

Cuantificación y caracterización de los residuos de alimentos del comedor central estudiantil de la Universidad del Zulia

Karina Martínez, John Sánchez, Yuleidi Raga, Zulay Mármol, Elsy Arenas, Cateryna Aiello Mazzarri

Laboratorios de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales,
Departamento de Ingeniería Bioquímica, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería.
Universidad del Zulia (LUZ), Maracaibo 4002-A, estado Zulia, Venezuela.

caiello@fing.luz.edu.ve

Recibido: 23-01-2015 Aceptado: 14-04-2015

Resumen

La búsqueda de materias primas de bajo costo y fácil adquisición para uso como sustratos biotransformables constituye uno de los retos más interesantes de la biotecnología actual. Se evaluó la generación de residuos de alimentos del Comedor Central Estudiantil de la Universidad del Zulia, su composición fisicoquímica y posibles usos. Los residuos se recolectaron diariamente de 200 bandejas, tomadas al azar, durante siete semanas, se separaron, pesaron y clasificaron en carbohidratos, proteínas, y frutas-verduras. Se cortaron, mezclaron, esterilizaron y almacenaron a -15°C. Al finalizar cada semana las muestras se mezclaron hasta homogeneizar y se caracterizaron. Se encontró que de las 20.000 bandejas servidas por semana, se genera más de 1 tonelada de residuos de alimentos, clasificados como 63% carbohidratos, 14% proteínas y 23% frutas-verduras. Los residuos presentaron 65,79% de humedad, 34,21% de sólidos totales (96% materia orgánica), 25,99% de azúcares totales, 7,34% de glucosa, 40,4% de almidón, 13,68% de proteínas, 6,99% de grasas, así como minerales que le confieren un alto potencial para su utilización como sustrato para la producción de metabolitos de interés con mayor valor agregado. Además, tienen pH promedio de 5,53 y baja acidez titulable (0.352%) que permitiría el crecimiento de gran cantidad de especies de microorganismos.

Palabras clave: Residuos de alimentos, residuos orgánicos, nutrientes, caracterización, sustratos no convencionales.

Quantification and characterization of food residues from the student central dining of the University of Zulia

Abstract

The search for inexpensive and readily available raw materials that can be used as substrates is one of the most interesting challenges in modern biotechnology. The generation, physicochemical composition, and possible applications of the food residues from the Student Central Dining of University of Zulia were evaluated. The residues collected daily from 200 trays, taken randomly, during seven weeks, were separated, weighted and classified

into carbohydrates, proteins, and fruits-vegetables. Then, were shredded, mixed, sterilized, and stored at -15°C . At the end of each week, samples collected daily were mixed until homogeneous consistency and characterized. An average of 20000 trays was served per week, and over 1 ton of food wastes were generated (63% carbohydrates, 14% proteins and 23% fruits-vegetables). Food waste had 65.79% moisture content, 34.21% total solids (96% organic matter), 25.99% of total sugar, 7.34% glucose, 40.4% starch, 13.68% protein, 6.99% fat, as well as minerals. These results indicate that the food waste has a high potential for use as a substrate for the production of metabolites of greater added value. Also, the average pH of 5.53 and the low acidity (0.352%) will allow the growth of a large number of species of microorganisms.

Key words: Food waste, organic waste, nutrients, characterization, unconventional substrates.

Introducción

A nivel mundial se ha venido observando un incremento en la cantidad de residuos generados como producto de las actividades humanas. Los residuos sólidos urbanos constituyen un serio problema social, la descomposición de los mismos y en especial de la parte orgánica, ocasiona un ambiente hostil en la mayoría de los vertederos. El interés por la conservación del medio ambiente ha traído como resultado la necesidad de buscar soluciones para su manejo y disposición apropiada con la finalidad de reducir el impacto ambiental. Actualmente, la utilización de residuos orgánicos como materia prima de bajo costo, en procesos biotecnológicos para la obtención de productos químicos finos, se perfila como una opción atractiva para reducir la contaminación, la dependencia del petróleo y al mismo tiempo producir compuestos de interés comercial [1].

En el país se genera un gran volumen de residuos sólidos municipales, aproximadamente 30.000 Ton/día [2], constituidos principalmente por desechos orgánicos, estos son dispuestos en rellenos sanitarios donde se convierten en rico cultivo para bacterias y hongos generadores de enfermedades. En Venezuela no se han realizado estudios recientes sobre la composición de los residuos sólidos, sin embargo, un estudio realizado por la Organización Panamericana de la Salud [3] arrojó que el 44% de la generación de residuos sólidos del país corresponde a residuos de alimentos.

Los residuos de alimentos representan un potencial recurso de bajo o casi ningún valor económico, pero con un alto contenido nutricional, que pudiera aprovecharse para la fabricación de productos de valor agregado. Son una rica fuente de nutrientes de diferente naturaleza, que pueden ser útiles cuando se les transforma mediante reacciones apropiadas. Investigadores han utilizado residuos de alimentos en la producción de [4], biogás [5], metano [6], energía [7], bio-hidrógeno [8], etanol [9], ácido láctico [10] y poliácido láctico [11], entre otros.

