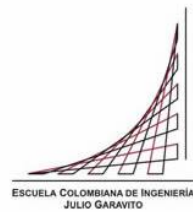


# **Maestría en Ingeniería Civil**

## **Evaluación de una alternativa de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito**

**Laura Cristina Lesmes Posada**

**Bogotá, D.C., 12 de diciembre de 2018**



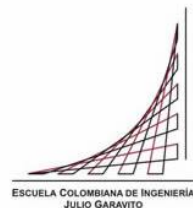
**Evaluación de una alternativa de compostaje para el tratamiento  
de los residuos orgánicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería  
Julio Garavito**

**Trabajo de grado para optar al título de magíster en Ingeniería  
Civil, con énfasis en Ingeniería Ambiental**

**María Paulina Villegas de Brigard**

**Director**

**Bogotá, D.C., 12 de diciembre de 2018**



El trabajo de grado de maestría titulado “Evaluación de una alternativa de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito”, presentada por Laura Cristina Lesmes Posada, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental.

Director de la tesis

María Paulina Villegas de Brigard

Jurado

Jairo Alberto Romero Rojas

Jurado

María Carolina Romero Pereira

Bogotá, D.C., 25 de enero de 2019 (fecha de aceptación del trabajo por parte del jurado)

## Dedicatoria

A mi familia quien siempre me ha apoyado y ha sido la razón para salir adelante y por la que lucho cada día.

A toda la comunidad de la Escuela Colombiana de Ingeniería para que con cada una de sus acciones contribuya a la construcción de un mejor país y sienta como suya la responsabilidad de preservar el medio ambiente sano.

### Agradecimientos

A doña Esperanza, administradora del restaurante Dialimentos por su disposición de ayudarme con los residuos. A don Alirio, trabajador de la Escuela, por su ayuda suministrando los residuos de poda y corte de césped.

Al ángel que estuvo siempre presente, apoyándome a lo largo del desarrollo de este trabajo, dándome fuerzas para seguir adelante ante las adversidades y recalcándome siempre mis capacidades y fortalezas para lograr mis objetivos.

Y finalmente a mi directora de tesis por estar siempre disponible para atender mis inquietudes y apoyarme en la realización de este proyecto.

## Resumen

Los residuos sólidos generados en el mundo y más específicamente los residuos sólidos orgánicos se han convertido en un problema demasiado grande para toda la sociedad; la generación de lixiviados, gases de efecto invernadero, pérdida de nutrientes de los suelos, se deben a que se hace un inadecuado tratamiento a estos residuos. Un buen proceso de tratamiento permite una adecuada recuperación de los suelos devolviéndole sus características tanto químicas como biológicas, una reducción en los gases de efecto invernadero, disminución en el área requerida para la disposición y una gran cantidad de beneficios que serán enumerados a lo largo del documento.

La Escuela Colombiana de Ingeniería ubicada en el norte de la ciudad de Bogotá tiene un campus con extensas zonas verdes, por lo tanto, el componente principal de los residuos orgánicos que produce es corte de césped y residuos de poda. El proyecto consiste en la elaboración de un montaje piloto para el compostaje de los residuos orgánicos biodegradables producidos en la institución con el fin de establecer los requerimientos para su tratamiento y posterior aprovechamiento del producto derivado en las instalaciones de la universidad.

Para este fin se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica estableciendo las condiciones óptimas de operación del proceso. Debido a las características de los residuos de corte de césped y de poda, se requiere de una mezcla con otros residuos. Por lo tanto, las alternativas de mezcla consistieron en residuos de frutas y verduras y residuos de alimentos preparados o cocinados, para poder aprovechar también el potencial de estos. Al mismo tiempo se necesitó un agente de carga que en este caso fue aserrín.

Al final del proyecto se determinó entre las dos alternativas de mezcla la que producía el mejor resultado. El proceso de evaluación de los dos modelos consistió en hacer seguimiento de los parámetros de humedad, pH y temperatura, y una verificación final del producto terminado para ambos casos por medio de un análisis de caracterización y composición.

Palabras clave: Compostaje, aprovechamiento de residuos, residuos orgánicos.

## Índice general

Resumen .....	6
Índice general .....	7
Índice de tablas.....	10
Índice de figuras .....	11
Índice de anexos.....	13
Introducción .....	14
Justificación .....	15
Objetivos.....	16
Objetivo General .....	16
Objetivos Específicos .....	16
Capítulo 1. Estado del arte sobre el problema de investigación .....	17
A nivel mundial.....	17
A nivel de Colombia .....	21
A nivel institucional.....	26
Capítulo 2. Técnicas de aprovechamiento de residuos orgánicos.....	26
Incineración.....	27
Tecnología de pirólisis de plasma térmico.....	29
Digestión anaeróbica.....	30
Compostaje.....	32
Biofertilizantes .....	33
Lombricultura o Vermicompostaje.....	34
Técnicas de aprovechamiento de residuos orgánicos en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito .....	35
Problema de Investigación.....	35

Capítulo 3. El proceso de compostaje.....	36
Fases del proceso de compostaje .....	38
Fase preliminar.....	38
Fase mesófila I .....	38
Fase termófila.....	38
Fase mesófila II .....	39
Fase de maduración .....	39
Afinación.....	40
Condiciones óptimas de operación para el proceso de compostaje .....	40
Humedad inicial .....	40
Relación C:N .....	42
Tamaño de partícula.....	44
Densidad .....	45
Oxígeno disuelto.....	45
pH.....	46
Temperatura .....	47
Agentes de carga o aditivos.....	48
Resumen de condiciones deseadas para el proceso .....	48
Capítulo 4. Normatividad aplicable.....	50
Normatividad en el mundo.....	50
Normatividad en Colombia .....	50
Capítulo 5. Metodología.....	51
Capítulo 6. Resultados.....	53
Cuantificación y caracterización de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.....	53
Cuantificación de los residuos orgánicos biodegradables .....	53



Caracterización de los residuos orgánicos.....	55
Modelo escogido.....	56
Seguimiento al modelo.....	57
Mediciones de humedad.....	61
Mediciones de pH.....	65
Mediciones de temperatura.....	69
Aspecto final del compost.....	73
Análisis de laboratorio para el producto final.....	74
Capítulo 7. Discusión.....	76
Conclusiones.....	78
Recomendaciones.....	80
Referencias.....	82
Anexos.....	88

## Índice de tablas

Tabla 1. Generación, reciclaje, compostaje, combustión, recuperación de energía y disposición en vertederos de los residuos sólidos municipales desde 1960 a 2015 para USA en millones de toneladas. ....	19
Tabla 2. Valores de rango óptimo de humedad para el proceso de compostaje. ....	41
Tabla 3. Humedad en % para los distintos residuos utilizados. ....	42
Tabla 4. Rango de relación C/N óptimo para el proceso de compostaje. ....	43
Tabla 5. Valores de %C, %N y Relación C/N para residuos de alimentos y frutas y verduras. ....	43
Tabla 6. Valores de %C, %N y Relación C/N para residuos de corte de césped, poda de árboles y aserrín. ....	44
Tabla 7. Rango ideal para tamaño de partícula en el proceso de compostaje. ....	44
Tabla 8. Rango ideal de densidad para el proceso de compostaje. ....	45
Tabla 9. Rango ideal para la concentración de oxígeno disuelto en el proceso de compostaje. ....	46
Tabla 10. Rango de pH en el proceso de compostaje. ....	47
Tabla 11. Rango de temperatura durante el proceso de compostaje. ....	48
Tabla 12. Condiciones óptimas de operación para el proceso de compostaje. ....	49
Tabla 13. Normas existentes en varios países para Calidad y uso del Compost. ....	50
Tabla 14. Cuantificación de residuos de concesiones de alimentos. ....	54
Tabla 15. Cuantificación de residuos de corte de césped y poda de árboles. ....	55
Tabla 16. Caracterización residuos de corte de césped y poda de árboles. ....	56
Tabla 17. Resumen proporciones y características obtenidas modelo 1 residuos de frutas y verduras. ....	59
Tabla 18. Resumen proporciones y características obtenidas modelo 2 residuos de alimentos cocinados. ....	60
Tabla 19. Caracterización y composición del producto final para ambos modelos. ....	75

## Índice de figuras

Figura 1. Forzamiento radiativo atmosférico de gases de efecto invernadero de larga duración relativo a 1750. Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration .....	18
Figura 2. Composición de la basura en Canadá. Año 2015. Fuente: Tetra Tech EBA Inc.18	
Figura 3. Generación de residuos sólidos municipales en USA para el año 2015 (262 millones de toneladas) Fuente: EPA .....	19
Figura 4. Generación de residuos municipales por país para el año 2016. (kg por persona). Fuente: Eurostat. ....	20
Figura 5. Tratamiento de residuos sólidos municipales para la unión Europea (kg/persona). Fuente: Eurostat. ....	21
Figura 6. Emisiones totales por GEI para Colombia. Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. 2017.....	22
Figura 7. Emisiones de CH <sub>4</sub> para Colombia. Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. 2017.....	22
Figura 8. Indicador porcentaje de generación de residuos aprovechables por tipo de material en el sector público distrital. Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá. ....	24
Figura 9. Árbol del problema. Fuente: Elaboración propia. (2017) .....	25
Figura 10. Jerarquía de recuperación de los alimentos. Fuente: EPA, 2015. ....	27
Figura 11. Incinerador en masa de residuos. Fuente: BBC News Science & Environment. (2006) .....	28
Figura 12. Esquema de prototipo de reactor de pirólisis de plasma. Fuente: Institute for plasma research. India.....	29
Figura 13. Reactor de pirólisis de plasma instalado en el Colegio Médico de Goa en 2004. Fuente: Institute for plasma research. India. ....	30
Figura 14. Iz. Planta de Biogas en Aiterhofen, Alemania. Der: Biodigestor Sabana de Bogotá Colombia. Fuente: EBA. SchmackBiogasGmbH y Contexto Ganadero. ....	31
Figura 15. Sistema lombricultivo La Montañita Municipio de Caldas. Colombia Fuente: ACODAL.....	34
Figura 16. Fases del proceso de compostaje. Fuente: P. Roman, FAO. ....	39
Figura 17 Módulos de compostaje. b: Tamiz para el proceso de separación. ....	57
Figura 18. Piloto de compostaje para los primeros 2 montajes antes de modificarse.....	57
Figura 19. Piloto de compostaje luego de las adecuaciones del cerramiento.....	58
Figura 20. Mediciones de humedad montajes 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.....	61

Figura 21. Mediciones de humedad montajes 3 al 5. Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 22. Mediciones de humedad montajes 6 al 8. Fuente: Elaboración propia.....	63
Figura 23. Comportamiento humedad montaje 4 residuos de frutas y verduras.....	64
Figura 24. Comportamiento humedad montaje 4 residuos de alimentos cocinados. ....	64
Figura 25. Mediciones de pH montajes 1 y 2. Fuente: Elaboración propia .....	65
Figura 26. Mediciones de pH montajes 3 al 5. Fuente: Elaboración propia .....	66
Figura 27. Mediciones de pH montajes 6 al 8. Fuente: Elaboración propia .....	67
Figura 28. Comportamiento pH montaje 4 residuos de frutas y verduras. ....	68
Figura 29. Comportamiento pH montaje 4 residuos de alimentos cocinados. ....	68
Figura 30. Mediciones de temperatura montajes 1 y 2. Fuente: Elaboración propia .....	69
Figura 31. Mediciones de temperatura montajes 3 y 4. Fuente: Elaboración propia .....	70
Figura 32. Mediciones de temperatura montajes 5 al 8. Fuente: Elaboración propia .....	71
Figura 33. Comportamiento temperatura montaje 4 residuos de frutas y verduras. ....	72
Figura 34. Comportamiento temperatura montaje 4 residuos de alimentos cocinados.....	73
Figura 35. Producto final proceso de compostaje residuos de la Escuela Colombiana de Ingeniería.....	73
Figura 36. Producto final modelo de residuos de alimentos cocinados. ....	74
Figura 37. Producto final modelo de residuos de frutas y verduras.....	74

## Índice de anexos

Anexo 1. Formatos para cuantificación de residuos.....	88
Anexo 2. Caracterización de residuos de poda de árboles y corte de césped.....	91
Anexo 3. Formatos para el seguimiento a parámetros durante el proceso .....	91
Anexo 4. Norma NTC 5167.....	95
Anexo 5. Resultados obtenidos .....	95
Anexo 6. Análisis de laboratorio al producto final.....	149
Anexo 7. Registro fotográfico del modelo.....	153

## **Introducción**

Los residuos orgánicos biodegradables generados en el mundo requieren de mucha atención a nivel global, hacen parte de la mayor cantidad de residuos generados y son una de las causas principales del cambio climático. Su manejo inadecuado y su falta de aprovechamiento hacen que lleguen a los rellenos sanitarios o sitios de disposición generando gases de efecto invernadero que contribuyen a este fenómeno.

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, institución universitaria de educación superior con sede en la ciudad de Bogotá es un ejemplo de la falta de aprovechamiento de este tipo de residuo. Debido a la extensión de las zonas verdes de su campus genera una gran cantidad de residuos de corte de césped y poda de árboles que hasta el momento no son aprovechados.

El propósito del presente proyecto es exponer una alternativa de tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería facilitando las labores de disposición de estos, proporcionando alternativas para contribuir a la disminución de gases de efecto invernadero, reducción de áreas requeridas para su disposición, recuperación de suelos, disminución de costos y de uso de abonos químicos o fertilizantes.

Para el desarrollo del proyecto fue necesario realizar una cuantificación y caracterización básica de los residuos orgánicos biodegradables generados en las instalaciones de la universidad con el objetivo de establecer no sólo los requerimientos de mezcla sino también de verificación de condiciones óptimas de operación. Cabe aclarar que un mal manejo de este tipo de residuos conlleva efectos negativos en el medio ambiente.

El documento sintetiza la situación actual del tratamiento de los residuos orgánicos a nivel mundial y local, a su vez proporciona los parámetros requeridos en el monitoreo para el buen funcionamiento de un sistema de compostaje y finalmente, hace una comparación de los resultados obtenidos en el proceso para dos mezclas con distintos residuos.

## Justificación

El aprovechamiento de los residuos orgánicos es un tema de interés a nivel mundial, debido a efectos negativos sobre el medio ambiente causados por la disposición inadecuada de estos residuos, como lo son la generación excesiva de gases de efecto invernadero (GEI) y la ocupación de espacios que podrían llegar a ser utilizados para otros fines.

El tema de tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables y su aprovechamiento fue seleccionado pues se observa que en Colombia es un tema de interés superior. El país se caracteriza por su actividad agrícola y ganadera que genera gran cantidad de residuos de tipo orgánico. La gran mayoría de estos residuos no es aprovechado, por el contrario es dispuesto en rellenos sanitarios incrementando los GEI generados en estos lugares, ocupando grandes extensiones de terreno y fomentando la contaminación del medio ambiente.

La importancia del proyecto a nivel de la ingeniería ambiental es clara puesto que dándole un manejo adecuado a los residuos se logran disminuir los efectos negativos por la contaminación que se genera en los rellenos, ya sea en el aire debido al gas metano y otros gases o en el agua debido a los lixiviados, al tiempo que se evitan los costosos y difíciles tratamientos de estos últimos, requeridos para mitigar la contaminación ambiental.

Otro punto de interés es la utilización de los abonos generados a partir de estos residuos para la recuperación de suelos, si bien es cierto que no se puede desaparecer el uso de úrea y otro tipo de fertilizantes, se puede disminuir la cantidad de fertilizantes químicos importados al país mostrándole a la población que estos pueden ser reemplazados en una parte por abonos orgánicos producidos internamente.

En el marco de la maestría, este trabajo permitió aplicar conocimientos adquiridos a lo largo de todo el programa para satisfacer la necesidad de tratamiento y disposición adecuada de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela, al mismo tiempo que se implementó el sistema como un laboratorio de prueba para futuras investigaciones en el campo del compostaje. Este proyecto se enmarcó en la línea de investigación en ingeniería ambiental del Centro de Estudios Ambientales aumentando el conocimiento y la experiencia en el tratamiento de residuos.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Establecer el método más eficiente y de bajo costo para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería mediante compostaje, teniendo en cuenta los parámetros de control del proceso.

### **Objetivos Específicos**

- Cuantificar y caracterizar los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Determinar el modelo de compostaje basándose en la caracterización de residuos realizada y en la revisión bibliográfica elaborada.
- Implementar el modelo de compostaje piloto para realizar el tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Determinar las mezclas a utilizar en el modelo a partir de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, satisfaciendo los requerimientos según la bibliografía revisada.
- Realizar seguimiento al modelo desarrollado para compostaje y determinar las condiciones óptimas de operación para el tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.



## Capítulo 1. Estado del arte sobre el problema de investigación

### A nivel mundial

El tratamiento de residuos orgánicos no es un tema nuevo, pues desde hace mucho tiempo los seres humanos realizaban inconscientemente el proceso de aprovechamiento de los residuos orgánicos producidos, por ejemplo reutilizaban el estiércol y los residuos de alimentos como abono para sus plantas. En los últimos años la humanidad se ha dado cuenta que es un tema vital y que de esto depende que los habitantes de las generaciones futuras puedan habitar en el planeta Tierra.

La acumulación de desechos orgánicos sólidos está alcanzando niveles críticos en casi todas las regiones del mundo, estos desechos deben manejarse de manera sostenible para evitar el agotamiento de los recursos naturales, minimizar el riesgo para la salud humana, reducir las cargas ambientales y mantener un equilibrio general en el ecosistema. (Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., et al, 2011), es por esto que actualmente se aplican varios métodos para el tratamiento y manejo de residuos orgánicos sólidos.

Los rellenos sanitarios se han usado como alternativa para la disposición de todo tipo de residuos, sin embargo, se ha comprobado que esta no es la mejor alternativa para los residuos orgánicos biodegradables. Estos “constituyen una fuente importante de biogás resultado del proceso de descomposición biológica de residuos sólidos de origen orgánico, conformado por metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV)”. (REDISA, septiembre de 2009). Por lo tanto, una alternativa para disminuir la cantidad de GEI generados en el planeta consiste en disminuir la cantidad de residuos orgánicos que llegan a estos sitios de disposición dándoles un tratamiento apropiado.

Se ha registrado que los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanzaron un récord, en la figura 1 se observa que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el metano ( $\text{CH}_4$ ) componen la mayor fuente de contaminación de parte de los gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al cambio climático. (World Meteorological Organization, 2018).

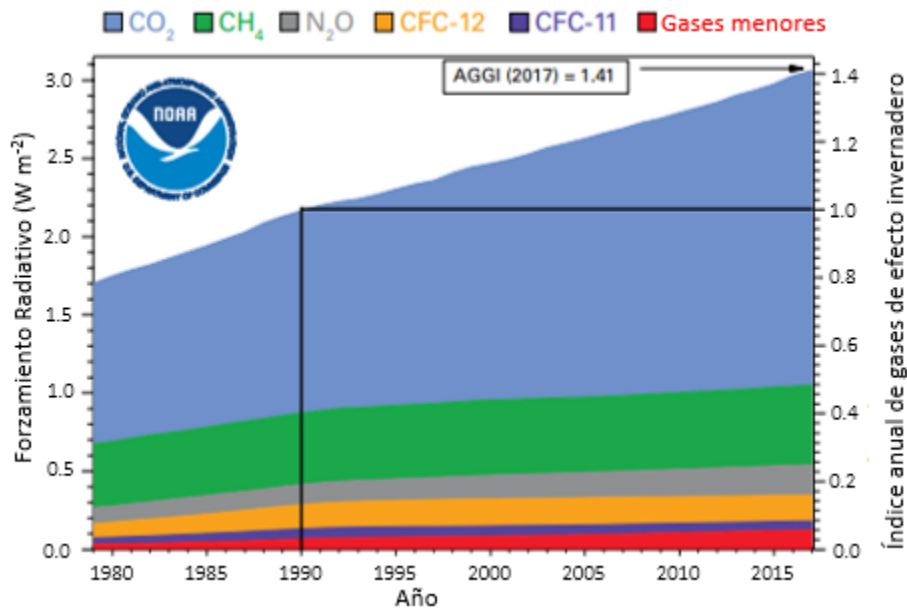


Figura 1. Forzamiento radiativo atmosférico de gases de efecto invernadero de larga duración relativo a 1750. Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration

Para analizar la situación de los residuos orgánicos biodegradables a nivel mundial, es necesario referirse a las estadísticas de varios países y observar órdenes de magnitud. Como se muestra en la figura 2. Para el año 2015 en Canadá el mayor componente de la basura es la materia orgánica compostable (28%), seguida de papel (17%) y el plástico (16%). Los compuestos orgánicos son principalmente residuos de jardín (74%) y desperdicios de alimentos (21%). (Tetra Tech EBA Inc., 2018)

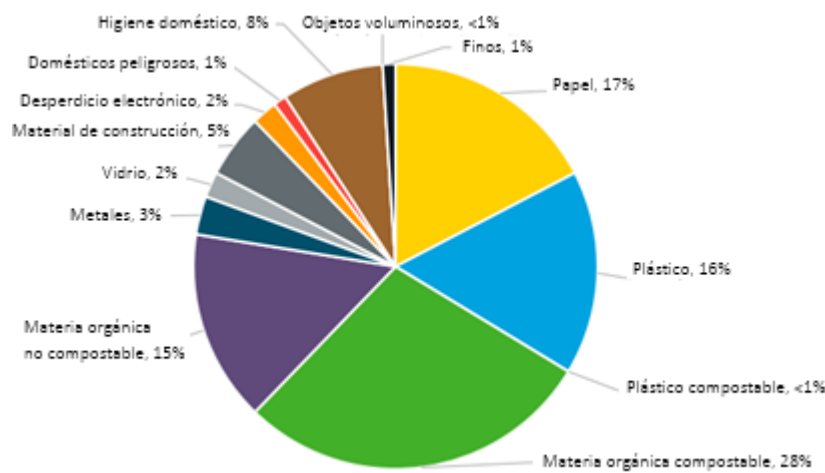


Figura 2. Composición de la basura en Canadá. Año 2015. Fuente: Tetra Tech EBA Inc.

Como se observa en la Figura 3. Para el año 2015 en Estados Unidos se generaron 262.4 millones de toneladas de residuos, de los cuales 34.4% son residuos orgánicos biodegradables, 25.9% son papel y 13.1% son plásticos. Corroborando nuevamente que la generación de residuos está compuesta principalmente por residuos de alimentos (15.1%) y de recortes de jardín (13.3%). (EPA, 2018)

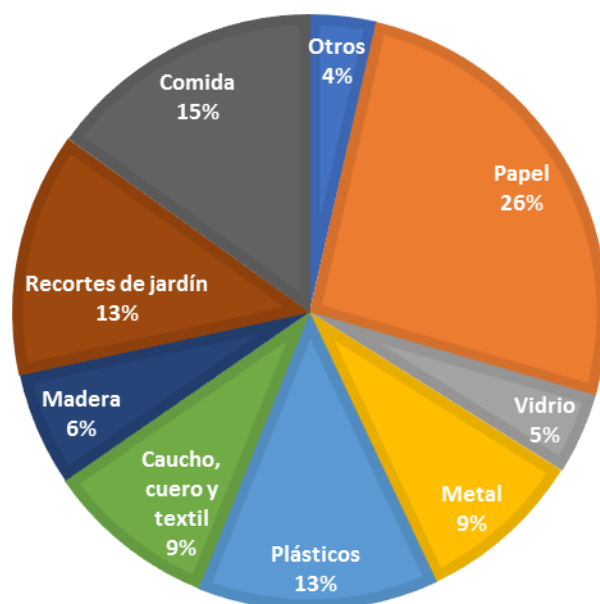


Figura 3. Generación de residuos sólidos municipales en USA para el año 2015 (262 millones de toneladas)  
Fuente: EPA

Se observa que la cantidad de residuos generados en Estados Unidos aumenta con el tiempo. Pero a su vez se observa que se les hace tratamiento a sus residuos, de ellos un 25.8% se recicla, 12.8% se incinera para recuperación de energía, 8.9% se composta, y el resto de los residuos (52.4%) va a vertederos. (EPA, 2018)

Tabla 1. Generación, reciclaje, compostaje, combustión, recuperación de energía y disposición en vertederos de los residuos sólidos municipales desde 1960 a 2015 para USA en millones de toneladas.

Actividad	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2014	2015
Generación	88.1	121.1	151.6	208.3	243.5	253.7	251.1	259	262.4
Reciclaje	5.6	8	14.5	29	53	59.2	65.3	66.6	67.8
Compostaje*	neg	neg.	neg.	4.2	16.5	20.6	20.2	23	23.4
Combustión con recuperación de energía	0	0.2	2.8	29.8	33.7	31.7	29.3	33.2	33.5
Vertederos y otras disposiciones	82.5	112.6	134.3	145.3	140.3	142.2	136.3	136.2	137.7

Fuente: EPA. 2018.

Cuando se analiza la situación en países de la Unión Europea se observa un panorama muy similar. Como se observa en la figura 4, existen variaciones entre países desde 261 kg por persona en Rumania a 777 kg por persona en Dinamarca, debido a patrones de consumo y economías diferentes. Para el año 2016 los países de la Unión Europea generaban en promedio 483 kg de residuos municipales por persona. (Eurostat, 2018)

**Generación de residuos municipales por país en 2005 y 2016, ordenado por el nivel de 2016 (kg por persona)**

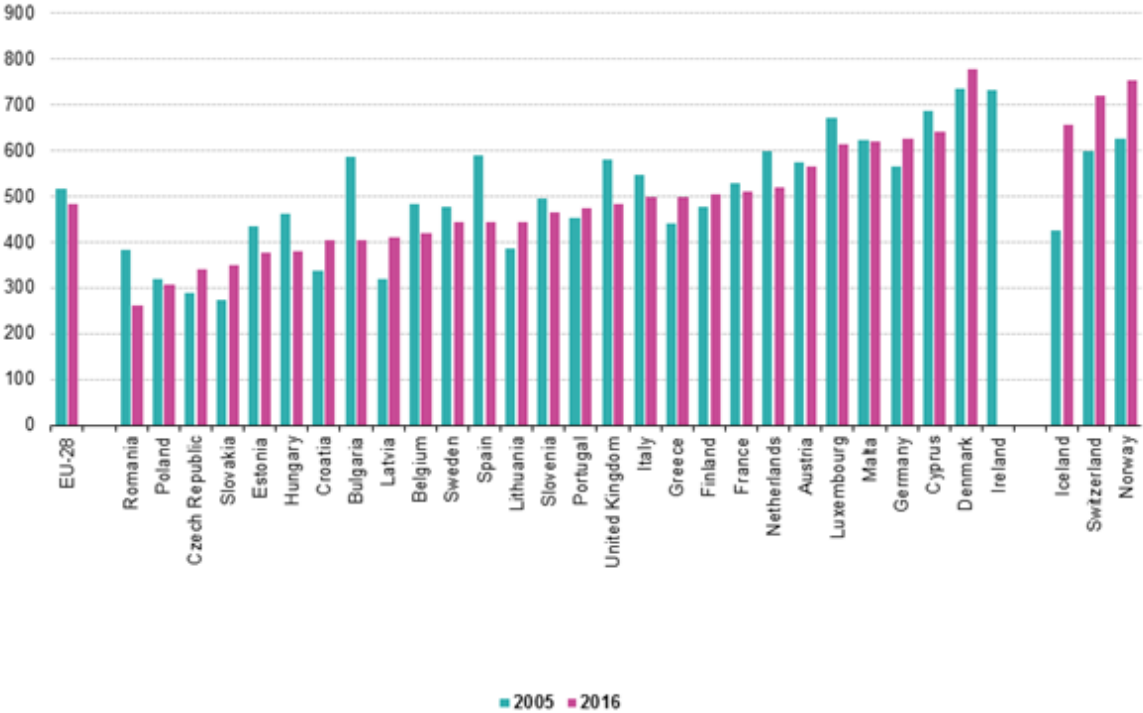


Figura 4. Generación de residuos municipales por país para el año 2016. (kg por persona). Fuente: Eurostat.

Como se muestra en la figura 5, aunque se generó una mayor cantidad de residuos en los últimos años, el total de residuos que llegan a disponerse en los vertederos en la Unión Europea ha disminuido. Para el periodo de 1995 a 2016 disminuyó 85 millones de toneladas pasando de ser 145 millones de toneladas (302 kg por persona) a 60 millones de toneladas (118 kg por persona) en el último año, correspondiente al 59%. Por lo tanto, esa disminución en residuo dispuesto, pasa a ser residuo con algún tipo de tratamiento. La cantidad de residuo reciclado pasó de ser 25 millones de toneladas (52 kg, por persona) a 72 millones de toneladas (141 kg por persona) para el año 2016 correspondiente a un aumento del 188%. (Eurostat, 2018)

Con respecto a los residuos orgánicos biodegradables se obtuvo un crecimiento promedio anual de 5.1% de 1995 a 2016. Para el proceso de incineración también creció la tasa, pero no en la misma forma que lo hizo el compostaje y el reciclaje, todo esto debido a la regulación de estos países. Los residuos incinerados pasaron de ser 34 millones de toneladas (67 kg/ por persona) a 68 millones de toneladas (133 kg por persona), aumentando un 100%. (Eurostat, 2018).

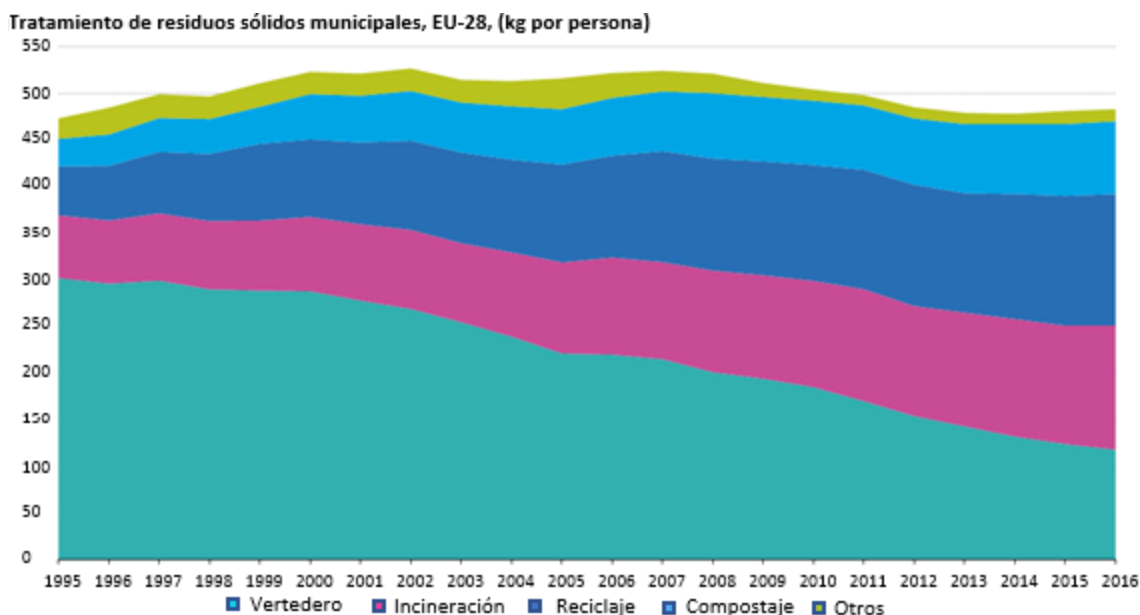


Figura 5. Tratamiento de residuos sólidos municipales para la unión Europea (kg/persona). Fuente: Eurostat.

Darle un tratamiento adecuado a los residuos sólidos orgánicos biodegradables como el compostaje o la digestión anaeróbica y no sólo disponerlos en los rellenos sanitarios tiene muchos beneficios ambientales, ejemplos de ellos son la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en los rellenos y se ha destacado la mejora de las propiedades del suelo a través de la aplicación del compost y la disminución de uso de materiales químicos. (Bernstad, A., Wenzel, H., la Cour Jansen, J. 2016)

## A nivel de Colombia

Colombia es un país que intenta contribuir con sus acciones a la mitigación del cambio climático, es por esto que realiza un análisis exhaustivo de todas las variables que se ven relacionadas con este fenómeno. En su última comunicación a la Convención Marco de las

Naciones Unidas sobre el Cambio Climático mostró un informe donde incluía los aportes del país a los Gases de efecto invernadero (GEI) obteniendo lo siguiente:

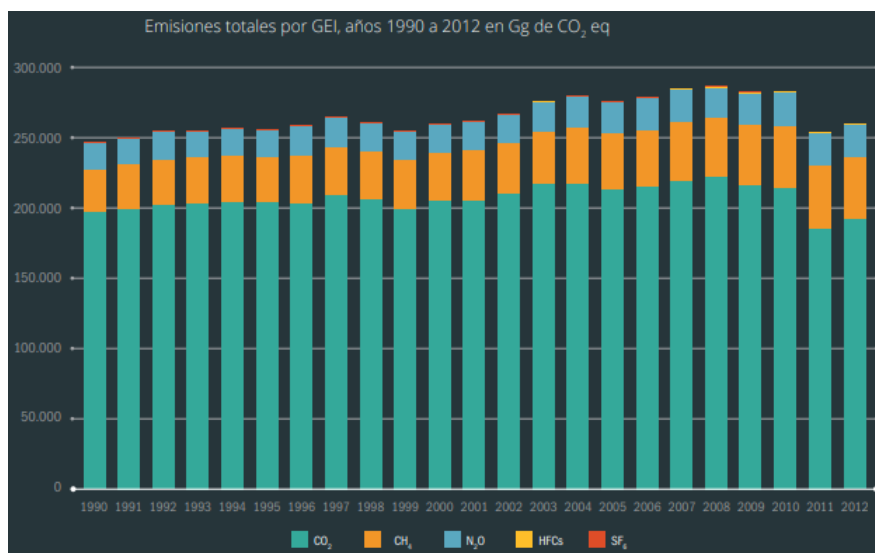


Figura 6. Emisiones totales por GEI para Colombia. Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. 2017.

Como se muestra en la figura 6, el CO<sub>2</sub> es el GEI que más se produce en el país con un 78.17%, seguido de CH<sub>4</sub> con un 13.92%, N<sub>2</sub>O con un 7.79%, HFCs con 0.10% y finalmente SF<sub>6</sub> con 0.02%. En cuanto al metano se observa que la parte de eliminación de desechos sólidos tiene un 10.22% de participación (Figura 7).

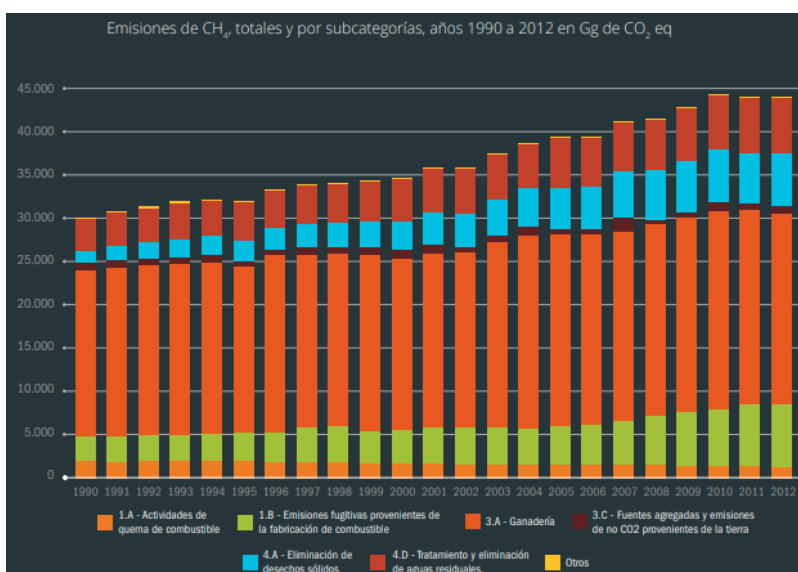


Figura 7. Emisiones de CH<sub>4</sub> para Colombia. Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. 2017.

Cuando se analiza la situación a nivel nacional con respecto a la disposición final de residuos sólidos, las estadísticas presentadas por el Sistema Único de Información (SUI) en el año 2015 son las más recientes. Colombia posee 232 sitios de disposición final de los cuales 176 son autorizados y 56 no son autorizados por la autoridad ambiental. A su vez, de los 1102 municipios pertenecientes al país, 158 no reportan información al SUI, 888 disponen en sitios autorizados y 56 disponen en sitios no autorizados. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2016).

Para el año 2015, 9 millones de toneladas de residuos sólidos fueron llevados a los sitios de disposición final. La vida útil de los sitios autorizados refleja el gran problema que se tiene en el país para la disposición de residuos. Sólo el 30.68% de los sitios de disposición tienen una vida útil mayor a los 10 años, el 15.91% ya tiene su vida útil vencida y el restante se encuentra en el rango de los 0 a los 10 años de vida útil disponible. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2016).

Ahora bien, centrándose en los residuos sólidos orgánicos biodegradables en Colombia se puede utilizar la información dada por la Superintendencia de Servicio Públicos Domiciliarios en Exporesiduos del año 2011. “De las 30.800 ton/día (14 millones de toneladas al año) de residuos ordinarios que se generan, 16.940 son residuos orgánicos biodegradables, es decir un 55% de los residuos generados es orgánico. A su vez de ese 55% de residuos orgánicos biodegradables, el 67% es generado en las 4 ciudades principales (Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla) y el resto de los residuos en el resto del país”.

Con estas cifras es evidente que se deben tomar medidas en cuanto a los residuos orgánicos, pues son la mayor parte de los residuos generados, a la vez que son causantes de gases efecto invernadero y contribuyen a la generación de lixiviados que posteriormente llegarán al agua y la contaminarán. Una manera de contribuir a extender la vida útil de los rellenos sanitarios es disminuir la cantidad de residuos que llegan a ellos, ya sea con el uso de estrategias como el reciclaje, el compostaje, el uso de otras tecnologías o simplemente con el hecho de reducir la cantidad de residuos separando en la fuente como lo hacen gran parte de países más desarrollados como lo son Holanda, Alemania y otros de la Unión Europea.

Centrándose en la ciudad de Bogotá se observa que al relleno Doña Juana llegan anualmente desde el año 2007 más de 2 millones de residuos provenientes tanto del servicio ordinario de aseo, es decir residuos convencionales como de residuos hospitalarios de la ciudad; se estima que llegan a disponerse 0.28 toneladas / habitante. (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2018). “Si la cantidad de residuos que llegan a este sitio sigue con la misma tendencia de crecimiento, su tiempo de vida útil puede ser de sólo 5 años, pero si se logra una disminución gracias a estrategias pedagógicas, actividad de recuperadores y recicladores teniendo en cuenta que se puede recuperar hasta un 28% del total de residuos que actualmente son enterrados en el relleno, se puede lograr que el relleno tenga una vida útil un poco más amplia”. (Franco, N. CAR, Cárdenas B. UAESP., 2017).

Un claro ejemplo de la distribución por tipo de residuos en los últimos años se observa en el índice de porcentaje de generación de residuos aprovechables por tipo de material en el sector público distrital. Este índice identifica y registra la cantidad, tipo y frecuencia de recolección de los residuos sólidos y líquidos que genera en sus diferentes operaciones el sector público en la ciudad de Bogotá. Como se observa en la figura 8, en el año 2017 más del 60% de los residuos generados eran de tipo orgánico. Esto es un llamado de atención para realizar el aprovechamiento de este tipo de residuos.

