentes de generación por sus componentes, la estimación de la capacidad calorífica de los distintos materiales, entre otros [10].

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo general de este trabajo, por un lado, es determinar las cantidades y la composición de los materiales que ingresan al centro de acopio institucional y que se envían al relleno desde la Sede Central del TEC, para proveer recomendaciones a la administración institucional acerca de estrategias para la minimización de residuos sólidos, para obtener altas tasas de reciclaje e incrementar la sostenibilidad del programa MADI. Por otro lado, se documenta el desempeño que ha tenido el MADI para el período 2000-2015.

## **Materiales y métodos**

Este estudio fue realizado en el campus de la Sede Central del TEC. Dentro del campus están ubicadas unidades de transferencia de materiales, conocidas comúnmente como baterías de reciclaje, que permiten almacenar los residuos valorizables con cierto grado de separación. Los residuos valorizables son recolectados y trasladados al centro de acopio mediante un servicio contratado donde son clasificados, acondicionados, embalados, pesados, almacenados y despachados a las empresas para su respectivo reciclaje. La cantidad de materiales recolectados y mercadeados son debidamente cuantificados y se dispone de un sistema estandarizado donde se reporta la información de las actividades y resultados del MADI.

### **Materiales**

Para medir la masa de los residuos se utilizó una romana electrónica de piso marca Pollini con capacidad para  $(4000,0 \pm 0,5)$  Kg. Para realizar el estudio de composición se utilizó una romana electrónica, marca CAS, modelo PB-150, con capacidad para  $(150,00 \pm 0,02)$  Kg.

## **Indicadores del desempeño del Programa Manejo de Residuos Institucionales (MADI)**

Las cantidades de materiales valorizables por el MADI, los residuos electrónicos, los tubos fluorescentes y luminarias de alumbrado público procesados fueron cantidades reales y se cuantificaron a través del MADI y del Centro de Transferencia y Transformación de Materiales CTTM, para el año 2015. Los residuos de alimentos provenientes del restaurante institucional fue una cantidad extrapolada a partir de un estudio elaborado por Ramírez [11]. La cantidad de residuos enviados al relleno sanitario fue suministrada por el Departamento de Servicios Generales para el 2015. Para calcular el indicador de la generación de residuos por habitante y año se consideró la población total de estudiantes y funcionarios para el año 2015 y la cantidad de residuos generados ese año según la categoría del residuo (ver cuadro 2). El valor del indicador fue el cociente de la masa total del residuo generado durante ese año dividido por la población total institucional. Para calcular la generación de residuos por habitante y día se dividió el cociente anterior por 226, dado que esa es la cantidad de días hábiles por año.

## Estudio de composición

El estudio de composición fue realizado únicamente en muestras de residuos que son enviados al relleno, ya que los residuos valorizables, orgánicos provenientes del restaurante, electrónicos y los tubos fluorescentes son procesados y cuantificados por aparte. Las categorías de los materiales fueron seleccionadas de tal forma que fueran comparables con estudios de composición anteriores a nivel nacional [8]. Fue seleccionado un set de 11 categorías de acuerdo con las regulaciones del Ministerio de Salud de Costa Rica [12] como sigue: compostable, papel y cartón, plásticos, vidrio, metales, textiles, empaques Tetra pack, residuos peligrosos, electrónicos y otros. La lista anterior de categorías se simplificó de manera que solo se obtuvieran tres categorías primarias (compostable, valorizable y no recuperable) según se muestra en el cuadro 1. El estudio de composición fue realizado durante el primer semestre de los años 2013 y 2014, de febrero a junio. Se escogieron 5 de las 10 unidades de transferencia de materiales con que contaba el campus en ese entonces, para ser muestreadas, a saber: Restaurante Institucional, la Librería, el Departamento Financiero, los Edificios F y las Residencias Estudiantiles. En cada una de las 5 unidades escogidas se cuantificó, una única vez cada año, la cantidad total de residuos contenida en ella y que se encontraba en bolsas plásticas. Se cuantificó la masa total del material contenido en todas las bolsas. Luego se escogió una muestra representativa de estas bolsas, se combinó su contenido con una pala, se clasificó el material según las diferentes categorías y se pesó por separado cada una de ellas. A partir de estos datos se calculó la fracción por masa que cada categoría representó en la muestra total. Con base a la composición encontrada en los dos muestreos (2013 y 2014), se calcularon valores promedio para cada tipo de material, según la clasificación establecida anteriormente, para cada una de las 5 áreas de muestreo (cuadro 5). Luego se calculó la composición promedio general para cada tipo de material (cuadro 6). Con base a la composición promedio y a la cantidad total de residuos enviados al relleno durante un año, se estimó la cantidad total de materiales con potencial valorizable, compostable y no recuperable que es enviada anualmente al relleno.