El Comedor Central Estudiantil de la Universidad del Zulia diariamente presta sus servicios, en promedio, a 4000 estudiantes, trayendo consigo la generación de una alta cantidad de residuos de alimentos, posibles sustratos en la producción biotecnológica de metabolitos de interés. La cuantificación y caracterización fisicoquímica de estos residuos sentará las bases para establecer las posibles alternativas que permitan su utilización como materia prima para la producción de compuestos de utilidad y mayor valor agregado, aprovechando así de forma racional, las fuentes de materias primas naturales y renovables y logrando la reducción del impacto ambiental

Parte Experimental

Recolección, clasificación y almacenamiento de los residuos de alimentos

Los residuos de alimentos provenientes del Comedor Central Estudiantil de la Universidad del Zulia, núcleo Maracaibo, se recolectaron diariamente 200 bandejas, tomadas al azar, durante siete semanas. Se separaron en recipientes con bolsas plásticas y se clasificaron en tres grupos: A) carbohidratos,

B) proteínas y C) frutas y verduras, registrando su peso y calculando la cantidad de residuos generados por bandeja. Se registró el número total de bandejas servidas para estimar por extrapolación la cantidad total de residuos generados por día, semana y mes.

Cada día, los residuos de alimentos se cortaron utilizando un procesador de alimentos (Oster, modelo 2616), se mezclaron hasta obtener consistencia homogénea y se esterilizaron en auto-clave (Felisa FE399) a 15 psi y 120°C durante 15 minutos para evitar la descomposición. Se dejaron enfriar, se colocaron en bolsas plásticas de cierre hermético y se almacenaron a -15°C. Al finalizar cada semana las muestras obtenidas diariamente se descongelaron de forma gradual y bajo ambiente estéril en la campana de flujo laminar. Se mezclaron hasta obtener una mezcla uniforme, la cual se dividió en 3 lotes iguales y se almacenaron a -15°C hasta el momento de su uso [12].

Caracterización de los residuos

Para la caracterización de los residuos de alimentos se tomaron muestras de los tres lotes almacenados cada semana. Esto representa 3 muestras por semana, para un total de 21 muestras por el período de recolección de 7 semanas. Cada muestra se analizó por triplicado. El contenido de humedad, cenizas, sólidos solubles, sólidos volátiles, nitrógeno, grasa y fibra cruda, el pH, la acidez titulable y la densidad relativa de las muestras se determinaron por los métodos establecidos por la AOAC [13]. El contenido de almidón se determinó por el método colorimétrico de Carter y Neubert [14] previa construcción de la curva patrón y midiendo el color desarrollado en un espectrofotómetro UV visible (Genesys 10 UV, Thermo Scientific, Electrón Corp.) a una longitud de onda de 570 nm. La concentración de azúcares reductores de la muestra se determinó por el método del ácido 3-5 dinitrosalicílico (DNS) propuesto por Miller [15] utilizando glucosa como estándar a 550 nm. El contenido de azúcares totales se determinó mediante el método de Dubois et al., [16] utilizando sacarosa como estándar a 490 nm. El contenido de ácido láctico se determinó por el método colorimétrico del parafenilfenol modificado por Taylor [17], utilizando una solución de ácido láctico como estándar a 570 nm. La determinación del contenido de minerales en las muestras se realizó en el Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas (INZIT) por espectrofotometría de absorción atómica previa digestión húmeda de la muestra con ácido nítrico, utilizando bombas Parr [18].

Análisis Estadístico

El procesamiento de los datos se realizó mediante el análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de media HSD de Tukey, utilizando el paquete estadístico *SPSS Statistics* 17.0.

Resultados y Discusión de Resultados

Cuantificación y clasificación de los residuos de alimentos

En el Comedor Central Estudiantil de la Universidad del Zulia, núcleo Maracaibo, se sirven almuerzos a aproximadamente 4000 estudiantes de pregrado por día. Se encontró que el promedio diario fue de 3960 ± 297 bandejas, para un total de 19800 ± 474 bandejas de almuerzos servidas por semana. En cuanto al tipo de alimentos, el menú servido por día se repite parcialmente cada dos semanas, clasificándose en dos programaciones. La programación A contempló el menú diario servido durante las semanas 1, 3, 6 y 7 y la B el servido durante las semanas 2, 4 y 5. Del total de bandejas servidas, diariamente se recolectaron los residuos de 200 bandejas/día, en el horario comprendido entre 11:30 a.m. y 12:30 p.m., lapso seleccionado por ser el de mayor afluencia de estudiantes. La recolección se realizó al azar en el área de devolución de las bandejas, donde inmediatamente se separaron los residuos por tipo de alimento. En la tabla 1 se presentan las cantidades de residuos recolectados diaria y semanalmente. Se observa que, en promedio, se recolectaron $10,455 \pm 0,679$ Kg de residuos de alimentos por día, lo cual representa, en promedio $52,514 \pm 4,328$ Kg/semana, de un total de 1000 bandejas. Estos resultados indican que

aproximadamente el 10% de los alimentos servidos por bandeja son desechados, ya que cada bandeja servida tiene aproximadamente un cantidad promedio de 500 gramos de alimentos. La generación diaria, semanal y mensual fue de 207,96, 1039,80 y 4159,18 Kg, respectivamente, calculados a partir de los valores promedio diario (Kg/día) y promedio semanal (Kg/semana) obtenidos de la recolección de residuos de alimentos a partir de las 200 bandejas seleccionadas y la cantidad promedio de bandejas servidas.