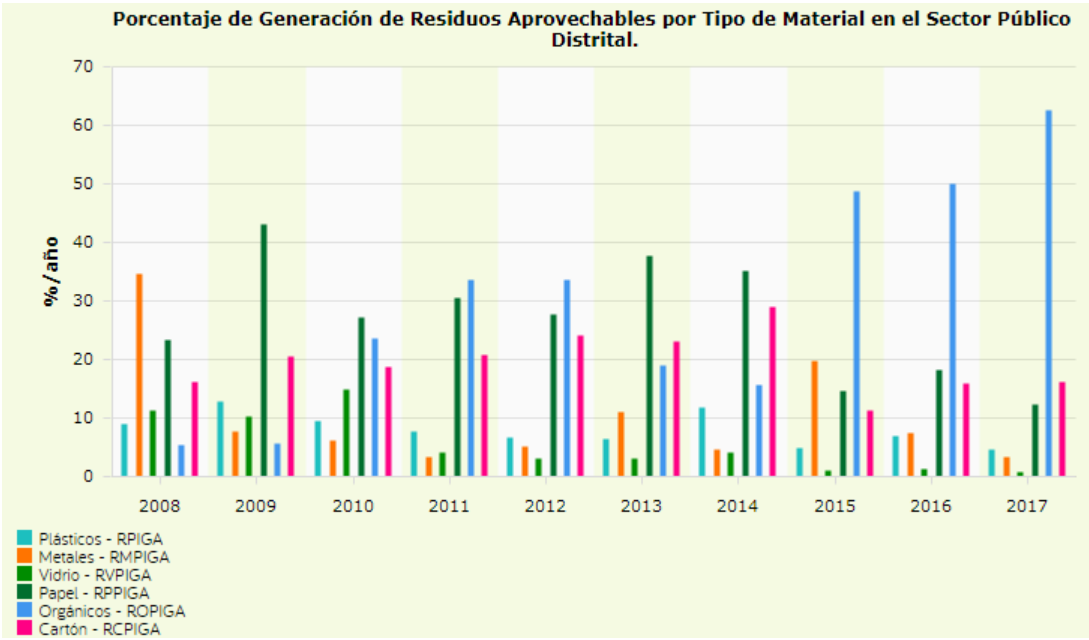


Figura 8. Indicador porcentaje de generación de residuos aprovechables por tipo de material en el sector público distrital. Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá.



Teniendo la necesidad de actuar frente a la problemática de los residuos orgánicos en Colombia, se elaboró un análisis de las causas principales para lo cual se construyó un árbol del problema. En la figura 9 se muestran en la parte superior las consecuencias y en la parte inferior las causas de este. La falta de espacio para la disposición de residuos a largo plazo se debe a la falta de lugares destinados para este fin y la vida útil muy reducida de los sitios que ya se encuentran destinados para este propósito. La no separación en la fuente y la llegada de residuos aprovechables a estos sitios hacen que se advierta de la falta de experiencia y de conocimiento por parte de los usuarios del servicio de aseo de métodos de aprovechamiento de residuos.



Figura 9. Árbol del problema. Fuente: Elaboración propia. (2017)

Atacando de raíz las causas mencionadas anteriormente se evitaría la disposición en zonas inadecuadas, evitando la proliferación de enfermedades y así mismo la degradación de la calidad de vida, como también evitar el mal manejo de los residuos, generación de lixiviados, gases de efecto invernadero y contaminación ambiental que deteriora el medio ambiente en el cual se habita.

### **A nivel institucional**

A nivel más particular, la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito puede contribuir a la solución del problema disminuyendo la cantidad de residuos sólidos que aporta a los sitios de disposición final como rellenos sanitarios. Para el año 2016 la Escuela generó aproximadamente 347 toneladas de residuos de los cuales 15 toneladas son reciclables, 14 toneladas son no aprovechables y se van directamente al relleno sanitario, 2 toneladas son peligrosos, 1 tonelada son escombros y 315 toneladas son orgánicos putrescibles. De estos últimos, 300 toneladas son residuos de jardín (pasto, hojas y poda de árboles) y 15 toneladas son residuos de las concesiones de alimentos existentes en el campus. (Cuantificación de residuos de concesiones de alimentos. Fuente: Oficina de Seguridad y Salud en el trabajo. ECI. (2017).

## **Capítulo 2. Técnicas de aprovechamiento de residuos orgánicos**

Existen investigaciones que comparan cada uno de los métodos de aprovechamiento de residuos, entre los cuales están incineración, gasificación, digestión anaeróbica, bio-vertederos y compostaje. En una de estas investigaciones se encontró que “desde una perspectiva de recuperación de energía mediante gasificación es ideal utilizar papel, madera y plásticos, mientras que para la digestión anaeróbica o en compostaje se utilizan los desechos de alimentos y de jardín, finalmente para incineración es mejor la utilización de desechos textiles”. (Arafat, H. A., Jijakli, K., & Ahsan, A., 2013)

En cuanto a los residuos orgánicos la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA) en su programa de manejo sustentable de alimentos realizó una clasificación en donde el compostaje se encuentra en el quinto nivel de la jerarquía de recuperación de alimentos como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Jerarquía de recuperación de los alimentos. Fuente: EPA, 2015.

Hasta hace algunos años, el destino de los residuos de alimentos era disposición final en rellenos o incineración posteriormente la forma de pensar de la sociedad cambió y se evidenció la oportunidad de valorizar dichos residuos por medio de procesos biológicos como el compostaje y la digestión anaeróbica. (Cerda, A., Artola, A., Font, X., et al, 2017).

A continuación, se presenta un breve resumen de los métodos de tratamiento o de aprovechamiento de residuos sólidos de los cuáles se obtienen beneficios no sólo ambientales sino económicos y de ahorro de espacios:

### Incineración

Este tipo de proceso ejecutado sobre los residuos generados es una solución a la falta de espacios para disposición de residuos. “En Europa cerca del 17% de los residuos es incinerado, pero dentro de este continente hay ciertas diferencias como, por ejemplo, el Reino Unido incinera solo el 9% de sus residuos” (BBC News Science & Environment, 2006) mientras que “Dinamarca, Noruega y Suecia incineran como mínimo el 50% de los residuos municipales que producen”. (Yale, 2013).

“El proceso consiste en la colocación de los residuos en un área de recepción donde son recogidos mediante ganchos y se dejan caer en una tolva. Posteriormente los residuos se introducen gradualmente en el incinerador que funciona a temperaturas de 750 °C aproximadamente, el calor de los residuos que se queman se usa en una caldera cuyo vapor se canaliza a un generador de turbina para producir electricidad. Al mismo tiempo, la ceniza más pesada cae en un punto de recolección y es pasado por encima de un electroimán para extraer el contenido de metal. Los gases de combustión son separados en un reactor de lavado donde se remueven contaminantes ácidos y dioxinas, luego los gases pasan a través de un sistema de eliminación de partículas finas y se liberan a través de la chimenea”, todo el proceso se puede apreciar en la figura 11. (BBC News Science & Environment, 2006)



Figura 11. Incinerador en masa de residuos. Fuente: BBC News Science & Environment. (2006)

Se permite la incineración de residuos peligrosos que vienen de hospitales o instituciones médicas pero que no contengan plásticos, es necesaria una fuente de calentamiento externa que usualmente requiere de diesel, electricidad, carbón y oxígeno o aire para la ignición del combustible, funciona a una presión ligeramente superior a la atmosférica. Las temperaturas alcanzadas en la cámara son de 700 – 1000 °C aproximadamente. Debido a las temperaturas no tan altas y presencia de bolsas frías, es posible la formación de dioxinas, furanos y componentes aromáticos. La formación de hollín y NO<sub>x</sub> es excesiva, una gran desventaja es que laboralmente es un poco inseguro para las personas que realizan este tipo de procesos. (S.K. Nema, V. Jain, K.S. Ganeshprasad, et al, 2016).

Otro inconveniente que se observa a la hora de analizar los incineradores, además de que el humo y las cenizas que logran salir del proceso generan riesgos en la salud de los habitantes cercanos a ellos, es que su construcción tiene costos muy altos y para obtener ganancias los operadores necesitan un flujo de residuos garantizado. Para compensar los altos costos firman contratos con los municipios para proporcionar un cierto volumen de residuos durante un largo periodo de tiempo (20 a 30 años), comprometiendo a los municipios a generar una cierta cantidad de residuos. Los promotores de Residuo – Cero se oponen a este método de tratamiento pues esto desincentiva el reciclaje. (Yale, 2013).

### Tecnología de pirólisis de plasma térmico

En China se han realizado investigaciones para demostrar que la pirólisis es una metodología útil en gestión y manejo de residuos, no solo orgánicos sino también inorgánicos con el fin de recuperar no solo energía sino también materiales. De este proceso realizado en residuos orgánicos se obtienen dos flujos de productos, uno es un gas combustible y el otro un residuo con alto contenido de carbono. (Huang H., Tang L., 2007). Como se observa en la figura 12, el proceso consiste en un reactor cerrado con una fuente de alimentación.

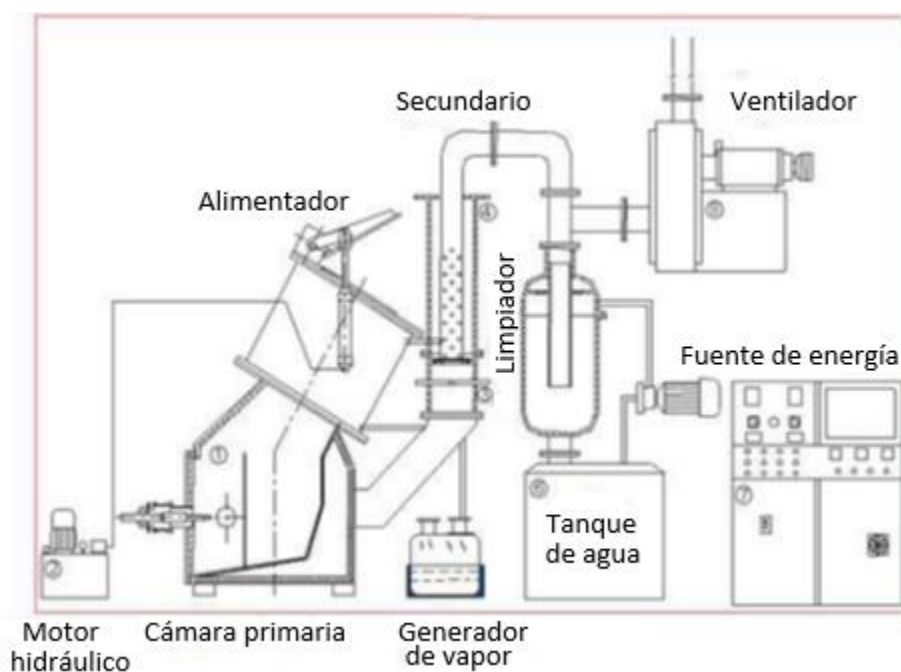


Figura 12. Esquema de prototipo de reactor de pirólisis de plasma. Fuente: Institute for plasma research. India.

Este tipo de tecnología se utiliza actualmente no solo en China sino también en Japón, India (Figura 13), Taiwan, Inglaterra, Francia, Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Bélgica y Brasil debido a la ventaja de funcionar con cualquier tipo de residuos como biomédicos, plásticos, PVC. Este sistema no requiere oxígeno o aire, su fuente de calentamiento es arco de plasma (energía eléctrica), su temperatura en la zona de reacción alcanza alrededor de los 5000 °C, sin embargo, la formación de hollín y NO<sub>x</sub> se encuentran dentro de las normas de la junta central de control de la contaminación (CPCB Central Pollution Control Board). Los consumibles requeridos para el proceso son electricidad y el medio que forma el plasma (generalmente nitrógeno o electrodos de grafito). Este proceso es aceptado globalmente como una tecnología limpia, al mismo tiempo todas sus emisiones son controladas, es amigable ambientalmente y seguro operacionalmente. (S.K. Nema, V. Jain, K.S. Ganeshprasad, A., et al, 2016)



*Figura 13. Reactor de pirólisis de plasma instalado en el Colegio Médico de Goa en 2004. Fuente: Institute for plasma research. India.*

## **Digestión anaeróbica**

La literatura indica que la digestión anaeróbica podría ser una opción atractiva para convertir desechos orgánicos sólidos en productos útiles como el biogás y otros compuestos ricos en energía que desempeñarían un papel fundamental para cumplir los requisitos energéticos cada vez mayores en el mundo. (Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., et al, 2011).

La digestión anaeróbica es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como “biogás” y a una suspensión acuosa o lodo que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. La materia prima preferentemente usada es cualquier biomasa residual con un alto contenido en humedad, como restos de comida,

restos de hojas y hierbas, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales. (Lorenzo. Y, Obaya M.C., 2005)

La construcción de plantas de biogás usando la digestión anaeróbica en el mundo se ha hecho a gran y pequeña escala que funciona para pequeñas fincas. Para el año 2013 el país que más plantas de biogás tenía era Alemania con 9035 Plantas, seguido de Italia con 1391 y luego Suiza con 620. (EBA, 2014). En Colombia ya se han instalado biodigestores como el que se muestra en la figura 14, donde el contenedor recibe los desechos orgánicos y los fermenta con agua para producir el biogás, una mezcla de gases generada por las bacterias en ambiente anaerobio y que se puede usar en reemplazo del gas natural. (CONtexto Ganadero, 2017)



*Figura 14. Iz. Planta de Biogas en Aiterhofen, Alemania. Der: Biodigestor Sabana de Bogotá Colombia. Fuente: EBA. SchmackBiogasGmbH y Contexto Ganadero.*

En Palmira, una ciudad colombiana, se utilizaron residuos orgánicos biodegradables para la producción de energía renovable por medio de una digestión anaerobia, aprovechando así el potencial bioquímico de metano en residuos de frutas, verduras y residuos de poda. El estudio realizado muestra que diferencias en la composición química de los residuos orgánicos biodegradables produce diferencias importantes en el potencial de metano de estos. Además, se observó que “la digestión anaerobia le ofrece la oportunidad a la ciudad de manejar de una forma ambientalmente segura sus residuos orgánicos, obteniendo beneficios económicos a través de la producción de energía renovable; Mostrando así que este tipo de metodología puede ser aplicado en otras regiones del país”. (Cadavid L., Bolaños I., 2015)

## Compostaje

El compostaje es un proceso bioquímico que convierte varios componentes de los residuos orgánicos biodegradables en sustancias similares a humus relativamente estables que se pueden usar como enmiendas del suelo o fertilizantes orgánicos. (Li, Z., Lu, H., Ren, L., & He, L. 2013). También se puede definir como el proceso de oxidación aerobia de materiales orgánicos que conducen a una etapa de maduración mínima (estabilización), y se convierten en un recurso orgánico estable y seguro para ser utilizado en la agricultura. (NTC - 5167, 2011).

El proceso como tal consiste en a partir de una cantidad adecuada de residuos orgánicos, aportar la materia orgánica, minerales y microorganismos para que, en las condiciones de aireación y humedad apropiadas, se produzcan las reacciones de descomposición. Durante el proceso, como consecuencia de la oxidación del carbono a CO<sub>2</sub>, se produce energía en forma de calor, que queda retenida en la masa de residuos. Luego de la finalización del proceso se obtiene compost, que es un producto de color oscuro, de consistencia liviana y olor terroso, que no guarda ninguna similitud con los materiales que lo originaron. (ACODAL, 2013)

Países como Noruega, Dinamarca y Suecia aparte de que tienden a incinerar más del 50% de sus residuos municipales tienen también altas tasas de reciclaje y compostaje de materiales orgánicos y residuos de alimentos. (Yale School of Forestry & Environmental Studies, 2013).

En Brasil existen varias plantas de compostaje, se dice que los residuos orgánicos pueden reciclarse por medio de procesos de compostaje pues es un método eficaz para reducir la cantidad de material que se envía a los rellenos sanitarios y menos costoso en comparación con otras formas de tratamiento. Pero el hecho de hacerle el tratamiento no significa que se obtendrá un producto adecuado, por ejemplo, "el compost producido en Brasil es de baja calidad debido a la falta de programas de separación en la fuente y procedimientos incorrectos en procesos de compostaje como la falta de volteos, exceso de agua en los lechos y la estabilización incompleta". (Barreira, L. P., Philippi Junior, A., Rodrigues, M. S., et al, 2008)



En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (2015) con apoyo del gobierno nacional y el ministerio de agricultura ha desarrollado y socializado con agricultores sus cartillas para la elaboración de abonos orgánicos ya sea líquido fermentado o compostado. Para fomentar el uso de los abonos orgánicos en los cultivos se presentan a continuación sus ventajas:

- Mejora la estructura, textura y permeabilidad del suelo
- Aumenta la retención de agua
- Reduce las oscilaciones del pH
- Mejora la capacidad de intercambio catiónico y aumenta la fertilidad del suelo
- Favorecen la aireación y oxigenación del suelo fomentando la actividad de los microorganismos aeróbicos
- Producen sustancias inhibidoras y activadoras de crecimiento incrementando el desarrollo de microorganismos benéficos tanto para degradar la materia orgánica del suelo como para favorecer el desarrollo de cultivos.

### **Biofertilizantes**

También llamado producto del compostaje líquido, “un biofertilizante es una preparación que contiene células vivas o latentes provenientes de cepas eficientes de microorganismos que aceleran los procesos microbianos del suelo, mejorando la asimilación de nutrientes por parte de las plantas”. (TNAU, 2016). Algunas ventajas del uso de biofertilizantes se muestran a continuación:

- No hay pérdida de propiedades por almacenamiento hasta 45°C
- Fácil identificación por el típico olor fermentado
- Las poblaciones altas pueden mantener más de 10<sup>9</sup> células/mL de 12 a 14 meses.
- Ahorro de costes en materia de transporte, pulverización, neutralización, esterilización, embalaje y transporte.
- Los protocolos de control de calidad son fáciles y rápidos.
- Muy fácil de usar por el agricultor y sus dosis son 10 veces menos que los fertilizantes en polvo.
- Altos ingresos comerciales y alto potencial de exportación.
- Actividad enzimática muy alta ya que la contaminación es nula.

## Lombricultura o Vermicompostaje

El vermicompost es el proceso de compostar utilizando lombrices y microorganismos al mismo tiempo. Normalmente se utiliza la lombriz roja californiana, pero esta requiere de especial cuidado con la alimentación y la luz solar. Durante este proceso, minerales habitualmente insolubles son solubilizados quedando disponibles para las plantas cuando el vermicompost es aplicado al suelo. Igualmente, otros compuestos orgánicos complejos, como la celulosa, son parcialmente degradados a compuestos más simples por las bacterias presentes en el tracto digestivo de la lombriz, aumentando la disponibilidad de Nitrógeno. (FAO, 2013)

Para la obtención de humus o vermicompost de óptima calidad se debe dejar la lombriz actuar de 3 a 4 meses en cada canastilla y así todo el alimento será procesado. Los parámetros óptimos para la cría de lombrices son tener un buen sustrato, un valor de humedad del 80%, pH de 6.5 a 7.5 pues son muy susceptibles a este parámetro, y su temperatura se debe mantener de 18 a 24 °C. Para la cosecha, se retrasa nuevamente el alimento de las lombrices por un periodo de ayuno de 3 días. El humus obtenido del proceso se extiende sobre la superficie de un plástico o piso y se deja que la humedad baje hasta un 40%, posteriormente se tamiza. (ACODAL, 2013). Un ejemplo del proceso se muestra en la figura siguiente:



*Figura 15. Sistema lombricultivo La Montañita Municipio de Caldas. Colombia Fuente: ACODAL.*

## **Técnicas de aprovechamiento de residuos orgánicos en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito**

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito actualmente no realiza un aprovechamiento a los residuos orgánicos biodegradables que produce, por lo tanto, cada concesión de alimentos se encarga de gestionar la disposición de sus residuos. Esto ocasiona efectos negativos en el medio ambiente debido al no aprovechamiento y la inadecuada disposición final, al mismo tiempo ocasiona gastos de transporte que pueden ser eliminados.

En cuanto a los residuos de jardín, la Escuela posee extensas zonas verdes de las cuales resultan grandes cantidades de pasto, hojas y residuos de poda de árboles, entre otros. Estos son transportados, descargados y abandonados en el lote B donde no se encuentran edificaciones cercanas. La institución podría realizar el aprovechamiento de sus residuos orgánicos biodegradables a través de sistemas de compostaje cuyo producto final, podría ser utilizado como abono.

El trabajo de grado pretende atacar la falta de experiencia en métodos de aprovechamiento de residuos, específicamente en la línea de residuos orgánicos biodegradables, permitiendo que la Escuela Colombiana de Ingeniería contribuya con esta experiencia a que otras instituciones sigan el ejemplo y se pueda ayudar a la solución del problema que tanto afecta al país.

### **Problema de Investigación**

Encontrar la mejor alternativa en cuanto a mezcla de residuos orgánicos biodegradables provenientes del campus de la Escuela para su adecuado tratamiento y posterior reutilización por medio del compostaje para obtener un producto estable que cumpla con todos los parámetros establecidos en la norma correspondiente.

El objetivo principal del trabajo de grado presentado a continuación fue evaluar el modelo escogido, implantando una planta de compostaje que permite el adecuado aprovechamiento de los residuos orgánicos biodegradables producidos en el campus y el posterior uso del compost producido como abono, reduciendo así los costos de mantenimiento de las zonas verdes y de disposición de residuos.

### **Capítulo 3. El proceso de compostaje**

El compostaje es una práctica ampliamente aceptada como sostenible y utilizada en todos los sistemas asociados a la agricultura climáticamente inteligente, donde de forma sostenible se incrementa la productividad y la resiliencia o adaptación, reduciendo o mitigando los gases de efecto invernadero, contribuyendo de esta manera a la protección del medio ambiente con una producción agrícola sostenible. (FAO, Manual de compostaje del agricultor, 2013)

El compostaje para distintas organizaciones se puede definir como “el proceso de bio-oxidación aerobia de materiales orgánicos que conduce a una etapa de maduración mínima (estabilización), se convierten en un recurso orgánico estable seguro para ser utilizado en la agricultura”. (ICONTEC, 1997), “es el proceso de tipo microbiológico para el tratamiento de componentes orgánicos basado en procesos de mineralización y transformación de materia orgánica producido en condiciones aeróbicas y termófilas, que tiene una duración mínima de seis semanas. Como resultado de este proceso se genera mayoritariamente compost, dióxido de carbono y agua”. (NCh 2880, 2003)

El compost maduro es un material estable con un contenido llamado humus que es de color marrón oscuro o negro y tiene un olor a tierra similar al suelo. El compost es creado por la combinación de desechos orgánicos como desperdicios de comida, residuos de jardín y abonos, en las proporciones correctas en pilas, filas o recipientes. Con la ayuda de agentes de carga como viruta de madera se acelera la descomposición de los materiales orgánicos controlando valores de humedad; lo ideal es permitir que el material terminado se estabilice y madure completamente a través de un proceso de curado, las altas temperaturas fomentan la destrucción de patógenos y semillas de maleza que la descomposición natural no destruyen. (EPA).

El compostaje se puede realizar a gran, mediana y pequeña escala dependiendo de la cantidad de residuos que se van a tratar. Dependiendo de la escala existen tecnologías con aireación pasiva o natural donde se utilizan estibas, módulos de canastas, madera plástica o módulos y sistemas con aireación forzada. Adicionalmente se utilizan sistemas con pilas estáticas donde se realizan volteos periódicos con maquinaria pesada para lograr mantener los niveles de aireación y humedad adecuados.

Dentro de los beneficios del compostaje enumerados en la EPA están los siguientes:

- Los residuos orgánicos en vertederos generan metano, un potente gas de efecto invernadero. Al compostar el desperdicio de alimentos y otros productos orgánicos, las emisiones de metano se reducen significativamente.
- Reduce y en algunos casos elimina la necesidad de fertilizantes químicos.
- Promueve mayores rendimientos de cultivos agrícolas.
- Ayuda a los esfuerzos de reforestación, restauración de humedales y revitalización del hábitat al mejorar los suelos contaminados, compactados y marginales.
- Se puede utilizar para remediar los suelos contaminados por desechos peligrosos de una manera rentable.
- Captura y destruye el 99.6 % de los químicos orgánicos volátiles industriales (COV) en el aire contaminado.
- Proporciona ahorros de costos en comparación con las tecnologías convencionales de remediación de la contaminación del suelo, el agua y el aire, cuando corresponda.
- El compost mejora la retención de agua en los suelos.

“Es un método alternativo para eliminar residuos orgánicos teniendo como beneficios la desviación de desechos de los rellenos sanitarios, mitigar la contaminación de aguas subterráneas, reducir la contaminación del aire y emisiones de gases de efecto invernadero generando productos útiles”. (Li, Z., Lu, H., Ren, L., et al, 2013).

Adicionalmente la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2013) anota que:

El reciclaje de residuos orgánicos generados los convierte en insumos que pueden regresar al suelo aportándole nutrientes y microorganismos benéficos y mejorando la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico (CIC). Además, desde el punto de vista medio ambiental, este reciclaje de materiales y su aplicación al suelo proporciona muchos beneficios como el incremento de la materia orgánica en él, la reducción del metano producido en los rellenos sanitarios o vertederos municipales, sustituye la turba como sustrato, la absorción de carbono, el control de la temperatura edáfica y el aumento de la porosidad del suelo, reduciendo así el riesgo de erosión y la desertificación.

## **Fases del proceso de compostaje**

### **Fase preliminar**

En esta fase se acondicionan los residuos para obtener las condiciones óptimas establecidas para el inicio del proceso de compostaje, se retiran los elementos no biodegradables, y se trituran los residuos hasta alcanzar el tamaño de partícula adecuado.

### **Fase mesófila I**

Es la fase inicial del proceso en donde los residuos pasan de temperatura ambiente a temperaturas hasta de 45°C. Ocurre en pocos días (normalmente entre 2 y 8 días) dependiendo de otros factores. El aumento de temperatura se debe a la actividad microbiana, los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de Carbono y Nitrógeno generando calor. (FAO, 2013). Los microorganismos se multiplican rápidamente debido a su actividad metabólica, transformando y descomponiendo compuestos solubles como azúcares y aminoácidos, se producen ácidos orgánicos y por tanto el pH puede bajar. (ACODAL, 2013).

### **Fase termófila**

Durante esta fase las temperaturas son mayores a los 45°C. Es también llamada fase de higienización debido al calor generado, se destruyen bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia Coli* y *Salmonella* spp. Temperaturas mayores a 55 °C eliminan quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas dando lugar a un producto higienizado. En esta fase los microorganismos mesófilos son reemplazados por bacterias termófilas que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de Carbono como la celulosa y la lignina. (FAO, 2013). Transforman el Nitrógeno en amoníaco por lo cual el pH se hace alcalino. A los 60 – 65°C los hongos termófilos desaparecen y dan paso a las bacterias esporígenas y actinomicetos, que tienen capacidad para descomponer sustancias orgánicas como las ceras, las proteínas y hemicelulosas. (ACODAL, 2013)

## Fase mesófila II

También es llamada fase de enfriamiento ya que la temperatura desciende nuevamente hasta los 40 – 45°C. Continúa la degradación de polímeros como la celulosa y aparecen hongos visibles pero a menor rapidez ya que las fuentes de carbono y de nitrógeno se han agotado. Al bajar de los 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad. Esta fase requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración. (FAO, 2013). En esta fase el pH vuelve a descender ligeramente dejando de ser alcalino. (ACODAL, 2013).

## Fase de maduración

Es un periodo que puede demorar meses a temperatura ambiente, allí se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. (FAO, 2013). Desciende el consumo de oxígeno y la fitotoxicidad del compost debe estar controlada. Esta fase del proceso se realiza exponiendo el compost a temperatura ambiente y protegido de la lluvia. (ACODAL, 2013).

A manera de resumen se muestra la siguiente gráfica:

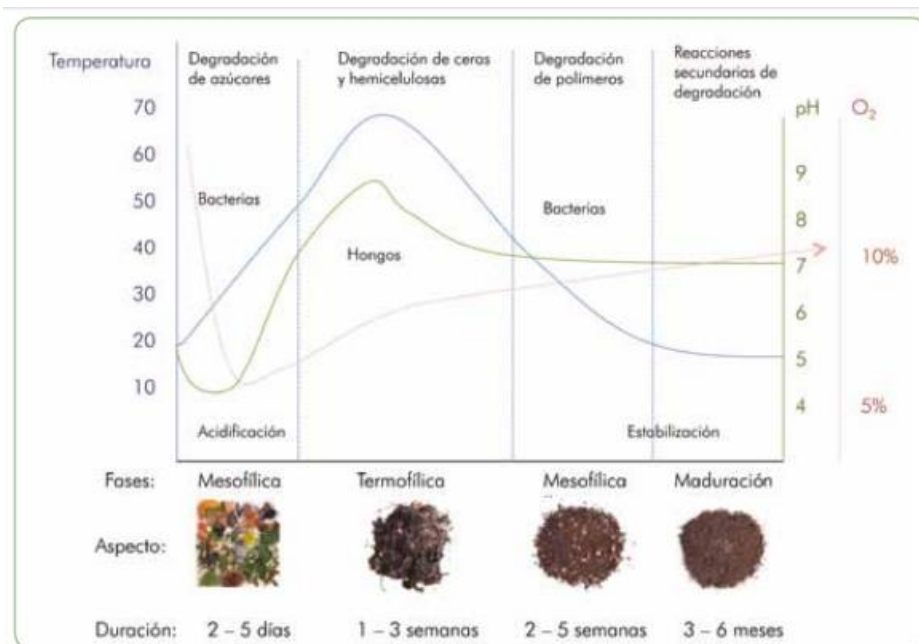


Figura 16. Fases del proceso de compostaje. Fuente: P. Roman, FAO.

## **Afinación**

Se realiza para homogenizar y mejorar el tamaño de partículas del compost, para regular la humedad a valores menores del 40%. Se selecciona el residuo no compostado o impurezas para devolver al proceso y se toman muestras para análisis de laboratorio y control de calidad si es el caso. (ACODAL, 2013).

## **Condiciones óptimas de operación para el proceso de compostaje**

Para obtención de buenos resultados al final del proceso es necesario mantener condiciones óptimas de contenido de humedad, relación carbono – nitrógeno, tasa de aireación, tamaño de partícula y porosidad. Parámetros como el pH y la temperatura sirven para ejercer un mayor control sobre el proceso y poder monitorear la fase de degradación en la cual se encuentran los residuos. (Cerde, A., Artola, A., Font, X., et al, 2017). Todos los parámetros no son independientes y muestran varios grados de interacción y correlación. “Para lograr un grado de maduración adecuado del compost todos estos parámetros deben ser controlados apropiadamente”. (Li, Z., Lu, H., Ren, L., et al, 2013).

“Es necesario tener en cuenta otros factores externos como lo son las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas y otros elementos por lo que algunos parámetros pueden variar”. (FAO, 2013). En este proyecto, al tratarse de residuos de alimentos y debido a su composición heterogénea, alto contenido de humedad, alta relación orgánico a ceniza y a su estructura físicamente amorfa es necesario tener especial cuidado en la preparación de la mezcla inicial; evitando de esta forma emisión de olores, incremento en el impacto negativo al ambiente en lugar de mitigarlo ni se obtenga un producto de baja calidad al final del proceso. (Cerde, A., Artola, A., Font, X., et al, 2017).

## **Humedad inicial**

El agua es el medio de transporte para los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima se encuentra alrededor del 55%, varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado. Si se presenta humedad insuficiente, es decir menor al 45%, disminuye la actividad microbiana sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, obteniendo un producto biológicamente inestable. Para corregir el problema se debe proporcionar agua al material o añadir material fresco con mayor contenido de agua. Por el contrario, si la



humedad es demasiado alta, es decir mayor al 60%, el agua satura los poros e interfiere la oxigenación del material dando lugar a zonas de anaerobiosis. Este problema se corrige volteando la mezcla, adicionando material con bajo contenido humedad y con alto valor en carbono como aserrines, paja u hojas secas. (FAO, 2013).

Este parámetro se ve afectado notablemente por las propiedades físicas y químicas de las materias primas, al ser el agua el medio de transporte para los nutrientes disueltos requeridos en las actividades metabólicas de los microorganismos es el parámetro que más impacto tiene sobre el proceso. Al tener un contenido de humedad alto, los residuos de alimentos requieren de un tiempo más largo y tienen una baja eficiencia en su degradación, por esto se deben utilizar mezclas con otros materiales para lograr una humedad de 50 al 70%. Para la mezcla de residuos verdes y residuos de alimentos la humedad óptima es de 60%. (Li, Z., Lu, H., Ren, L., & He, L.; 2013).

Como se observa en la tabla siguiente, aunque algunos de ellos amplían el rango desde el 40% y otros se extienden al 70%, todos los autores tienen dentro de su rango óptimo el 60% de humedad. Una manera sencilla de monitorear la humedad es aplicar “técnica del puño” donde al apretar una cierta cantidad de la mezcla no deben escurrir gotas.

*Tabla 2. Valores de rango óptimo de humedad para el proceso de compostaje.*

<b>Fuente</b>	<b>Humedad %</b>
Universidad de Cornell	40 - 60
Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	40 - 60
FAO.	50-60 al inicio 45-55 fase 2 y 30-40 al final
Unidad administrativa especial de servicios públicos - Bogotá	45-60 inicial. Al finalizar 30-35
Composting food wastes -- David Tompkins	45-65
On-Farm Composting ---- Virginia cooperative extension	50-60
Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio	45-75
Effects of compositions on food waste composting	55

*Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla siguiente se muestran los % de humedad encontrados en la bibliografía revisada para cada uno de los residuos a utilizar en el modelo. Se observa que para los residuos de

alimentos y frutas que son los más significativos en este proyecto los valores encontrados son muy similares.

*Tabla 3. Humedad en % para los distintos residuos utilizados.*

Fuente	Residuos de alimentos	Residuos de frutas y verduras	Residuos de césped - pasto	Residuos de poda de árboles	Aserrín
Universidad de Cornell	69	80	82	15	39
Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	69	80	82	70	10
UAESP - Bogotá		59,7	19,43		
Composting food wastes -- David Tompkins	71,7	61.5;80; 94.4	70.5 - 82	38	30 - 39
On-Farm Composting ---- Virginia cooperative extension	60-90	60-90	80		19-65
Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio	70-80	70-80	7.0-15.0	7.0-15.0	
Effects of compositions on food waste composting	65-80	65-80			

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Relación C:N**

Esta relación varía en función del material de partida. Se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de C (%C Total) sobre el contenido de N total (%N total) de los materiales a compostar. Varía a lo largo del proceso siendo una reducción continua de ambos elementos. Cuando la relación C:N es >35:1 existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono, por lo tanto el proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse, se debe adicionar material rico en nitrógeno. Si la relación es <15 hay un exceso de nitrógeno y por lo tanto el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoniaco liberado, se debe adicionar material con mayor contenido de carbono. (FAO, 2013).

Esta relación es significativa para el crecimiento microbiano, se debe controlar entre 20 y 25 para el proceso de compostaje de residuos de alimentos. Realizar el proceso de compostaje con una relación C/N inicial baja puede reducir el requerimiento de agentes de carga (bulkingagents) pero requiere de un tiempo mayor para el proceso. (Li, Z., Lu, H., Ren, L., et al, 2013). A continuación se presentan algunas relaciones C:N presentes en la literatura:

Tabla 4. Rango de relación C/N óptimo para el proceso de compostaje.

Fuente	Relación C/N Inicial
Universidad de Cornell	30:1
Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	25-30:1
FAO.	25-35:1 inicial y final de 15:1
Unidad administrativa especial de servicios públicos - Bogotá	30:1 Inicial y final 10-12
Composting food wastes -- David Tompkins	20:1 - 35:1
On-Farm Composting ---- Virginia cooperative extension	25:1 - 30:1
Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio	13.9:1 - 19.6:1

Fuente: Elaboración propia.

Para la verificación de la relación carbono nitrógeno, existen valores de % de carbono y de nitrógeno según el residuo a utilizar, en la bibliografía se encontraron valores distintos para cada uno de ellos, pero muy cercanos como se muestra a continuación:

Tabla 5. Valores de %C, %N y Relación C/N para residuos de alimentos y frutas y verduras.

Fuente	Residuos de alimentos			Residuos de frutas y verduras		
	% C	% N	C/N	% C	% N	C/N
Universidad de Cornell	36	2,4	15:1	56	1,4	20:1; 40:1
FAO. Manual			14:1			37:1
ACODAL	34,95	1,875	19:1	56	1,4	40:1
UAESP				14,36	0,93	15:01
On-Farm Composting - Virginia cooperative extension			18-50:1			11-19:1
Composting food wastes - David Tompkins	48;41.7; 50;36	2.71;2.8; 3.2;2.4	15-18:1	56;50.7; 32.2	1.4; 1.37; 3.2	40:1- 37:1- 10:1
Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio	47,35	5,35	8.85:1	47,35	5,35	8.85:1
Effects of compositions on food waste composting			15-40:1			15-40:1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Valores de %C, %N y Relación C/N para residuos de corte de césped, poda de árboles y aserrín.

Fuente	Residuos de césped - pasto			Residuos de poda de árboles			Madera y aserrín		
	% C	% N	C/N	% C	% N	C/N	% C	% N	C/N
Universidad de Cornell	57,8	3,4	19:1; 15-25:1	48,6	0,9	40-80:1	106,1	0,2	300- 700:1
FAO. Manual			44:1			47:1			638:1
ACODAL	58	3,4	17:1	49,8	3,1	16:1	40	0,1	400:1
UAESP	30,94	1,69	19:1			43:1			100- 500:1
On-Farm Composting - Virginia cooperative extension			9-25:1			40-80:1			200- 750:1
Composting food wastes - David Tompkins	44;57.8	2.7;3.4	16.3:1; 17:1	48,6	0,9	54:1	56.2;40; 100	0.11; 0.08; 0.24	442; 500; 511:1
Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio	41,76	0,8	52,4:1	41,76	0,8	52,4			

Fuente: Elaboración propia.

### Tamaño de partícula

La actividad microbiana se relaciona con el tamaño de partícula por la facilidad de acceso al sustrato, si las partículas son pequeñas hay una mayor superficie específica facilitando el acceso. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el proceso es de 5 a 30 cm (aunque algunos autores establecen otros rangos como se muestra en la tabla 7). Si el tamaño de partícula es >30 cm se crean canales de aireación que hacen bajar la temperatura y desaceleran el proceso, por lo tanto, se debe picar el material hasta conseguir un tamaño medio de 10 – 20 cm. Si el tamaño de partícula es menor a 5 cm se pueden crear poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y un flujo restringido del aire produciéndose anaerobiosis, se debe corregir volteando para homogenizar y/o añadiendo material de tamaño mayor. (FAO, 2013).

Tabla 7. Rango ideal para tamaño de partícula en el proceso de compostaje.

Fuente	Tamaño de partícula
Universidad de Cornell	Medio
Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	1 - 10 cm
FAO.	10-15 cm
Unidad administrativa especial de servicios públicos - Bogotá	5 - 10 cm
Composting food wastes -- David Tompkins	2.5 - 5.0 cm
On-Farm Composting ---- Virginia cooperative extension	1/8 a 2 pulgadas

Fuente: Elaboración propia.

## Densidad

La densidad es un parámetro importante, “no se deben compactar los residuos pues se pierde la porosidad y los espacios para el tránsito de oxígeno, al mismo tiempo que se puede causar la disminución de humedad debido a la pérdida de agua por compactación y producción de lixiviados no deseados en el proceso”. (ACODAL, 2013) Algunos valores típicos para este parámetro se muestran a continuación:

*Tabla 8. Rango ideal de densidad para el proceso de compostaje.*

Fuente	Densidad
FAO.	150-250 kg/m <sup>3</sup> inicial y 600-700 kg/m <sup>3</sup> final
Composting food wastes -- David Tompkins	600 kg/m <sup>3</sup>
On-Farm Composting ---- Virginia cooperative extension	<40lb/ft <sup>3</sup>

*Fuente: Elaboración propia.*

## Oxígeno disuelto

Al ser el compostaje un proceso aerobio requiere de una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La aireación evita que el material se compacte o se encharque. La mayor tasa de consumo es durante la fase termofílica. Es preciso controlar que la concentración de oxígeno no baje del 5% ni supere el 15%, con un nivel óptimo del 10%. Un exceso de aireación significa descenso en la temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, ralentización del proceso por falta de agua. Por el contrario, baja aireación impide suficiente evaporación del agua, exceso de humedad y ambiente de anaerobiosis causando malos olores y acidez por la presencia de ácido acético, ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) o metano (CH<sub>4</sub>) en exceso. La baja aireación se puede corregir con volteo de la mezcla o adición de material estructurante, mientras que el exceso de aireación se puede corregir picando el material a fin de reducir el tamaño de poro y regular la humedad. (FAO, 2013).