**Cuadro 1.** Composición de categorías principales de residuos con base a las que propone el MINSA para estudios de composición de residuos sólidos municipales

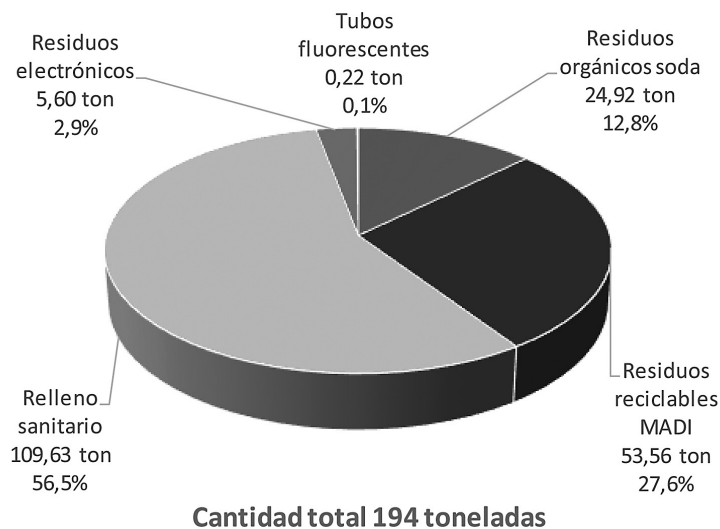
Categoría primaria	Sub categorías (MINSA)
<i>Compostable</i>	Materia orgánica de todo tipo
<i>Reciclable</i>	Papel y cartón, plásticos, vidrio, metales, empaques, tetrapack, residuos electrónicos
<i>No recuperable</i>	Textiles, residuos peligrosos, madera, tubos fluorescentes y luminarias, residuos contaminados con comida

## Resultados y Discusión

### Desempeño del Programa Manejo de Residuos Institucionales

En la figura 1 se observa la cantidad total anual y la composición porcentual por masa de los residuos sólidos que se generaron en la Sede Central del TEC durante el 2015, para los cuales existe un registro de ingreso y despacho. Todas las cantidades fueron reales, con excepción

de los residuos orgánicos del restaurante institucional, la cual se estimó por extrapolación con base a la generación de residuos de la población del año 2007. Se estima que en la Sede Central se generaron 194 toneladas durante el 2015. Los materiales que tuvieron algún tipo de aprovechamiento fueron los residuos de alimentos provenientes del Restaurante Institucional (12,8%), los residuos valorizables recuperados por MADI (27,6%) y los electrónicos (2,9%), los cuales sumaron en conjunto 83 toneladas y representaron el 43% del flujo total de materiales. Los tubos fluorescentes y luminarias de alumbrado público fueron tratados químicamente y luego enviados al relleno, por tanto, no fueron considerados como residuos recuperables.



**Figura 1.** Cantidad (toneladas) y composición porcentual (%m/m) de los residuos ordinarios generados en el TEC, 2015

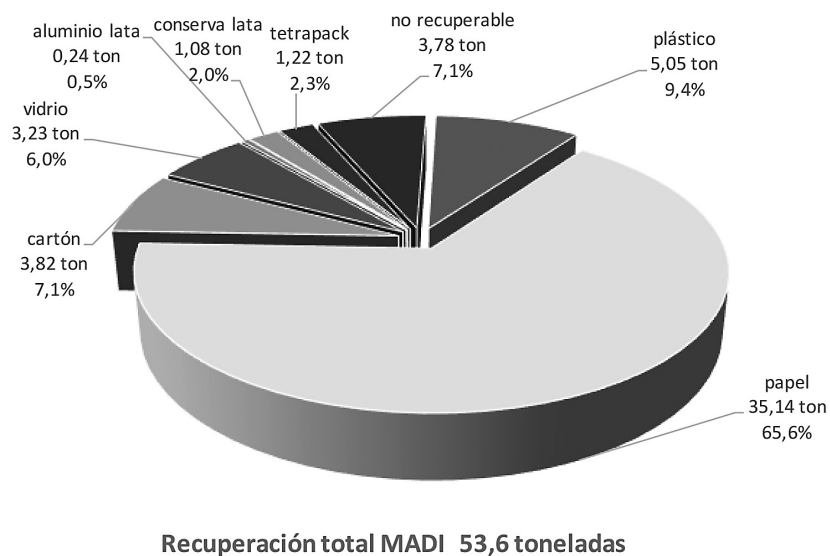
En la figura 2 se aprecia el flujo total de residuos que ingresaron al centro de acopio institucional en el año 2015, sumando un total de 53 556 kg, de los cuales 49 775 kg fueron valorizables y 3780 kg no valorizables. Con base a lo anterior, se dedujo un índice de separación en la fuente del 92,9 %. Lo anterior confirma que la población institucional sabe, en una alta proporción, qué materiales son valorizables y cómo deben ser separados correctamente. La principal ventaja de esto, es que los materiales recuperables están poco contaminados por estar poco mezclados con el resto de residuos y de esta forma se disminuyen los costos de recolección y disposición. A su vez, los plásticos que se envían a coprocesamiento mediante la utilización de un horno cementero local tienen un bajo contenido de humedad (por la no contaminación con residuos orgánicos), lo cual incrementa la eficiencia en la recuperación de la energía [2].