Tabla 1. Cantidad de residuos recolectados diaria y semanalmente en el Comedor Central de la Universidad del Zulia durante el período de muestreo.

Semana	Cantidad de residuos de alimentos recolectados (Kg)					Promedio diario (Kg/día)	TOTAL (Kg/semana)
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes		
1	9,682	9,296	7,746	15,664	10,392	10,556 ± 3,015	52,780
2	12,866	9,482	7,388	12,012	9,436	10,237 ± 2,202	51,184
3	7,058	11,848	9,354	8,658	7,834	9,435 ± 1,786	44,752
4	12,840	12,630	8,456	14,010	10,846	11,679 ± 2,313	58,782
5	8,108	11,730	10,824	8,656	15,346	10,337 ± 3,203	54,664
6	10,438	10,856	10,870	13,134	9,200	10,751 ± 1,663	54,498
7	11,270	9,918	9,726	11,104	8,923	10,188 ± 0,986	50,941
Promedio						10,455 ± 0,679	52,514 ± 4,328

Nota: Promedio ± desviación estándar

En la tabla 2 se muestra la clasificación y cuantificación de los residuos de alimentos recolectados en el comedor universitario, realizada mediante inspección visual, en función al grupo alimenticio predominante, carbohidratos, proteínas, y frutas-verduras. Se encontró que los carbohidratos constituyen el 63% de la totalidad de los residuos recolectados, seguidos de las frutas y verduras con 23% y de las proteínas con 14%. De los carbohidratos, el arroz, el pan y la arepa son los principales constituyentes de los residuos desechados. Esta composición resultó similar a la de los residuos de alimentos provenientes de restaurantes de Malasia, arroz 60%, vegetales y frutas 20%, carne y pescado 20%, utilizados por Saadiah et al., [19] en la producción de ácidos orgánicos.

Tabla 2. Clasificación y cuantificación de los residuos de alimentos recolectados según el grupo alimenticio predominante.

SEMANAS	Cantidad de residuos (Kg)			
	CARBOHIDRATOS	FRUTAS - VERDURAS	PROTEÍNAS	TOTAL
1	40,278	6,086	6,416	52,780
2	33,160	12,224	5,800	51,184
3	26,448	11,538	6,766	44,752
4	33,903	15,990	8,889	58,782
5	30,032	15,404	9,228	54,664
6	33,574	12,878	8,046	54,498
7	30,779	13,818	6,344	50,941
Promedio	32,596	12,563	7,356	52,514

Estos resultados indican que más de 4000 Kg de residuos de alimentos son dispuestos mensualmente a la basurajunto a los demás desechos (servilletas, vasos plásticos, entre otros) por lo que resulta

interesante que sean estudiados para su aprovechamiento y reutilización. La maximización del aprovechamiento de los residuos generados y la minimización de la basura contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía y disminuir la contaminación ambiental, preservando los sitios de disposición final y reduciendo sus costos operativos.

Caracterización fisicoquímica de los residuos de alimentos

En la tabla 3 se observa que los residuos de alimentos presentaron un contenido de humedad entre 62 y 68%, similares al rango de 66-73%, reportado por Zhang y *et al.*, [20] para la caracterización de residuos de alimentos provenientes de comedores de la ciudad de San Francisco, California, con el fin de ser utilizados como materia prima para la digestión anaeróbica. El valor promedio de humedad encontrado ($65,79 \pm 2,31\%$) es inferior al reportado para residuos de alimentos de comedores de Corea y China de 80%, utilizados como materia prima en la producción de compostaje [21] y para la producción de etanol [22], respectivamente. Este parámetro es de gran importancia ya que residuos de alimentos con alto contenido de humedad ocupan mayor volumen y requieren mayor consumo de energía para las operaciones de almacenamiento, secado y esterilización, disminuyendo el rendimiento global del proceso. El contenido de cenizas promedio fue de $4,48 \pm 0,20\%$, encontrándose diferencias significativas entre las muestras de las semanas 1 y 4 en relación a las muestras del resto de semanas ($p > 0,05$).

Tabla 3. Contenido de humedad, cenizas, sólidos totales, volátiles y solubles en las muestras de residuos de alimentos.