La aireación tiene una gran influencia en el crecimiento y la actividad microbiana, la tasa de degradación del sustrato, la variación de la temperatura y la emisión de gases en los procesos de compostaje de residuos de alimentos. “Luego del día 12 existe alta concentración de CO<sub>2</sub> y menor de O<sub>2</sub>, por lo tanto, es necesario proveer la suficiente aireación para degradar aeróbicamente los sustratos”. (Li, Z., Lu, H., Ren, L., et al, 2013).

Los valores encontrados en la bibliografía para concentración de OD se encuentran en la siguiente tabla:

*Tabla 9. Rango ideal para la concentración de oxígeno disuelto en el proceso de compostaje.*

Fuente	Oxígeno disuelto (%)
Universidad de Cornell	> 10
Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	>10
FAO.	5 - 15
Unidad administrativa especial de servicios públicos - Bogotá	5 - 15
Composting food wastes -- David Tompkins	>10
On-Farm Composting ---- Virginia cooperative extension	>5

*Fuente: Elaboración propia.*

## pH

El pH está relacionado con el crecimiento microbiano y emisión de amoníaco. Un pH bajo inhibe la actividad microbiana. Debido a la generación de ácidos orgánicos de cadena corta durante el proceso de compostaje y la aparición de amoníaco, se contribuye a la variación de pH y por lo tanto a la disminución de la actividad microbiana obstaculizando el progreso en las reacciones del compostaje. Efectuar un adecuado control de pH realizando ajustes permite una mayor eficiencia en el rendimiento del compostaje (aditivos como “flyash” o soluciones buffer para mantener el pH deseado acortan el tiempo de compostaje y mejoran aún más la eficiencia). Se debe recordar que un pH alto también puede tener efectos inhibitorios en las actividades de los microorganismos. El rango de pH óptimo es de 7 – 8 para compostaje de alimentos. En un rango de 6 – 8 el proceso tiene la tasa más alta de degradación. (Li, Z., Lu, H., Ren, L., et al, 2013).

El pH del compostaje depende de los materiales de origen, variando a lo largo de cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En principio el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos, luego en la fase termófila, el pH sube debido a la conversión de amonio en amoníaco y se alcaliniza el medio para estabilizarse en valores neutros.

La mayor actividad bacteriana ocurre a pH 6.0 – 7.5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5.5 – 8.0. Si el pH es menor a 4.5, debido a que los materiales vegetales como restos de cocina y frutas liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio, se debe adicionar material rico en nitrógeno. Por el contrario, si el pH es mayor a 8.5 hay un exceso de nitrógeno con deficiente relación C:N asociado con altas humedades

y temperaturas, y se debe adicionar material más seco y con mayor contenido de carbono. (FAO, 2013).

En la bibliografía se encontró la información resumida en la siguiente tabla:

*Tabla 10. Rango de pH en el proceso de compostaje.*

Fuente	pH
Universidad de Cornell	5.5-8
Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	5.5-8
FAO.	Fase mesofílica 4-4.5. Fase termófila 7-8.5 fase mesofílica 7 y maduración 7
Unidad administrativa especial de servicios públicos - Bogotá	5-5.5 mesofílica 8-9 termofílica 8.5 mesofílica 2 y 7-8 maduración
Composting food wastes -- David Tompkins	5.5-8
On-Farm Composting ---- Virginia cooperative extension	6.5-8.0
Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio	5.0-9
Effects of compositions on food waste composting	4.8-9

*Fuente: Elaboración propia.*

## Temperatura

La temperatura presenta condiciones variables a lo largo de todo el proceso dependiendo de la fase en la que se encuentre. Empieza a temperatura ambiente y puede subir hasta 65°C sin necesidad de alguna actividad antrópica como calentamiento externo, para llegar nuevamente a temperatura ambiente durante la fase de maduración. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización. Las bajas temperaturas pueden ser por humedad, material insuficiente, o por déficit de nitrógeno o baja relación C:N, mientras que las altas temperaturas pueden ser por ventilación y humedad insuficiente. (FAO, 2013).

Los cambios de temperatura específicamente en la fase termofílica del proceso contribuyen en gran medida a la reducción de los patógenos, siendo indicador de actividad microbiana durante el proceso. Lin en 2008 usó los coliformes totales como indicador de patógenos y cuando la temperatura llega a 65 los coliformes decrecen rápidamente. López – Real y Foster dijeron que con 3 o 4 días a 55° son suficientes para la eliminación total de patógenos. Stentiford en 1996 dijo que mantener la temperatura en el proceso de compostaje entre 55 y 65 °C es suficiente para la inactivación total de patógenos. (Li, Z., Lu, H., Ren, L., et al, 2013).

Debido a la variación durante el proceso, en la bibliografía no existe un único valor para este parámetro, sino que depende de la fase en la cual se encuentra el proceso, en la tabla siguiente se encuentra el resumen:

*Tabla 11. Rango de temperatura durante el proceso de compostaje.*

Fuente	Temperatura (°C)
Universidad de Cornell	> 40 , 50 en 3 días a 5 días 60 -70
Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	Fase 1 40°C, fase 2 60-65°C fase 3 <40°C
FAO.	Fase 1 45° fase 2 llega a 60° fase 3 40 a 45°C
Unidad administrativa especial de servicios públicos - Bogotá	40° Fase mesofílica de 40 a 70 en termofílica de 40 a 45 en mesofílica 2 y 18 a 22 en maduración
Composting food wastes -- David Tompkins	54-60
On-Farm Composting ---- Virginia cooperative extension	43 - 60

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Agentes de carga o aditivos**

Los agentes de carga o aditivos se usan para luchar contra los ácidos orgánicos generados durante las fases iniciales del proceso ayudando así a mantener los niveles de pH de la mezcla en un rango de 6 a 8. También se usan para ajustar los valores de humedad y la relación C/N. Algunos aditivos se usan comúnmente para acelerar la reacción de los materiales iniciales y diluir sustancias peligrosas en la mezcla.

### **Resumen de condiciones deseadas para el proceso**

En la bibliografía existente hay una gran cantidad de autores que detallan los valores esperados para cada uno de los parámetros durante el proceso para obtener un producto de calidad y mantener las condiciones oportunas para no generar problemas durante el tratamiento. A continuación, se presenta la tabla resumen condiciones óptimas de operación para el proceso de compostaje:



Tabla 12. Condiciones óptimas de operación para el proceso de compostaje.

Fuente	Condiciones óptimas para el proceso						
	Humedad %	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (%)	Relación C/N Inicial	Tamaño de partícula	Densidad
Universidad de Cornell	40 - 60	5.5-8	> 40, 50 en 3 días a 5 días 60 - 70	> 10	30:1	Medio	
ACODAL	40-60%	5.5-8	Fase 1 40°C, fase 2 60-65°C fase 3 <40°C	>10	25-30:1	1 - 10 cm	
FAO. Manual del agricultor	50-60 al inicio 45-55 fase 2 y 30-40 al final	Fase mesofílica 4 4.5. Fase termofílica 7-8.5 fase mesofílica 7 y maduración 7	Fase 1 45° fase 2 llega a 60° fase 3 40 a 45°C	5 - 15	25-35:1 y final de 15:1	10-15 cm	150-250 kg/m <sup>3</sup> inicial y 600-700 kg/m <sup>3</sup> final
Unidad administrativa especial de servicios públicos - Bogotá	45-60 inicial. Al finalizar 30-35%	5-5.5 mesofílica 8-9 termofílica 8.5 mesofílica 2 y 7-8 maduración	40° Fase mesofílica de 40 a 70 en termofílica de 40 a 45 en mesofílica 2 y 18 a 22 en maduración	5 - 15	30:1 (Inicial) 10-12 (Final)	5 - 10 cm	
Composting food wastes -- David Tompkins	45-65	5.5-8	54-60	>10	20:1 - 35:1	2.5 - 5.0 cm	600 kg/m <sup>3</sup>
On-Farm Composting ---- Virginia cooperative extension	50-60	6.5-8.0	43 - 60	>5	25:1 - 30:1	1/8 a 2 pulgadas	<40lb/ft3
Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio	45-75	5.0-9			13.9:1 - 19.6:1		
Effects of compositions on food waste composting	55	4.8-9					

Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 4. Normatividad aplicable

### Normatividad en el mundo.

Algunos países latinoamericanos han basado sus normativas en estándares de Estados Unidos y de la Unión Europea, definiendo la calidad del compost y su uso. A continuación, se enumeran algunas de las normas existentes en varios países para evaluar la calidad y el uso del Compost obtenido a partir de residuos orgánicos biodegradables.

*Tabla 13. Normas existentes en varios países para Calidad y uso del Compost.*

PAÍS	NORMA	NOMBRE
Australia	AS 4454-1999	Australian Standard Compost, Soil Conditioners and Mulches.
Chile	NCh2880.Of2004	Compost – Clasificación y requisitos.
Estados Unidos	ISO 7851 - 1983	Fertilizers and soil conditioners. Classification
Francia	NF U44-095	Norme Francaise. Amendments Organiques Composts contenant des matieres d'intéret agronomique, issues du traitement des eaux. AFNOR 2002
México	NTEA-006-smars-2006	Norma técnica estatal ambiental que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos
Suiza	ASCP Guidelines 2001	Quality criteria for composts and digestates from biodegradable waste management.

*Fuente: Elaboración propia.*

### Normatividad en Colombia

En Colombia la norma existente para la verificación de la calidad del compost y de cualquier producto orgánico usado como abono o fertilizante y enmiendas del suelo es la NTC 5167 del 2004. Allí están consignados los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados para tales fines y los rangos de aceptación. El ministerio de agricultura y desarrollo rural a través del instituto colombiano agropecuario ICA adoptó el

reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos NTC 1927. Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas.

## **Capítulo 5. Metodología**

En primer lugar, se cuantificaron los residuos orgánicos generados en cada uno de los establecimientos que procesan alimentos y los residuos de corte de césped y poda de árboles utilizando un formato de registro diario. En el formato utilizado para los establecimientos se debía consignar la fecha, la cantidad y el manejo que se le daba a dichos residuos. En el formato entregado al conductor del tractor que recoge el pasto se debía consignar la altura que ocupaban los residuos en cada viaje y el tipo de residuo que se llevaba en él. Posteriormente con el valor del peso específico se obtendría la cantidad diaria de residuos transportados de las pilas de acopio al sitio de disposición en el lote B, ubicado en la zona más apartada de los edificios de la institución.

En segundo lugar, se caracterizaron los residuos orgánicos que se generaban en cuanto a humedad y peso específico. El valor de la humedad se obtuvo tomando muestra de cada residuo y calculando la diferencia porcentual del peso húmedo y peso seco al horno, mientras que para el peso específico se utilizó el peso obtenido para una caneca de 65 Litros llena con los residuos.

Para los valores de Carbono y Nitrógeno de cada uno de ellos se realizó una revisión exhaustiva de la bibliografía existente comparando valores de cada uno de ellos obteniendo un valor típico que sirviera para realizar el cálculo de los posteriores montajes.

Basados en la revisión bibliográfica elaborada y debido a la cantidad de residuos generada en la universidad y al alcance de este proyecto piloto, se determinó que en el modelo de compostaje que se iba a ajustar se determinaría la mezcla adecuada de residuos para una fracción y no para todos los residuos que se producen en la institución.

Posteriormente se implementó el modelo de compostaje adaptando un espacio de 3m X 3m en el cual se incluyen las zonas de recepción de residuos, pesaje, mezcla, compostaje (dos módulos de compostaje, uno para cada mezcla) y maduración.

Luego se determinaron las mezclas a utilizar en el modelo. En el módulo 1 se decidió utilizar los residuos de alimentos sin procesar como lo son cáscaras de frutas y verduras, mientras que en el módulo 2 se decidió utilizar los residuos de alimentos cocinados<sup>1</sup>. En ambos módulos se usaron residuos de corte de césped y poda de árboles. Para poder corregir la humedad y el valor de la relación C:N, en caso de ser necesario, se utilizó aserrín.

Se hizo seguimiento al modelo desarrollado para compostaje y se obtuvieron recomendaciones para mantener las condiciones óptimas de operación.

---

<sup>1</sup> Los residuos se reducían en tamaño manualmente de ser requerido hasta un tamaño de 5 cm aproximadamente. A los residuos de alimentos cocinados no se les realizaba ningún proceso de separación a menos que se encontraran residuos de huesos.

## **Capítulo 6. Resultados**

### **Cuantificación y caracterización de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito**

#### **Cuantificación de los residuos orgánicos biodegradables**


Para la obtención de las cantidades de residuos orgánicos generados en cada uno de los establecimientos donde se venden alimentos se les entregó a los responsables de estos un formato en el que debían consignar el valor diario de residuos orgánicos producidos e identificar la actividad que realizaban con ellos. Estos formatos se encuentran en los anexos.

En general, la cantidad de residuos generados por cada establecimiento varía bastante, principalmente por su tamaño y el tipo de servicio que ofrecen. Con la suma de todos los establecimientos se obtuvo un promedio diario de 162 kg y un máximo diario de 176 kg. Teniendo en cuenta que el semestre académico dura 16 semanas y el año se compone de dos semestres más un período intersemestral de 8 semanas, se hacen los cálculos con 40 semanas.

En promedio la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito genera 32.4 toneladas de residuos de alimentos al año teniendo un máximo de 35.1 toneladas con su valor diario máximo.

A continuación, se presenta la información consolidada de producción de residuos de alimentos de todos los establecimientos (tres kioskos y un restaurante principal):

Tabla 14. Cuantificación de residuos de concesiones de alimentos.

 <b>Cuantificación Residuos Biodegradables establecimientos</b>								
Fecha	Tipo de residuo	Cantidad (Kg)				Total (kg)	Promedio (kg)	Máximo (kg)
		K1	K2	K3	Dialimentos SAS			
08/08/2017	Orgánico	3,4	33	4	125	<b>165</b>	<b>162,415</b>	<b>168</b>
09/08/2017	Orgánico	3,45	40	5	111	<b>159</b>		
10/08/2017	Orgánico	3,41	32	5	128	<b>168</b>		
11/08/2017	Orgánico	3,4	37	6	110	<b>156</b>		
12/08/2017	Orgánico		33		5,1	<b>38</b>		
14/08/2017	Orgánico	3,41	29	6	98	<b>136</b>	<b>161,528</b>	<b>172</b>
15/08/2017	Orgánico	3,4	29	6,7	129	<b>168</b>		
16/08/2017	Orgánico	3,43	36	4	129	<b>172</b>		
17/08/2017	Orgánico	3,38	34	4,8	120	<b>162</b>		
18/08/2017	Orgánico	3,42	37	5	123	<b>168</b>		
19/08/2017	Orgánico		10		4,8	<b>15</b>		
22/08/2017	Orgánico	3,4	34	4,3	125	<b>167</b>	<b>168,715</b>	<b>176</b>
23/08/2017	Orgánico	3,46	40	6	126	<b>176</b>		
24/08/2017	Orgánico	3,39	37	5,7	129	<b>175</b>		
25/08/2017	Orgánico	3,41	32	5	117	<b>157</b>		
26/08/2017	Orgánico		39		3	<b>42</b>		
28/08/2017	Orgánico	3,38	42	5,3	99,5	<b>150</b>	<b>155,605</b>	<b>161</b>
29/08/2017	Orgánico	3,43	35	6,2	116	<b>161</b>		
<b>Promedio:</b>		<b>3,4</b>	<b>33,9</b>	<b>5,3</b>	<b>100,0</b>	<b>143</b>	<b>162</b>	<b>176</b>

Fuente: Oficina de Seguridad y Salud en el trabajo. ECI. (2017).

Para la obtención de las cantidades de residuos orgánicos generados por el corte de césped y poda de árboles se le entregó al encargado de recogerlos un formato en el que debía consignar el valor de residuos orgánicos que recogía por medio de medición de altura en el tractor que utilizaba. Este formato se encuentra en los anexos.

Para el cálculo del peso generado a partir del volumen medido, se utilizó el valor de peso específico con el promedio ponderado que se obtuvo de la caracterización de los residuos de este tipo (109.8 kg/m<sup>3</sup>). A partir de estos datos se obtuvo el valor diario por volumen y por peso de estos residuos. El valor máximo de residuos generados fue de 17.94 m<sup>3</sup> es decir 1969 kg diarios mientras que el promedio es de 13.19 m<sup>3</sup> es decir 1.448 kg. Este trabajo se realiza de lunes a sábado a menos que se requiera el tractor para otros transportes, por lo tanto, para el cálculo anual se hizo el cálculo con 45 semanas con 5 días hábiles obteniendo un valor promedio de 326 toneladas o máximo de 443 toneladas.

A continuación, se muestra el resumen de residuos de corte de césped y poda de árboles.

Tabla 15. Cuantificación de residuos de corte de césped y poda de árboles.

**Cuantificación de residuos de corte de césped y poda de árboles**

Fecha	Cantidad generada (m <sup>3</sup> )	Cantidad generada (kg)
01/08/2017	10,31	1132
02/08/2017	13,90	1526
03/08/2017	13,45	1477
04/08/2017	5,38	591
08/08/2017	12,56	1379
09/08/2017	10,76	1182
10/08/2017	11,66	1280
16/08/2017	13,68	1502
17/08/2017	17,94	1969
18/08/2017	11,21	1231
22/08/2017	13,90	1526
23/08/2017	15,69	1723
24/08/2017	15,69	1723
25/08/2017	15,69	1723
28/08/2017	14,80	1625
29/08/2017	14,35	1575
<b>Máximo:</b>	<b>17,94</b>	<b>1969</b>
<b>Promedio:</b>	<b>13,19</b>	<b>1448</b>

Fuente: Oficina de Seguridad y Salud en el trabajo. ECI. (2017).

La cantidad de residuos de poda de árboles y corte de césped constituyen la mayor cantidad de residuos generados en la universidad. Dentro de los beneficios de su tratamiento están el disminuir los gases efecto invernadero al no dejarlos acumulados en el lote B de la universidad, y aprovechar su potencial en la creación de abono que puede ser utilizado dentro del mismo campus.

### **Caracterización de los residuos orgánicos**

Como se explicó en el capítulo anterior los residuos orgánicos de la escuela están compuestos en su mayoría por residuos de corte de césped y de poda de árboles. El césped cortado es acumulado en pilas hasta que la persona encargada del transporte de dichos

residuos los recoge en el tractor y los transporta al lote B de la universidad. Los residuos de alimentos generados en cada uno de los establecimientos que los procesa para su venta deben ser dispuestos por cada uno de ellos traduciéndose en costos de transporte y disposición.

Para los residuos de corte de césped y de poda de árboles se realizó un análisis de campo para determinar valores de peso específico, cantidad y humedad, usando canecas y llenando el tractor hasta obtener los siguientes resultados:

*Tabla 16. Caracterización residuos de corte de césped y poda de árboles.*

TIPO DE RESIDUO	CANECAS	PESO / CANECA	PESO TOTAL	VOLUMEN		PESO ESPECIFICO	HUMEDAD	% DEL TOTAL
	#	kg	kg	Litros	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	%
Hoja y poda de árboles húmedas	14	8.7	121.8	910	0.91	133.8	31	<b>15.3</b>
Hojas secas y pasto	48.5	6.2	300.7	3152.5	3.15	95.4	49	<b>37.8</b>
Pasto húmedo	6	9.2	55.2	390	0.39	141.5	37	<b>6.9</b>
Pasto seco	43	7.4	318.2	2795	2.80	113.8	23	<b>40.0</b>
<b>TOTAL</b>			<b>795.9</b>		<b>7.25</b>	<b>109.8</b>	<b>35</b>	<b>100.0</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo con la información suministrada por el encargado de recoger este tipo de residuos, todos los días son variables, ya que en todos ellos hay residuos de pasto pero no siempre se encuentran residuos de hojas o poda de árboles, al mismo tiempo que no siempre se tiene el mismo tipo de hojas; algunas de ellas son hojas verdes mientras que en otros casos lo que se recoge son hojas secas u hojarasca.

### **Modelo escogido**

El modelo escogido consistió en tener dos módulos cada uno con 4 canastas para las etapas mesófila, termófila y mesófila II del proceso (Figura 17a). Para el proceso de separación se usaron los tamices como el de la figura 17b y posteriormente el residuo ya compostado pasaba a la etapa de maduración en dos canastas separadas; el material que aún no había completado el proceso se devolvía a los módulos iniciales para reiniciar su proceso.





*Figura 17 Módulos de compostaje. b: Tamiz para el proceso de separación.*

### **Seguimiento al modelo**

Para el seguimiento al modelo se utilizaron los formatos que se encuentran en los anexos. Los parámetros a monitorear la mayor cantidad de días posibles fueron la humedad, el pH y la temperatura.

A lo largo del proceso se debe tener en cuenta buena aireación, el cerramiento escogido no permitía ventilación y por esto en el primer y segundo montaje se evidenciaba presencia de olores y moscas. Se aprovechó que en el periodo intersemestral no era posible cargar las composteras debido a obras de adecuación del restaurante principal de la universidad Dialimentos, para modificar el cerramiento permitiendo una mayor aireación natural. En las figuras 18 y 19 se presentan las condiciones del laboratorio de prueba antes y después de las adecuaciones realizadas.



*Figura 18. Piloto de compostaje para los primeros 2 montajes antes de modificarse.*

Para la segunda fase del montaje, se verificó la relación C:N y la humedad primordialmente para prevenir olores, se corrigió el cerramiento colocando malla y se mejoró la aireación natural en el proceso. La presencia de olores fue reducida notablemente hasta llegar a un valor mínimo.



*Figura 19. Piloto de compostaje luego de las adecuaciones del cerramiento.*

Con respecto a cómo se realizaron los cálculos para verificar cada uno de los montajes, se realizó una hoja de cálculo que incluía los pesos específicos de los residuos utilizados que variaban de acuerdo con el día y la humedad de cada residuo verificada con los valores rango típicos en la bibliografía revisada. A su vez se incluía el cálculo de C y N por medio de una suma ponderada calculada con los porcentajes típicos de estos mismos componentes encontrada en la bibliografía revisada. Con respecto a este parámetro se utilizaron principalmente los valores dados por ACODAL seccional Noroccidente al no diferir en gran medida de las demás referencias y ser una entidad ubicada y avalada dentro de Colombia, país en el que se desarrolló el proyecto.

El proceso a seguir a la hora de realizar el montaje fue el de pesar una caneca de cada uno de los residuos y medir su altura para incluir dichos valores en las hojas de cálculo obteniendo así el peso específico. Posteriormente se mezclaban los residuos de acuerdo con el peso a utilizar de cada tipo para verificar el cumplimiento de la relación C:N (de 25:1 a 30:1 según la tabla 12) y obtener un valor de humedad cercano al 60%.

Todas las tablas de los cálculos correspondientes a cada uno de los montajes se pueden observar en el anexo 5:

Ya teniendo las tablas con cada uno de los montajes fue más sencillo organizar la información para poder realizar el análisis posterior. En las 2 tablas siguientes se muestra el resumen de las diferentes proporciones a mezclar de cada residuo y las características promedio iniciales de las mezclas obtenidas para cada uno de los modelos:

*Tabla 17. Resumen proporciones y características obtenidas modelo 1 residuos de frutas y verduras.*

Componente		MONTAJE RESIDUOS DE FRUTAS Y VERDURAS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		20 Jun.	27 Jun.	12 Sep.	19 Sep.	12 Oct.	18 Oct.	24 Oct.	03 Nov.
Peso (kg)	Corte de césped	2.18	0.88	1.16	2.50	1.56	1.10	1.86	1.50
	Poda de árboles	-	0.94	-	-	1.98	-	-	2.38
	Hojarasca	-	-	1.22	1.10	-	0.78	0.74	-
	Residuos de Frutas y verduras	4.44	4.58	4.38	3.76	9.10	7.62	4.12	8.30
	Residuos de alimentos	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aserrín	-	-	-	-	1.50	1.00	1.00	1.00
Volumen (L)	Corte de césped	19.11	18.58	19.30	19.30	19.30	19.30	19.30	19.30
	Poda de árboles	-	18.58	-	-	19.30	-	-	19.30
	Hojarasca	-	-	19.30	19.30	-	19.30	19.30	-
	Residuos de Frutas y verduras	9.29	7.63	7.72	11.58	18.20	12.13	9.38	18.20
	Residuos de alimentos	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aserrín	-	-	-	-	6.36	4.24	4.24	4.24
Parámetro	Carbono (kg)	1.86	1.22	1.33	1.77	2.52	1.98	1.82	2.46
	Nitrógeno (kg)	0.08	0.06	0.05	0.08	0.08	0.06	0.06	0.08
	Relación C/N	22.16	19.24	28.47	23.21	30.55	34.99	29.89	30.04
	% de Humedad	50.90	64.96	63.84	56.74	65.13	63.45	54.21	63.92
	Temperatura máxima	28	36	27	30	39	43	32	45
	Tiempo para alcanzar T máx.	8	1	10	1	7	7	1	3

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 18. Resumen proporciones y características obtenidas modelo 2 residuos de alimentos cocinados.

Componente		MONTAJE RESIDUOS COCINADOS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		20 Jun.	27 Jun.	12 Sep.	19 Sep.	12 Oct.	18 Oct.	24 Oct.	03 Nov.
Peso (kg)	Corte de césped	2.0	2.4	1.7	3.1	2.7	0.7	2.2	1.6
	Poda de árboles	-	0.9	-	-	1.8	-	-	1.8
	Hojasca	-	-	2.7	1.6	-	0.9	0.8	-
	Residuos de Frutas y verduras	4.4	4.4	-	-	-	-	-	-
	Residuos de alimentos	15.7	7.8	13.9	13.9	16.1	9.0	7.9	17.5
	Aserrín	-	-	2.1	1.5	3.0	1.5	1.8	3.0
Volumen (L)	Corte de césped	19.11	49.83	19.30	19.30	19.30	19.30	19.30	19.30
	Poda de árboles	-	18.58	-	-	19.30	-	-	19.30
	Hojasca	-	-	36.73	19.30	-	19.30	19.30	-
	Residuos de Frutas y verduras	9.29	13.68	-	-	-	-	-	-
	Residuos de alimentos	15.93	9.27	12.13	8.00	15.44	7.72	11.03	17.10
	Aserrín	-	-	8.99	6.36	12.73	6.36	7.64	12.73
Parámetro	Carbono (kg)	2.1	2.3	3.3	2.8	3.6	1.8	2.1	3.4
	Nitrógeno (kg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Relación C/N	21.87	23.67	29.76	25.26	25.18	30.09	28.98	27.72
	% de Humedad	82.41	70.73	62.40	54.77	64.02	64.12	61.54	65.27
	Temperatura máxima	44	48	50	50	61	53	48	59
	Tiempo para alcanzar T máx.	8	6	6	6	7	4	5	3

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron mediciones diarias, exceptuando algunos días debido a condiciones climáticas o días festivos en los que no fue posible realizarlas.

En los anexos se encuentran los formatos para la toma de datos. De este tipo de formato hay dos versiones puesto que a la hora de digitalizar los datos se encontró una manera más sencilla de organizarlos para poder facilitar el trabajo. Adicionalmente cabe aclarar que las mediciones se realizaban en 3 puntos de cada zona, I: en la parte izquierda, D: en la parte derecha, C: en la parte central y P: promedio de todas las mediciones.

A continuación, se muestran las gráficas de cada uno de los 2 modelos y cada uno de los montajes para los valores promedio de cada uno de los parámetros. Las mediciones de los 2 primeros montajes o experimentos en ambos casos (crudos y cocinados) se encuentran incompletas debido a daños en el medidor de temperatura y a la suspensión de dichas mediciones por la presencia excesiva de olores y moscas. Una explicación para este problema es la inadecuada aireación.

## Mediciones de humedad

Las mediciones de humedad se muestran en porcentaje.

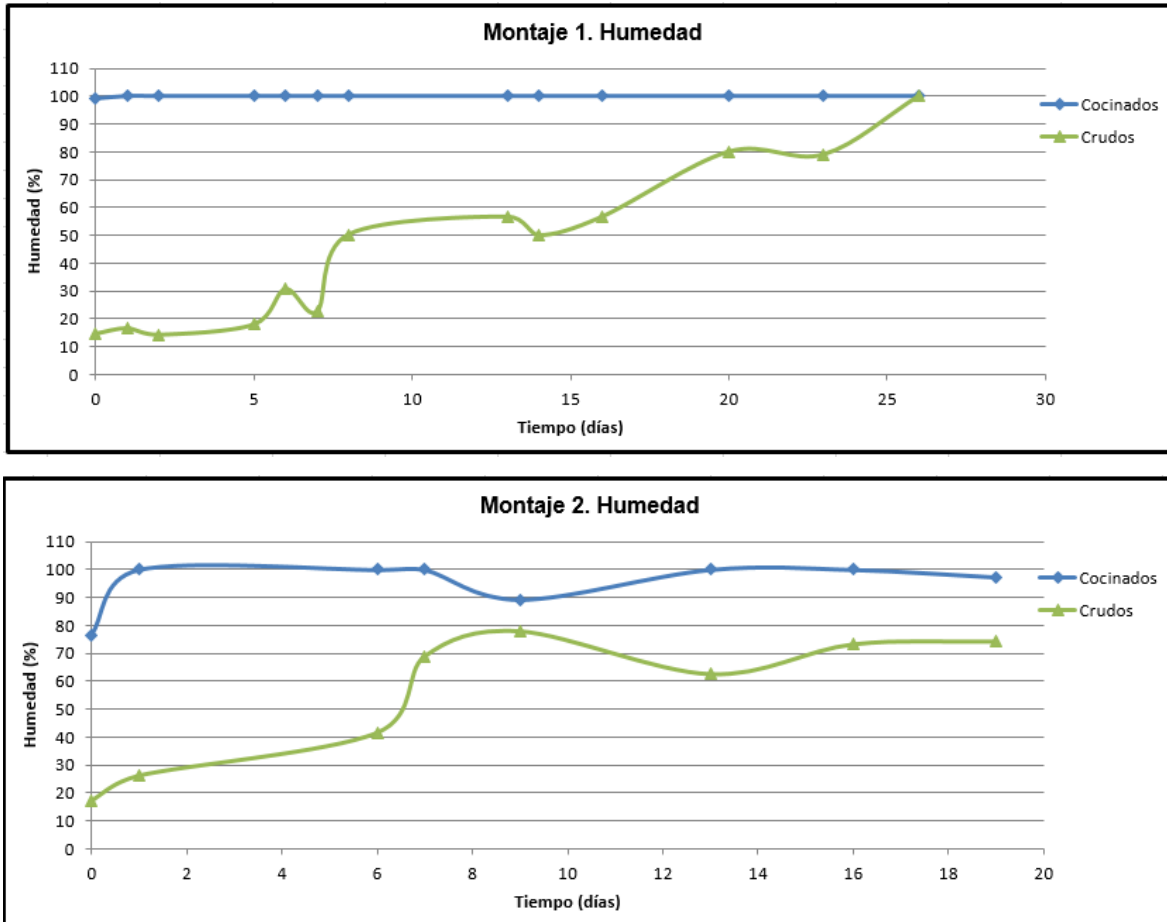


Figura 20. Mediciones de humedad montajes 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

Con las mediciones de este parámetro se observa que el modelo compuesto por mezcla de residuos de alimentos cocinados presentaba humedades muy altas impidiendo la adecuada aireación y causando zonas de anaerobiosis, mientras que el comportamiento del modelo con residuos de frutas y verduras iniciaba con humedades bajas pero a lo largo del proceso se convertían en humedades bastante altas. Es importante aclarar que una aireación inadecuada no contribuye a un buen desarrollo del proceso de compostaje.

A los montajes 3 y 4 se les hizo un volteo el día 10 de octubre y se mezclaron antes de realizar el otro cargue de material, pues su temperatura ya había bajado y se observaba

gran parte de residuos sin degradar. Es por esto que los valores a partir de esta fecha son los mismos en ambos montajes.

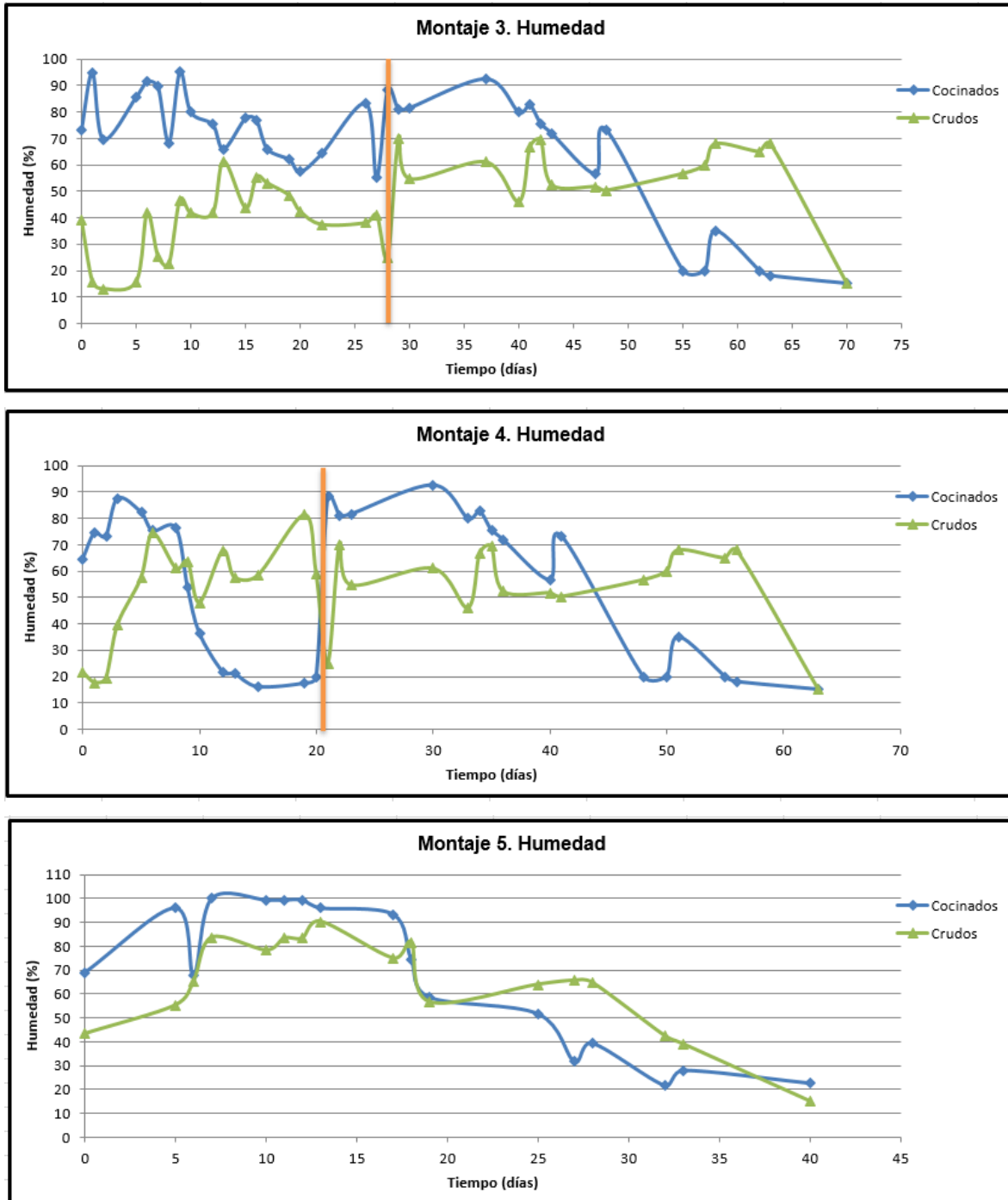


Figura 21. Mediciones de humedad montajes 3 al 5. Fuente: Elaboración propia

El comportamiento del parámetro de la humedad es mucho más homogéneo en todo el módulo en la mezcla de residuos de alimentos cocinados que en el de residuos de frutas y verduras; se observa que este parámetro tiende a disminuir con el tiempo y que al hacer volteos mezclando residuos de distintas edades este parámetro se ve afectado pues aumenta su valor.

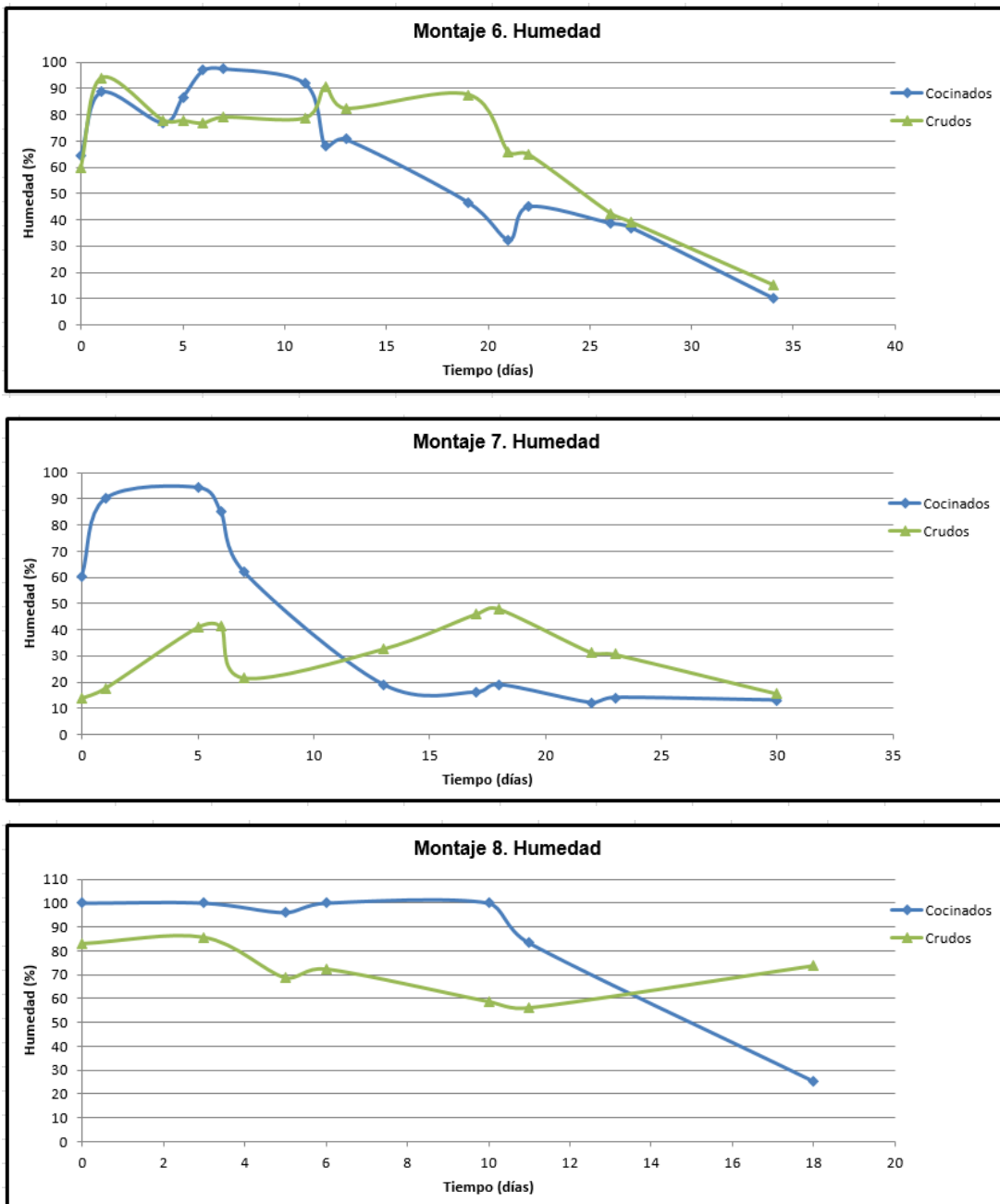


Figura 22. Mediciones de humedad montajes 6 al 8. Fuente: Elaboración propia

Para los últimos 3 montajes se sigue observando la misma tendencia a la disminución de la humedad a lo largo del tiempo, sin un comportamiento típico en el modelo de residuos de frutas y verduras. La variación de este parámetro en cada una de las áreas donde se medía refleja lo variable que puede ser el proceso posiblemente debido a características como el tamaño de partícula, la porosidad, la aireación, entre otras.