Se observa en la figura 2 que el papel y el cartón representaron la proporción más alta, con un 72,7%; le siguieron el plástico (9,4%), el vidrio (6,0%), las latas de conserva y aluminio (2,5%) y los envases tetrapack (2,3%). Esta tendencia concuerda con otras instituciones de educación superior de países en desarrollo [13].

Con base a los datos de la figura 1, se estimó la recuperación per cápita por año y por día (cuadro 2). La generación per cápita diaria de residuos sólidos, a nivel nacional, es de 0,63 kg/hab-día mientras que en el TEC es de 0,094 kg/hab-día. En el TEC se genera 6,7 veces menos que a nivel nacional dado que se tiene una población flotante que no permanece 24 horas en la institución y, por tanto, genera residuos de manera proporcional a su tiempo de residencia. La mayoría de estudiantes y toda la población de funcionarios tienen su domicilio, en tiempo



lectivo, fuera del campus lo cual reduce la generación de residuos dentro del campus. Además, en la cantidad reportada en este estudio no se incluyen los residuos de algunas dependencias como los demás restaurantes.



**Figura 2.** Cantidad total (toneladas) y composición porcentual (m/m) de los residuos que ingresaron al centro de acopio institucional para el año 2015.

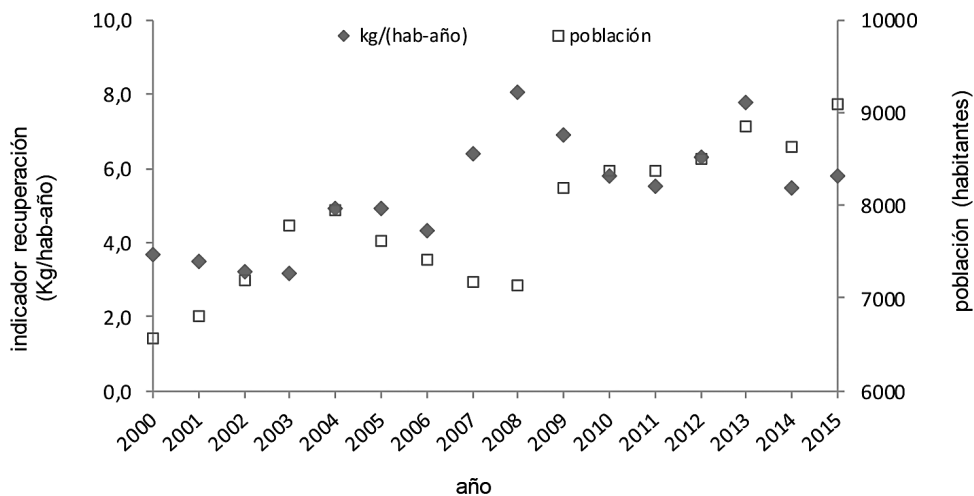
**Cuadro 2.** Generación per cápita, anual y diaria en el TEC según tipo de residuo

Tipo de residuo	Cantidad total (Ton/año)	Cantidad per cápita y año (kg/hab-año)	Cantidad per cápita y día (kg/hab-día)
Orgánico soda	24,9	2,74	0,012
Reciclable MADI	53,6	5,89	0,026
Relleno sanitario	109,6	12,07	0,053
Electrónico	5,6	0,62	0,003
Tubos fluorescentes	0,2	0,02	0,0001
Total	194,0	21,34	0,094

La generación per cápita en el TEC es comparable a la que reporta Mbuligwe [1] para diferentes poblaciones estudiantiles de universidades en Kenia, a saber: 0,190; 0,193 y 0,083 kg/hab-día para la Universidad de Dar es Salaam UDSM; el Colegio Universitario de Tierras y Estudios de Arquitectura UCLAS y el Instituto de Recursos del Agua WRI, respectivamente. Para poblaciones de funcionarios de la UCLAS y WRI, este mismo autor reporta generaciones per cápita de 0,36 kg/hab-día y para la UDSM 0,41 kg/hab-día. Estas son cantidades 3 y 4 veces superiores al indicador del TEC, respectivamente. Dado que las poblaciones de funcionarios poseen una mayor capacidad de consumo y por ende de generación de residuos, los índices de recuperación per cápita son superiores que los del TEC. Ruiz [14] reporta una generación per

cápita diaria de 0,33 kg en la Universidad Iberoamericana de la Ciudad de México. La misma autora reporta que la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM posee una recuperación comparable a la del TEC de 0,11 kg/hab-día; no obstante, la población de la UNAM tiene una mayor capacidad de consumo que la población del TEC, por ser una universidad privada.