Semana	Humedad (%)	Cenizas (%)	Sólidos Totales (%)	Sólidos Solubles (%)	Sólidos Volátiles (%)
1	$61,57 \pm 0,37^a$	$4,51 \pm 0,04^a$	$38,43 \pm 0,37^c$	$6,77 \pm 0,28^{bc}$	$36,71 \pm 0,37^b$
2	$68,22 \pm 0,51^c$	$5,46 \pm 0,09^b$	$31,78 \pm 0,52^a$	$7,09 \pm 0,02^d$	$30,69 \pm 0,49^a$
3	$66,66 \pm 1,07^c$	$5,21 \pm 0,17^b$	$33,34 \pm 1,08^a$	$6,95 \pm 0,33^{cd}$	$32,03 \pm 1,06^a$
4	$63,72 \pm 0,44^b$	$4,78 \pm 0,06^a$	$36,28 \pm 0,44^b$	$6,47 \pm 0,02^a$	$34,95 \pm 0,46^b$
5	$67,09 \pm 1,05^c$	$5,28 \pm 0,17^b$	$32,91 \pm 1,05^a$	$6,78 \pm 0,33^{bc}$	$31,47 \pm 1,08^a$
6	$66,77 \pm 1,47^c$	$5,23 \pm 0,23^b$	$33,23 \pm 1,47^a$	$6,52 \pm 0,00^{ab}$	$31,97 \pm 1,49^a$
7	$66,50 \pm 2,80^c$	$5,21 \pm 0,45^b$	$33,50 \pm 2,80^a$	$6,60 \pm 0,03^{ab}$	$32,18 \pm 2,79^a$

Nota: Los valores corresponden al promedio del análisis por triplicado de tres muestras por semana. Letras iguales como superíndice en un mismo análisis (columna) indica que no existen diferencias significativas. Prueba de comparación de medias de Tukey con $\alpha = 0,05$.

El contenido promedio de sólidos totales fue de $34,21 \pm 2,31\%$ observándose que los valores correspondientes a las semanas 1 y 4 fueron más altos que en el resto de las ($p > 0,05$) en las muestras. La mayoría de estos sólidos no pueden ser solubilizados en agua a condiciones normales. El contenido promedio de sólidos solubles fue de $6,74 \pm 0,23\%$, con ligeras variaciones entre las muestras obtenidas durante las siete semanas de muestreo. El contenido de sólidos volátiles representa la cantidad de materia orgánica de la muestra, donde se encuentran todas las sustancias, excepto el agua y los minerales, que permanecen en las cenizas. Los residuos de alimentos presentaron un contenido de sólidos volátiles entre 30,7 y 36,7%, encontrándose diferencias significativas ($p > 0,05$) en las muestras de las semanas 1 y 4. En promedio, se obtuvo un valor de $32,86 \pm 2,15\%$, el cual representa el 96,01% de los sólidos totales presentes en la muestra. Este valor es superior al contenido de sólidos volátiles del 89% de sólidos totales reportado por Li *et al.*, [23] y Nayono *et al.*, [24] para residuos de alimentos utilizados como materia prima en la producción de biogás.

Las diferencias estadísticas ($p > 0.05$) observadas entre los valores encontrados para los parámetros antes mencionados, específicamente entre las muestras de las semanas 1 y 4 y el resto de las muestras, son atribuibles al tipo de alimento servido [20], sin embargo estudios más detallados serán necesarios para establecer diferencias debidas a los menús servidos por día. El alto contenido de materia orgánica en los residuos recolectados se puede atribuir al plan dietético implementado, el cual está basado principalmente en carbohidratos con la finalidad de satisfacer las necesidades energéticas de los estudiantes. Los altos niveles de sólidos volátiles de los residuos indican su potencial como materia prima para la obtención de productos de valor agregado a bajos costos. Tanto la humedad como el contenido de sólidos totales son parámetros susceptibles a la zona de recolección de los residuos de alimentos.

Tabla 4. Valores promedio de pH, acidez titulable, densidad aparente y densidad relativa en las muestras de residuos de alimentos.

Semana	pH	Acidez titulable (g de ácido /100 g de muestra)	Densidad Aparente (g/mL)	Densidad Relativa
1	5.43 ± 0.05 ^b	0,156 ± 0,011 ^a	1,0014 ± 0,0002 ^{bc}	0,9887 ± 0,0006 ^a
2	4.34 ± 0.04 ^a	0,380 ± 0,058 ^d	1,0015 ± 0,0000 ^c	1,0020 ± 0,0014 ^{bc}
3	5.85 ± 0.04 ^d	0,557 ± 0,038 ^c	1,0014 ± 0,0002 ^{bc}	1,0010 ± 0,0067 ^b
4	5.55 ± 0.03 ^c	0,334 ± 0,015 ^c	1,0011 ± 0,0000 ^a	1,0089 ± 0,0009 ^d
5	6.39 ± 0.11 ^e	0,448 ± 0,016 ^d	1,0012 ± 0,0002 ^{ab}	1,0028 ± 0,0008 ^{bc}
6	5.62 ± 0.05 ^c	0,329 ± 0,014 ^c	1,0011 ± 0,0002 ^a	1,0052 ± 0,0007 ^{cd}
7	5.54 ± 0.09 ^c	0,261 ± 0,027 ^b	1,0011 ± 0,0002 ^a	1,0035 ± 0,0012 ^{bc}
Promedio	5,53 ± 0,58	0,352 ± 0,123	1,0013 ± 0,0002	1,0017 ± 0,0006

Nota: Los valores corresponden al promedio del análisis por triplicado de tres muestras por semana. Letras iguales como superíndice en un mismo análisis (columna) indica que no existen diferencias significativas. Prueba de comparación de medias de Tukey con $\alpha = 0.05$.