Haciendo una comparación de los valores obtenidos para la humedad en las diferentes zonas del montaje, se evidencia en las 2 figuras siguientes que el comportamiento en toda el área de la canasta, es decir parte I: Izquierda, C: Central y D: Derecha para el modelo de los residuos crudos (residuos de frutas y verduras) no tiene un comportamiento homogéneo. Lo contrario ocurre en el modelo de residuos de alimentos cocinados, pues se observa que en toda el área de la canasta se tiene la misma tendencia para este parámetro.

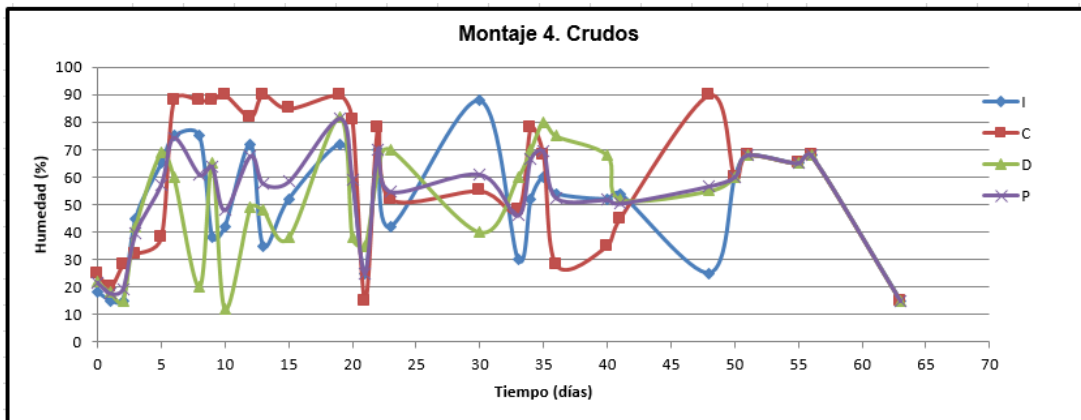


Figura 23. Comportamiento humedad montaje 4 residuos de frutas y verduras.

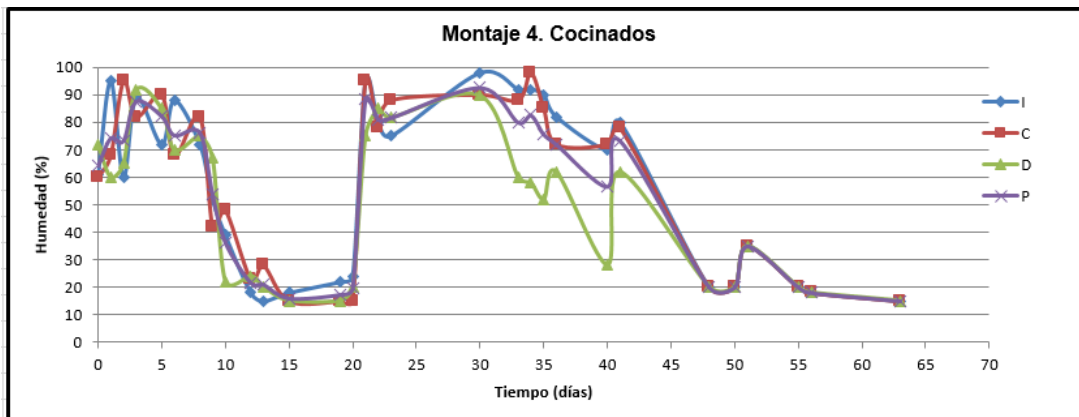


Figura 24. Comportamiento humedad montaje 4 residuos de alimentos cocinados.



## Mediciones de pH

Las mediciones obtenidas por medio del medidor de pH se muestran en las gráficas siguientes.

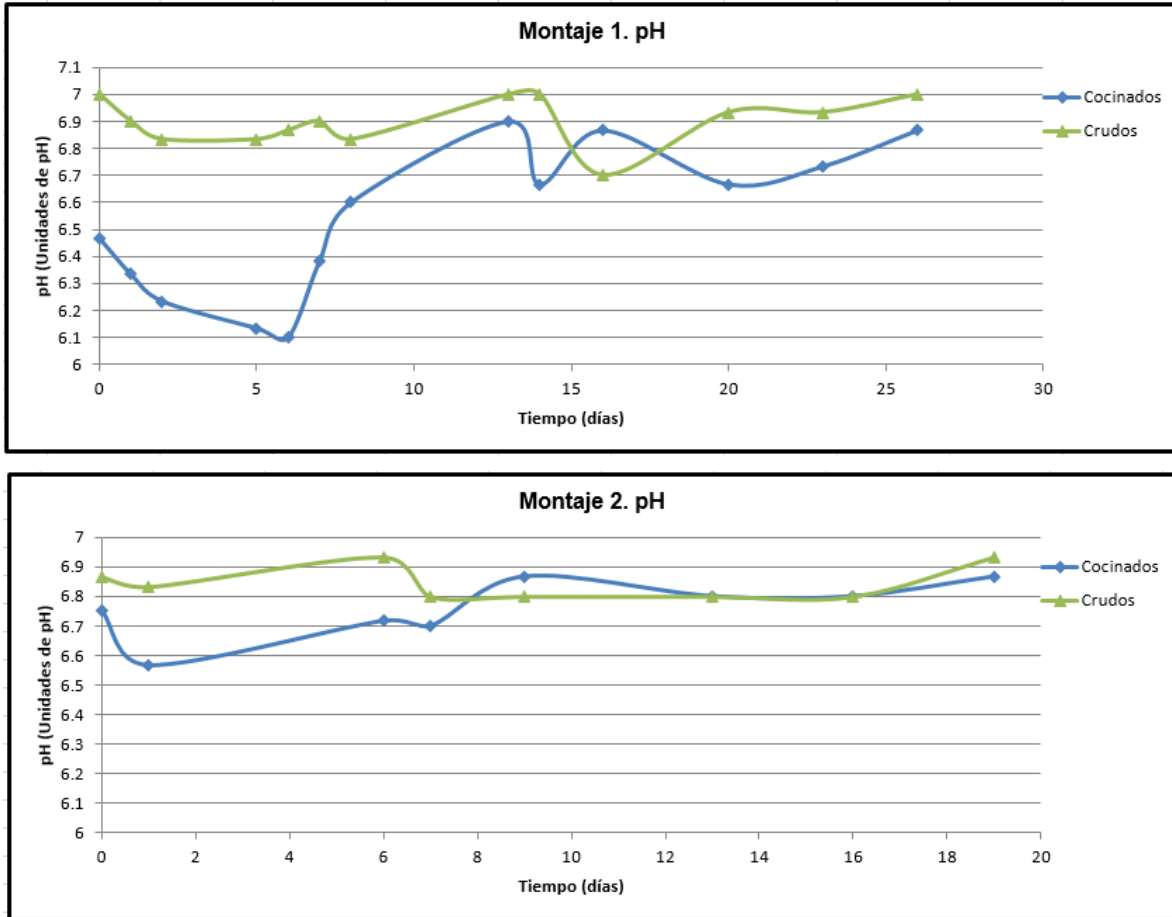


Figura 25. Mediciones de pH montajes 1 y 2. Fuente: Elaboración propia

En los 2 primeros montajes se observa que la variación del pH es mínima pues se tienen valores en un rango de 6.5 a 7 unidades de pH que se mantienen a lo largo del tiempo que se realizaron las mediciones.

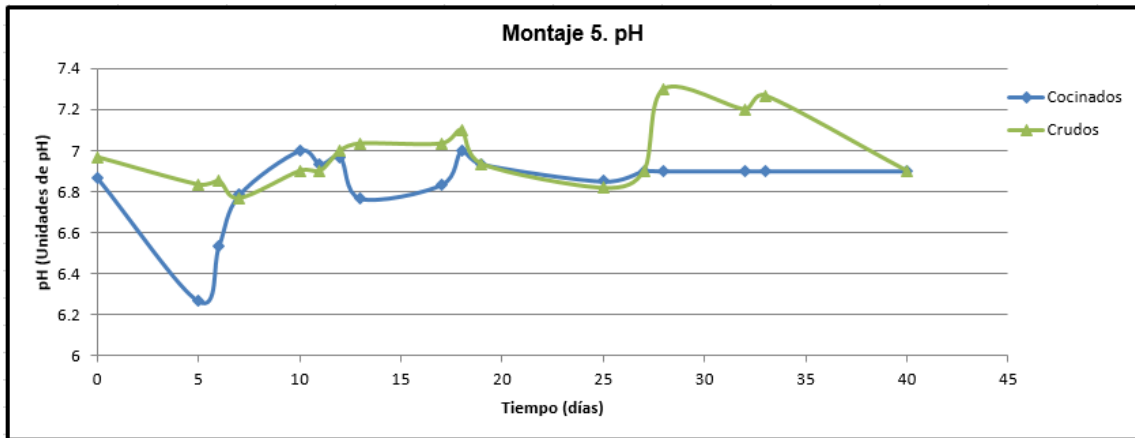
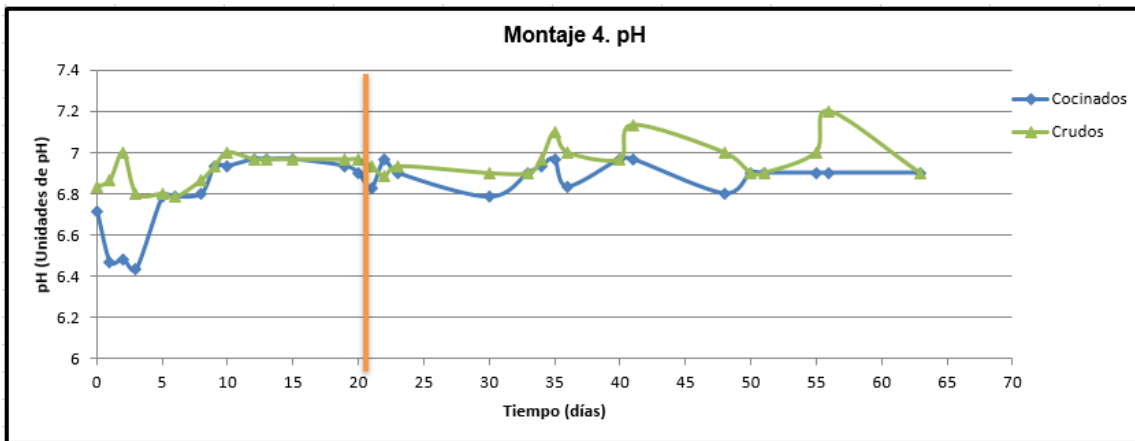
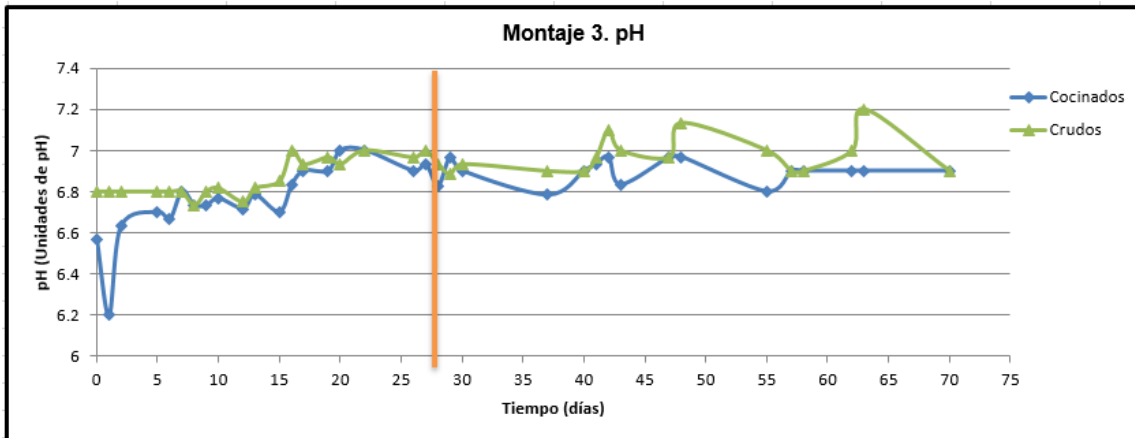


Figura 26. Mediciones de pH montajes 3 al 5. Fuente: Elaboración propia

Al igual que en la humedad, los valores para el montaje 3 y 4 luego del día 10 de octubre son los mismos pues se hizo una mezcla de ellos. Aunque la variación en estos montajes no es tan pequeña, si se observa que en los primeros días del proceso pudo haber acumulación de ácidos orgánicos pues hubo una ligera disminución en el valor del pH;

aunque no se llegue a valores de 4.5 como se indica en la bibliografía si se observa dicho comportamiento.

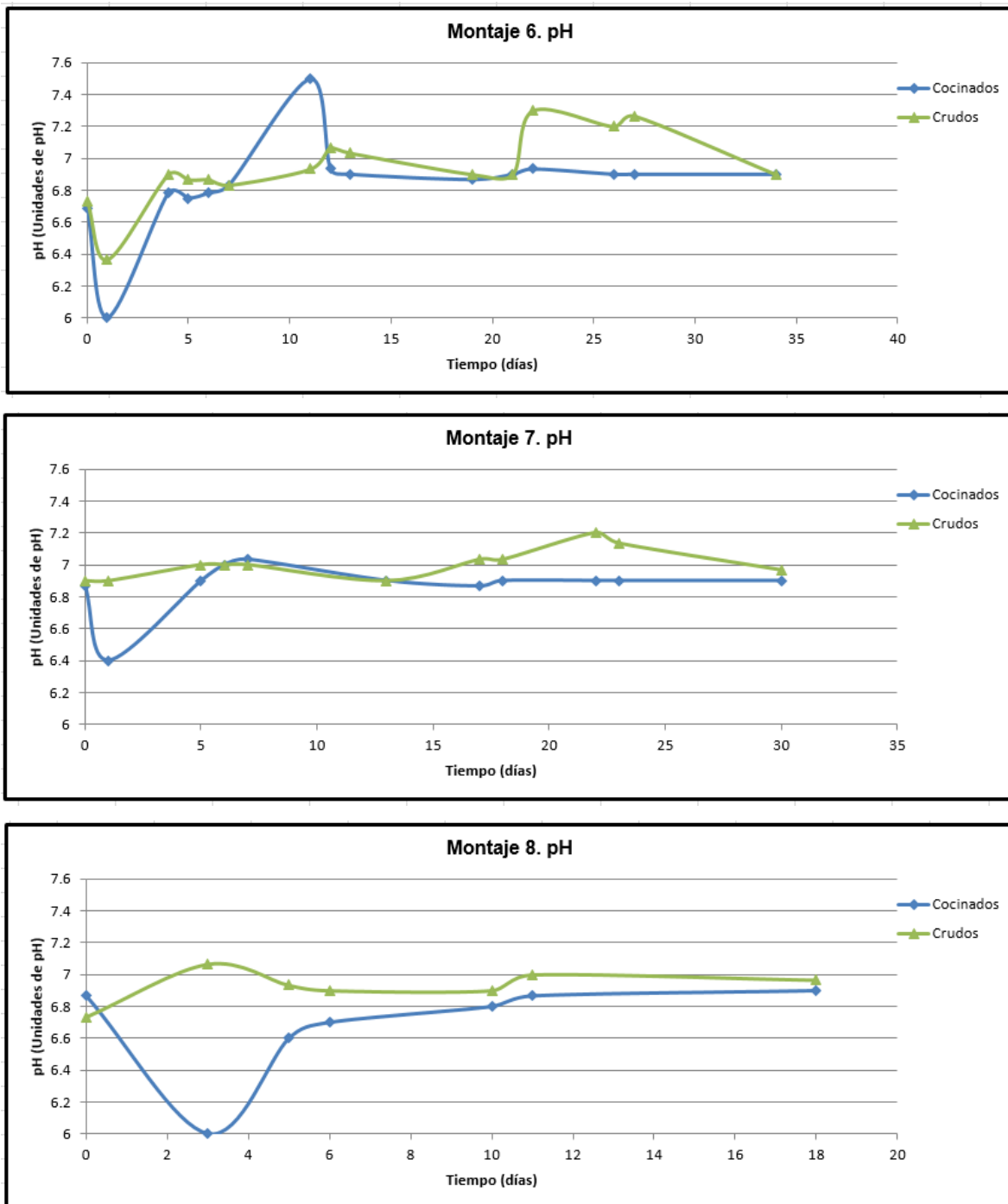


Figura 27. Mediciones de pH montajes 6 al 8. Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo que en los montajes anteriores se observa que para el modelo de residuos cocinados hay una estabilización del pH en 6.9 aproximadamente para el resto del proceso, mientras que para el de residuos de frutas y verduras este equilibrio no se encuentra. Aunque la variación sea pequeña (de 6.7 a 7.5) para ese modelo no hay una estabilización que indique una terminación del proceso de degradación de la materia orgánica.

Al igual que en el parámetro de la humedad, en las 2 figuras siguientes se observa que el comportamiento en toda el área de la canasta para el modelo de los residuos crudos no tiene un comportamiento homogéneo, mientras que en el modelo de residuos de alimentos cocinados se observa la misma tendencia en toda el área de la canasta.

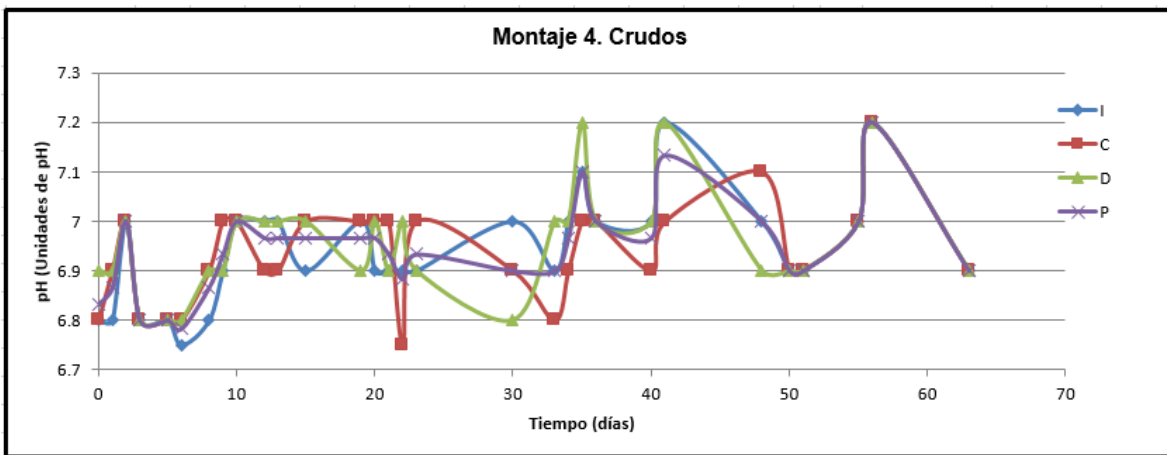


Figura 28. Comportamiento pH montaje 4 residuos de frutas y verduras.

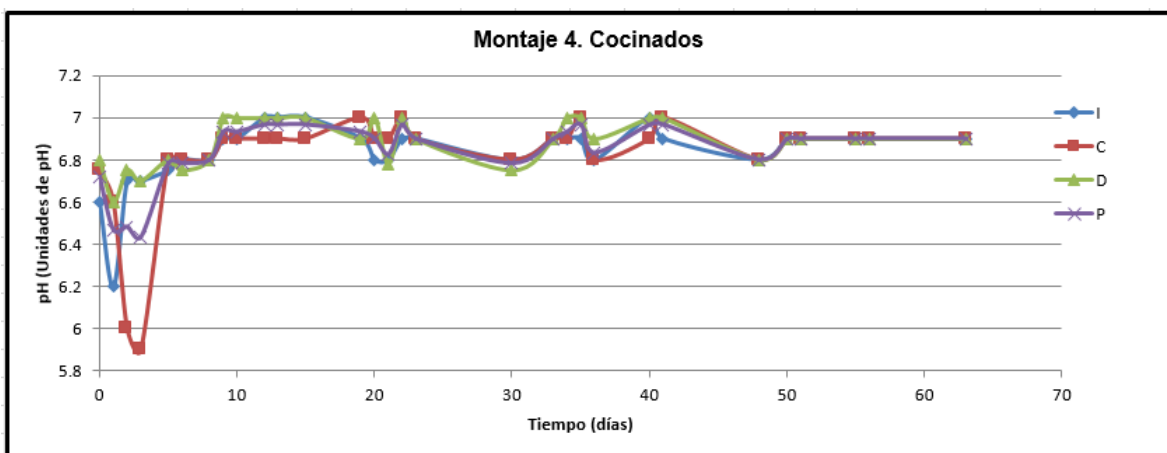


Figura 29. Comportamiento pH montaje 4 residuos de alimentos cocinados.

## Mediciones de temperatura

La temperatura se midió con un termómetro de punzón de 30 cm de largo.

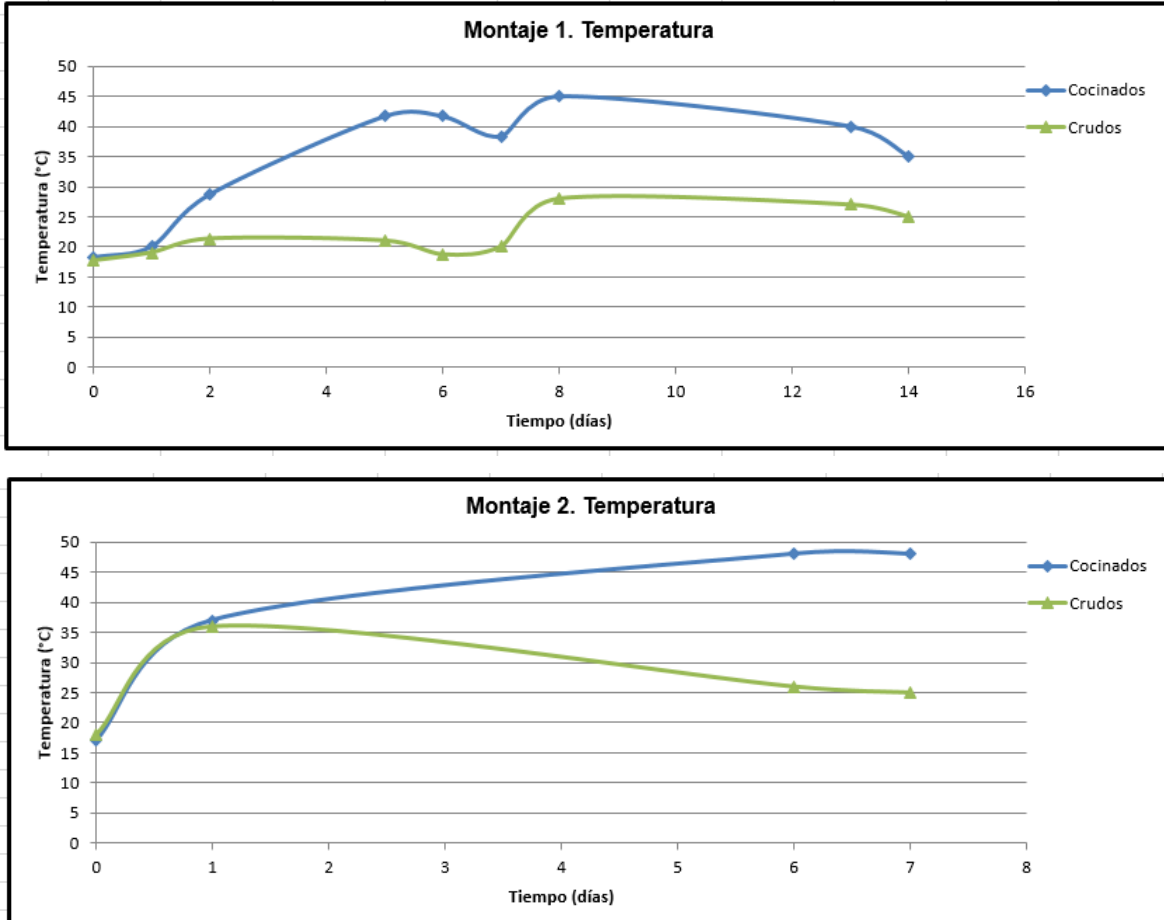


Figura 30. Mediciones de temperatura montajes 1 y 2. Fuente: Elaboración propia

Las mediciones que se hicieron en los primeros dos montajes no permiten hacer algún tipo de análisis pues los datos son insuficientes. En ellos se observa una tendencia a subir la temperatura en los primeros días de proceso, sin embargo, no logran superar los 37° en el modelo de residuos de frutas y verduras ni los 48° en el modelo de residuos de alimentos cocinados.

Debido al daño del termómetro y a la falta de aireación del proceso que obligó a hacer adecuaciones y volver a iniciar con las mediciones, se decidió descartar los 2 primeros montajes para el análisis de las muestras de compost.

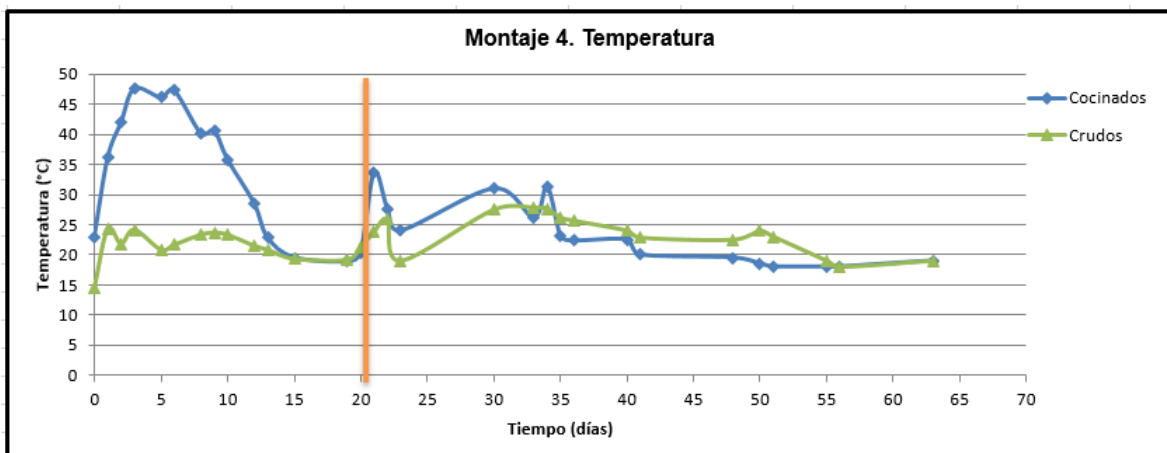
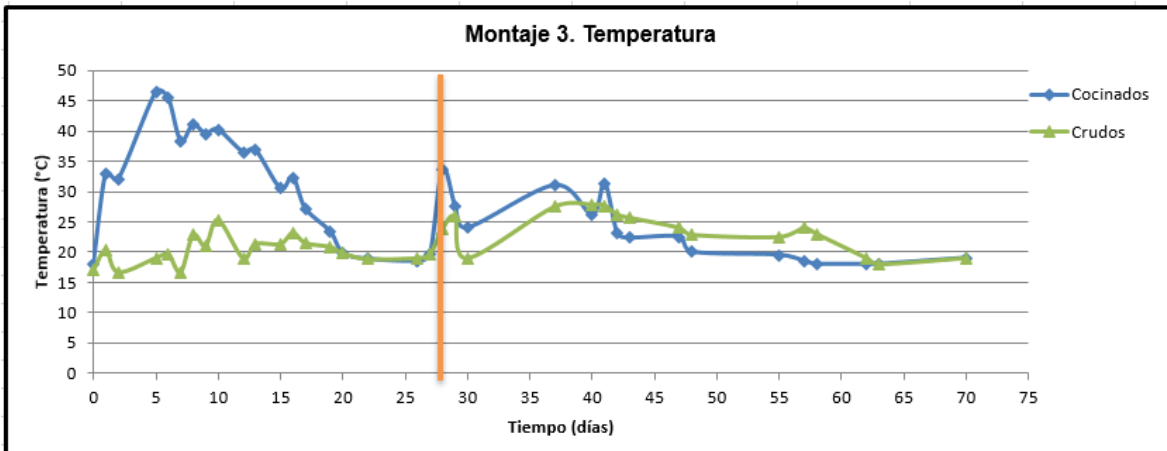


Figura 31. Mediciones de temperatura montajes 3 y 4. Fuente: Elaboración propia

En los montajes 3 y 4 se observa el efecto de hacer volteo en los residuos. Antes de hacerlo ya se había tenido un pico de temperatura que para residuos de frutas y verduras era de 25.3°C, mientras que para residuos cocinados era de 46.3°C aproximadamente. Con el volteo realizado se reactiva nuevamente la actividad microbiana incrementando nuevamente la temperatura hasta 27.8°C en los de frutas y verduras y 33.7°C en el de residuos cocinados.

El efecto que tiene el volteo en la mezcla de residuos de frutas y verduras indica que aún no se había alcanzado la temperatura máxima del proceso, por el contrario, en el modelo de residuos de alimentos cocinados se llega a una temperatura menor a la del primer pico, pero aun así se observa que el efecto de hacer un volteo es reactivar la actividad microbiana y continuar con la degradación de la materia orgánica presente en la mezcla.

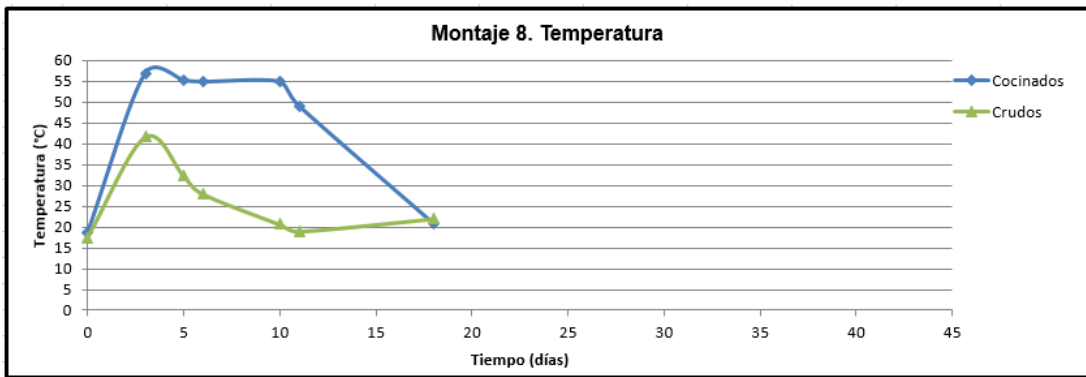
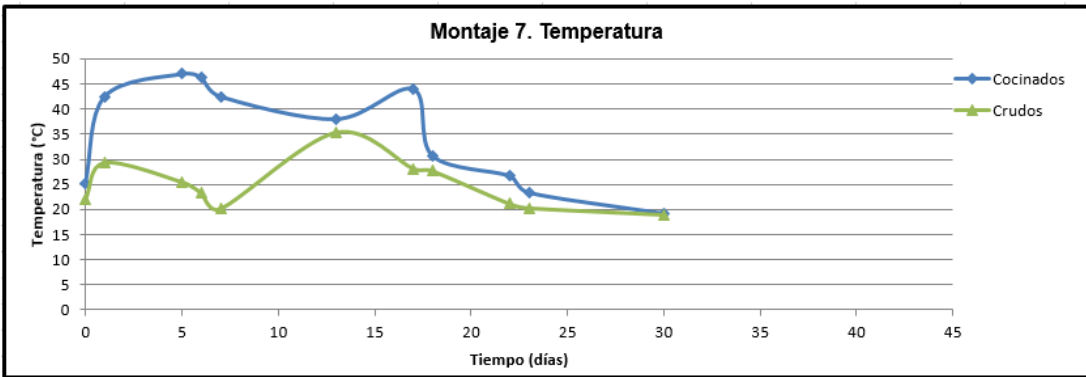
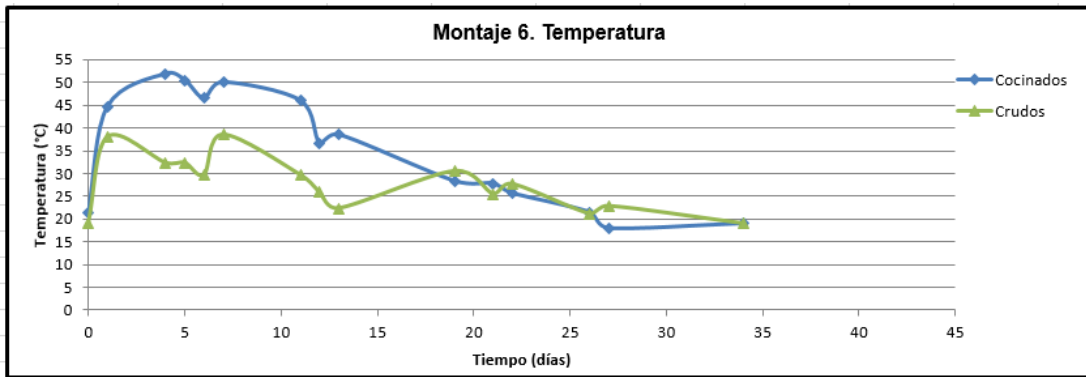
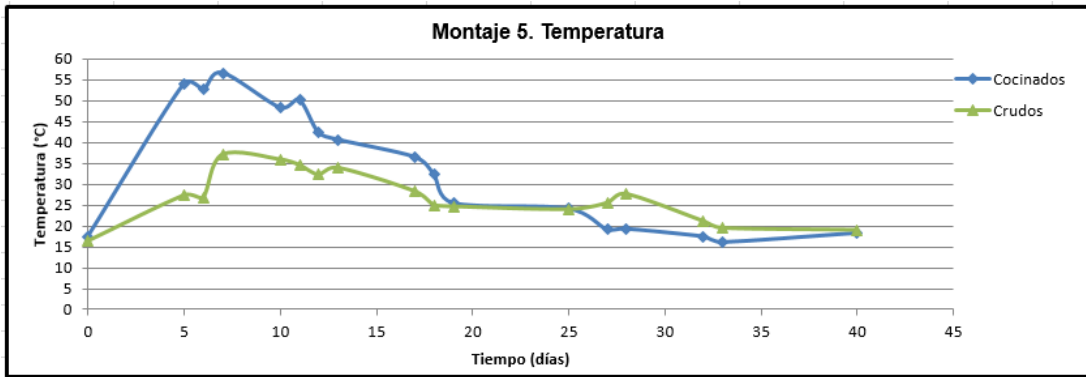


Figura 32. Mediciones de temperatura montajes 5 al 8. Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los montajes 5 al 8, se observa en todos los casos el comportamiento típico de la curva de temperatura de un proceso de compostaje, donde primero hay un aumento, luego una disminución hasta una fase donde se mantiene constante y cercana a la temperatura ambiente para el proceso de maduración.

En general las temperaturas alcanzadas por la mezcla de residuos de alimentos cocinados son mayores a las de la mezcla de los residuos de frutas y verduras. Adicionalmente, como se observa en las gráficas la mezcla del modelo de residuos cocinados logra mantener temperaturas altas durante un periodo de tiempo más prolongado que en el modelo de residuos de frutas y verduras.

Con respecto a la homogeneidad del valor de la temperatura en toda el área de la canasta, se observa que, a diferencia de los otros parámetros, la tendencia en ambos modelos, (residuos crudos y residuos cocinados es homogénea. Esto se observa en las dos gráficas siguientes:

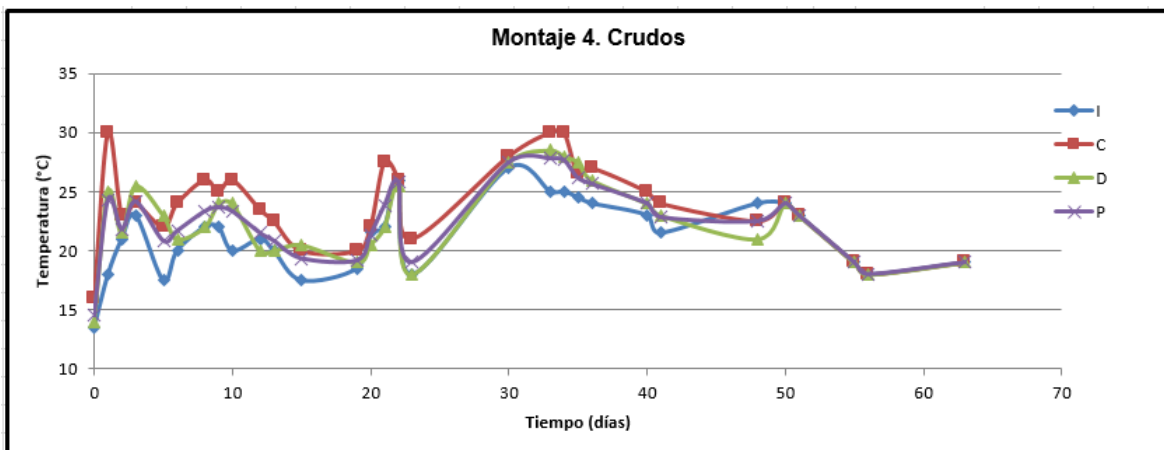


Figura 33. Comportamiento temperatura montaje 4 residuos de frutas y verduras.



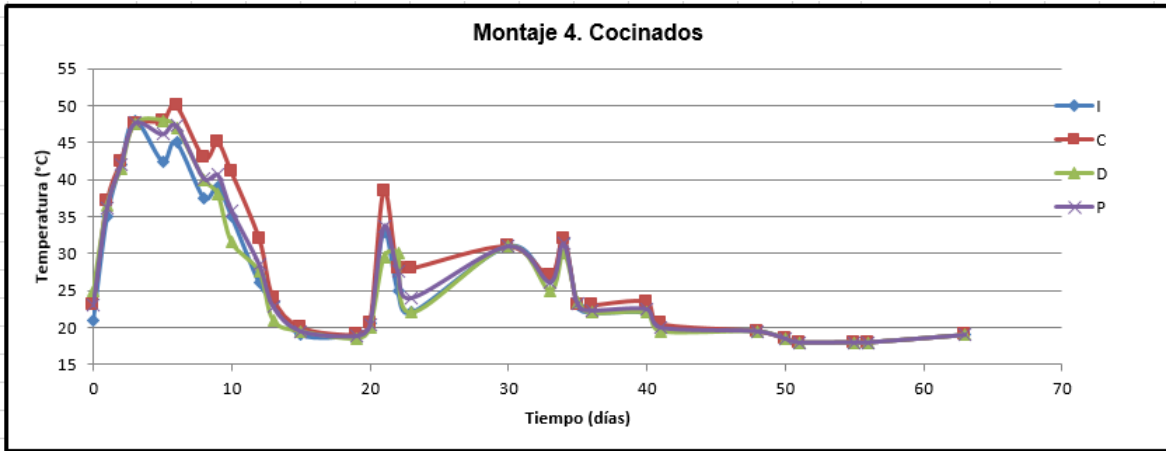


Figura 34. Comportamiento temperatura montaje 4 residuos de alimentos cocinados.

### Aspecto final del compost

En las imágenes siguientes se observa el aspecto del producto final luego del proceso para ambos modelos.



Figura 35. Producto final proceso de compostaje residuos de la Escuela Colombiana de Ingeniería.



*Figura 36. Producto final modelo de residuos de alimentos cocinados.*



*Figura 37. Producto final modelo de residuos de frutas y verduras.*

### **Análisis de laboratorio para el producto final**

Se realizaron análisis de laboratorio de caracterización y composición de acuerdo con la norma NTC- 5167, a 2 muestras de cada uno de los modelos para verificación del producto final obtenido. Estos análisis se realizaron en el laboratorio AGRILAB S.A.S, reconocido mediante la resolución ICA 001271 del 2014.

Las muestras entregadas al laboratorio se rotularon de la siguiente manera:

**Muestra 1:** Residuos Cocinados 1

**Muestra 2:** Residuos Cocinados 2

**Muestra 3:** Residuos frutas y verduras 1

## Muestra 4: Residuos frutas y verduras 2

Los resultados obtenidos para cada una de las muestras son los siguientes:

Tabla 19. Caracterización y composición del producto final para ambos modelos.