En la figura 3 se observa la variación anual en la recuperación per cápita anual de los materiales que han tenido un registro de ingreso y despacho a través del MADi para el período 2000-2015. Esos datos se contrastan con la población de la Sede Central para ese mismo período. Para el período (2000-2006) la recuperación promedio fue de alrededor de 4,0 kg/persona-año. Después, el valor aumentó a 6,7 kg/persona-año, en promedio, para el período (2007-2013). Un aspecto que justifica el máximo valor obtenido en el 2008 es que hasta ese año se permitió el ingreso de personas ajenas al TEC que traían consigo materiales directamente al centro de acopio para ser procesados allí. A partir del 2009 se canceló dicha acción, de ahí la reducción en la recuperación. El crecimiento tan marcado en la recuperación a partir del 2006 hasta el año 2008, con relación al período anterior, se justifica principalmente por la mejora en el control de los registros del ingreso y despacho de los materiales. Esto se traduce también en un incremento significativo en el desempeño del programa, en tanto que la población es más consciente en el adecuado manejo de los residuos. Lo anterior se sustenta en el programa de sensibilización con que cuenta el MADi. Este consiste en que cada inicio de año a la población estudiantil entrante se le informa del funcionamiento del programa ya sea con boletines, charlas o material audiovisual. A la población estudiantil y de funcionarios ya existente se le envía digital y periódicamente información de cómo separar y tratar adecuadamente los residuos valorizables. Finalmente, a la población que visita el campus los fines de semana también se le ha dado información para el adecuado manejo de los residuos.



**Figura 3.** Indicador de desempeño del MADi para el período 2000-2015

En el cuadro 3 se presenta la composición promedio de los RS reportada en el TEC, y la composición de los RS de una zona residencial de la ciudad de Cartago y en varias universidades del mundo. Según datos de la figura 1, en el TEC la proporción valorizable, compostable y no recuperable fue de 27,6%, 12,8% y 56,5% en peso, respectivamente. Dichos resultados difieren significativamente con lo reportado por la Universidad de Columbia Británica del Norte (UNBC), en Canadá, una universidad que tiene un reciente compromiso de convertirse



en una universidad “verde”, donde la proporción del material valorizable, compostable y no recuperable fue de 49,3%, 21,6% y 28,4%, respectivamente, [15] (cuadro 3). El índice de desempeño del TEC fue un 44% inferior al de la UNBC con relación a la fracción valorizable, mientras que la proporción no recuperable fue de casi el doble en el TEC. Lo anterior se justifica porque el MADI en ese momento no tenía una cobertura total en todas las dependencias del campus, como por ejemplo en las Residencias Estudiantiles donde la población es cercana a los 200 habitantes. Se estima que los residuos provenientes de las Residencias Estudiantiles incrementan sustancialmente la contribución de residuos al relleno sanitario local.

En el cuadro 3 los datos están ordenados de forma creciente según la proporción valorizable. Se observa una gran variación en la composición según las diferentes fuentes. Se observa un alto contenido de materia orgánica en la Universidad de Dar es Salaam y en la zona residencial de clase media en Cartago [16] 52% y 55,4 %, respectivamente, que corresponden a poblaciones de países en desarrollo. En contraste, se encontraron menores porcentajes de materia orgánica en poblaciones de universidades de primer mundo donde los habitantes tienen un patrón de consumo más orientado a productos que vienen en envases reciclables. Esta tendencia se observa para las universidades de Massey [17], Columbia Británica del Norte [15] y Kebangsaan [18]. Las poblaciones de universidades de economías prósperas tienen mayor capacidad económica para comprar bienes fabricados con materiales sofisticados [2] y esto se refleja en una mayor proporción reciclable en sus residuos. Por otro lado, el contenido de materia orgánica biodegradable en el TEC es baja (12,8%) en comparación con el resto de universidades dado que en el TEC no se ha implementado (al 2015) un programa de recuperación de residuos compostables, excepto en la Soda Institucional.

**Cuadro 3.** Composición promedio de residuos sólidos en universidades y una zona residencial según diferentes referencias.

Composición según categoría (%m/m)			Ubicación	Fuente
Biodegradable	Valorizable	No recuperable		
52	16	32	Univ. Dar es Salaam, Tanzania	Mbuligwe, S. 2002
55,4	23,8	21,0	Zona residencial Cartago (CR)	Araya, E. 2012
31	26	43	Univ. Massey, Nueva Zelanda	Mason, I.2004
12,8	27,6	56,5	Tecnológico de Costa Rica <sup>(a)</sup>	Jiménez, J.2013
21,6	49,3	28,4	Univ. Columbia Británica del Norte, Canadá	Smyth, D. 2010
43	50	7	Univ. Kebangsaan, Malasia	Tiew, K. 2010

<sup>(a)</sup> Datos tomados de la figura 1.