En la tabla 4 se presentan los valores de pH, acidez titulable, densidad aparente y densidad relativa de las muestras de residuos de alimentos. Se observa que el pH varía en un rango de 4,3 a 6,4 encontrándose diferencias significativas ($p > 0.05$) en la mayoría de las muestras, excepto para las semanas 4, 6 y 7 que resultaron estadísticamente iguales ($p < 0.05$). El pH promedio de 5,53 ± 0,58, fue similar al reportado para residuos de alimentos procedentes del comedor estudiantil del Instituto de Tecnología Harbin de China, utilizados para la producción de Glucoamilasas de *Aspergillus niger* UV-60 [25] sin ajuste del pH inicial debido a su cercanía al valor del pH óptimo (5,0) requerido. Conocer el valor del pH es importante al momento de darle una nueva utilidad a los residuos de alimentos y aunque este puede variarse con facilidad, la utilización de ácidos o bases necesarios para su ajuste, implicaría costos adicionales. La acidez titulable se encontró en el rango de 0,408 a 1,674 g de ácido acético por cada 100 gr de muestra. Se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores encontrados en todas las muestras, excepto entre los correspondientes a las semanas 2 y 5 y entre las semanas 4 y 6 que resultaron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). Las variaciones observadas, tanto de pH como de acidez titulable, se pueden atribuir a la utilización de vinagre (ácido acético) en la preparación de las ensaladas crudas incluidas en el menú servido.

Los valores obtenidos de densidad aparente y relativa fueron en promedio de 1,0013 ± 0,0002 g/mL y 1,0017 ± 0,00063, respectivamente. Este parámetro presenta muy poca variación entre las muestras semanales, aunque pueden observarse diferencias significativas entre algunas de las semanas.

Tabla 5. Valores promedio del contenido de nitrógeno, proteína, fibra cruda y grasas totales en las muestras de residuos de alimentos.

Semana	Nitrógeno (%)	Proteína Cruda (%)	Fibra Cruda (%)	Grasas Totales (%)
1	2.17 ± 0.12 ^{bc}	13,55 ± 0,76 ^{bc}	1,58 ± 0,13 ^c	4,85 ± 0,28 ^{bc}
2	2.70 ± 0.18 ^d	16,90 ± 1,13 ^d	0,76 ± 0,12 ^a	6,44 ± 0,38 ^{cd}
3	2.44 ± 0.14 ^{cd}	15,24 ± 0,89 ^{cd}	0,72 ± 0,09 ^a	12,10 ± 0,6 ^{8c}
4	1.76 ± 0.33 ^a	10,98 ± 2,04 ^a	1,86 ± 0,15 ^d	4,19 ± 0,50 ^a
5	1.99 ± 0.17 ^{ab}	12,43 ± 1,08 ^{ab}	1,91 ± 0,26 ^d	6,11 ± 0,36 ^c
6	2.08 ± 0.16 ^b	13,00 ± 0,99 ^b	1,43 ± 0,14 ^{bc}	5,71 ± 0,70 ^{bc}
7	2.17 ± 0.31 ^{bc}	13,64 ± 1,65 ^{bc}	1,28 ± 0,24 ^b	7,18 ± 1,05 ^d
Promedio	2,19 ± 0,31	13,68 ± 1,92	1,36 ± 0,48	6,69 ± 2,49

Nota: Los valores corresponden al promedio del análisis por triplicado de tres muestras por semana. Letras iguales como superíndice en una columna indica que no existen diferencias significativas, prueba de comparación de medias de Tukey con $\alpha=0.05$.

En la tabla 5 se presentan los contenidos de nitrógeno, proteína cruda, fibra cruda y grasas totales presentes en las muestras. El contenido de nitrógeno varía en el rango de 1,76 a 2,70% en base seca, con un valor promedio de $2,19 \pm 0,31\%$. Este rango es similar al reportado por Adhikari *et al.*, [26] de 1,7 a 2,7% para residuos de alimentos provenientes de restaurantes en Montreal utilizados para la producción eficiente de compostaje. El contenido de proteína se calculó multiplicando el contenido de nitrógeno por 6,25, obteniéndose un contenido promedio de $13,68 \pm 1,92\%$ en base seca. Todos los organismos, incluyendo los microorganismos, necesitan nitrógeno para sintetizar enzimas, proteínas y ácidos nucleicos, por lo que el alto contenido de nitrógeno y proteínas presente en las muestras evidencian el potencial de estos residuos para su utilización como materia prima para procesos fermentativos.

El contenido de fibra cruda en los residuos de alimentos estuvo en el rango 0,72 a 1,91% con un valor promedio de $1,36 \pm 0,48\%$ en base seca, similar al rango reportado para residuos de alimentos por Saadiah *et al.*, [19] de 1,25-1,78%, pero inferior al valor promedio de 2.28% reportado por Wang *et al.*, [25]. Estos bajos niveles en fibra de los residuos de alimentos se deben a que estos están constituidos principalmente por carbohidratos simples, lo que indica que pueden ser utilizados como fuente de energía, sin necesidad de complejos tratamientos previos para aumentar la digestibilidad. El contenido de grasas totales de los residuos varió en el rango de 4,19 a 12,10%, con un valor promedio de $6,69 \pm 2,49\%$ en base seca. Estos valores son superiores al 2,16% reportado para residuos de alimentos recolectados en China [27]. Las grasas al igual que los carbohidratos son fuente de energía y es por ello que su determinación tiene gran importancia. Los altos contenidos de grasas hacen de los residuos de alimentos una materia prima de bajo costo con potencial para extracción de grasas.