Parámetro	Unidades	MUESTRA				NTC 5167	Método Analítico
		1	2	3	4		
Humedad	%	23.8	28.7	65.7	67.5	Máx. 35%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cenizas	%	7.87	8.98	3.59	4.77	Máx. 60%	Gravimétrico (NTC 5167)
Pérdida por Volatilización	%	68.3	62.3	30.7	27.7		Gravimétrico (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable Total	%	28.4	27.7	13.4	11.4	Mín. 15%	Walkley-Black (NTC 5167)
pH (pasta de saturación)	Unidades pH	6.25	6.25	8.67	8.3	Entre 4 y 9	Potenciométrico
Densidad (base seca - 20°C)	g/cm <sup>3</sup>	0.31	0.33	0.29	0.33	Máx. 0,6 g/cm <sup>3</sup>	Gravimétrico (NTC 5167)
Conductividad eléctrica	dS/cm	12.2	5.49	6.04	12.1		Potenciométrico
Retención de Humedad	%	250	239	128	112	Mín 100%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cap. Intercambio Catiónico	(me/100g)	60.1	52.1	26.9	25.9	Mín. 30 meq/100g	Volumétrico (NTC 5167)
C/N		21	20	30	28	Caracterizar	
N Total ( NOrg )	%	1.35	1.36	0.45	0.41	Declarar si es > 1%	Sumatoria
Nitrógeno Orgánico (NOrg)	%	1.35	1.36	0.45	0.41	Declarar si es > 1%	Micro-Kjeldhal (NTC 5167)
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	0.98	0.62	0.17	0.15	Declarar si es > 1%	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	%	1.04	0.95	0.81	0.81	Declarar si es > 1%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Calcio total (CaO)	%	0.47	0.52	0.53	0.36		Abs. Atómica (NTC 5167)
Magnesio total (MgO)	%	0.17	0.16	0.09	0.09		Abs. Atómica (NTC 5167)
Azufre total (S-SO <sub>4</sub> )	%	0.13	0.15	0.06	0.05		Turbidimétrico (NTC 5167)
Hierro total	%	0.06	0.13	0.03	0.05		Abs. Atómica (NTC 5167)
Manganeso total	mg/kg	51.7	61.6	34.8	34.5		Abs. Atómica (NTC 5167)
Cobre total	mg/kg	5.32	7.11	4.73	4.58		Abs. Atómica (NTC 5167)
Zinc total	mg/kg	29.2	33.2	14.8	14.6		Abs. Atómica (NTC 5167)
Boro total	mg/kg	13.3	12.5	7.17	6.53		Colorimétrico (NTC 5167)
Sodio total	%	0.59	0.61	0.04	0.02		Emisión de Llama (NTC 5167)
Sílice total SiO <sub>2</sub> ( extraído con HF )	%	1.9	3.23	0.95	1.07		Abs. Atómica (NTC 5167)
Residuo Insoluble en ácido	%	1.08	2	0.32	1.25		Gravimétrico (NTC 5167)

Fuente: Resultados laboratorio AGRILAB S.A.S. Elaboración propia.

Comparando los resultados obtenidos para las 4 muestras analizadas se observa que el compost obtenido con la mezcla de los residuos cocinados cumple con todos los parámetros físicos y químicos que se deben analizar según la norma NTC 5167 aplicable para productos orgánicos usados como abonos en Colombia.

Por el contrario, el compost que se obtuvo para la mezcla de los residuos de frutas y verduras presenta un valor de la humedad bastante alto, no cumple con el porcentaje mínimo de Carbono orgánico oxidable total y su capacidad de intercambio catiónico no cumple con el mínimo de 30 meq/100g.

## Capítulo 7. Discusión

Con respecto a la aireación es evidente que es uno de los parámetros más importantes en el compostaje, pues en los primeros montajes se obtuvo un producto final poco adecuado, se observaron zonas de anaerobiosis y el material compactado no permitió un buen desarrollo del proceso. Adicionalmente, las mediciones de pH, de humedad y temperatura mostraron que el proceso no estaba funcionando correctamente. En definitiva, se corrobora que una suficiente aireación es indispensable para el adecuado funcionamiento del proceso al mismo tiempo que evita la concentración de olores y la proliferación de moscas y roedores.

Como lo dice la teoría del compostaje, se requiere una humedad inicial de entre 40 y 60%. Debido a que el tamaño del módulo de canastas es relativamente pequeño y a que los residuos a compostar tenían humedades bastante altas, fue necesario el uso de un agente de carga como el aserrín. Se observó que el volumen de aserrín requerido para ajustar la humedad fue muy alto en comparación con el resto de los residuos.

Para mantener los valores de humedad dentro de los rangos óptimos, puede ser necesario realizar volteos dentro de las canastas lo cual, debido al tamaño de la compostera es un proceso complicado.

Mantener una relación ideal C:N de 30 o dentro del rango de 25:1 a 35:1 no es suficiente para un buen desarrollo del proceso, para esto se requiere que todos los demás parámetros estén bien controlados.

Las relaciones C:N logradas a partir de residuos de frutas y verduras variaron de 19:1 a 35:1 en los ocho montajes, con porcentajes de humedad desde 54 a 65%. A partir de la inclusión del aserrín para los últimos 4 montajes se lograron mayores temperaturas pero éstas no lograron superar los 45°. Debido a la inexistencia de altas temperaturas no se permite un grado de higienización lo suficientemente alto para la destrucción de patógenos.

Las relaciones de Carbono: Nitrógeno obtenidas a partir de la combinación de residuos de alimentos cocinados rondaron alrededor del 25:1 a 30:1, con humedades entre el 55 y 65% omitiendo los dos primeros ensayos donde no se utilizó aserrín para corregir este parámetro. Con esta mezcla se lograron temperaturas en el centro de la canasta mayores

a 50° en casi todos los montajes cuya contribución se observa a nivel de destrucción de patógenos y reflejan la amplia actividad microbiana durante el proceso.

Con respecto al modelo de los residuos de frutas y verduras se utilizó aserrín para corregir el valor de la humedad, dar un soporte a la mezcla y mantener una porosidad adecuada. Pero al momento de intentar bajar la humedad hasta un 60 % se debía aumentar la cantidad de aserrín utilizado pues su valor de humedad era bajo (5%). Al hacer esto, el valor de Carbono en la mezcla aumentaba no permitiendo encontrar un equilibrio entre la relación C:N y un valor de humedad del 60%.

Con respecto al funcionamiento del proceso, en cada uno de los modelos se observó un mejor comportamiento en la mezcla de residuos de alimentos cocinados, pues se logró mantener temperaturas alrededor de los 60°C por un tiempo suficiente para asegurar la destrucción de patógenos, de acuerdo con la literatura. Por otra parte, en las mezclas de residuos de frutas y verduras las temperaturas no superaron los 40°C y no lograban mantenerse durante mucho tiempo.

El producto final obtenido para ambos modelos tiene el aspecto y el olor terroso característico del compost, no se observan residuos de alimentos, frutas o verduras, pero tiene mucho residuo de hojas y pasto que no lograron degradarse completamente.

Con respecto al análisis realizado en el producto final, la mezcla de residuos cocinados obtuvo mejores resultados que la mezcla de residuos de frutas y verduras, pues la primera cumple con todos los valores establecidos en la NTC 5167 mientras que el producto obtenido con la segunda no cumple con algunos de ellos como son la humedad, el porcentaje de carbono orgánico oxidable total y la capacidad de intercambio catiónico.

## Conclusiones

Se logró realizar la cuantificación de los residuos orgánicos generados en la Escuela Colombiana de Ingeniería en la que, en promedio, se generan anualmente 32 toneladas de residuos de alimentos provenientes de los establecimientos de comida y 326 toneladas de residuos de corte de césped y poda de árboles para un total de 358 toneladas de residuos orgánicos al año.

Se realizó el montaje de la planta piloto de compostaje compuesta por zonas de pesaje, mezcla, compostaje y maduración utilizando módulos de canastas para la aplicación de distintas mezclas que servirá como espacio de aprendizaje y exploración para futuras investigaciones.

Para un adecuado funcionamiento de un proceso de compostaje se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Mantener la humedad en el rango de 40 – 60% para evitar grandes problemas como malos olores y zonas de anaerobiosis.
- Buscar una mezcla de residuos que mantenga una relación C:N en el rango de 25:1 a 30:1 para evitar inconvenientes durante el proceso. Si se observa que el proceso no funciona adecuadamente corregir el parámetro deseado adicionando más material del que se requiera.
- El tamaño de partícula debe ser pequeño (5 – 10 cm) para lograr obtener una porosidad adecuada que permita el flujo de nutrientes y una adecuada aireación dentro de la mezcla.
- El uso de un agente de carga puede ser necesario para lograr los valores de humedad, relación C:N y porosidad adecuada para el desarrollo del proceso de compostaje con este tipo de residuos.

Con respecto al producto final se tiene el aspecto y el olor terroso característico del compost, adicionalmente en ambos modelos se degradaron completamente los residuos de alimentos y de frutas y verduras, pero los residuos de hojas y corte de césped requieren de mayor tiempo de proceso para su completa degradación. Es necesario realizar un tamizado

para separar del compost este tipo de residuo, aún sin degradar por completo, y volverlo a mezclar con material nuevo para seguir con su proceso.

En conclusión, la mezcla de residuos cocinados, poda de árboles y corte de césped produjo un mejor resultado para el proceso de compostaje, ya que alcanzaron altas temperaturas manteniéndolas por un largo tiempo y adicionalmente, el producto terminado cumple todos los requerimientos establecidos en la norma NTC 5167 para abonos orgánicos.

Es necesario continuar realizando investigaciones para lograr una buena mezcla que produzca un mejor compost final, dando un aprovechamiento adecuado tanto a los residuos crudos como a los residuos de corte de césped y poda de árboles correspondientes a la mayoría de residuos sólidos orgánicos biodegradables producidos en el campus de la Escuela.

## Recomendaciones

Evaluar la posibilidad de desarrollar en conjunto con los diferentes sectores involucrados en el tratamiento de los residuos sólidos en el país un proyecto para la creación de manuales de buenas prácticas y desarrollo de metodologías de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos, teniendo en cuenta dentro de la misma las recomendaciones y parámetros a evaluar durante cada una de las fases del proceso y al producto final, todo con el fin de dar pautas para la construcción y operación de estos sitios de aprovechamiento.

Fomentar en la Escuela la importancia del aprovechamiento de los residuos orgánicos biodegradables mediante el compostaje desarrollando trabajos dirigidos o proyectos de investigación por parte de la comunidad. Para ello se puede aprovechar la planta piloto explorando nuevas posibilidades tales como:

- Tratar con la aplicación de melaza, o inocular con microorganismos para acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica de difícil degradación como lo es el pasto y las hojas.
- Realizar el análisis del proceso haciendo énfasis en la parte de microbiología determinando microorganismos importantes en el proceso como lo son las bacterias aerobias, actinomicetos y hongos entre otros.
- Probar con otros agentes de carga distintos al aserrín como lo puede ser los vasos de cartón en los que se sirve el café o la aromática en la universidad para darle un aprovechamiento a los mismos.
- Probar con un agente de carga o algún otro tipo de residuo que permita el tratamiento eficiente de los residuos de poda de árboles y corte de césped, teniendo en cuenta que son la mayor cantidad de residuo generado en la universidad en una proporción de 10 a 1 con respecto a los residuos de alimentos.
- Comprobar la biodegradabilidad de los platos, vasos y cubiertos desechables biodegradables que se ofrecen actualmente en el mercado por medio del compostaje.
- Realizar el compostaje ensayando con nuevas mezclas para lograr mejorar la degradación de los residuos de frutas y verduras al mismo tiempo que se encuentran



proporciones donde el residuo de corte de césped se use en mayores proporciones que el resto de los residuos.

Como recomendación final está la implementación y documentación del tratamiento de los residuos orgánicos de la totalidad de los residuos generados en la universidad fomentando la cultura del aprovechamiento sirviendo de ejemplo para otras instituciones educativas y promoviendo el desarrollo de tecnologías que contribuyan a la sostenibilidad cerrando los ciclos.

### **Observación final.**

Para el tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería los resultados del trabajo desarrollado permiten recomendar una mezcla de residuos a tratar de la siguiente forma (porcentajes en peso):

- |  |   |           |
|--|---|-----------|
| • % de residuos de corte de césped     | } | 13 al 24% |
| • % de residuos de poda de árboles     |   |           |
| • % de hojarasca                       |   |           |
| • % de residuos de alimentos cocinados |   | 62 a 74%  |
| • % de aserrín                         |   | 7 al 15%  |

Se debe procurar que la humedad inicial se encuentre en el 60% con una relación C:N de 30:1. El tamaño de las partículas debe estar entre 5 y 10 cm aproximadamente. El oxígeno disuelto debe ser > al 10% para tener una aireación adecuada.

Se debe buscar otro tipo de residuo o agente que funcione para grandes cantidades de corte de césped y poda de árboles correspondientes a la mayor cantidad de residuo producido en la universidad teniendo una relación aproximada de 10 a 1 con respecto a los residuos de alimentos.

## Referencias

ACODAL. Sepúlveda, L., Alvarado, J. (2013). *Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Sistemas de Compostaje y Lombricultura en el Valle de Aburrá*. Medellín: ACODAL Seccional Noroccidente. 1er ed.

Arafat, H.A., Jijakli, K. y Ahsan A. (2015). *Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment*. Journal of cleaner production, 105, pp. 233-240

AS 4454-2003, Australian Standard Compost, Soil Conditioners and Mulches. (1999). Standards Australia International. Australia

ASCP Guidelines 2001, Quality criteria for composts and digestates from biodegradable waste management. (2001) Association of Swiss Compost Plants (ASCP). Suiza.

Barreira, L.P, Philippi, J., A., Rodrigues et al. (2008). *Physical analyses of compost from composting plants in Brazil*, Waste Management, 28(8), pp. 1417–1422.

Beltran, D. (2017). *Consolidado generación de residuos 2017 ECI*. Oficina Seguridad y Salud en el trabajo Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá.

*Biodigestores comienzan a tomar fuerza en Colombia*. (24 de mayo de 2017). CONtexto ganadero. Recuperado de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/biodigestores-comienzan-tomar-fuerza-en-colombia> el 27 de octubre de 2018.

Butler, J.H. and S.A. Montzka. (2018). *The National Oceanic and Atmospheric Administration Annual Greenhouse Gas Index (AGGI)*, Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html> el 11 de noviembre de 2018.

Cadavid, R., L.S. y Bolaños, V., I.V. (2015) *Aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de energía renovable en una ciudad colombiana*. Revista energética, 46, pp. 23-28

Camargo, Y. y Vélez, A. (septiembre, 2009). *Emisiones de biogas producidas en rellenos sanitarios*. En II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Red de ingeniería en Saneamiento ambiental, Barranquilla Recuperado de

<http://www.redisa.net/doc/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Emisiones%20de%20biog%C3%A1s%20producidas%20en%20rellenos%20sanitarios.pdf> el 10 de noviembre de 2018.

Chang, J. I., & Hsu, T.-E. (2008). *Effects of compositions on food waste composting*. *Bioresource Technology*, 99(17), pp. 8068–8074.

Chávez, A., Rodríguez A. (2016). *Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales en Iberoamérica*. *Revista Academia & Virtualidad*, 9(2), pp. 90-107.

Cerda, A., Artola, A., Font et al (2018). *Composting of food wastes: Status and challenges*. *Bioresource Technology*, 248(A), pp. 57–67.

Cornell Waste Management Institute. (1995). *The compost Process. Municipal Yard Waste Composting Operator's Fact Sheet*. Recuperado de <http://cwmi.css.cornell.edu/composting.htm> el 12 de agosto de 2017.

Correal M. (2011), *ponencia exporesiduos, 2011*. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

Department of Microbiology of Tamil Nadu Agricultural University. (2016). *Biofertilizers*. Recuperado de: [http://agritech.tnau.ac.in/org\\_farm/orgfarm\\_biofertilizertechology.html](http://agritech.tnau.ac.in/org_farm/orgfarm_biofertilizertechology.html) el 13 de noviembre de 2018.

*El ICA socializa con agricultores las guías de elaboración de abonos orgánicos*. (28 de octubre de 2015). Instituto Colombiano Agropecuario. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Noticias/Agricola/2015/El-ICA-socializa-con-agricultores-las-guias-de-ela.aspx> el 28 de noviembre de 2018.

European Biogas Association. (2014). *Biogas report 2014*. Recuperado de <http://european-biogas.eu/2014/12/16/4331/> el 27 de octubre de 2018.

Eurostat. (2018). *Municipal waste statistics in 2016*. Recuperado de [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal\\_waste\\_statistics#Municipal\\_waste\\_treatment](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics#Municipal_waste_treatment) el 8 de diciembre de 2018.

Franco, N., Cárdenas, B. (2017). *Vida útil del Doña Juana puede ser cinco años*. Emisora La Fm. Recuperado de <https://www.lafm.com.co/bogota/director-la-car-vida-util-del-dona-juana-puede-cinco-anos>

Guo, R., Li, G., Jiang et al. (2012). *Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost*. *Bioresource Technology*, 112, pp. 171–178.

Huang, H. y Tang, L. (2007) *Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology*. *Energy Conversion and Management*, 48 (4), pp. 1331 – 1337.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). *Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático CMNUCC*. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023732/RESUMEN\\_EJECUTIVO\\_T\\_CNCC\\_COLOMBIA.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023732/RESUMEN_EJECUTIVO_T_CNCC_COLOMBIA.pdf) el 15 de septiembre de 2018.

ISO 7851-1983. Fertilizers and soil conditioners. Classification. (1983). International Organization for Standardization.

Khalid, A., Arshad, M., Anjum, et al (2011). *The anaerobic digestion of solid organic waste*. *Waste Management*, 31(8), pp. 1737–1744.

Kumar, M., Ou, Y-L. y L., & Lin, J-G. (2010). *Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio*. *Waste Management*, 30(4), pp. 602–609.

Li, Z., Lu, H., Ren et al. (2013). *Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review*. *Chemosphere*, 93(7), pp. 1247–1257.

Li, L., Peng, X., Wang et al. (2018). *Anaerobic digestion of food waste: A review focusing on process stability*. *Bioresource Technology*, 248 (A), pp. 20–28.

López – Real, J., Foster, M., (1985). *Plant pathogen survival during composting of agricultural waste*. En: Gasser, J.K.R (Ed.), *Composting of Agricultural Wastes*. Elsevier Applied Science, London, pp. 291-299.

Lorenzo A., Y. y Obaya A, M.C., (2005). *La digestión anaerobia, Aspectos teóricos. Parte I*. *ICIDCA Sobre los derivados de la Caña de Azúcar*, XXXIX(1), pp. 35-48

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2008). *Manual de Compostaje*. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24\\_tcm30-185556.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf) el 19 de mayo de 2018.

NCh2880.Of2004, Compost – Clasificación y requisitos. (2004). División de normas del Instituto Nacional de Normalización. Chile.

Nema, S.K., Jain, V., Ganeshprasad et al (2016). Plasma Pyrolysis Technology and its Evolution at FCIPT. Institute for Plasma Research. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/298721448\\_Plasma\\_Pyrolysis\\_Technology\\_and\\_its\\_Evolution\\_at\\_FCIPT\\_Institute\\_for\\_Plasma\\_Research\\_India](https://www.researchgate.net/publication/298721448_Plasma_Pyrolysis_Technology_and_its_Evolution_at_FCIPT_Institute_for_Plasma_Research_India) el 6 de octubre de 2018.

NF U44-095, Norme Francaise. Amendments Organiques Composts contenant des matieres d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux. (2002). AFNOR. France

NTC 1927, *Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas*. (1997). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Colombia.

NTC 5167, *Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*. (2004). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Colombia.

NTEA-006-sma-rs-2006, Norma técnica estatal ambiental que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. (2006). Secretaria del medio ambiente. México.

Q&A: Waste incineration. (14 de febrero de 2006). BBC News. Recuperado de <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4622484.stm> el 10 de noviembre del 2018.

Román, P., Martínez, M.M. y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf> el 13 de abril de 2017.

Saraiva, S., A.B., Wenzel, H. y la Cour, J., J. (2016). *Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management – an analytical review*. Journal of Cleaner Production, 119, pp. 13–24.

Stentiford, E. (1996). *Composting control: principles and practice*. En: de Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (Eds), *The science of composting, Part 1*. Blackie, Glasgow Editorial Springer Science Business Media. pp. 56 – 59.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, (2016). *Infografía disposición residuos en el 2015*, Departamento Nacional de Planeación DNP.

Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Ed. McGraw Hill. Madrid, España.

Tetra Tech EBA Inc. (2016). *Waste Composition Monitoring Program*. Recuperado de [http://www.metrovancouver.org/services/solid-waste/SolidWastePublications/2015\\_Waste\\_Composition\\_Report.pdf](http://www.metrovancouver.org/services/solid-waste/SolidWastePublications/2015_Waste_Composition_Report.pdf) el 8 de diciembre de 2018.

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. (2014). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de métodos de compostaje y lombricultura*. Recuperado de [http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP\\_SR.pdf](http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf) el 15 de abril de 2018.

United States Environmental Protection Agency. (2018). *Advancing Sustainable Materials Management: 2015 Fact Sheet, Assessing Trends in Material Generation, Recycling, Composting, Combustion with Energy Recovery and Landfilling in the United States*. Recuperado de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-07/documents/2015\\_smm\\_msw\\_factsheet\\_07242018\\_fnl\\_508\\_002.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-07/documents/2015_smm_msw_factsheet_07242018_fnl_508_002.pdf) el 13 de octubre de 2018.

United States Environmental Protection Agency. (2017). *Reducing the Impact of Wasted Food by Feeding the Soil and Composting*. Recuperado de <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting> el 2 de Agosto de 2018

University of Plymouth (2005). *Composting food wastes 1. Scientific aspects*. Recuperado de

<http://www.research.plymouth.ac.uk/pass/Research/Scientific%20aspects%20of%20food%20waste%20composting.pdf> el 10 de octubre de 2018.

Yale School of Forestry & Environmental Studies. (2013). *Incineration Versus Recycling; In Europe, A Debate Over Trash*. Recuperado de

[https://e360.yale.edu/features/incineration\\_versus\\_recycling\\_in\\_europe\\_a\\_debate\\_over\\_trash](https://e360.yale.edu/features/incineration_versus_recycling_in_europe_a_debate_over_trash) el 15 de noviembre de 2018.

Virginia Polytechnic Institute and State University. (2009). *On – Farm Composting. A guide to Principles, Planning & Operations*. Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/237698064\\_ON\\_FARM\\_COMPOSTING\\_A\\_GUIDE\\_TO\\_PRINCIPLES\\_PLANNING\\_AND\\_OPERATIONS](https://www.researchgate.net/publication/237698064_ON_FARM_COMPOSTING_A_GUIDE_TO_PRINCIPLES_PLANNING_AND_OPERATIONS) el 15 de agosto de 2017.

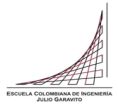
World Meteorological Organization. (2018). *The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observation through 2017*. Recuperado de

[https://gallery.mailchimp.com/daf3c1527c528609c379f3c08/files/4abeac4d-dd29-47fe-9857-c352a707c81f/GHG\\_Bulletin\\_14\\_EN\\_print.pdf](https://gallery.mailchimp.com/daf3c1527c528609c379f3c08/files/4abeac4d-dd29-47fe-9857-c352a707c81f/GHG_Bulletin_14_EN_print.pdf) el 8 de octubre de 2018.

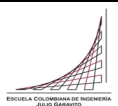
## Anexos

### Anexo 1. Formatos cuantificación de residuos

#### Cuantificación residuos Café Planet (K1)

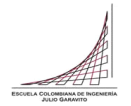
Cuantificación Residuos Biodegradables						
	Nombre de establecimiento: <b>Café Planet (K1)</b>				Fecha inicio:	<b>08/08/2017</b>
	Nombre del responsable: <b>Gladys Hernandez</b>				Fecha cierre:	<b>29/08/2017</b>
	Numero	Tipo de residuo	Cantidad	Unidad	Manejo que se da*	Firma responsable
08/08/2017	Organico	3,4	kg	Elaboración de abono organico por medio de compostaje tecnificado	Gladys Hernández	
09/08/2017	Organico	3,45	kg			
10/08/2017	Organico	3,41	kg			
11/08/2017	Organico	3,4	kg			
14/08/2017	Organico	3,41	kg			
15/08/2017	Organico	3,4	kg			
16/08/2017	Organico	3,43	kg			
17/08/2017	Organico	3,38	kg			
18/08/2017	Organico	3,42	kg			
22/08/2017	Organico	3,4	kg			
23/08/2017	Organico	3,46	kg			
24/08/2017	Organico	3,39	kg			
25/08/2017	Organico	3,41	kg			
28/08/2017	Organico	3,38	kg			
29/08/2017	Organico	3,43	kg			

#### Cuantificación residuos Delirapid (K2).

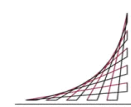
Cuantificación Residuos Biodegradables						
	Nombre de establecimiento: <b>Delirapid (K2)</b>				Fecha inicio:	<b>08/08/2017</b>
	Nombre del responsable: <b>Gloria M. R. de Medina</b>				Fecha cierre:	<b>29/08/2017</b>
	Numero	Tipo de residuo	Cantidad	Unidad	Manejo que se da*	Firma responsable
07/08/2017	Organico	35	kg	Se lleva y se entrega a empresa de aseo	Gloria M. R. de Medina	
08/08/2017	Organico	33	kg			
09/08/2017	Organico	40	kg			
10/08/2017	Organico	32	kg			
11/08/2017	Organico	37	kg			
12/08/2017	Organico	33	kg			
14/08/2017	Organico	29	kg			
15/08/2017	Organico	29	kg			
16/08/2017	Organico	36	kg			
17/08/2017	Organico	34	kg			
18/08/2017	Organico	37	kg			
19/08/2017	Organico	10	kg			
22/08/2017	Organico	34	kg			
23/08/2017	Organico	40	kg			
24/08/2017	Organico	37	kg			
25/08/2017	Organico	32	kg			
26/08/2017	Organico	39	kg			
28/08/2017	Organico	42	kg			
29/08/2017	Organico	35	kg			



### Cuantificación residuos Harvie's (K3).

Cuantificación Residuos Biodegradables						
	Nombre de establecimiento: <b>HARVIE'S (K3)</b>				Fecha inicio:	<b>08/08/2017</b>
	Nombre del responsable: <b>Oscar Medina Roman</b>				Fecha cierre:	<b>31/08/2017</b>
Numero	Tipo de residuo	Cantidad	Unidad	Manejo que se da*	Firma responsable	
08/08/2017	Organico	4	kg	Se lleva y se entrega a empresa de aseo	Oscar Medina Roman	
09/08/2017	Organico	5	kg			
10/08/2017	Organico	5	kg			
11/08/2017	Organico	6	kg			
14/08/2017	Organico	6	kg			
15/08/2017	Organico	6,7	kg			
16/08/2017	Organico	4	kg			
17/08/2017	Organico	4,8	kg			
18/08/2017	Organico	5	kg			
22/08/2017	Organico	4,3	kg			
23/08/2017	Organico	6	kg			
24/08/2017	Organico	5,7	kg			
25/08/2017	Organico	5	kg			
28/08/2017	Organico	5,3	kg			
29/08/2017	Organico	6,2	kg			
30/08/2017	Organico	4,5	kg			
31/08/2017	Organico	6,5	kg			

### Cuantificación residuos Dialimentos S.A.S.

Cuantificación Residuos Biodegradables						
	Nombre de establecimiento: <b>Dialimentos SAS</b>				Fecha inicio:	<b>08/08/2017</b>
	Nombre del responsable: <b>Esperanza P.</b>				Fecha cierre:	<b>29/08/2017</b>
Numero	Tipo de residuo	Cantidad	Unidad	Manejo que se da*	Firma responsable	
08/08/2017	Organico	125	kg	Compostaje	Esperanza P.	
09/08/2017	Organico	111	kg			
10/08/2017	Organico	128	kg			
11/08/2017	Organico	110	kg			
12/08/2017	Organico	5,1	kg			
14/08/2017	Organico	98	kg			
15/08/2017	Organico	128,8	kg			
16/08/2017	Organico	129	kg			
17/08/2017	Organico	120,3	kg			
18/08/2017	Organico	123	kg			
19/08/2017	Organico	4,8	kg			
22/08/2017	Organico	125	kg			
23/08/2017	Organico	126,2	kg			
24/08/2017	Organico	129	kg			
25/08/2017	Organico	117	kg			
26/08/2017	Organico	3	kg			
28/08/2017	Organico	99,5	kg			
29/08/2017	Organico	116,4	kg			

## Cuantificación residuos de poda

Cuantificación de residuos de corte de césped y poda de árboles								Peso específico (kg/m3):	109,8
Fecha	Actividades realizadas	Área trabajada	Viajes realizados	Si se realiza en tractor			Cantidad generada m3	Cantidad generada kg	
				Dimensiones					
				Ancho	Largo	Alto			
01/08/2017	Desyerbar jardín	Porteria peatonal	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
	Corte	Calle 200	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
	Corte prados	Casona #1	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
<b>Total:</b>							<b>10,31</b>	<b>1132</b>	
02/08/2017	Corte y barrido de prados	Lado deportes	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
		Casona #2	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Cargue y descargue	Cancha baloncesto	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
		R. Invernadero	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
<b>Total:</b>							<b>13,90</b>	<b>1526</b>	
03/08/2017	Corte de podadora	F. coliseo	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
	Barrida amontonado	F. Coliseo	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
	Corte guadaña	F. coliseo	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
	Corte podadora	Canchas voleibol	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
<b>Total:</b>							<b>13,45</b>	<b>1477</b>	
04/08/2017	Bordeo guadaña	F. coliseo	1	1,52	2,95	0,6	2,69	295	
	Arreglo	jardín frente coliseo	1	1,52	2,95	0,6	2,69	295	
<b>Total:</b>							<b>5,38</b>	<b>591</b>	
08/08/2017	Arreglo jardín y poda	Porteria peatonal	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
	Barrida hojas	Todo lote A	1	1,52	2,95	0,6	2,69	295	
	Poda con podadora	F. coliseo	1	1,52	2,95	0,6	2,69	295	
	Poda segundo cargue	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
<b>Total:</b>							<b>12,56</b>	<b>1379</b>	
09/08/2017	Desyerbar jardín	Alrededores lotes A - B	1	1,52	2,95	0,6	2,69	295	
	Poda	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Poda con guadaña	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
<b>Total:</b>							<b>10,76</b>	<b>1182</b>	
10/08/2017	Poda y jardinería	Lados B - F	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
	Corte y poda	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte pasto	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
<b>Total:</b>							<b>11,66</b>	<b>1280</b>	
16/08/2017	Corte y poda	Alrededores B	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
		A - C	1	1,52	2,95	0,6	2,69	295	
		Calle 200	1	1,52	2,95	0,85	3,81	418	
		Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
<b>Total:</b>							<b>13,68</b>	<b>1502</b>	
17/08/2017	Corte y arreglo jardín	Alrededores G - A	1	1,52	2,95	0,6	2,69	295	
	Corte y poda	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte y poda	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte bordes	Frente coliseo	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
	Corte pasto	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
<b>Total:</b>							<b>17,94</b>	<b>1969</b>	
18/08/2017	Corte	Casona #1	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte	Casona #1	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
	Corte	Lado UAR	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
<b>Total:</b>							<b>11,21</b>	<b>1231</b>	
22/08/2017	Corte y poda	Entre porterias	1	1,52	2,95	0,6	2,69	295	
	Corte pasto	B - F	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
	Corte pasto	Lote B - alrededores canchas	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte pasto	Lote B - alrededores canchas	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
<b>Total:</b>							<b>13,90</b>	<b>1526</b>	
23/08/2017	Corte pasto	Casona #1	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte y poda	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte	Casona #1	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
<b>Total:</b>							<b>15,69</b>	<b>1723</b>	
24/08/2017	Poda pinos	Casona #2	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte pasto	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte pasto	Canchas Lote B	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
	Corte pasto	Canchas Lote B	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
<b>Total:</b>							<b>15,69</b>	<b>1723</b>	
25/08/2017	Corte pasto	Casona #1 y #2	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
		Casona #1 y #2	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
		Casona #1 y #2	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
		Bloque I	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
<b>Total:</b>							<b>15,69</b>	<b>1723</b>	
28/08/2017	Barrido hojas	Todo el campus	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte pasto	Calle 200	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte	Camino al coliseo	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Corte	Lote B parte norte canchas	1	1,52	2,95	0,6	2,69	295	
<b>Total:</b>							<b>14,80</b>	<b>1625</b>	
29/08/2017	Corte pasto	Camino al coliseo	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
	Corte pasto	Lote B parte norte canchas	1	1,52	2,95	0,9	4,04	443	
	Poda arboles	Frente bloque I	1	1,52	2,95	0,7	3,14	345	
	Corte pasto	Frente coliseo	1	1,52	2,95	0,8	3,59	394	
<b>Total:</b>							<b>14,35</b>	<b>1575</b>	

## Anexo 2. Caracterización de residuos de poda de árboles y corte de césped

TIPO DE RESIDUO	CANECAS	PESO / CANECA	PESO TOTAL	VOLUMEN		PESO ESPECIFICO
	#	kg	kg	Litros	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Hoja y poda de árboles húmedas	14	8,7	121,8	910	0,91	133,8
Hojas secas y pasto	48,5	6,2	300,7	3152,5	3,1525	95,4
Pasto húmedo	6	9,2	55,2	390	0,39	141,5
Pasto seco	43	7,4	318,2	2795	2,795	113,8
<b>TOTAL</b>			<b>795,9</b>		<b>7,2475</b>	<b>109,8</b>

TIPO DE RESIDUO	PLATON	PLATON + MUESTRA	PESO SECO	HUMEDAD	% DEL TOTAL
	g	g	g	%	%
Hoja y poda de árboles húmedas	288	631,7	550,5	31	<b>15,3</b>
Hojas secas y pasto	115	199,9	171,9	49	<b>37,8</b>
Pasto húmedo	106,1	224,5	192,3	37	<b>6,9</b>
Pasto seco	292,7	546	498,7	23	<b>40,0</b>
<b>TOTAL</b>					<b>100,0</b>

## Anexo 3. Formatos para el seguimiento a parámetros durante el proceso

Versión 1

COMPOSTADOR SIN COCINADOS									
		SEMANA 1							
FECHA INICIAL	PARÁMETRO	MI	J	V	S	D	L	M	
	Temperatura								
	Tem. Promedio								
	pH								
	pH. Promedio								
	Humedad								
	Hum. Promedio								
	Temperatura								
	Tem. Promedio								
	pH								
	pH. Promedio								
	Humedad								
	Hum. Promedio								
	Temperatura								
	Tem. Promedio								
	pH								
	pH. Promedio								
	Humedad								
	Hum. Promedio								

COMPOSTADOR SIN COCINADOS											
DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO	SEMANA 2									
		MI	J	V	S	D	L	M			
	Temperatura										
	Tem. Promedio										
	pH										
	pH. Promedio										
	Humedad										
	Hum. Promedio										
	Temperatura										
	Tem. Promedio										
	pH										
	pH. Promedio										
	Humedad										
	Hum. Promedio										
	Temperatura										
	Tem. Promedio										
	pH										
	pH. Promedio										
	Humedad										
	Hum. Promedio										
	Temperatura										
	Tem. Promedio										
	pH										
	pH. Promedio										
	Humedad										
	Hum. Promedio										

Versión 2

Para facilitar el proceso de digitalización de los datos se decidió manejar el siguiente formato:

**RESIDUOS CRUDOS O SIN COCINAR**

# MONTAJE \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_

DESCRIPCIÓN \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0													
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36													
37													

día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
38													
39													
40													
41													
42													
43													
44													
45													
46													
47													
48													
49													
50													
51													
52													
53													
54													
55													
56													
57													
58													
59													
60													
61													
62													
63													
64													
65													
66													
67													
68													
69													
70													
71													
72													
73													
74													
75													
76													
77													
78													
79													
80													
81													
82													
83													
84													
85													

## Anexo 4. Norma NTC 5167

Fertilizantes o abonos orgánicos, orgánico minerales y enmiendas orgánicas															
Fertilizantes o abonos orgánicos															
Clasificación del producto	Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)												
1	2	3	4												
Abono orgánico	Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdidas por volatilización % *</li> <li>• Contenido de cenizas máximo 60 % *</li> <li>• Contenido de humedad *:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para materiales de origen animal, máximo 20 %</li> <li>- Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %</li> <li>- Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante.</li> </ul> </li> <li>• Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 %</li> <li>• N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%)</li> <li>• Relación C/N</li> <li>• Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg<sup>-1</sup> (meq/100 g)</li> <li>• Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso</li> <li>• pH mayor de 4 y menor de 9</li> <li>• Densidad máximo 0,6 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• Límites máximos en mg/kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación:               <table border="0"> <tr><td>Arsénico (As)</td><td>41</td></tr> <tr><td>Cadmio (Cd)</td><td>39</td></tr> <tr><td>Cromo (Cr)</td><td>1 200</td></tr> <tr><td>Mercurio (Hg)</td><td>17</td></tr> <tr><td>Níquel (Ni)</td><td>420</td></tr> <tr><td>Plomo (Pb)</td><td>300</td></tr> </table> </li> <li>• Se indicará la materia prima de la cual procede el producto</li> </ul>	Arsénico (As)	41	Cadmio (Cd)	39	Cromo (Cr)	1 200	Mercurio (Hg)	17	Níquel (Ni)	420	Plomo (Pb)	300	Contenido de carbono orgánico oxidable total (%C) Humedad máxima (%) Contenido de cenizas (%) Capacidad de intercambio catiónico (cmol(+) kg <sup>-1</sup> ) (meq/100 g) Capacidad de Retención de Humedad (%) pH Contenido de Nitrógeno Total (% N) Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Arsénico (As)	41														
Cadmio (Cd)	39														
Cromo (Cr)	1 200														
Mercurio (Hg)	17														
Níquel (Ni)	420														
Plomo (Pb)	300														
		* La suma de estos parámetros debe ser 100													

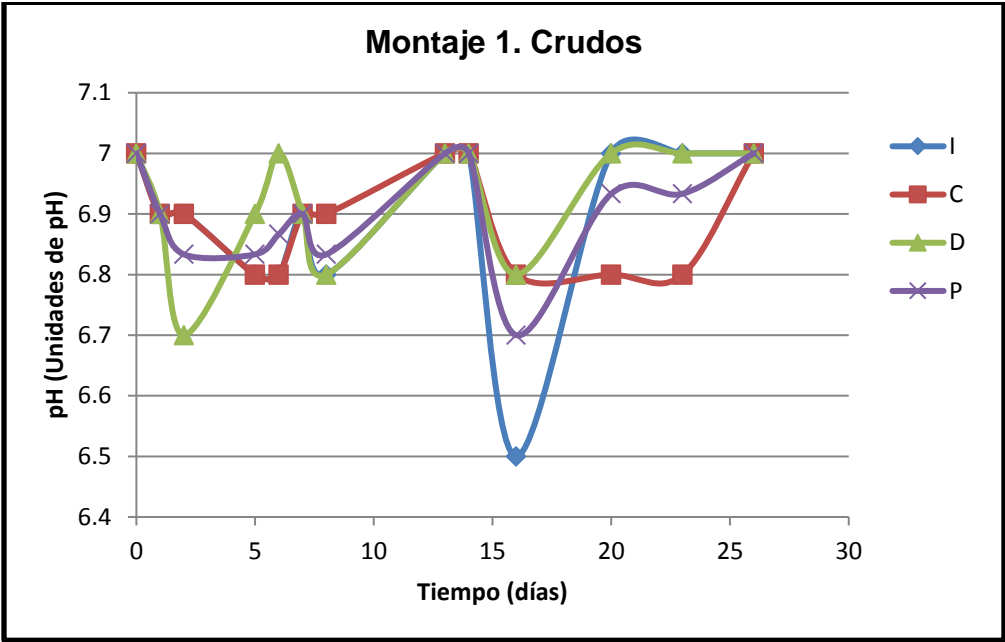
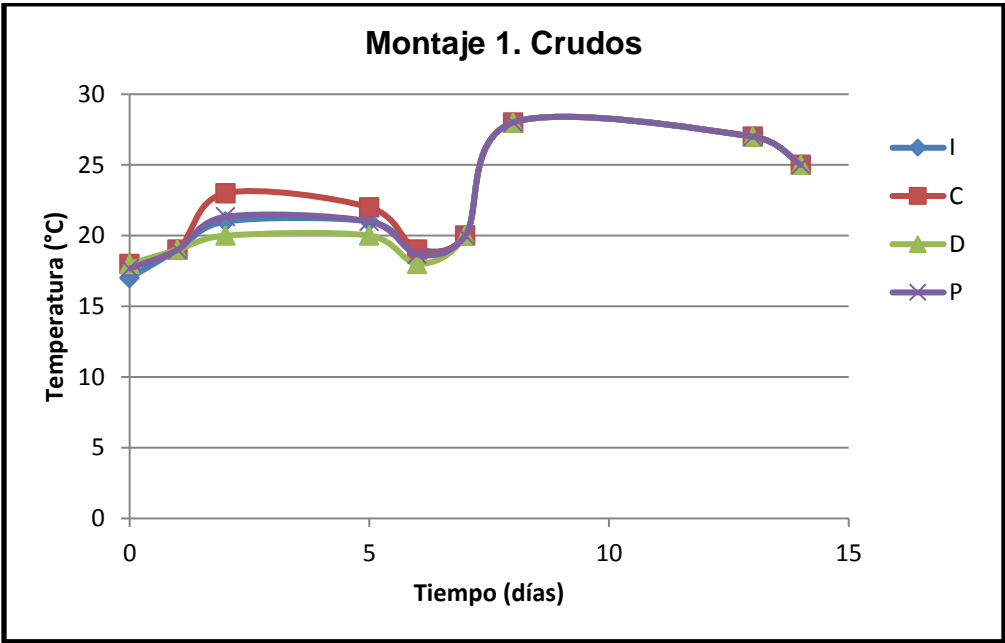
## Anexo 5. Resultados obtenidos