### Caracterización de los residuos que son enviados al relleno sanitario

En el cuadro 4 se muestra el resumen de las áreas muestreadas durante el estudio de composición realizado. Durante el primer muestreo se colectaron 135 bolsas para un total de 548,14 kg. Durante el segundo muestreo se colectaron 77 bolsas con una masa total de 323,02 kg. El 44% de la masa total fue separada y clasificada.

**Cuadro 4.** Resumen de los residuos clasificados y masa total en cada unidad de transferencia

Año	2013			2014		
	Área	No. bolsas colectadas	Masa total (kg)	Masa de la muestra clasificada (kg)	No. bolsas colectadas	Masa total (kg)
Restaurante	32	215,76	50,30	18	134,46	49,92
Edificios F	54	119,18	35,00	11	37,18	30,58
Librería	17	76,00	31,94	33	77,90	26,90
Departamento Financiero	26	65,28	34,14	8	38,40	36,60
Residencias estudiantiles	6	71,92	52,82	7	35,08	34,20
Total	135	548,14	204,20	77	323,02	178,20

De las 109,6 toneladas de residuos enviados al relleno una considerable cantidad presentó potencial valorizable y compostable como se aprecia de las figuras 6 y 7. Se encontró una alta variabilidad en la composición según la fuente de generación. Lo anterior concuerda con lo que reporta Sfeir [10] y Armijo [19] donde indican que la composición de los residuos es extremadamente variable debido a factores temporales, geográficos, demográficos, de estándar de calidad de vida, entre otros.

En el cuadro 5, se aprecia la composición porcentual por categoría de los residuos encontrados en las 5 unidades de transferencia muestreadas. Los valores son promedios de los dos muestreos con la desviación estándar correspondiente. Se observa que la proporción con potencial reciclable va desde un 10,3% (encontrado en el restaurante) hasta un 41,8% (librería) del peso total muestreado. La ubicación con la mayor proporción de residuos reciclables fue la librería cuyo principal componente fue el cartón ( $27 \pm 33$  %, cuadro 5). Esto se justifica porque la librería genera gran cantidad de este material. Las cajas de cartón no siempre es posible recuperarlas dado que se deben de desarmar y no siempre hay personal dispuesto a hacerlo, por tanto, muchas veces se disponen en el relleno sanitario. Con lo anterior se muestra una limitación del programa dada la escasa mano de obra disponible para la recuperación de todo el material susceptible a ser reciclado.

La valoración realizada en la soda comedor representó una situación anómala y que ocurrió por un corto período, dado que en el momento del muestreo del 2013 se estaba utilizando vajilla desechable porque la máquina lavaplatos estaba fuera de operación. Por esa razón, se obtuvo una alta proporción de material no recuperable (un 64,8% para el año 2013, datos no mostrados) el cual estaba constituido esencialmente por vajilla plástica desechable y papel, ambos contaminados con comida.

En el centro de transferencia del Departamento Financiero se encontró la mayor proporción de material no recuperable de todos los sitios muestreados, con un 77% del peso total correspondiente al año 2013 (datos no mostrados). Los principales componentes de esa porción no recuperable fueron papel y productos de papel contaminados con pintura provenientes de la Escuela de Diseño Industrial, la cual se ubicaba contiguo al centro de transferencia en cuestión.

Estas variaciones hacen difícil obtener una muestra precisa y representativa de la composición de los residuos empleando la metodología citada en este estudio.

El área de los edificios F que son aulas, es una zona de alto tránsito de estudiantes. Consecuentemente, en este sitio se encontró la mayor proporción de empaques Tetrapack y de botellas plásticas, como se aprecia del cuadro 5.

**Cuadro 5.** Composición promedio porcentual (%m/m) de los materiales que se envían al relleno sanitario encontrados en 5 áreas del Campus Central.

Área/Composición porcentual promedio											
Categoría Primaria	Sub categoría	Restaurante		Edificios F		Librería		Financiero		Residencias	
		X	ds	X	ds	X	ds	X	ds	X	ds
Valorizable	Papel/cartón	0	0	7	8	27	33	12	2	13	15
	Plástico	7	4	10	6	10	6	5,9	0,3	20	13
	tetrapack	2	2	6	3	4	3	2	1	1,4	0,7
	Latas metal	1,3	0,8	1,9	0,1	0,8	0,5	1,1	0,3	0,9	0,7
	Vidrio	0	0	1	2	1	2	0	0	1,2	0,6
	Electrónicos	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6
Compostable	Orgánicos	18	7	19	9	5	7	7	7	9	10
No recuperable	No aplica	72	10	54	10	52	18	71	9	51	12