En la tabla 6 se presenta el contenido de minerales de las muestras de residuos de alimentos recolectadas por semana. De los macro minerales, el sodio es el que se encuentra en mayor proporción, con un valor promedio de $1,584 \pm 0,362\%$, el cual es similar al reportado por Wang *et al.*, [25] en residuos de alimentos de China de 1,608%. Su elevada proporción es proveniente del aporte de sal de mesa (NaCl) utilizado en la preparación de los alimentos. En menor proporción se encuentran el potasio ($0,632 \pm 0,125\%$), el fósforo ($0,167 \pm 0,040\%$), el calcio ($0,097 \pm 0,032\%$) y el magnesio ($0,064 \pm 0,012\%$). De los micro minerales, el hierro se encontró en mayor proporción, con un valor promedio en base seca de $101,203 \pm 100,521$ mg/Kg, seguido del aluminio ($68,119 \pm 68,294$ mg/Kg), zinc ($54,172 \pm 25,606$ mg/Kg), cromo ($11,696 \pm 0,032$ mg/Kg), manganeso ($9,319 \pm 1,822$ mg/Kg) y cobre ($3,597 \pm 1,653$ mg/Kg). Las variaciones entre los valores obtenidos son producto de los diferentes menús servidos cada semana. Los abundantes nutrientes presentes indican el gran potencial que tienen los residuos de alimentos como sustrato en la bioproducción de metabolitos de interés, ya que no sería necesaria una suplementación adicional.

Tabla 6. Contenido de macro y micro minerales presentes en los residuos de alimentos.

Semana	Macro minerales (g de mineral/ 100g muestra seca, %)					Micro minerales (mg/Kg muestra seca, ppm)					
	Ca	P	Mg	Na	K	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	Cr
1	0,082	0,139	0,066	1,222	0,521	48,096	6,413	9,619	32,265	28,056	1,403
2	0,068	0,141	0,066	1,162	0,501	54,087	3,405	7,011	37,861	40,064	4,808
3	0,069	0,188	0,046	1,393	0,585	64,594	4,845	8,074	31,692	38,353	5,854
4	0,086	0,189	0,053	1,638	0,635	118,731	2,661	9,417	41,351	122,825	8,188
5	0,101	0,105	0,070	1,710	0,584	40,241	3,622	10,664	68,410	26,157	1,006
6	0,112	0,186	0,064	1,749	0,752	61,000	1,220	12,403	67,100	20,333	26,434
7	0,161	0,223	0,085	2,211	0,844	321,673	3,016	8,042	100,523	201,045	34,178
Promedio	0,097	0,167	0,064	1,584	0,632	101,203	3,597	9,319	54,172	68,119	11,696
STDV	0,032	0,040	0,012	0,362	0,125	100,521	1,653	1,822	25,606	68,294	0,032

Nota: El promedio y es la desviación estándar (STDV) corresponde al valor calculado a partir de las muestras obtenidas durante 7 semanas.

En la tabla 7 se presenta el contenido de azúcares reductores, totales, almidón y ácido láctico en los residuos de alimentos. El contenido promedio de azúcares totales fue de $259,93 \pm 18,76$ mg/g de muestra seca, mientras que el contenido promedio de azúcares reductores fue de $73,42 \pm 5,30$ mg glucosa/g de muestra seca. Estos valores indican que el 28,25% de los azúcares presentes en las muestras son azúcares reductores. Dado el alto contenido de azúcares fermentables, estos residuos podrían utilizarse como sustrato en procesos biotecnológicos, como por ejemplo, para la producción de ácido láctico, precursor del ácido poli-L láctico, con múltiples usos en la producción de bioplásticos. Ohkouchi e Inoue [10] obtuvieron 9,75 g de ácido L (+) láctico a partir 100 g de residuos de alimentos utilizando *Lactobacillus manihottivorans* LMG18011 con tiempo de fermentación de 100 días. Sakai et al., [11] utilizaron los residuos de alimentos provenientes de diversos establecimientos de comidas incluyendo hoteles, restaurantes y hospitales en Japón, para la producción de ácido poli-L-láctico, alcanzando una producción de 7,0 g por cada 100 g de residuos.

Tabla 7. Valores promedio del contenido de almidón y ácido láctico presentes en las muestras de residuos de alimentos provenientes del Comedor Central Estudiantil de LUZ.