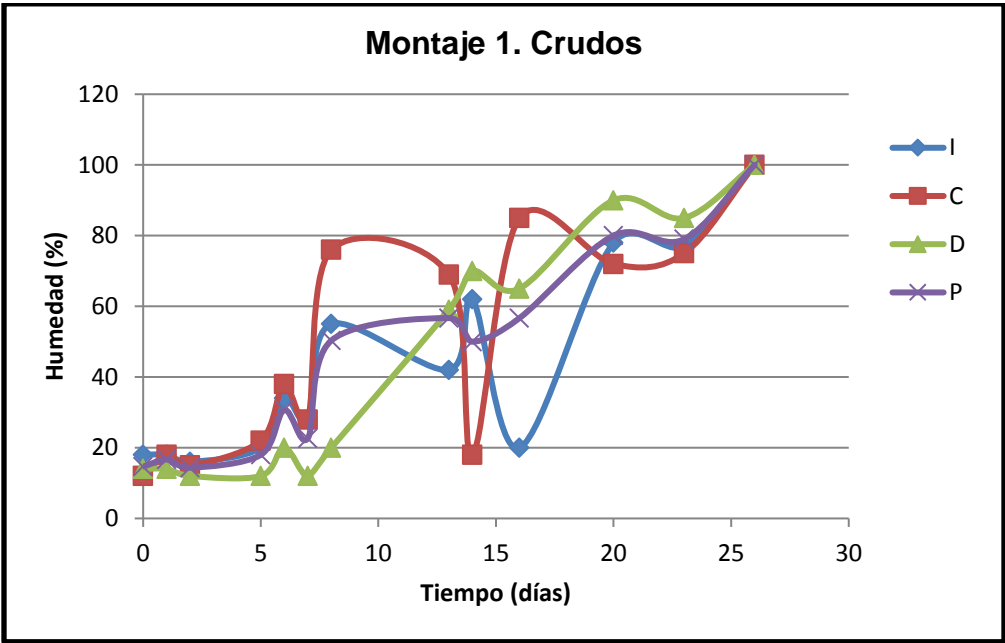
### Montaje 1. Residuos de frutas y verduras

Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N	
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)
Residuos de frutas y verduras	4.44	70	1.33	477.87	17.50	9.29	56.00	0.75	1.40	0.02
Corte de Césped	2.18	12	1.92	114.06	36.00	19.11	58.00	1.11	3.40	0.07
Poda de árboles	0	12	0.00	0.00	0.00	0.00	49.80	0.00	3.10	0.00
	% H	50.90			Vol. total:	28.405	C:	1.86	N:	0.08
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )						
Residuos de frutas y verduras	8.88	477.87	0.35	0.019			Relación C:N	22.16		
Corte de Césped	2.18	114.06	0.36	0.019						
Poda de árboles	0	0.00	0	0.000						

RESIDUOS CRUDOS O SIN COCINAR													
# MONTAJE		1											
FECHA		20/06/2018											
DESCRIPCIÓN		No hay residuos de poda de árboles, se agrega 1 caneca de pasto = Y media de residuos de cáscaras de fruta y de papa C/N= 22.16 H=50.90%											
día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0	20/06/2018	17	18	18	17.7	7	7	7	7	18	12	14	14.7
1	21/06/2018	19	19	19	19	6.9	6.9	6.9	6.9	18	18	14	16.7
2	22/06/2018	21	23	20	21.3	6.9	6.9	6.7	6.83	16	15	12	14.3
5	25/06/2018	21	22	20	21	6.8	6.8	6.9	6.83	20	22	12	18
6	26/06/2018	19	19	18	18.7	6.8	6.8	7	6.87	34	38	20	30.7
7	27/06/2018	20	20	20	20	6.9	6.9	6.9	6.9	28	28	12	22.7
8	28/06/2018	28	28	28	28	6.8	6.9	6.8	6.83	55	76	20	50.3
13	03/07/2018	27	27	27	27	7	7	7	7	42	69	59	56.7
14	04/07/2018	25	25	25	25	7	7	7	7	62	18	70	50
16	06/07/2018					6.5	6.8	6.8	6.7	20	85	65	56.7
20	10/07/2018					7	6.8	7	6.93	78	72	90	80
23	13/07/2018					7	6.8	7	6.93	77	75	85	79
26	16/07/2018					7	7	7	7	100	100	100	100





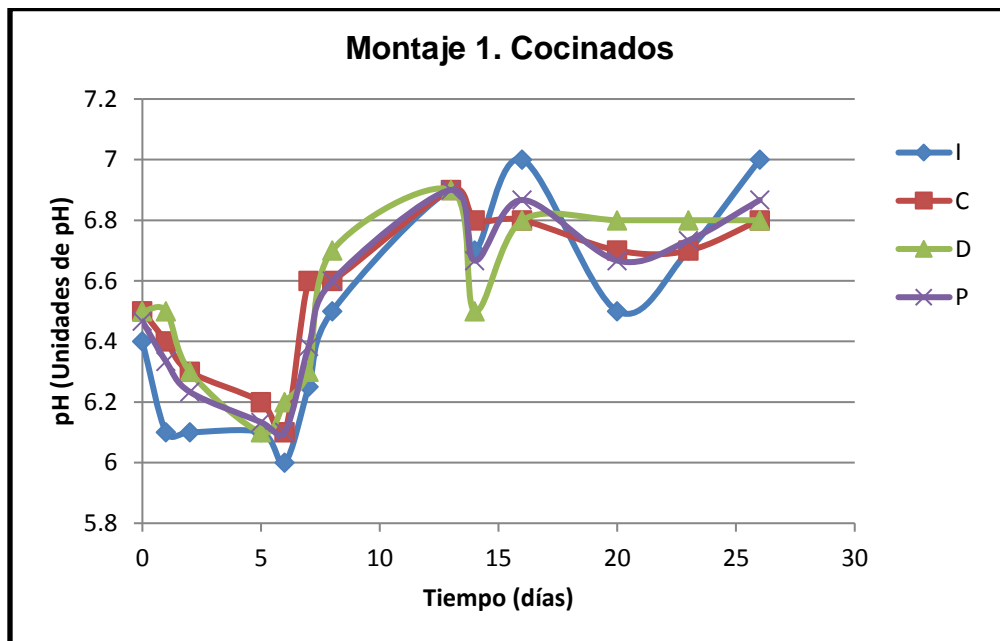
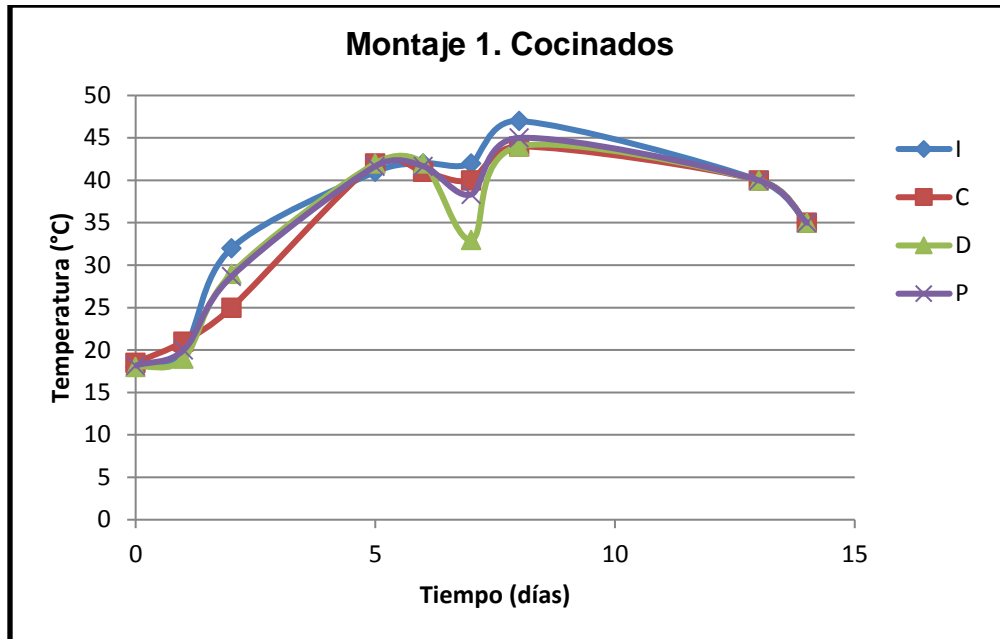


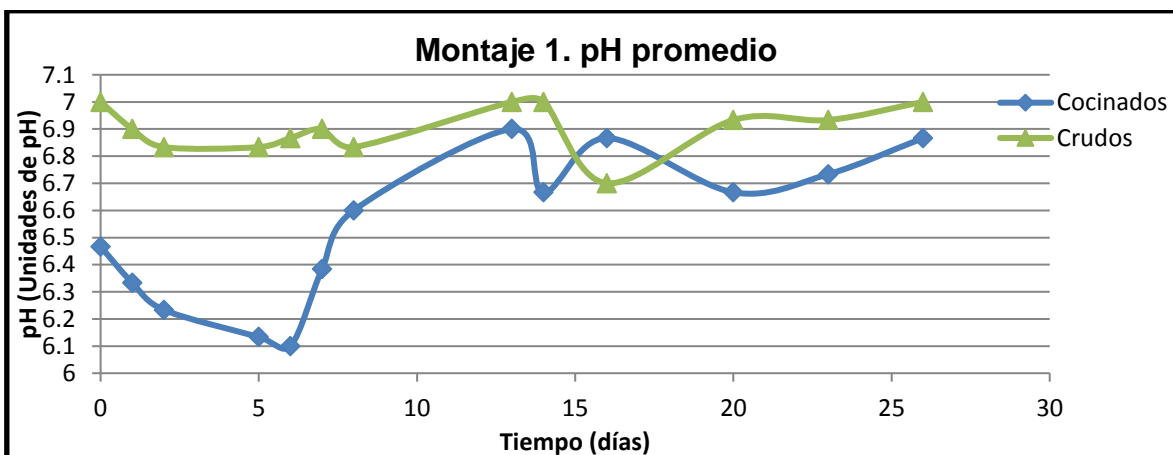
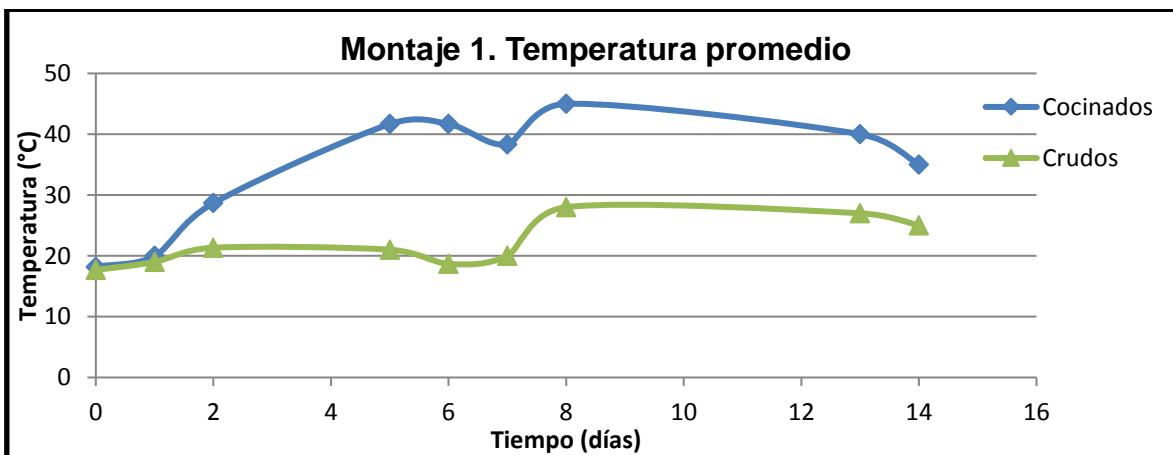
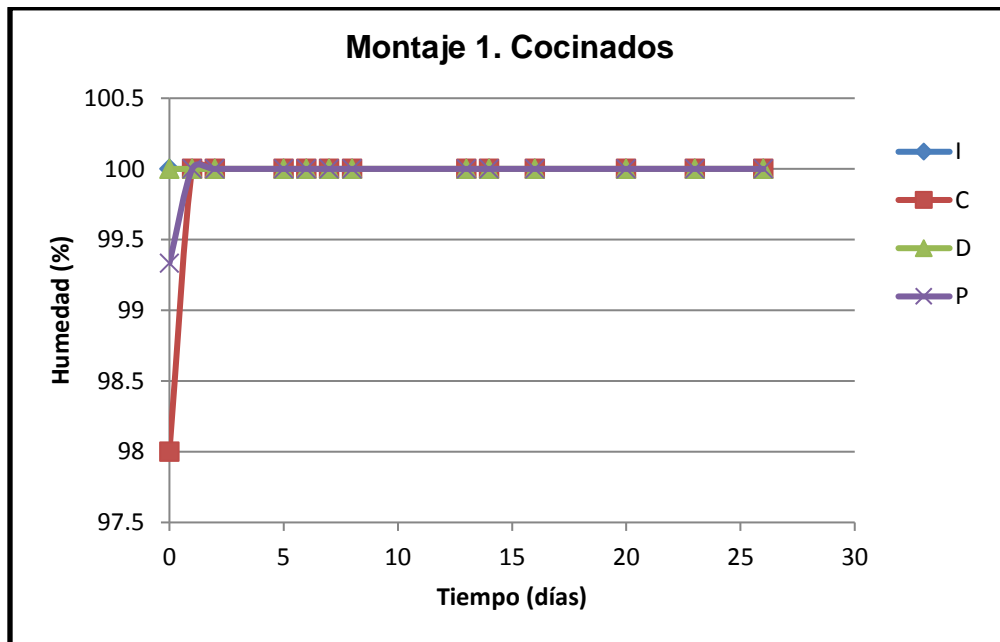
## Montaje 1. Residuos de alimentos cocinados

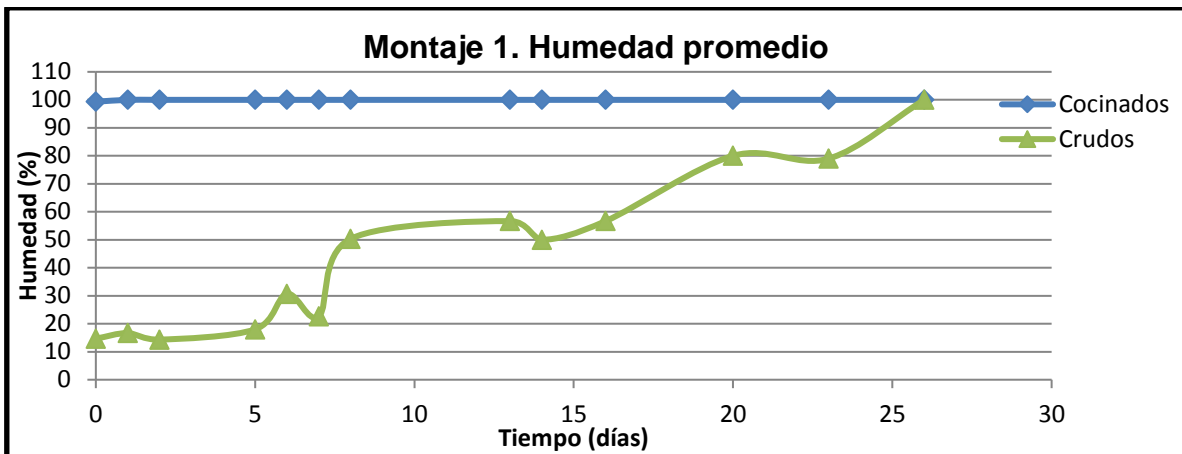
Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N		
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)	
Residuos de alimentos	15.68	95	0.78	984.44	30.00	15.93	34.95	0.27	1.88	0.01	
Residuos de frutas y verduras	4.44	70	1.33	477.87	17.50	9.29	56.00	0.75	1.40	0.02	
Corte de Césped	2.02	12	1.78	105.68	36.00	19.11	58.00	1.03	3.40	0.06	
Poda de árboles	0	12	0.00	0.00	0.00	0.00	49.80	0.00	3.10	0.00	
		% H	82.41		Vol. total:		44.333	C:	2.05	N:	0.09
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )	Relación C:N						
Residuos de alimentos	15.68	984.44	0.3	0.016	21.87						
Residuos de frutas y verduras	8.88	477.87	0.35	0.019							
Corte de Césped	2.02	105.68	0.36	0.019							
Poda de árboles	0	0.00	0	0.000							

RESIDUOS COCINADOS O PROCESADOS										
# MONTAJE	1									
FECHA	20/06/2018									
DESCRIPCIÓN	No hay residuos de poda de árboles, se agrega 1 caneca de pasto = media de residuos de cáscaras y la completa de residuos cocinados									
	Humedad bastante alta									
	C/N= 21.87					H=82.4%				

día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0	20/06/2018	18	18.5	18	18.2	6.4	6.5	6.5	6.47	100	98	100	99.3
1	21/06/2018	20	21	19	20	6.1	6.4	6.5	6.33	100	100	100	100
2	22/06/2018	32	25	29	28.7	6.1	6.3	6.3	6.23	100	100	100	100
5	25/06/2018	41	42	42	41.7	6.1	6.2	6.1	6.13	100	100	100	100
6	26/06/2018	42	41	42	41.7	6	6.1	6.2	6.1	100	100	100	100
7	27/06/2018	42	40	33	38.3	6.25	6.6	6.3	6.38	100	100	100	100
8	28/06/2018	47	44	44	45	6.5	6.6	6.7	6.6	100	100	100	100
13	03/07/2018	40	40	40	40	6.9	6.9	6.9	6.9	100	100	100	100
14	04/07/2018	35	35	35	35	6.7	6.8	6.5	6.67	100	100	100	100
16	06/07/2018					7	6.8	6.8	6.87	100	100	100	100
20	10/07/2018					6.5	6.7	6.8	6.67	100	100	100	100
23	13/07/2018					6.7	6.7	6.8	6.73	100	100	100	100
26	16/07/2018					7	6.8	6.8	6.87	100	100	100	100





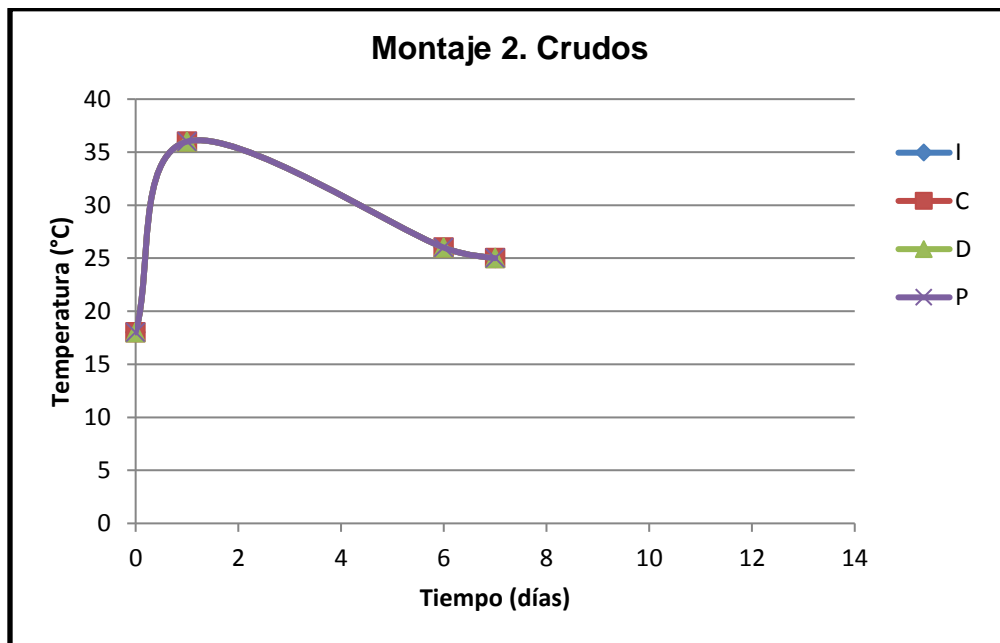


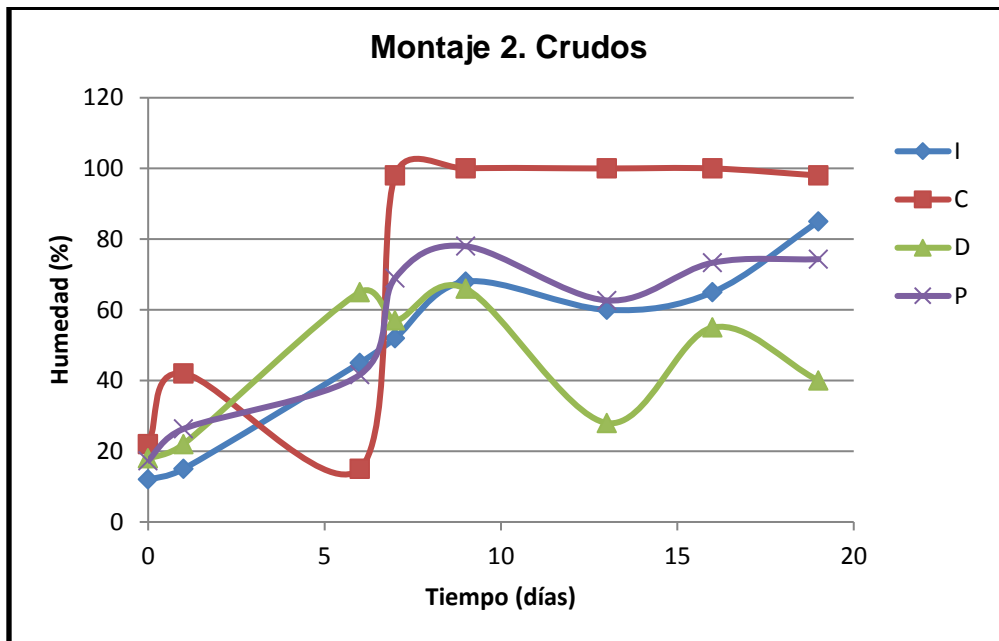
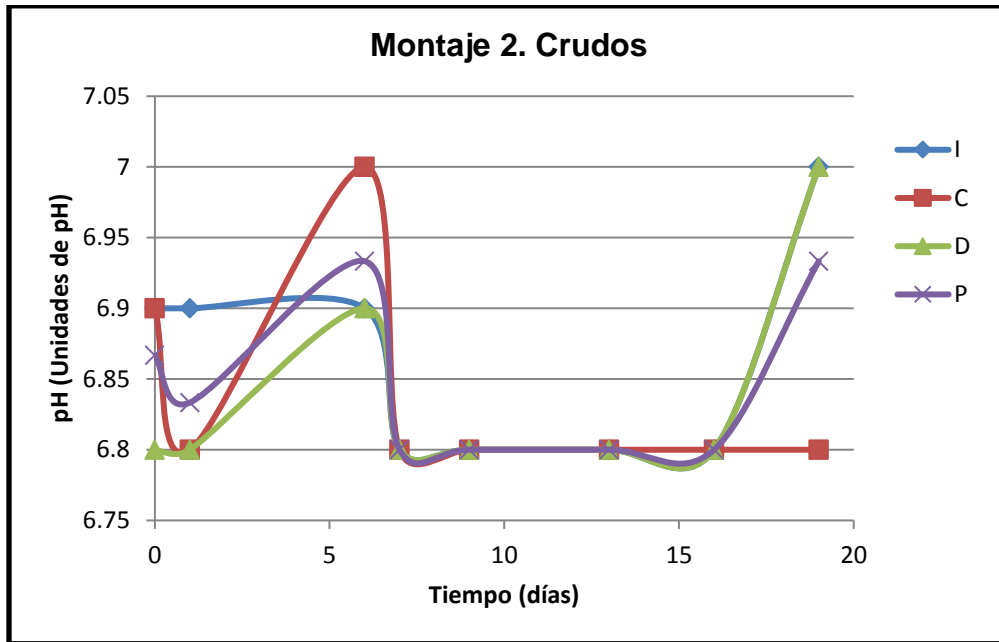
### Montaje 2. Residuos de frutas y verduras

Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N	
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)
Residuos de frutas y verduras	4.58	86	0.64	600.21	14.37	7.63	56.00	0.36	1.40	0.01
Corte de Césped	0.88	12	0.77	47.36	35.00	18.58	58.00	0.45	3.40	0.03
Poda de árboles	0.94	12	0.83	50.59	35.00	18.58	49.80	0.41	3.40	0.03
	% H	64.96			Vol. total:	44.796	C:	1.22	N:	0.06
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )						
Residuos de frutas y verduras	9.56	600.21	0.30	0.016			Relación C:N	19.24		
Corte de Césped	0.88	47.36	0.35	0.019						
Poda de árboles	0.94	50.59	0.35	0.019						

		RESIDUOS CRUDOS O SIN COCINAR											
# MONTAJE	2												
FECHA	27/06/2018												
DESCRIPCIÓN	C/N= 19.24	H=64.96%											

día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0	27/06/2018	18	18	18	18	6.9	6.9	6.8	6.87	12	22	18	17.3
1	28/06/2018	36	36	36	36	6.9	6.8	6.8	6.83	15	42	22	26.3
6	03/07/2018	26	26	26	26	6.9	7	6.9	6.93	45	15	65	41.7
7	04/07/2018	25	25	25	25	6.8	6.8	6.8	6.8	52	98	57	69
9	06/07/2018					6.8	6.8	6.8	6.8	68	100	66	78
13	10/07/2018					6.8	6.8	6.8	6.8	60	100	28	62.7
16	13/07/2018					6.8	6.8	6.8	6.8	65	100	55	73.3
19	16/07/2018					7	6.8	7	6.93	85	98	40	74.3







## Montaje 2. Residuos de alimentos cocinados

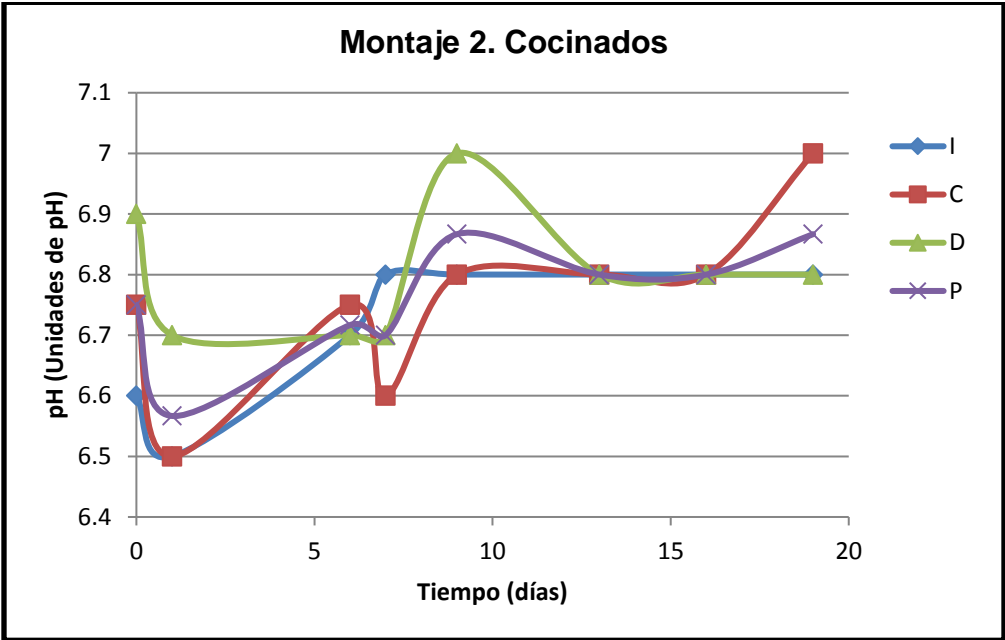
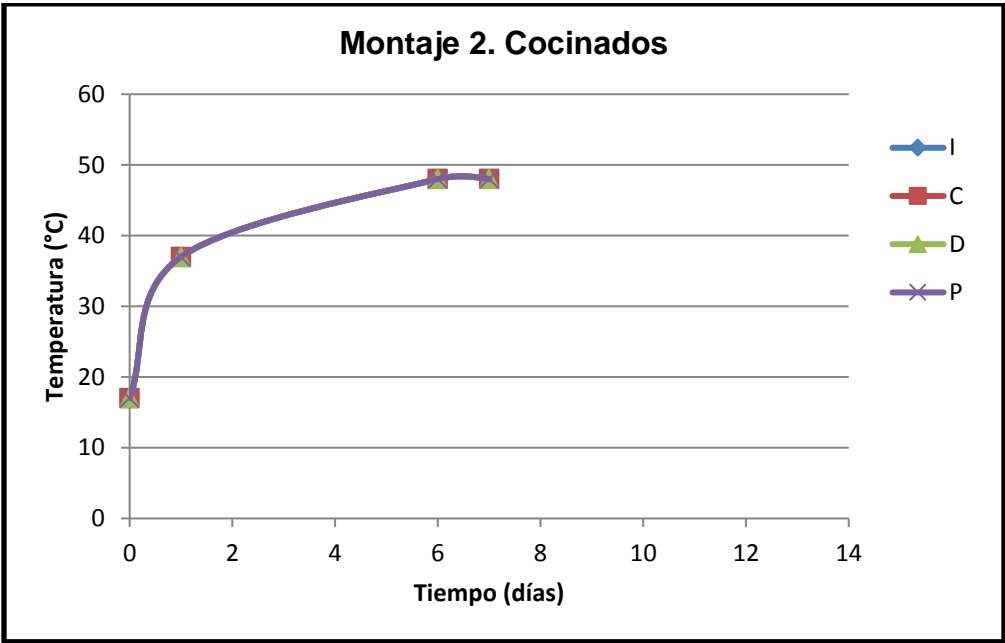
Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N		
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)	
Residuos de alimentos	7.82	87	1.02	843.80	17.46	9.27	34.95	0.36	1.88	0.02	
Residuos de frutas y verduras	4.36	86	0.61	600.21	13.68	7.26	56.00	0.34	0.10	0.00	
Corte de Césped	2.36	12	2.08	47.36	93.86	49.83	58.00	1.20	3.40	0.07	
Poda de árboles	0.94	12	0.83	50.59	35.00	18.58	49.80	0.41	0.90	0.01	
		% H	70.73		Vol. total:		84.949	C:	2.31	N:	0.10

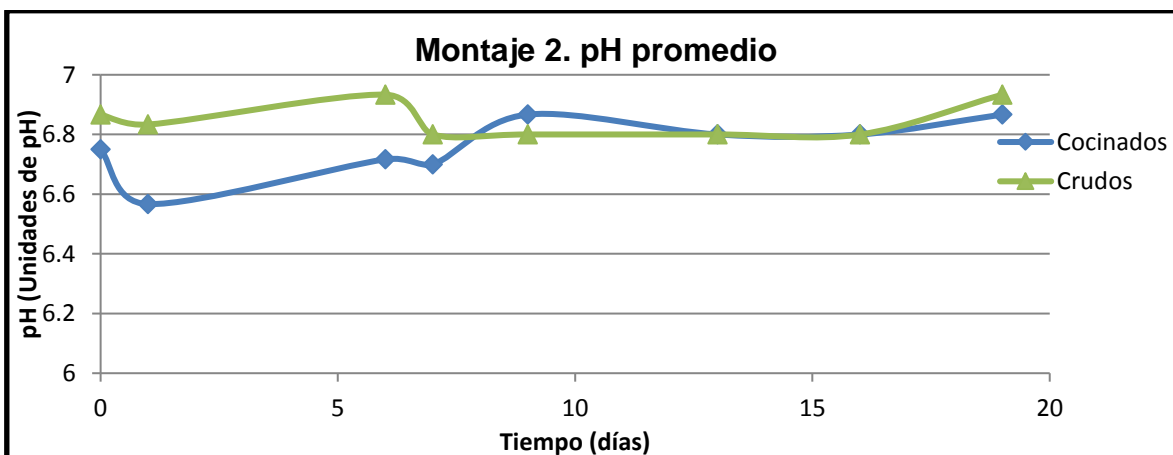
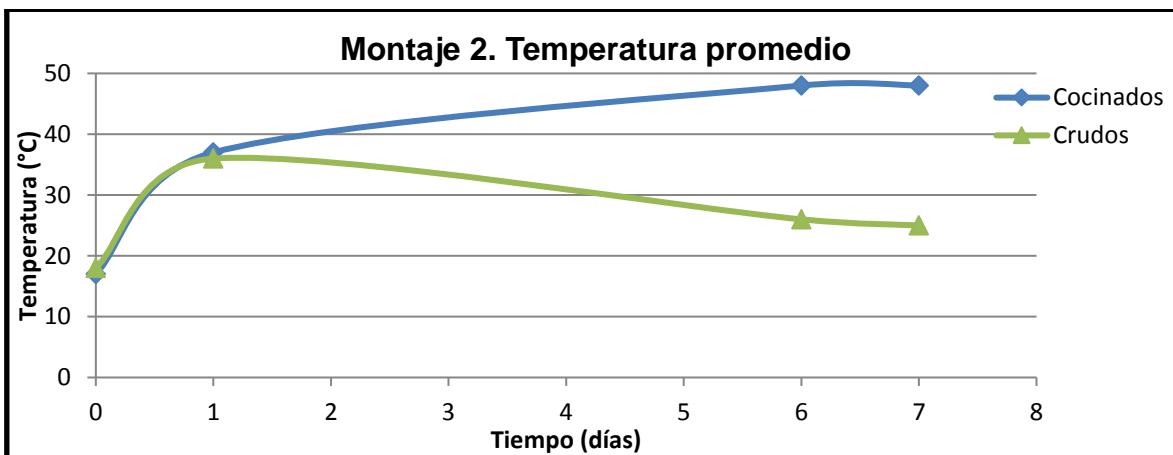
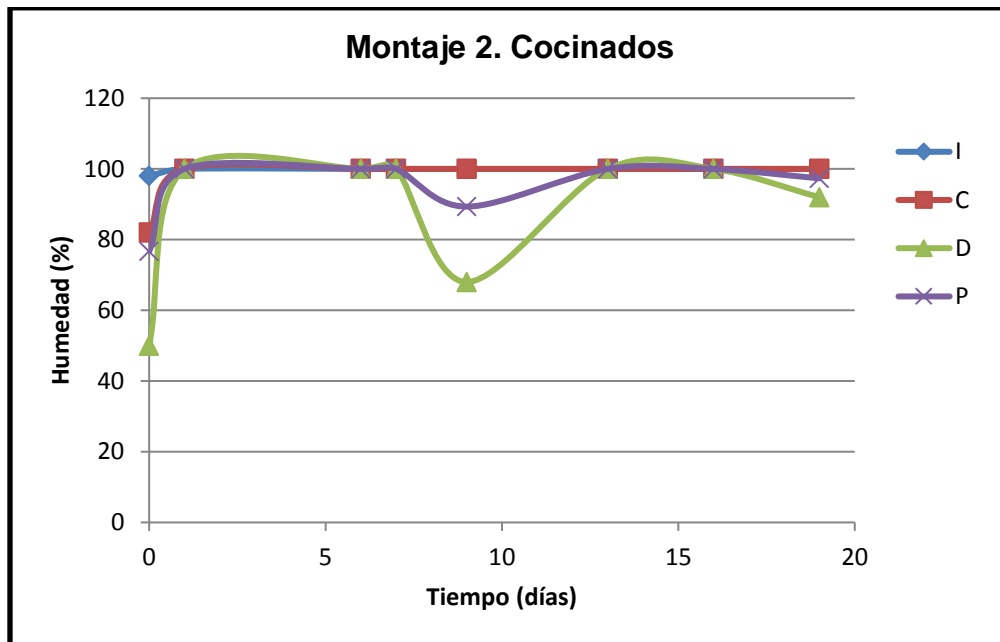
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )	Relación C:N	
Residuos de alimentos	8.96	843.80	0.2	0.011	23.67	
Residuos de frutas y verduras	9.56	600.21	0.3	0.016		
Corte de Césped	0.88	47.36	0.35	0.019		
Poda de árboles	0.94	50.59	0.35	0.019		

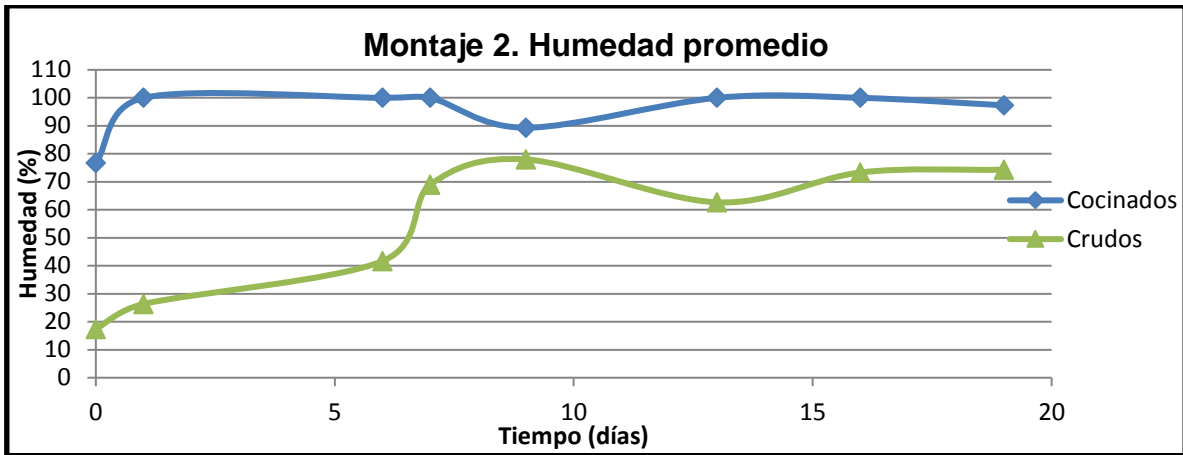
### RESIDUOS COCINADOS O PROCESADOS

# MONTAJE	2												
FECHA	27/06/2018												
DESCRIPCIÓN	C/N= 23.67			H=70.7%									

día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0	27/06/2018	17	17	17	17	6.6	6.75	6.9	6.75	98	82	50	76.7
1	28/06/2018	37	37	37	37	6.5	6.5	6.7	6.57	100	100	100	100
6	03/07/2018	48	48	48	48	6.7	6.75	6.7	6.72	100	100	100	100
7	04/07/2018	48	48	48	48	6.8	6.6	6.7	6.7	100	100	100	100
9	06/07/2018					6.8	6.8	7	6.87	100	100	68	89.3
13	10/07/2018					6.8	6.8	6.8	6.8	100	100	100	100
16	13/07/2018					6.8	6.8	6.8	6.8	100	100	100	100
19	16/07/2018					6.8	7	6.8	6.87	100	100	92	97.3