Nota: X es el promedio de los dos muestreos, ds es la desviación estándar

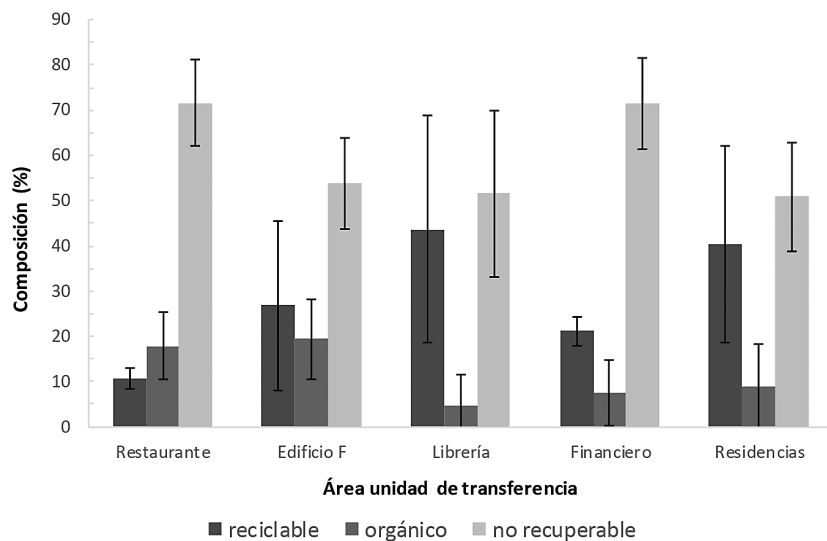
**Cuadro 6.** Promedio de la composición porcentual para las 5 unidades de transferencia para cada muestreo y composición promedio total de ambos muestreos (%m/m) de los residuos enviados al relleno.

Categoría primaria	Sub categoría	Muestreo			
		2013	2014	Promedio total	Desviación estándar
		Composición promedio (n = 5)	Composición promedio (n = 5)		
Valorizable	Papel/cartón	15,37	8,49	12	5
	Plástico	9,12	11,95	11	2
	Tetrapack	2,62	3,86	3,2	0,9
	Latas metal	1,41	1,00	1,2	0,3
	Vidrio	1,27	0,18	0,7	0,8
	Electrónicos	1,73	0,00	1	1
Compostable	Orgánico	10,83	12,45	12	1
No recuperable	No aplica	57,32	62,08	60	3

En el cuadro 6 se muestra la composición porcentual promediada para las 5 unidades de transferencia, para cada muestreo, en función de las diferentes categorías de residuo. También se muestra el valor promedio total de los dos muestreos. De la caracterización efectuada un (12 ± 5) % es papel y cartón principalmente proveniente de la Librería, el Departamento Financiero y las Residencias Estudiantiles como se aprecia del cuadro 5. Un (11 ± 2) % son plásticos que están presentes en todas las unidades de transferencia, principalmente en la unidad de Residencias Estudiantiles con un (20 ± 13) %, véase cuadro 5. Los demás materiales reciclables como empaques Tetrapack, latas metálicas, botellas de vidrio y residuos electrónicos fueron encontrados en proporciones inferiores al 3%.

Tanto las latas de aluminio, conservas y el vidrio fueron encontradas en muy baja proporción en todas las áreas estudiadas. Lo anterior supone una buena separación en la fuente para estos materiales.

En la figura 4 se aprecia la distribución porcentual de la composición de los residuos encontrados para cada una de las 5 unidades de transferencia como promedio de los dos muestreos del 2013 y 2014 y con base a la categorización simplificada que se indica en el cuadro 1 (sintetizadas a las categorías primarias).

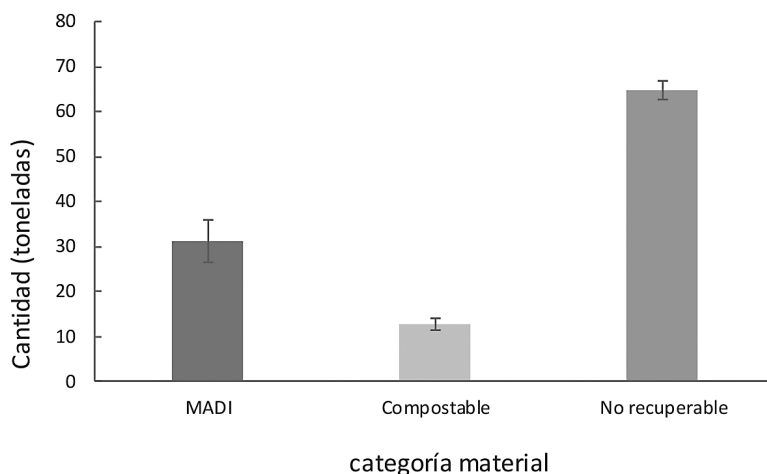


**Figura 4.** Composición porcentual del material que se envía al relleno sanitario de 5 unidades de transferencia de materiales con base a simplificación de categorías, 2013 y 2014. Las líneas negras son la desviación estándar.