Semana	Azúcares Totales (mg /g de muestra)	Azúcares Reductores (mg glucosas/g de muestra)	Contenido de almidón (g/g de muestra)	Contenido de ácido láctico (mg/g de muestra)
1	230.18 ± 2.21^a	65.01 ± 0.62^a	0.37 ± 0.01^{bc}	$8,99 \pm 0,43^d$
2	278.38 ± 4.48^b	78.63 ± 1.27^b	$0.42 \pm 0,03^{cd}$	$6,65 \pm 0,89^c$
3	265.60 ± 8.59^b	75.02 ± 2.43^b	0.32 ± 0.03^{ab}	$12,59 \pm 0,73^f$
4	243.89 ± 2.96^a	68.88 ± 0.84^a	0.31 ± 0.03^a	$4,66 \pm 0,67^b$
5	269.07 ± 8.56^b	75.99 ± 2.42^b	0.58 ± 0.05^c	$2,67 \pm 0,23^a$
6	266.66 ± 11.76^b	75.32 ± 3.32^b	0.36 ± 0.04^{ab}	$10,98 \pm 1,00^c$
7	265.73 ± 22.82^b	75.05 ± 6.44^b	0.48 ± 0.07^d	$12,48 \pm 1,47^f$
Promedio	259.93 ± 18.76	73.42 ± 5.30	0.40 ± 0.10	$8,42 \pm 3,71$

Nota: Todos los resultados están expresados en base seca. Los valores corresponden al promedio del análisis por triplicado de tres muestras por semana. Letras iguales como superíndice en un mismo análisis (columna) indica que no existen diferencias significativas. Prueba de comparación de medias de Tukey con $\alpha=0.05$.

A pesar de la asombrosa cantidad de residuos de alimentos producidos en el mundo no se han establecido prácticas de uso y aprovechamiento de los mismos. Las estrategias básicas de valorización como compostaje, reciclaje y recuperación de energía mediante la incineración son prácticas conocidas y ampliamente aceptadas en todo el mundo, sin embargo, son capaces de recuperar o convertir menos del 50% en peso de los residuos en productos útiles. Estrategias de valorización avanzada basadas en las tecnologías de química verde resultan más atractivas tanto práctica, como económicamente y el punto de vista sustentable puede diversificar la generación de múltiples productos de una sola materia prima usando tecnologías ecológicamente amigables [30].

La composición fisicoquímica obtenida para los residuos de alimentos recolectados desde las bandejas servidas en el Comedor Central Estudiantil de LUZ indica que es una materia prima con gran potencial biotecnológico, la cual puede utilizarse como medio de fermentación para la obtención de metabolitos de interés sin necesidad de otro tipo de nutrientes. Estos residuos, además de contener fuentes de carbono (carbohidratos) y nitrógeno (proteínas) contienen minerales, necesarios para el desarrollo de microorganismos, los cuales requieren una variedad de elementos, generalmente en forma de iones, por ejemplo, el fósforo es importante para la síntesis de ATP, fosfolípidos y ácidos nucleicos, mientras que el sodio, hierro, potasio, zinc y manganeso intervienen en la activación de ciertas enzimas, y el calcio se requiere para la formación de la pared celular. Además, tienen un pH promedio de 5,53 y una baja acidez titulable (0.352%) que permitiría el crecimiento de una gran cantidad de especies de microorganismos.

El uso de los residuos de alimentos como materia prima en procesos biotecnológicos ofrece una forma innovadora para recuperar parte de la energía y los nutrientes inicialmente invertidos en la producción de alimentos. Por métodos químicos y biológicos, los residuos de alimentos se hidrolizan en glucosa, nitrógeno amino libre y fosfato, que son utilizables como nutrientes por muchos microorganismos cuya versatilidad metabólica permite la producción de una amplia gama de productos [30, 31].

Conclusiones

En el Comedor Central Estudiantil de la Universidad del Zulia, Núcleo Maracaibo se sirven en promedio 4000 bandejas de almuerzos por día que generan una gran cantidad de residuos de alimentos que son desechados en la basura junto con servilletas de papel y vasos plásticos.

La generación diaria, semanal y mensual de residuos fue de 207,96, 1039,80 y 4159,18 Kg, respectivamente, distribuida entre grandes grupos, ricos en carbohidratos (63%), frutas y verduras (23%) y ricos en proteínas (14%).

Los residuos presentaron un pH promedio de 5,53, con 65,79% de humedad, 34,21% de sólidos totales (96% materia orgánica), 25,99% de azúcares totales, 7,34% de glucosa, 40,4% de almidón, 13,68% de proteínas, 6,99% de grasas, así como macro y micro-minerales que le confieren un alto potencial para su utilización como sustrato para la producción de metabolitos de interés con mayor valor agregado.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas (IN-ZIT) por su colaboración. Esta investigación fue financiada por Consejo de Desarrollo Científico y Tecnológico (CONDES) de la Universidad del Zulia mediante el Proyecto N° CC-0104-12.