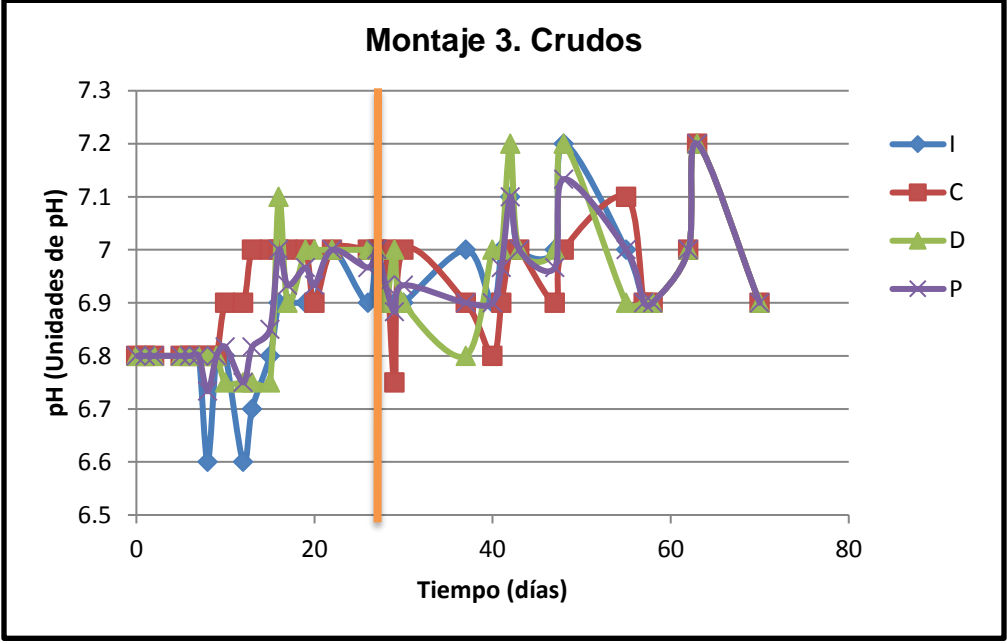
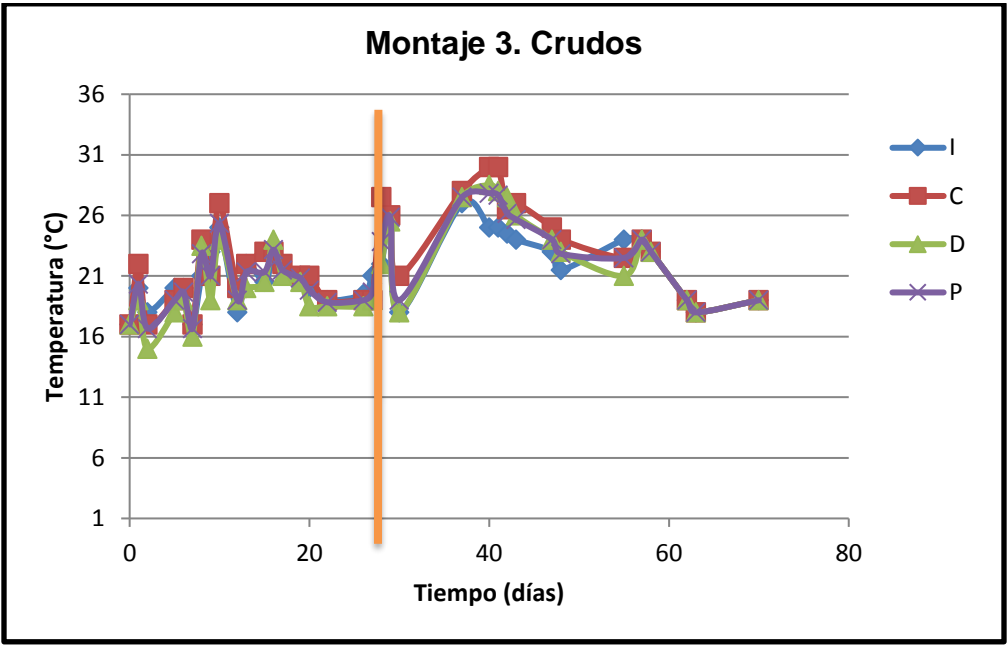


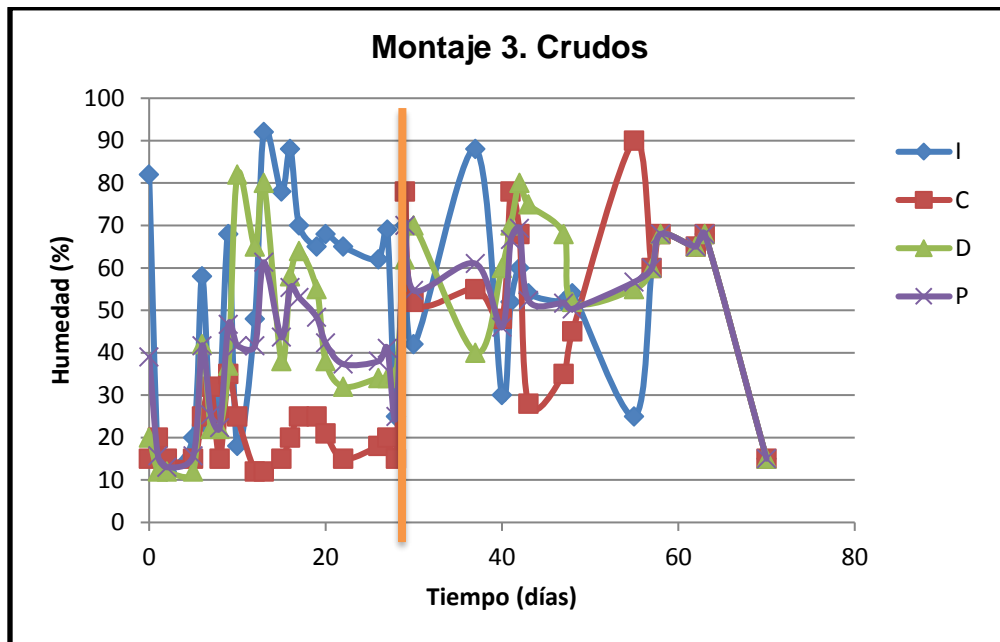


### Montaje 3. Residuos de frutas y verduras

Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m³)	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N	
							% En peso (kg)	% En peso (kg)		
Aserrín	0.00	5	0.00	235.70	0.00	0.00	40.00	0.00	0.10	0
Residuos de frutas y verduras	4.38	80	0.88	567.24	14.00	7.72	56.00	0.49	1.40	0.012
Corte de Césped	1.16	30	0.81	60.09	35.00	19.30	58.00	0.47	3.40	0.028
Hojarasca, hojas secas	1.22	38	0.76	63.20	35.00	19.30	48.60	0.37	0.90	0.007
	% H	63.84			Vol. total:	46.330	C:	1.33	N:	0.05
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m³)	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m³)						
Aserrín	0.26	235.70	0.02	0.00			Relación C:N	28.47		
Residuos de frutas y verduras	4.38	567.24	0.14	0.01						
Corte de Césped	1.16	60.09	0.35	0.019						
Poda de árboles	1.22	63.20	0.35	0.019						





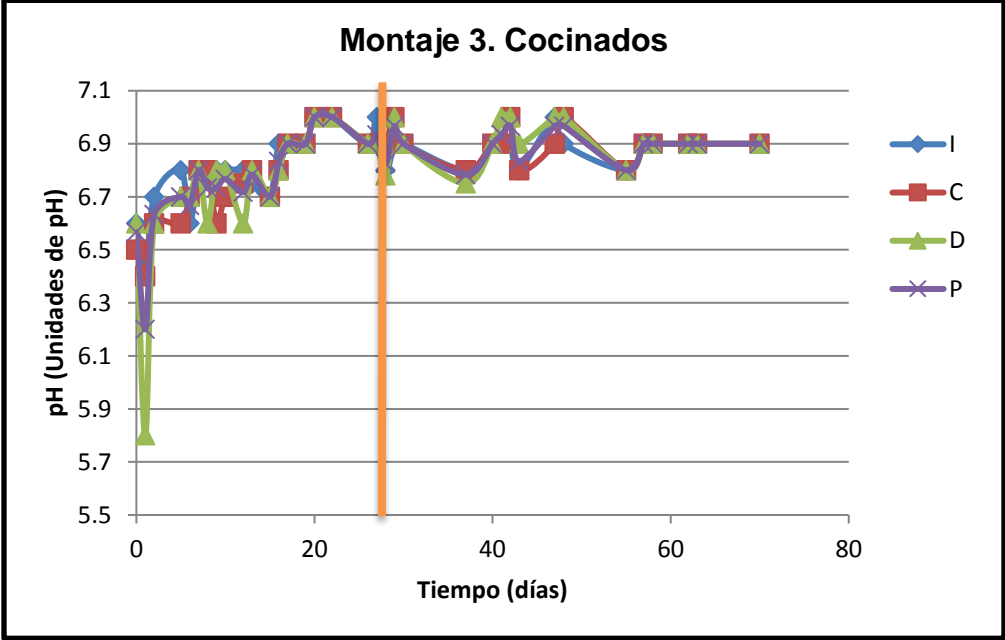
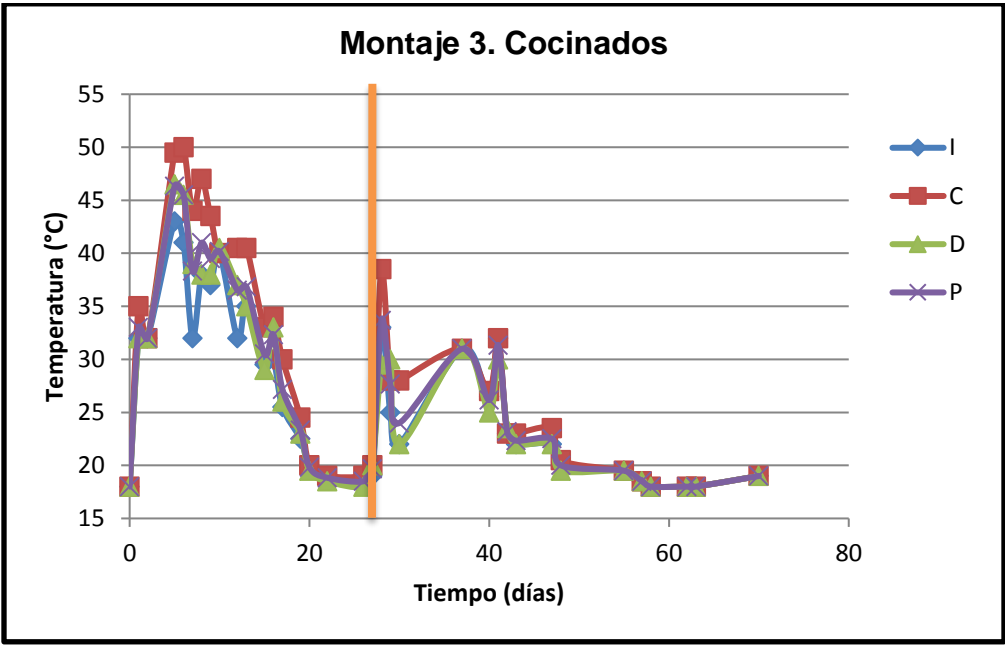


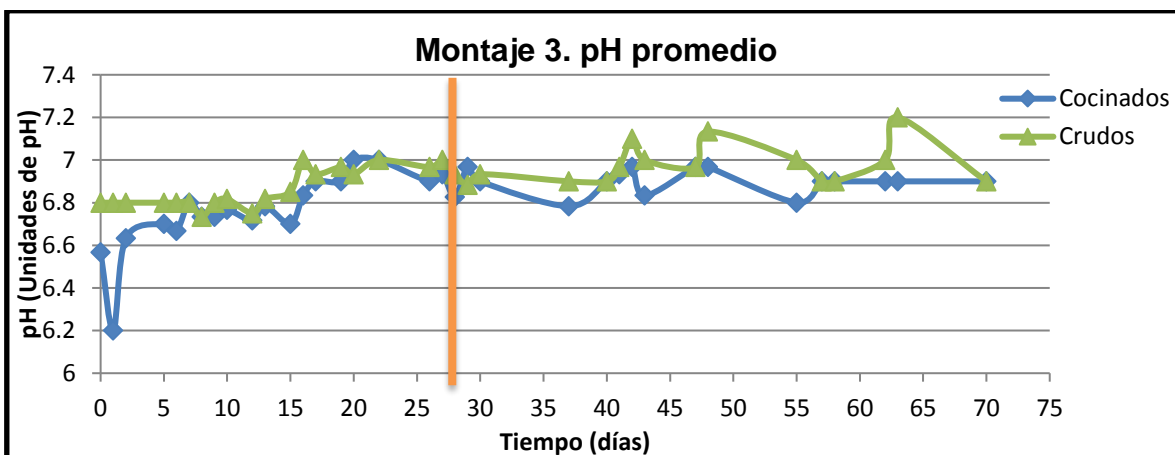
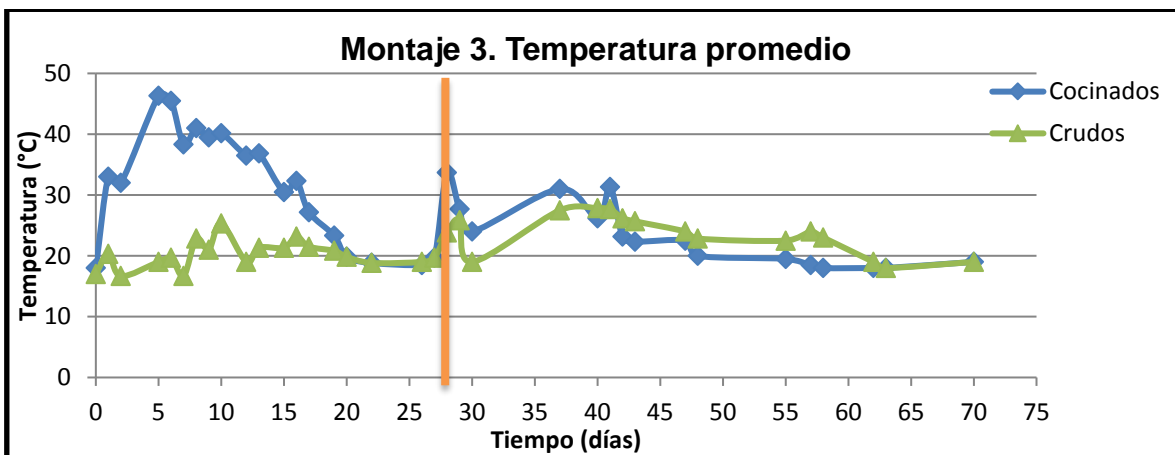
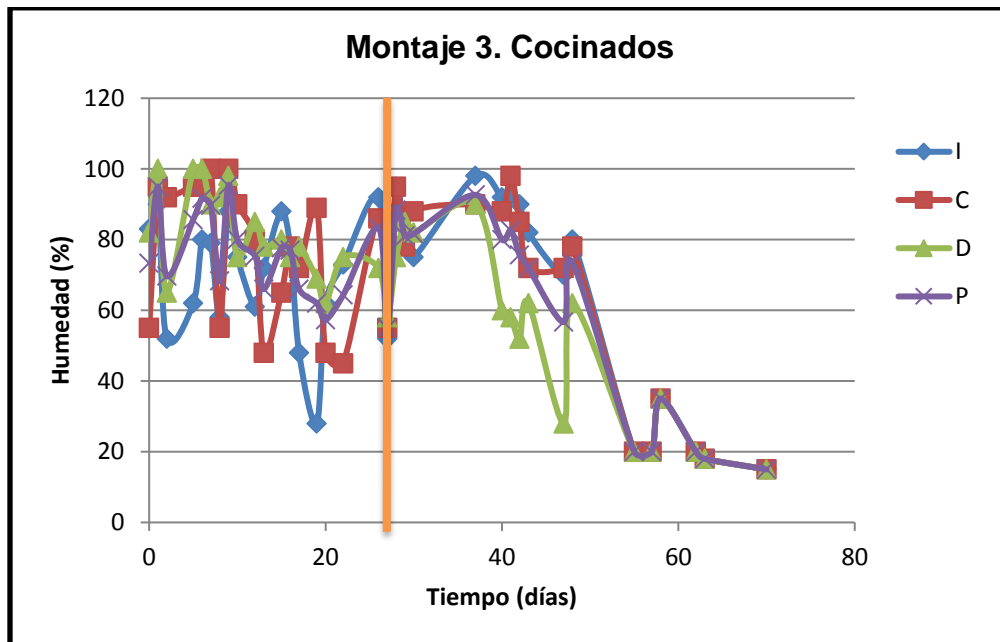
### Montaje 3. Residuos de alimentos cocinados

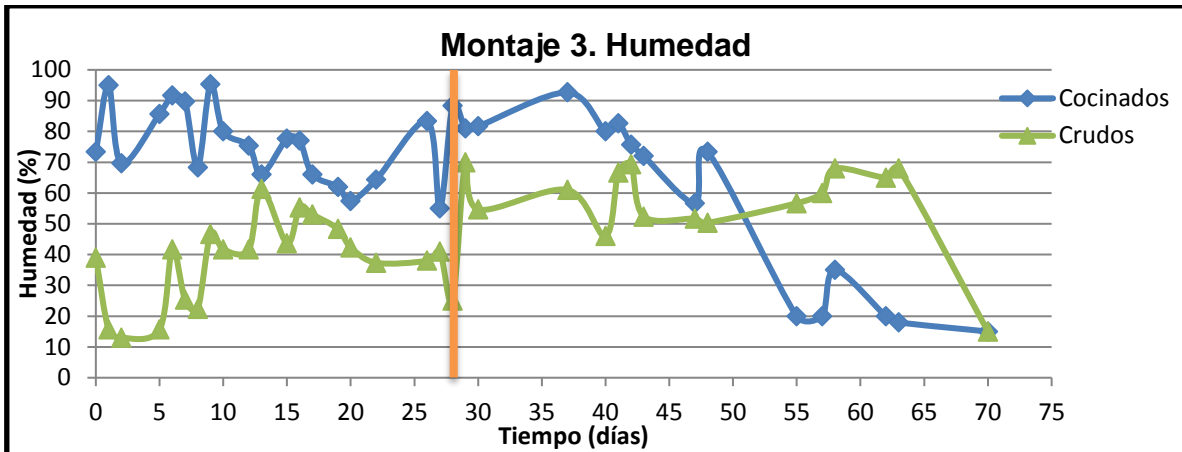
Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N	
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)
Residuos de alimentos	13.88	80	2.78	1143.89	22.00	12.13	34.95	0.97	1.88	0.05
Aserrín	2.12	5	2.01	235.70	16.31	8.99	40.00	0.81	0.10	0.00
Corte de Césped	1.72	30	1.20	89.10	35.00	19.30	58.00	0.70	3.40	0.04
Hojasca	2.74	38	1.70	74.60	66.60	36.73	48.60	0.83	0.90	0.02
	% H	62.40			Vol. total:	77.164	C:	3.30	N:	0.11
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )						
Residuos de alimentos	13.88	1143.89	0.22	0.012			Relación C:N	29.92		
Aserrín	0.26	235.70	0.02	0.001						
Corte de Césped	1.72	89.10	0.35	0.019						
Hojasca	1.44	74.60	0.35	0.019						







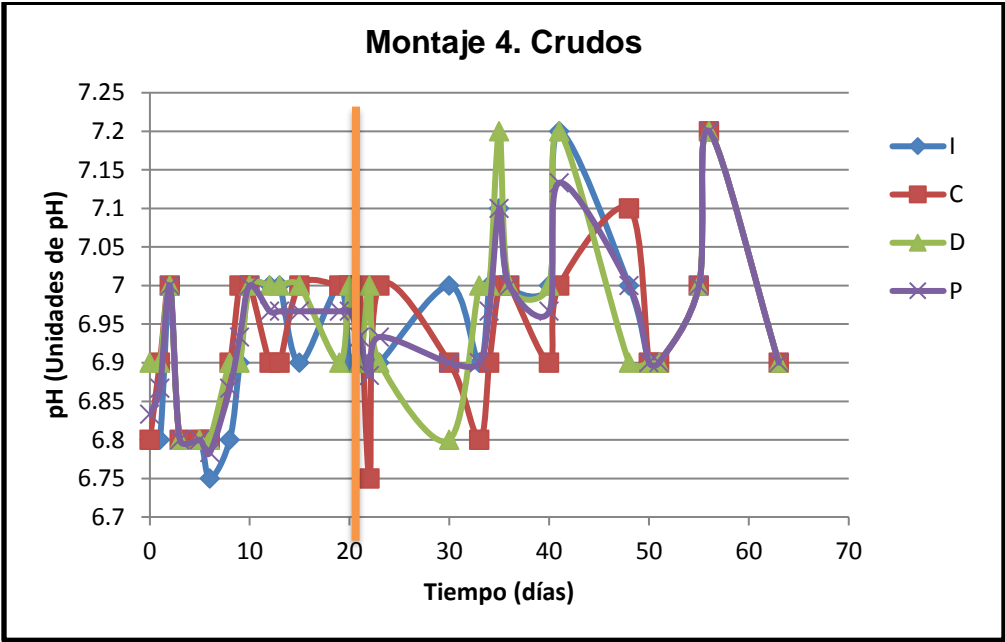
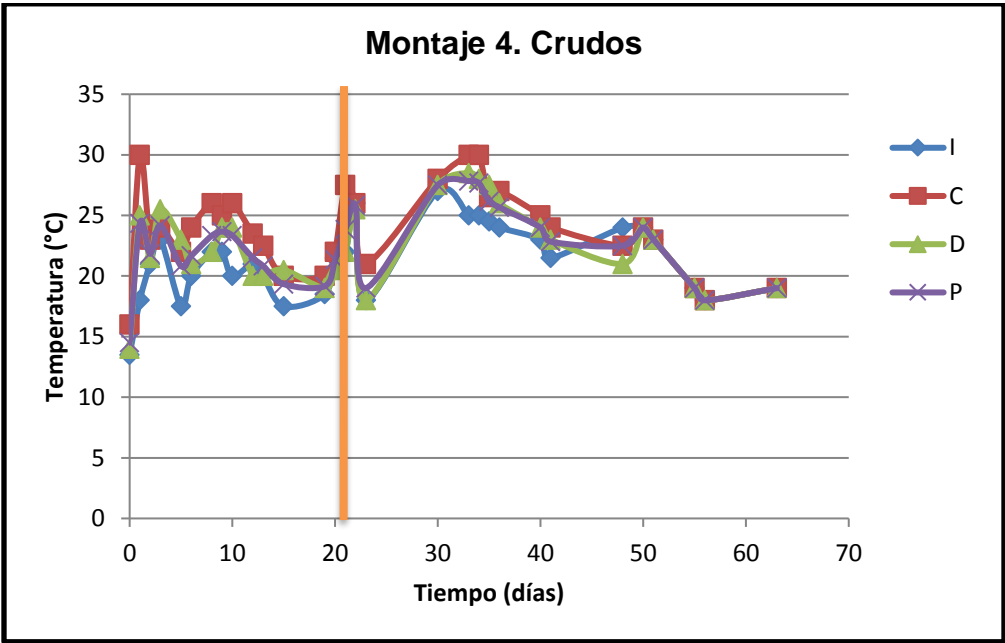


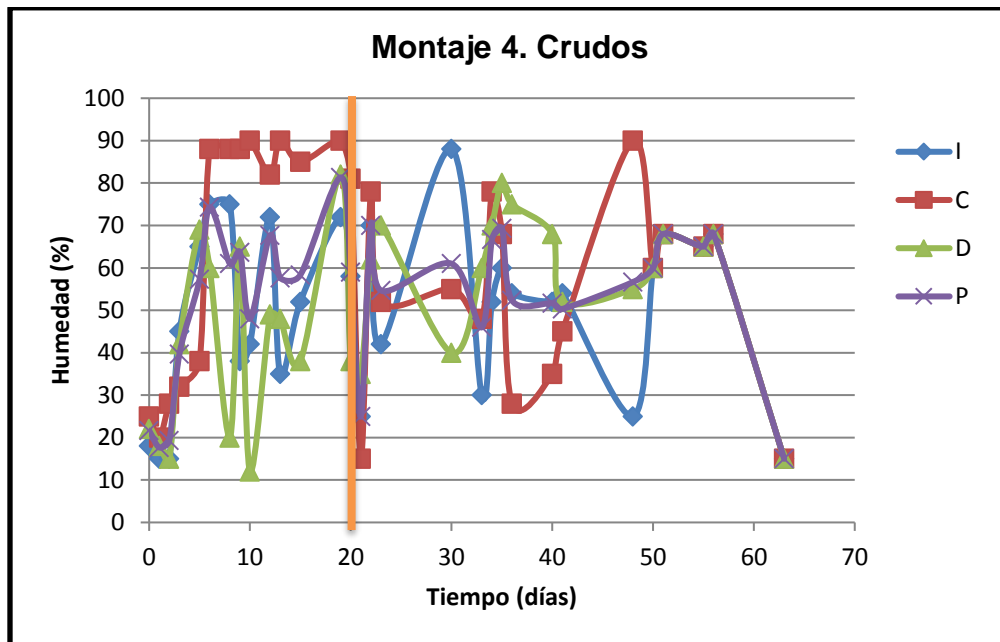


### Montaje 4. Residuos de frutas y verduras

Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N		
							% En peso (kg)	% En peso (kg)			
Aserrín	0.00	5	0.00	235.70	0.00	0.00	40.00	0.00	0.10	0.00	
Residuos de frutas y verduras	3.76	80	0.75	324.63	21.00	11.58	56.00	0.42	1.40	0.01	
Corte de Césped	2.5	30	1.75	129.51	35.00	19.30	58.00	1.02	3.40	0.06	
Hojarasca, hojas secas	1.1	38	0.68	56.98	35.00	19.30	48.60	0.33	0.90	0.01	
		% H	56.74			Vol. total:	50.191	C:	1.77	N:	0.08
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )							
Aserrín	0.26	235.70	0.02	0.00	Relación C:N 23.21						
Residuos de frutas y verduras	3.76	324.63	0.21	0.012							
Corte de Césped	2.5	129.51	0.35	0.019							
Hojarasca	1.1	56.98	0.35	0.019							

RESIDUOS CRUDOS O SIN COCINAR													
# MONTAJE		4											
FECHA		19/09/2018											
DESCRIPCIÓN		C/N= 23.21						H=56.74%					
		Temperatura				pH				Humedad			
día	fecha	I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0	19/09/2018	13.5	16	14	14.5	6.8	6.8	6.9	6.83	18	25	22	21.7
1	20/09/2018	18	30	25	24.3	6.8	6.9	6.9	6.87	15	20	18	17.7
2	21/09/2018	21	23	21.5	21.8	7	7	7	7	15	28	15	19.3
3	22/09/2018	23	24	25.5	24.2	6.8	6.8	6.8	6.8	45	32	42	39.7
5	24/09/2018	17.5	22	23	20.8	6.8	6.8	6.8	6.8	65	38	69	57.3
6	25/09/2018	20	24	21	21.7	6.75	6.8	6.8	6.78	75	88	60	74.3
8	27/09/2018	22	26	22	23.3	6.8	6.9	6.9	6.87	75	88	20	61
9	28/09/2018	22	25	24	23.7	6.9	7	6.9	6.93	38	88	65	63.7
10	29/09/2018	20	26	24	23.3	7	7	7	7	42	90	12	48
12	01/10/2018	21	23.5	20	21.5	7	6.9	7	6.97	72	82	49	67.7
13	02/10/2018	20	22.5	20	20.8	7	6.9	7	6.97	35	90	48	57.7
15	04/10/2018	17.5	20	20.5	19.3	6.9	7	7	6.97	52	85	38	58.3
19	08/10/2018	18.5	20	19	19.2	7	7	6.9	6.97	72	90	82	81.3
20	09/10/2018	21.5	22	20.5	21.3	6.9	7	7	6.97	58	81	38	59
21	10/10/2018	22	27.5	22	23.8	6.9	7	6.9	6.93	25	15	35	25
22	11/10/2018	26	26	25.5	25.8	6.9	6.75	7	6.88	70	78	62	70
23	12/10/2018	18	21	18	19	6.9	7	6.9	6.93	42	52	70	54.7
30	19/10/2018	27	28	27.5	27.5	7	6.9	6.8	6.9	88	55	40	61
33	22/10/2018	25	30	28.5	27.8	6.9	6.8	7	6.9	30	48	60	46
34	23/10/2018	25	30	28	27.7	7	6.9	7	6.97	52	78	70	66.7
35	24/10/2018	24.5	26.5	27.5	26.2	7.1	7	7.2	7.1	60	68	80	69.3
36	25/10/2018	24	27	26	25.7	7	7	7	7	54	28	75	52.3
40	29/10/2018	23	25	24	24	7	6.9	7	6.97	52	35	68	51.7
41	30/10/2018	21.5	24	23	22.8	7.2	7	7.2	7.13	54	45	52	50.3
48	06/11/2018	24	22.5	21	22.5	7	7.1	6.9	7	25	90	55	56.7
50	08/11/2018	24	24	24	24	6.9	6.9	6.9	6.9	60	60	60	60
51	09/11/2018	23	23	23	23	6.9	6.9	6.9	6.9	68	68	68	68
55	13/11/2018	19	19	19	19	7	7	7	7	65	65	65	65
56	14/11/2018	18	18	18	18	7.2	7.2	7.2	7.2	68	68	68	68
63	21/11/2018	19	19	19	19	6.9	6.9	6.9	6.9	15	15	15	15

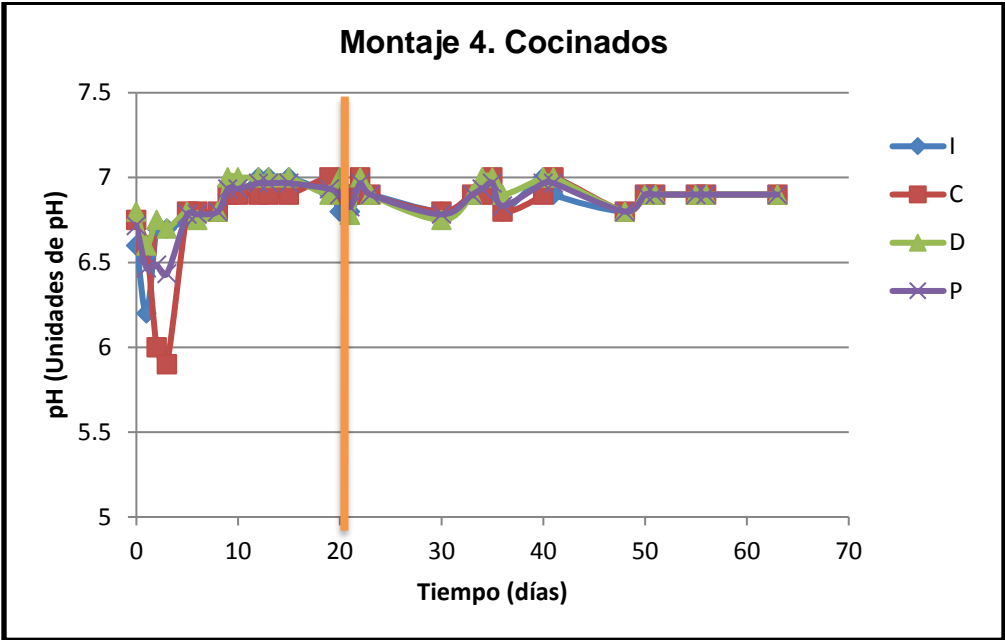
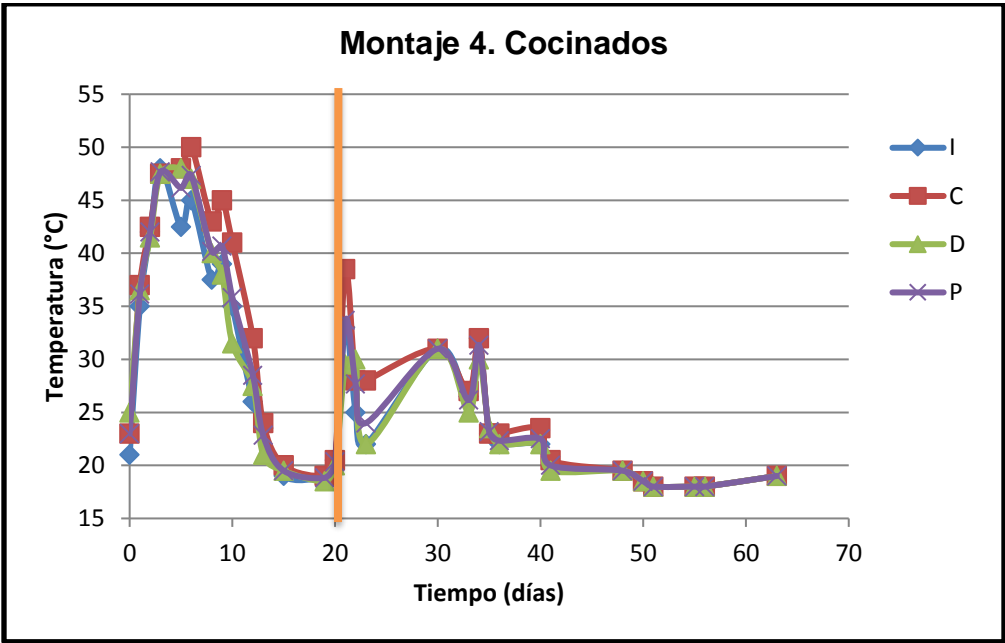




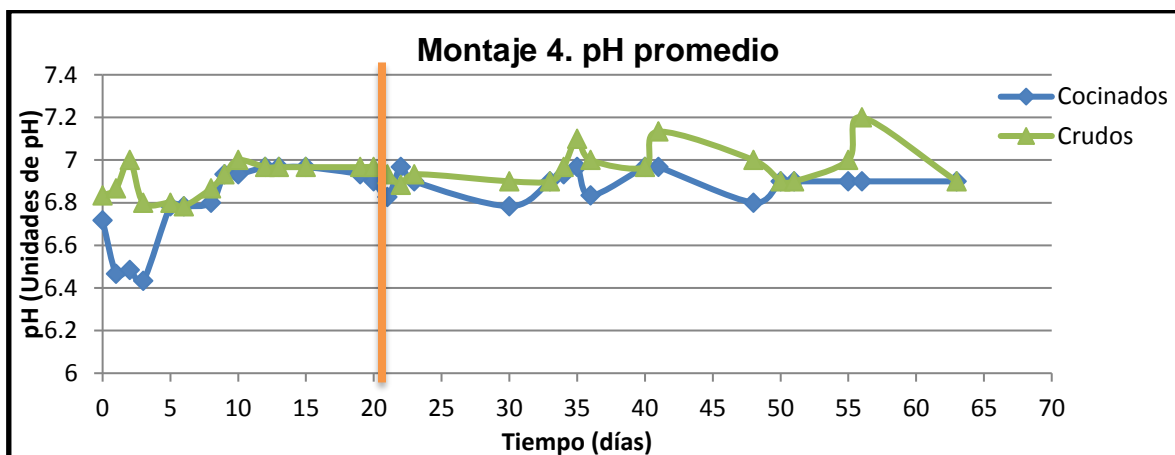
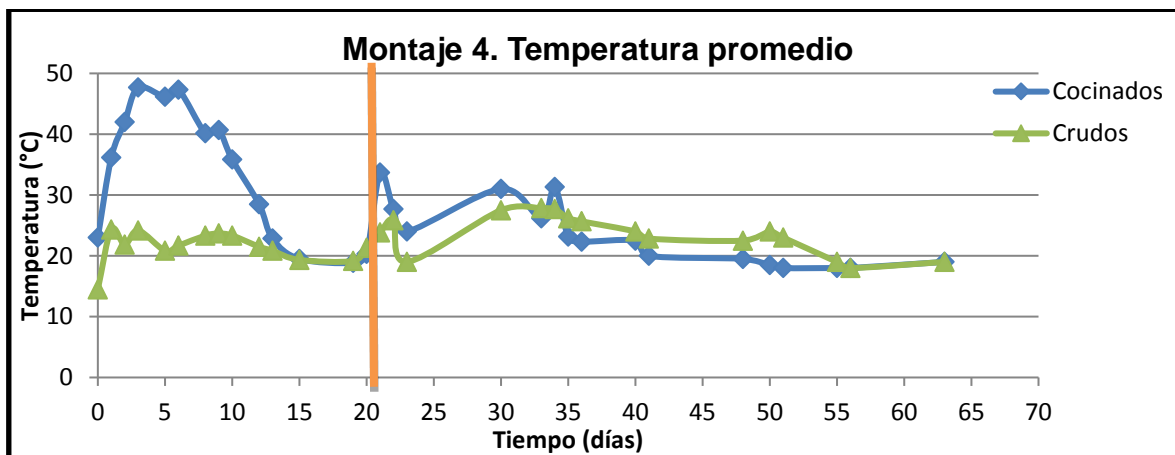
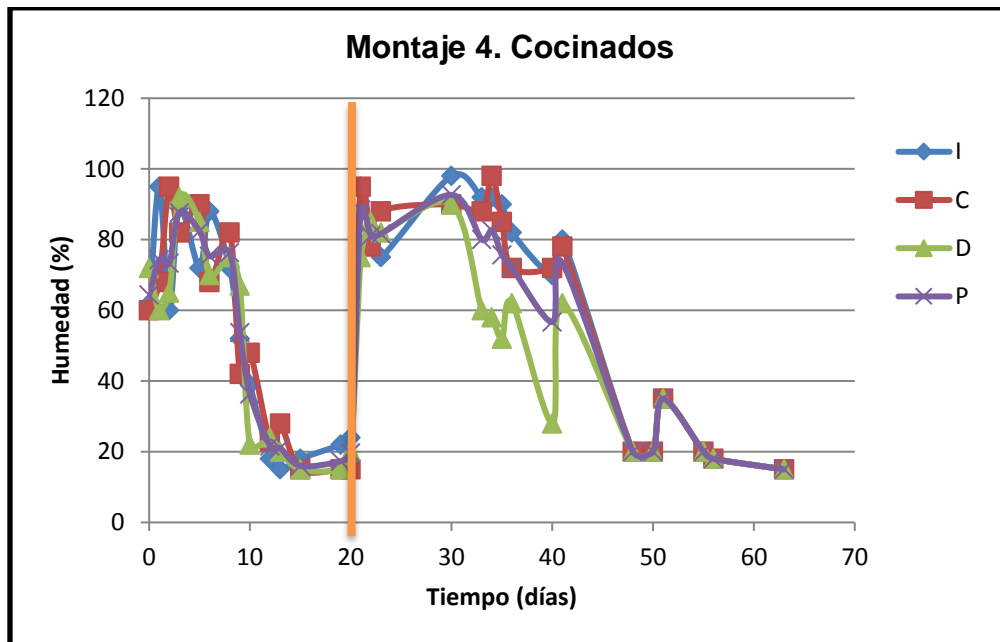
### Montaje 4. Residuos de alimentos cocinados