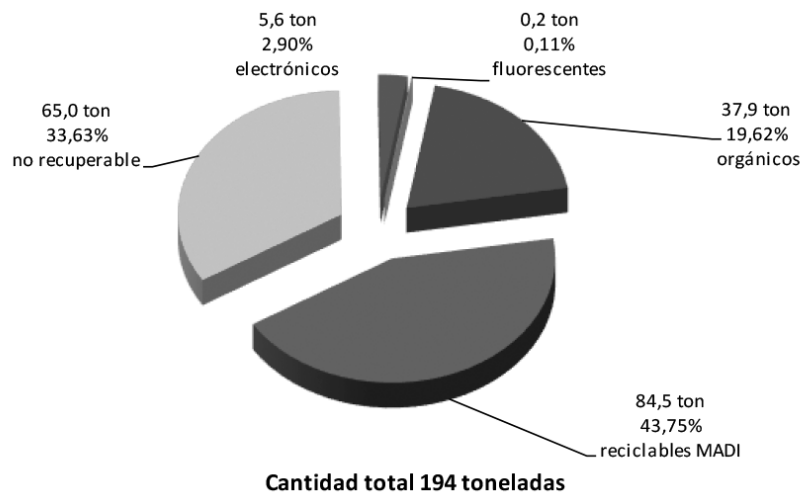
La proporción con potencial compostable (orgánico) mostró un ámbito desde nulo (en la librería) hasta un valor máximo de 23% que fue encontrado en el restaurante. La separación y recuperación del residuo orgánico se ha comprobado que es difícil tal como lo menciona Smyth [15] tanto para las instituciones de educación superior como para las municipalidades. Los residuos orgánicos son el componente más denso del flujo de residuos, como consecuencia su disposición es más costosa y presentan el mayor potencial de emisión de gases con efecto invernadero una vez dispuestos en un botadero. La carencia de un programa que recupere los residuos compostables en las diferentes dependencias es una de las principales limitaciones con que cuenta el MADU.

Se calculó la cantidad de residuos con potencial reciclable, compostable y no recuperable que fue enviada al relleno sanitario en el 2015, con base a la cantidad real enviada al relleno

ese año (109,6 ton según figura 1). Para ello se utilizó la composición porcentual promedio total de las fracciones reciclable, compostable y no recuperable obtenidas mediante el estudio de composición (ver promedio total en el cuadro 6), a saber: reciclable ( $29 \pm 2$ ) % masa/masa; compostable ( $12 \pm 1$ ) % y no recuperable ( $60 \pm 3$ ) %. En la figura 5 se muestran los resultados. Se encontró que ( $13 \pm 1$ ) toneladas hubieran sido aprovechadas para composteo o por cualquier otra técnica de recuperación, es decir, estaban incorrectamente dispuestas. De igual manera, ( $31 \pm 5$ ) toneladas era material valorizable por MADI. Solo ( $60 \pm 3$ ) toneladas era residuo no recuperable, correctamente dispuesto. De la experiencia actual se demuestra que para lograr un alto desempeño en la separación en la fuente de los residuos, se requiere de una capacitación continua y mejorada, tanto a la población institucional como a la población visitante a la universidad.



**Figura 5.** Cantidad total esperada de residuos sólidos según su potencial de recuperación que fue enviada al relleno. Las barras es la desviación estándar.



**Figura 6.** Cantidades y composición ideales del flujo de residuos sólidos ordinarios para el año 2015.

Con base a la figura 6, idealmente si en el 2015, el 100% de los residuos valorizables por el MADI y los residuos compostables hubieran sido separados y recuperados correctamente en la fuente, se tendrían las siguientes cantidades y composición porcentual masa/masa: residuos compostables 37,92 toneladas (19,62%), residuos reciclables por el MADI 84,56 toneladas (43,75%), residuos electrónicos 5,6 toneladas (2,90%), tubos fluorescentes y residuos no recuperables 65,22 toneladas (33,74%). Según los datos anteriores, para el 2015, en el TEC se recuperó un 63% del total de residuos que fueron susceptibles a ser recuperados por el MADI y un 66% de los residuos con potencial compostable.

## Conclusiones

En el TEC, para el 2015 se valorizaron 53,6 toneladas de residuos a través del programa MADI, de los cuales el 75% corresponde a la categoría de papel y plástico (65,6% y 9,4%, respectivamente).

La población institucional cuenta con un alto grado de conocimiento sobre los residuos que son susceptibles de reciclaje, lo cual se ve reflejado en un 92,9% de índice de separación en la fuente y con porcentaje mayores al 60% en relación al total de residuos generados que son reciclables y/o compostables.