Referencias bibliográficas

1. Gil R., Domínguez R., Pacho J. (2008). Bioproducción de ácido láctico a partir de residuos de cáscara de naranja: procesos de separación y purificación. *Tecnología Ciencia Educación*, 23(2): 79-90.
2. Instituto Nacional de Estadística (2010). Boletín Informativo. Generación y Manejos De Residuos Sólidos en Venezuela en el año 2000, 2006 y 2007. No. 1. República Bolivariana de Venezuela.
3. Acurio G., Rossin A., Telxeira P. y Zepeda F. (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. BID-OPS, Washington D.C., No. ENV 97-107.
4. Lin Ch. (2008). A negative-pressure aeration system for composting food wastes, *Bioresource Technology*, 99(16):7651-7656.
5. El-Mashada H. y Zhang R. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste, *Bioresource Technology*, 101 (11): 4021-4028.
6. Lisboa M. y Lansing S. (2013). Characterizing food waste substrates for co-digestion through biochemical methane potential (BMP) experiments, *Waste Management*, 33(12): 2664-2669.
7. Caton P., Carr M., Kim S. y Beautyman M. (2010). Energy recovery from waste food by combustion or gasification with the potential for regenerative dehydration: A case study *Energy Conversion and Management*, 51(6):1157-1169
8. Tawfik, A., y El-Qelish, M. (2012). Continuous hydrogen production from co-digestion of municipal food waste and kitchen wastewater in mesophilic anaerobic baffled reactor. *Bioresource Technology*, 114, 270-274.
9. Hyung J., Cheol J. y Pak D. (2011). Feasibility of producing ethanol from food waste *Waste Management*, 31(9):2121-2125.
10. Ohkouchi, Y. e Inoue, Y. (2006). Direct production of l (+)-lactic acid from starch and food wastes using *Lactobacillus manihotivorans* LMG18011. *Bioresource Technology*, 97(13): 1554-1562.
11. Sakai K., Taniguchi M., Miura S., Ohara H., Matsumoto T. y Shirai Y. (2004). Making Plastics from Garbage, *Journal of Industrial Ecology*, 7(3-4): 63-74.
12. Raga Y., y Sánchez J. (2013). Cuantificación y caracterización proximal y fisicoquímica de los residuos de alimentos de un comedor universitario. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. 81 p.
13. Association of Official Analytical Chemists (2007) Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition. Gaithersburg, USA.
14. Carter, G. H. y Neubert, A. M. (1954). Plant Starch Analysis, Rapid Determination of Starch in Apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2(21), 1070-1072.
15. Miller, G. L. (1959). Modified DNS method for reducing sugars. *Anal. Chem*, 31(3), 426-428.
16. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
17. Taylor, K. A. (1996). A simple colorimetric assay for muramic acid and lactic acid. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 56(1), 49-58.
18. Okamoto, K., Morita, M., Quan, H., Uehiro, T., & Fuwa, K. (1985). Preparation and certification of human hair powder reference material. *Clinical chemistry*, 31(10), 1592-1597.

19. Saadiah H., Rahman N., Nadia F, Lai P., Abd S., Hassan M. (2010). Comparative Study of Organic Acids Production from Kitchen Wastes and Simulated Kitchen Waste, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(4):639-645.
20. Zhang, R., El-Mashad, H. M., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C. y Gamble, P. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource technology*, 98(4), 929-935.
21. Kim, J. D., Park, J. S., In, B. H., Kim, D. y Namkoong, W. (2008). Evaluation of pilot-scale in-vessel composting for food waste treatment. *Journal of hazardous materials*, 154(1), 272-277.
22. Yan, S., Li, J., Chen, X., Wu, J., Wang, P., Ye, J., y Yao, J. (2011). Enzymatical hydrolysis of food waste and ethanol production from the hydrolysate. *Renewable Energy*, 36(4), 1259-1265.
23. Li, M., Zhao, Y., Guo, Q., Qian, X., y Niu, D. (2008). Bio-hydrogen production from food waste and sewage sludge in the presence of aged refuse excavated from refuse landfill. *Renewable Energy*, 33(12), 2573-2579.
24. Nayono S., Gallert C. y Winter J. (2010). Co-digestion of press water and food waste in a biowaste digester for improvement of biogas production, *Bioresource Technology*, 101:6987-6993.
25. Wang, Q., Wang, X., Wang, X. y Ma, H. (2008). Glucoamylase production from food waste by *Aspergillus niger* under submerged fermentation. *Process Biochemistry*, 43(3), 280-286.
26. Adhikari, B. K., Barrington, S., Martínez, J., y King, S. (2008). Characterization of food waste and bulking agents for composting. *Waste Management*, 28(5), 795-804.
27. Zhao, W., Sun, X., Wang, Q., Ma, H., & Teng, Y. (2009). Lactic acid recovery from fermentation broth of kitchen garbage by esterification and hydrolysis method. *Biomass and bioenergy*, 33(1), 21-25.
28. Pleissner D. y Sze C. (2013). Valorisation of food waste in biotechnological processes, *Sustainable Chemical Processes*, 1(21): 1-6.
29. Vishnu, C., Seenayya, G., y Reddy, G. (2000). Direct conversion of starch to L (+) lactic acid by amylase producing *Lactobacillus amylophilus* GV6. *Bioprocess Engineering*, 23(2), 155-158.
30. Rodríguez B. y Zabala A. (2007). Producción de amilasas de *Aspergillus Níger* 46836 con harina de yuca como sustrato. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia, 67 p.
31. Luque, R., y Clark, J. H. (2013). Valorisation of food residues: waste to wealth using green chemical technologies. *Sustainable Chemical Processes*, 1(10).