La caracterización de residuos institucionales enviados al relleno en su mayoría corresponde a residuos no valorizables con un  $(60 \pm 1)$  %, mientras que un  $(29 \pm 2)$  % y un  $(12 \pm 1)$  % corresponde a residuos valorizables (reciclables y compostables respectivamente).

Se debe buscar una mejor estrategia de capacitación a la población, principalmente de nuevo ingreso, así como adquirir más baterías de reciclaje para que se mejore la separación de residuos valorizables que pueden ser procesados a través del MADI y evitar que  $(31 \pm 5)$  toneladas sean enviados al Relleno Sanitario.

A pesar de que las categorías de papel y plástico son las que se gestionan en mayor cantidad en el centro de acopio institucional, también corresponden junto con los residuos orgánicos a los materiales reciclables que en mayor cantidad son enviados al relleno sanitario.

Se debe trabajar en un proyecto institucional que pueda gestionar los residuos orgánicos, puesto que actualmente el programa MADI no gestiona dichos residuos.

Las residencias estudiantiles son un foco alto de generación de residuos para la Institución, lo que implica que deben incluirse dentro del programa MADI para así mejorar la gestión integral de residuos generados en el campus.

## Referencias

- [1] I. Mbuligwe, "Institutional solid waste management practices in developing countries: a case study of three academic institutions in Tanzania", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 35, pp. 131-146, 2002.
- [2] ISWA, "Food Waste As A Global Issue. From the perspective of municipal solid waste management." International Solid Waste Association, 2013
- [3] S. Soto, "Estado de la Nación. Vigésimosegundo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Informe final: Gestión de los residuos sólidos en Costa Rica" pp. 26, 2016
- [4] INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos "Estimaciones y Proyecciones de la población por sexo y edad 1950-2050", San José, Costa Rica, pp. 65, 2013
- [5] S. Soto, "Estado de la Nación. Duodécimo Informe sobre el Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Informe Final Situación actual de la gestión de los residuos sólidos en Costa Rica", Costa Rica, pp. 2-4, 2006



- [6] Estado de la Nación “Decimoquinto informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Informe Final: Evolución e importancia del turismo en Costa Rica” pp. 3, 2009
- [7] L. Maldonado, “The economics of urban solid waste reduction in educational institutions in Mexico: A 3-year experience”, *Resources Conservation and Recycling*, vol. 48, pp. 41-55, 2006
- [8] Programa Estado de la Nación, “Decimosétimo informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: Sin progreso en el manejo de los residuos sólidos”, Costa Rica, pp. 225-227, 2012
- [9] L.G. Romero, J.C. Salas J y J. Jiménez, “Manejo de Desechos en universidades. Estudio de caso: Instituto Tecnológico de Costa Rica”, *Tecnología en Marcha*, vol. 21 n. 3, pp. 33-41, 2008
- [10] H. Sfeir, D. Reinhart and P. McCauley-Bell, “An Evaluation of Municipal Solid Waste Composition Bias Sources”, *J. Air and Waste Manage. Assoc.* vol. 49, pp. 1096-1102, 1999
- [11] E. Ramírez, “Propuesta de plan de acción para mejorar la situación actual del manejo de los Residuos Sólidos de la Soda-Comedor del Instituto Tecnológico de Costa Rica”, Informe Final de Graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2006
- [12] MINSA, Ministerio de Salud de Costa Rica, “Metodología para estudios de generación y composición de residuos sólidos”, Regulaciones, 2012
- [13] C. Armijo de Vega, S. Ojeda-Benítez y E. Ramírez-Barreto, “Mexican educational institutions and waste management programmes: a University case study”, *Resources, Conservation and Recycling* vol. 39, pp. 283-296, 2003
- [14] M. Ruiz, “Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México”, *Rev. Int. Contam. Ambie.* Vol. 28, no. 1, pp. 93-97, 2012
- [15] D. Smyth, A. Fredeen and A. Booth, “Reducing solid waste in higher education: The first step towards ‘greening’ a university campus”, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 54, pp. 1007-1016, 2010
- [16] E. Araya, “Estudio sobre el Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Ordinarios en el Distrito Oriental y el Distrito San Francisco del Cantón Central de Cartago, Costa Rica”, Informe Final de Graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2012
- [17] I. Mason, A. Oberender and A. Brooking, “Source separation and potential re-use of resource residuals at a university campus”, *Resources, Conservation and Recycling* vol. 40, pp. 155-172, 2004
- [18] K. Tiew, S. Kruppa, N. Basri and H. Basri, “Municipal Solid Waste Composition Study at Universiti Kebangsaan Malaysia Campus”, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 4, no. 12, pp. 6380-6389, 2010
- [19] C. Armijo de Vega, S. Ojeda-Benítez y E. Ramírez-Barreto, “Solid waste characterization and recycling potential for a university campus”, *Resources, Waste Management*, vol. 28, pp. S21-S26, 2008