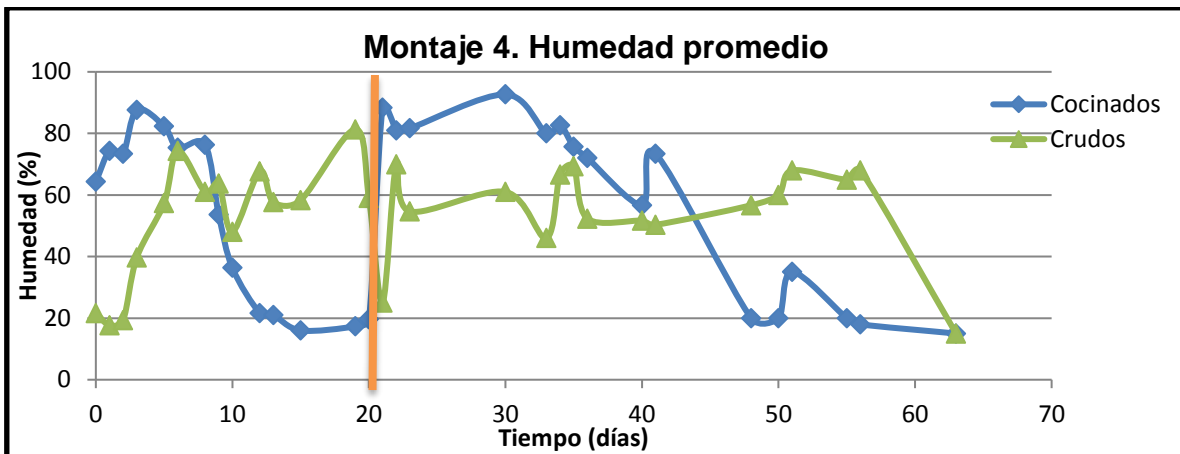
Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N	
							% En peso (kg)	% En peso (kg)		
Residuos de alimentos	7.06	80	1.41	882.79	14.50	8.00	34.95	0.49	1.88	0.03
Aserrín	1.50	5	1.43	235.70	11.54	6.36	40.00	0.57	0.10	0.00
Corte de Césped húmedo	3.12	30	2.18	161.62	35.00	19.30	58.00	1.27	3.40	0.07
Hojarasca	1.56	38	0.97	80.81	35.00	19.30	48.60	0.47	0.90	0.01
		% H	54.77			Vol. total:	52.970	C:	2.80	N: 0.11
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )	Relación C:N 25.26					
Residuos de alimentos	7.06	882.79	0.145	0.008						
Aserrín	0.26	235.70	0.02	0.001						
Corte de Césped	3.12	161.62	0.35	0.019						
Hojarasca	1.56	80.81	0.35	0.019						

RESIDUOS COCINADOS O PROCESADOS														
# MONTAJE	4													
FECHA	19/09/2018													
DESCRIPCIÓN	C/N= 25.26				H=54.77%									
		Temperatura				pH				Humedad				
día	fecha	I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P	
0	19/09/2018	21	23	25	23	6.6	6.75	6.8	6.72	61	60	72	64.3	
1	20/09/2018	35	37	36.5	36.2	6.2	6.6	6.6	6.47	95	68	60	74.3	
2	21/09/2018	42	42.5	41.5	42	6.7	6	6.75	6.48	60	95	65	73.3	
3	22/09/2018	48	47.5	47.5	47.7	6.7	5.9	6.7	6.43	89	82	92	87.7	
5	24/09/2018	42.5	48	48	46.2	6.75	6.8	6.8	6.78	72	90	85	82.3	
6	25/09/2018	45	50	47	47.3	6.8	6.8	6.75	6.78	88	68	70	75.3	
8	27/09/2018	37.5	43	40	40.2	6.8	6.8	6.8	6.8	72	82	75	76.3	
9	28/09/2018	39	45	38	40.7	6.9	6.9	7	6.93	52	42	67	53.7	
10	29/09/2018	35	41	31.5	35.8	6.9	6.9	7	6.93	39	48	22	36.3	
12	01/10/2018	26	32	27.5	28.5	7	6.9	7	6.97	18	23	24	21.7	
13	02/10/2018	23.5	24	21	22.8	7	6.9	7	6.97	15	28	20	21	
15	04/10/2018	19	20	19.5	19.5	7	6.9	7	6.97	18	15	15	16	
19	08/10/2018	19	19	18.5	18.8	6.9	7	6.9	6.93	22	15	15	17.3	
20	09/10/2018	20.5	20.5	20	20.3	6.8	6.9	7	6.9	24	15	20	19.7	
21	10/10/2018	33	38.5	29.5	33.7	6.8	6.9	6.78	6.83	95	95	75	88.3	
22	11/10/2018	25	28	30	27.7	6.9	7	7	6.97	80	78	85	81	
23	12/10/2018	22	28	22	24	6.9	6.9	6.9	6.9	75	88	82	81.7	
30	19/10/2018	31	31	31	31	6.8	6.8	6.75	6.78	98	90	90	92.7	
33	22/10/2018	26.5	27	25	26.2	6.9	6.9	6.9	6.9	92	88	60	80	
34	23/10/2018	32	32	30	31.3	6.9	6.9	7	6.93	92	98	58	82.7	
35	24/10/2018	23	23	23.5	23.2	6.9	7	7	6.97	90	85	52	75.7	
36	25/10/2018	22	23	22	22.3	6.8	6.8	6.9	6.83	82	72	62	72	
40	29/10/2018	22	23.5	22	22.5	7	6.9	7	6.97	70	72	28	56.7	
41	30/10/2018	20	20.5	19.5	20	6.9	7	7	6.97	80	78	62	73.3	
48	06/11/2018	19.5	19.5	19.5	19.5	6.8	6.8	6.8	6.8	20	20	20	20	
50	08/11/2018	18.5	18.5	18.5	18.5	6.9	6.9	6.9	6.9	20	20	20	20	
51	09/11/2018	18	18	18	18	6.9	6.9	6.9	6.9	35	35	35	35	
55	13/11/2018	18	18	18	18	6.9	6.9	6.9	6.9	20	20	20	20	
56	14/11/2018	18	18	18	18	6.9	6.9	6.9	6.9	18	18	18	18	
63	21/11/2018	19	19	19	19	6.9	6.9	6.9	6.9	15	15	15	15	





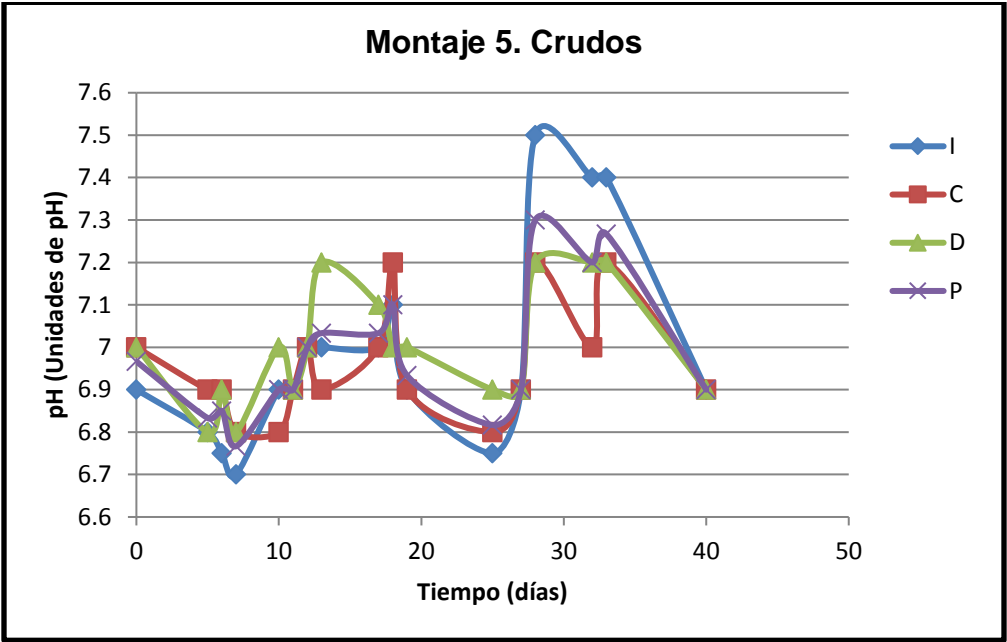
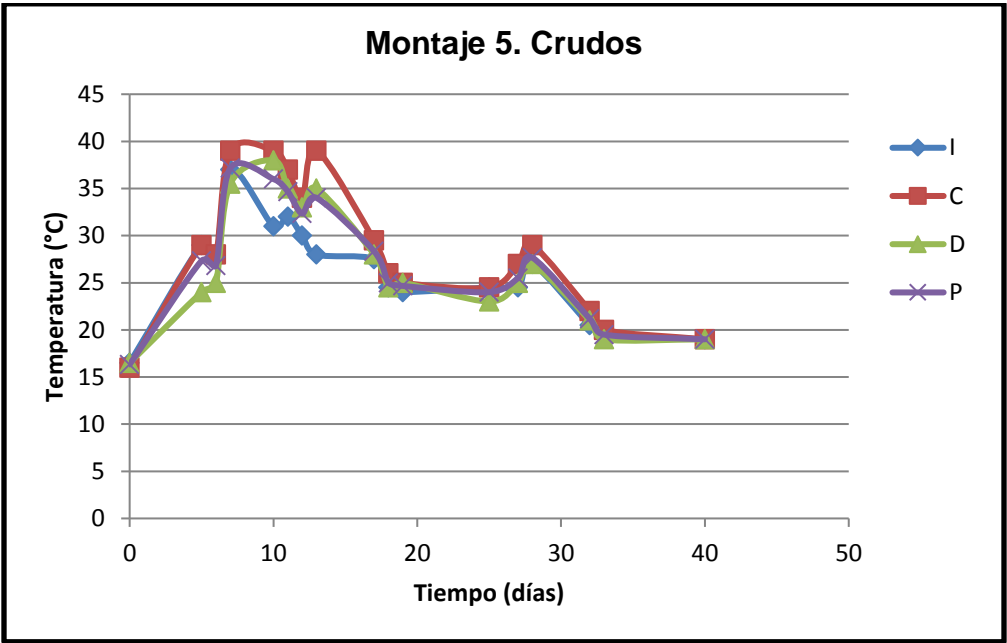


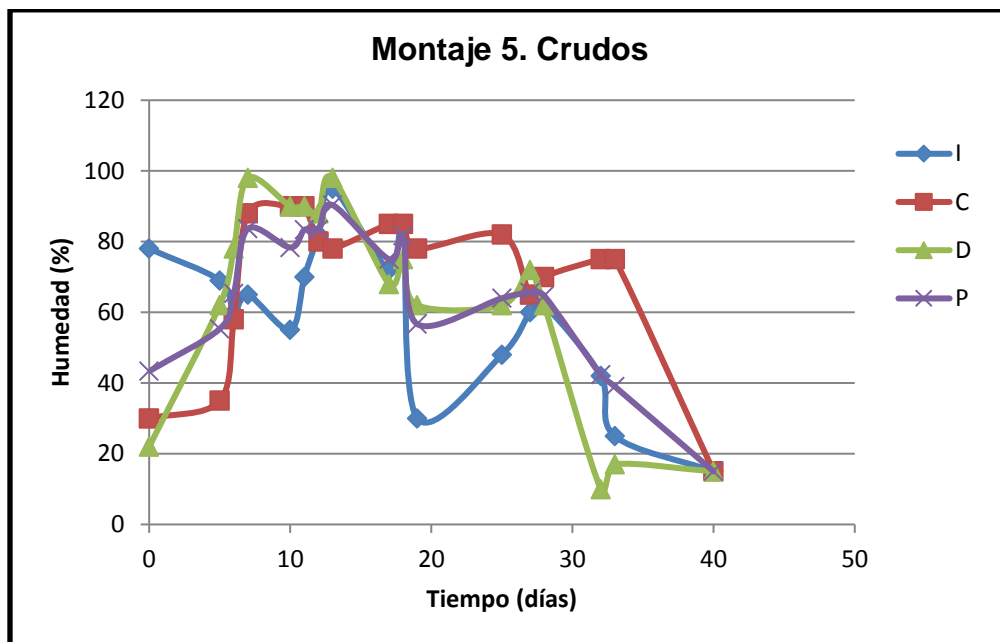


### Montaje 5. Residuos de frutas y verduras

Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N	
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)
Aserrín	1.50	5	1.43	235.70	11.54	6.36	40.00	0.57	0.10	0.00
Residuos de frutas y verduras	9.10	80	1.82	499.97	33.00	18.20	56.00	1.02	1.40	0.03
Corte de Césped	1.56	30	1.09	80.81	35.00	19.30	58.00	0.63	3.40	0.04
Hojas verdes	1.98	70	0.59	102.57	35.00	19.30	49.80	0.30	3.10	0.02
% H		65.13			Vol. total:		63.173	C: 2.52	N: 0.08	
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )						
Aserrín	0.26	235.70	0.02	0.001	Relación C:N		30.55			
Residuos de frutas y verduras	9.10	499.97	0.33	0.018						
Corte de Césped	1.56	80.81	0.35	0.019						
Poda de árboles	1.98	102.57	0.35	0.019						





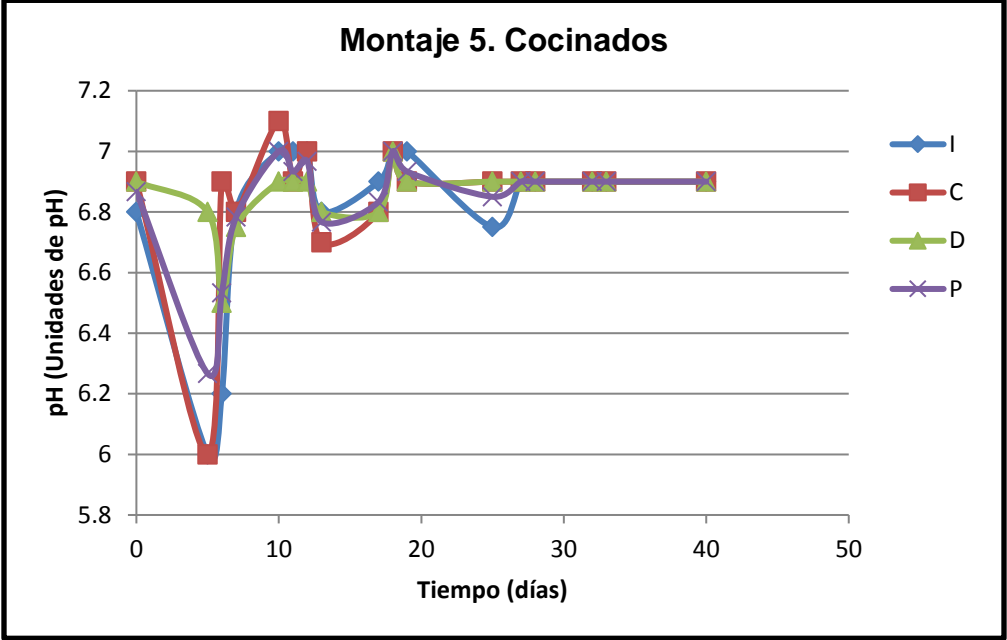
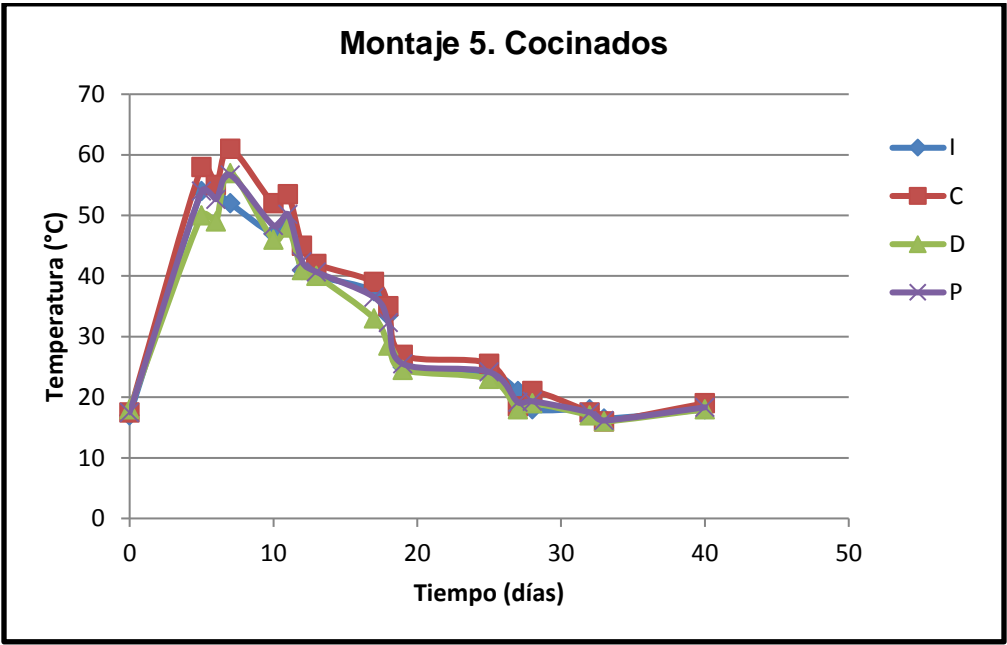


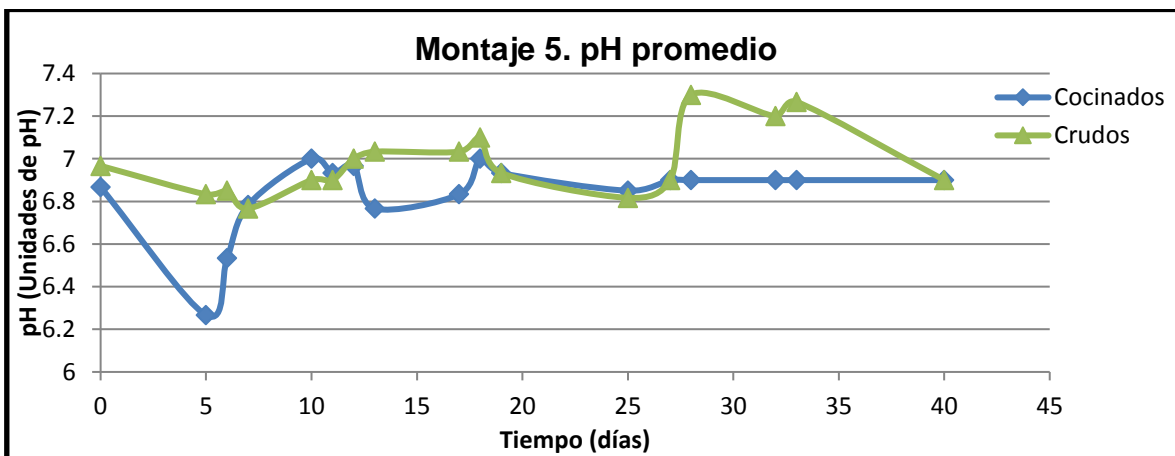
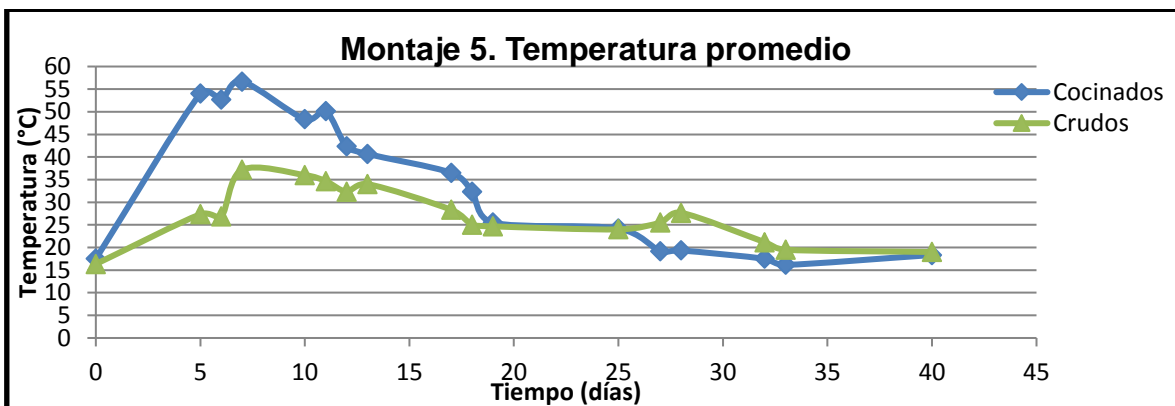
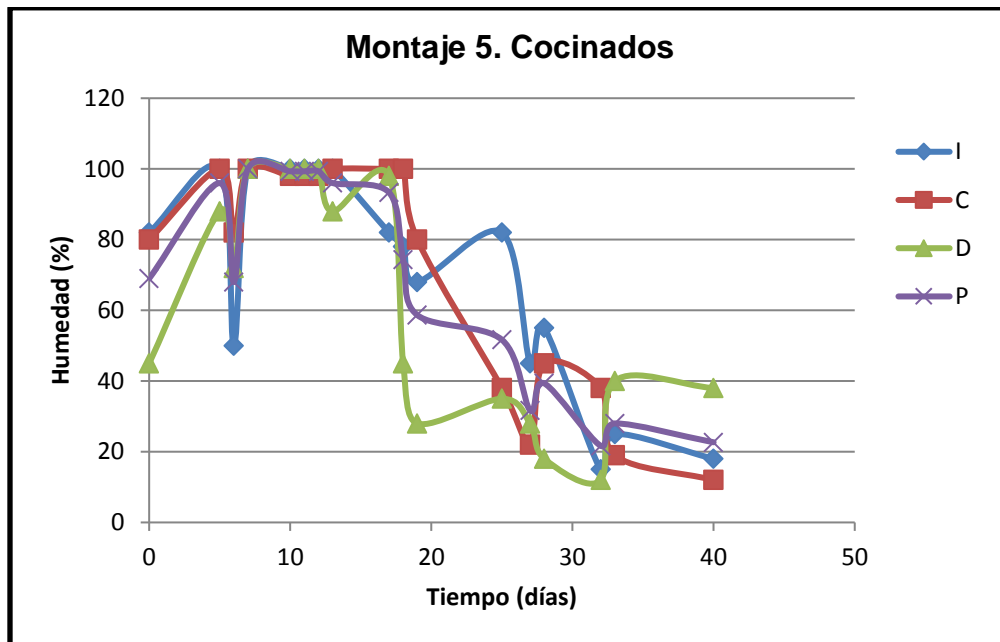
### Montaje 5. Residuos de alimentos cocinados

Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N	
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)
Residuos de alimentos	16.10	80	3.22	1042.52	28.00	15.44	34.95	1.13	1.88	0.06
Aserrín	3.00	5	2.85	235.70	23.08	12.73	40.00	1.14	0.10	0.00
Corte de Césped	2.68	30	1.88	138.83	35.00	19.30	58.00	1.09	3.40	0.06
Hojas verdes	1.84	70	0.55	95.32	35.00	19.30	49.80	0.27	3.10	0.02
% H		64.02				Vol. total:	66.779	C: 3.63	N: 0.14	
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )						
Residuos de alimentos	16.10	1042.52	0.28	0.015			Relación C:N	25.18		
Aserrín	0.26	235.70	0.02	0.001						
Corte de Césped	2.68	138.83	0.35	0.019						
Poda de árboles	1.84	95.32	0.35	0.019						

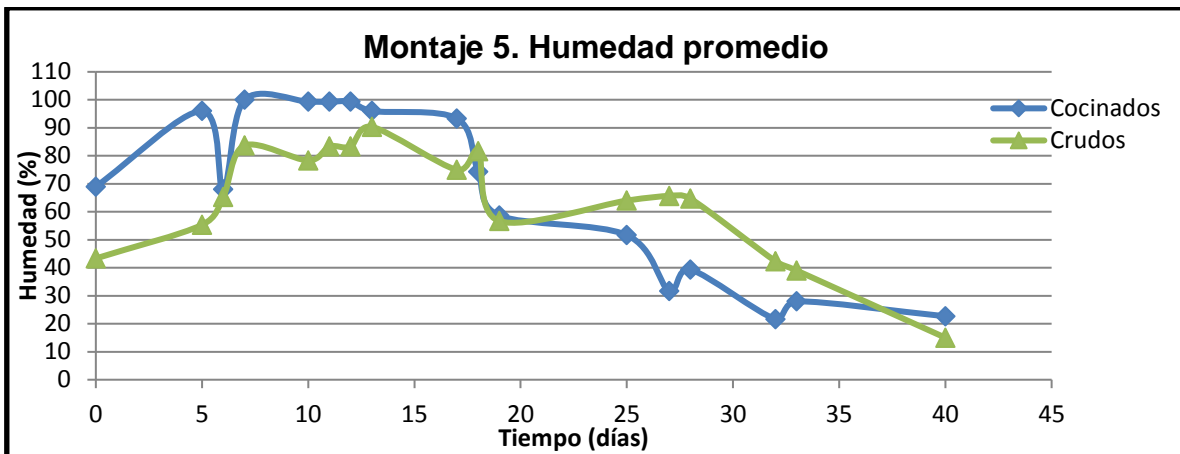
RESIDUOS COCINADOS O PROCESADOS													
# MONTAJE	5												
FECHA	12/10/2018												
DESCRIPCIÓN	C/N= 25.18						H=64.02%						

día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0	12/10/2018	17	17.5	18	17.5	6.8	6.9	6.9	6.87	82	80	45	69
5	17/10/2018	54	58	50	54	6	6	6.8	6.27	100	100	88	96
6	18/10/2018	54	55	49	52.7	6.2	6.9	6.5	6.53	50	82	72	68
7	19/10/2018	52	61	57	56.7	6.8	6.8	6.75	6.78	100	100	100	100
10	22/10/2018	47	52	46	48.3	7	7.1	6.9	7	100	98	100	99.3
11	23/10/2018	49	53.5	48	50.2	7	6.9	6.9	6.93	100	98	100	99.3
12	24/10/2018	41	45	41	42.3	7	7	6.9	6.97	100	98	100	99.3
13	25/10/2018	40	42	40	40.7	6.8	6.7	6.8	6.77	100	100	88	96
17	29/10/2018	37.5	39	33	36.5	6.9	6.8	6.8	6.83	82	100	98	93.3
18	30/10/2018	33.5	35	28.5	32.3	7	7	7	7	78	100	45	74.3
19	31/10/2018	25	27	24.5	25.5	7	6.9	6.9	6.93	68	80	28	58.7
25	06/11/2018	24	25.5	23	24.2	6.75	6.9	6.9	6.85	82	38	35	51.7
27	08/11/2018	21	18.5	18	19.2	6.9	6.9	6.9	6.9	45	22	28	31.7
28	09/11/2018	18	21	19	19.3	6.9	6.9	6.9	6.9	55	45	18	39.3
32	13/11/2018	18	17.5	17	17.5	6.9	6.9	6.9	6.9	15	38	12	21.7
33	14/11/2018	16.5	16	16	16.2	6.9	6.9	6.9	6.9	25	19	40	28
40	21/11/2018	18	19	18	18.3	6.9	6.9	6.9	6.9	18	12	38	22.7





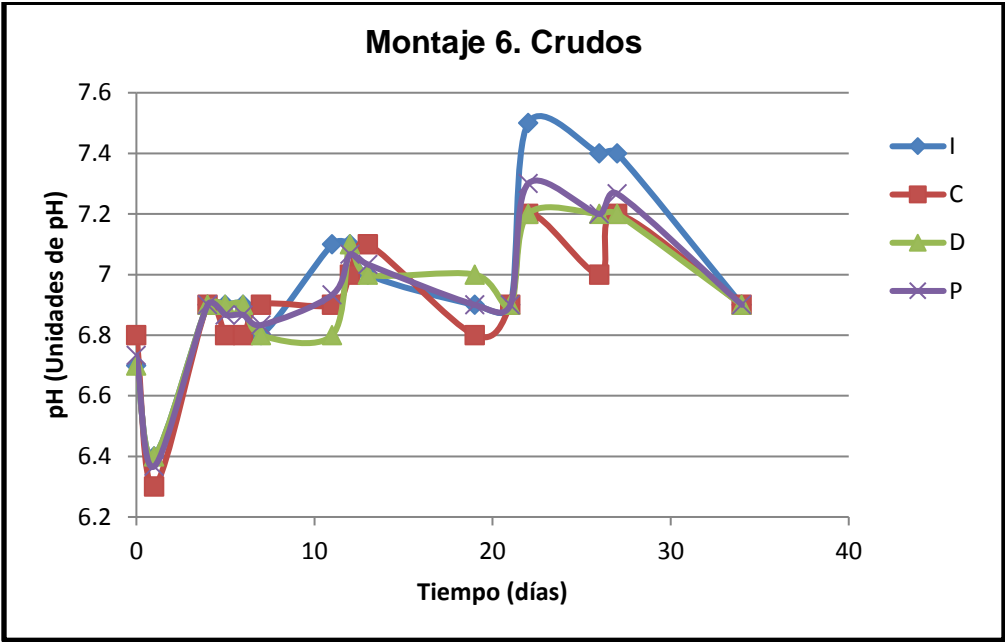
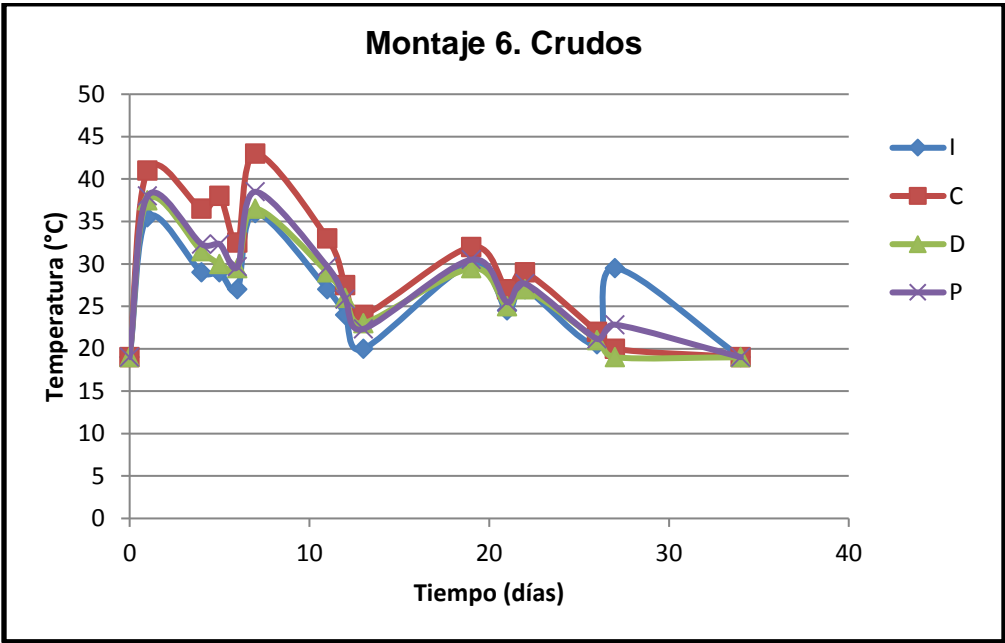


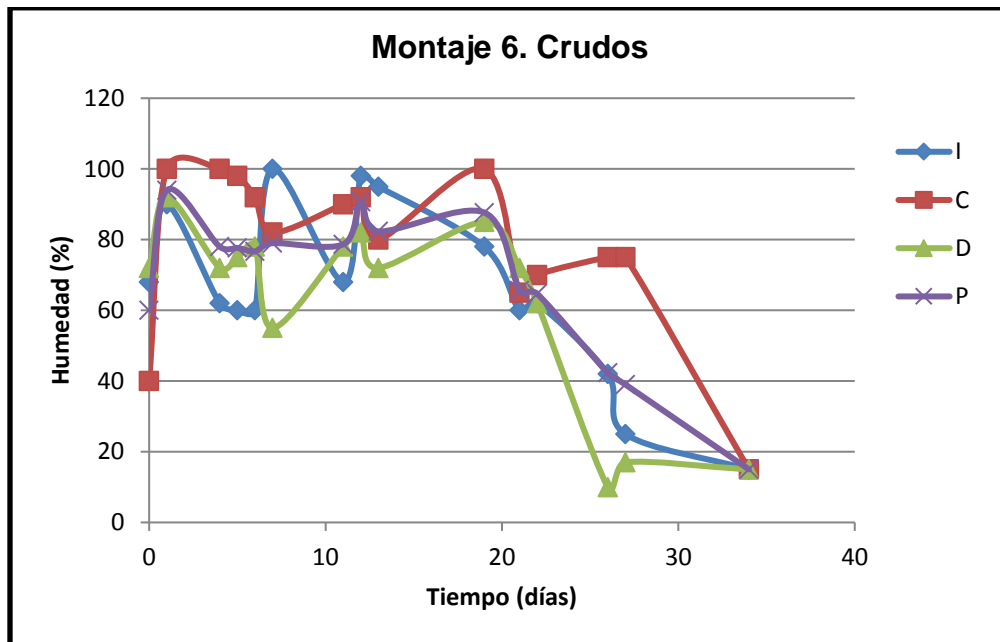


### Montaje 6. Residuos de frutas y verduras

Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N		
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)	
Aserrín	1.00	5	0.95	235.70	7.69	4.24	40.00	0.38	0.10	0.00	
Residuos de frutas y verduras	7.62	80	1.52	627.99	22.00	12.13	56.00	0.85	1.40	0.02	
Corte de Césped	1.1	20	0.88	56.98	35.00	19.30	58.00	0.51	3.40	0.03	
Hojarasca, hojas secas	0.78	38	0.48	40.41	35.00	19.30	48.60	0.24	0.90	0.00	
		% H	63.45			Vol. total:	54.985	C:	1.98	N:	0.06
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )							
Aserrín	0.26	235.70	0.02	0.001	Relación C:N 34.99						
Residuos de frutas y verduras	7.62	627.99	0.22	0.012							
Corte de Césped	1.1	56.98	0.35	0.019							
Poda de árboles	0.78	40.41	0.35	0.019							





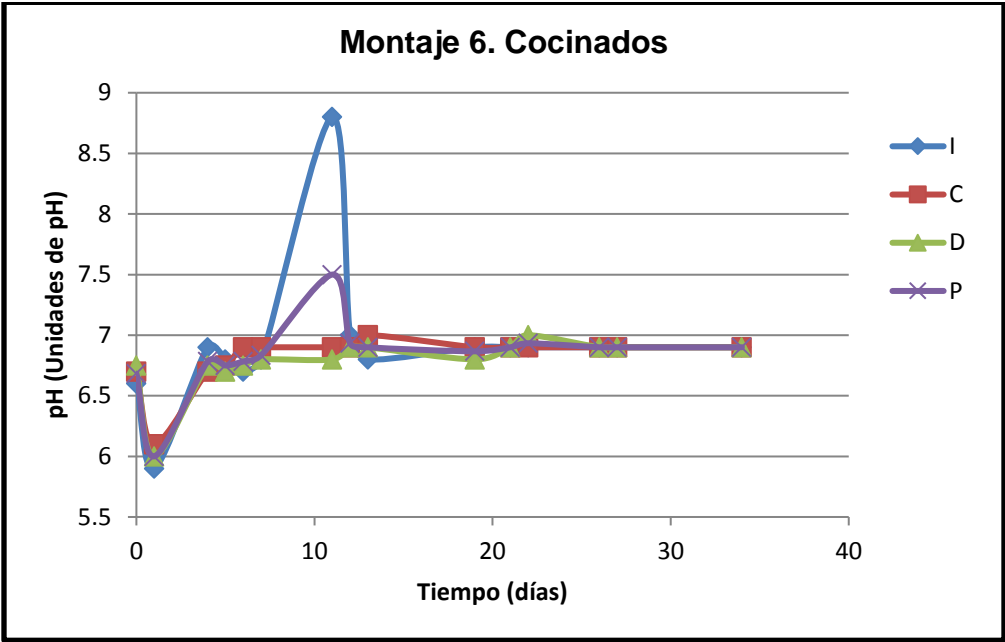
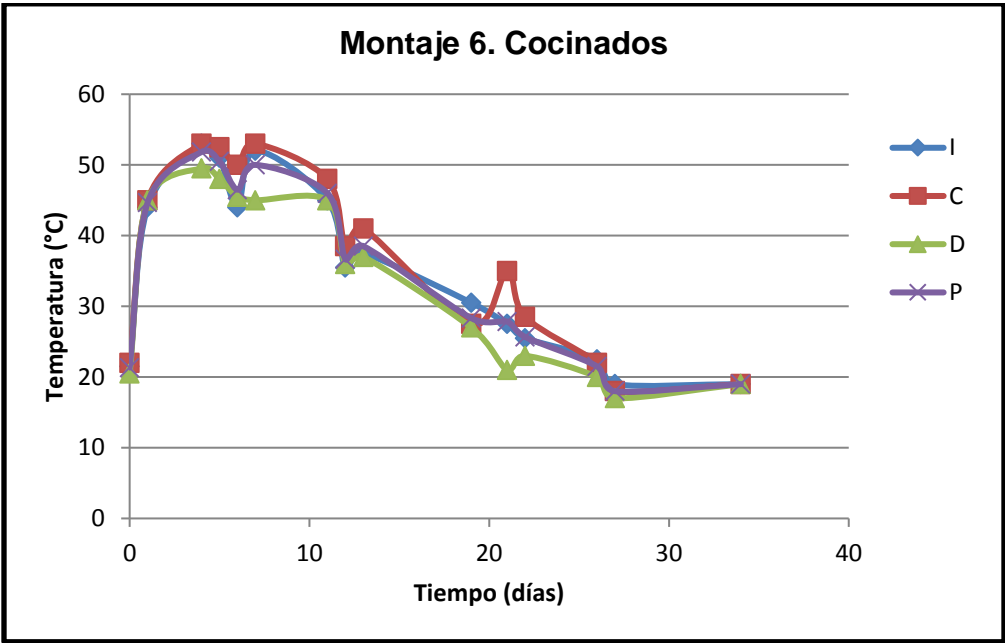


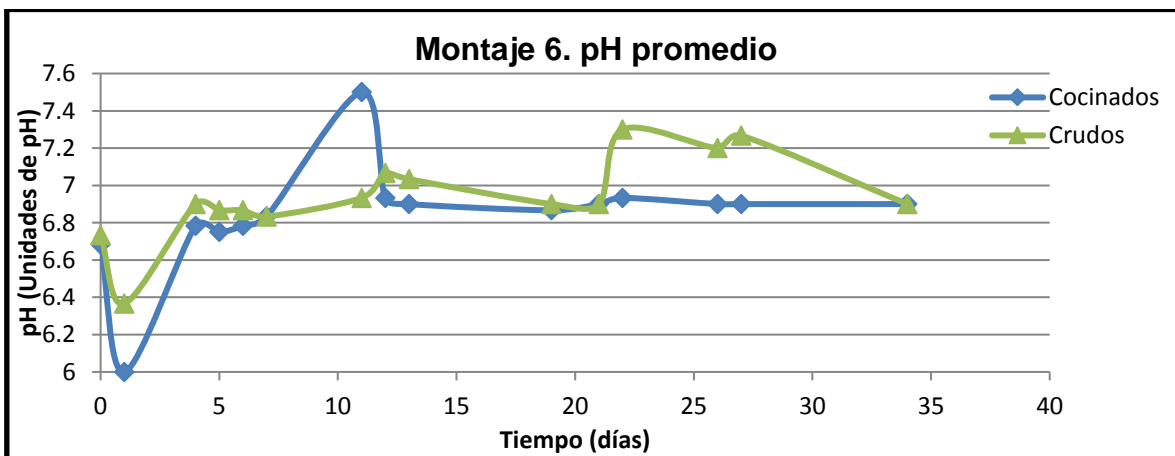
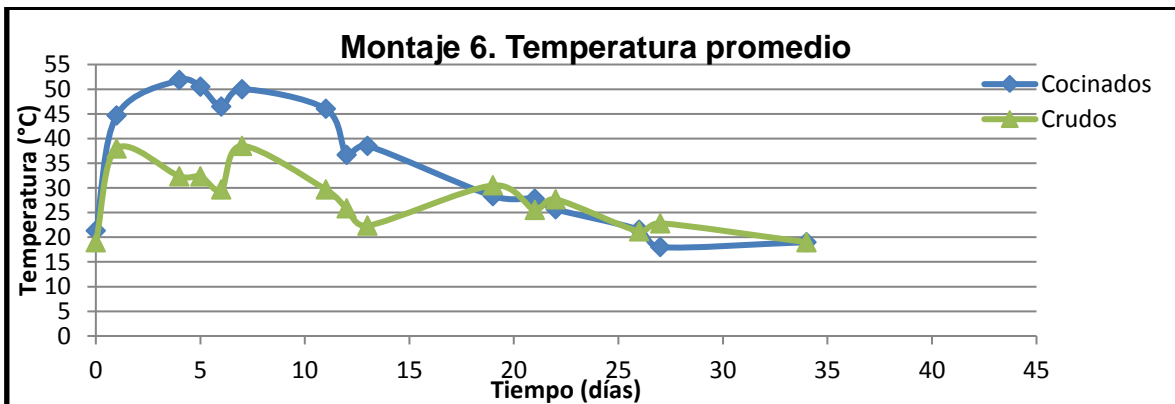
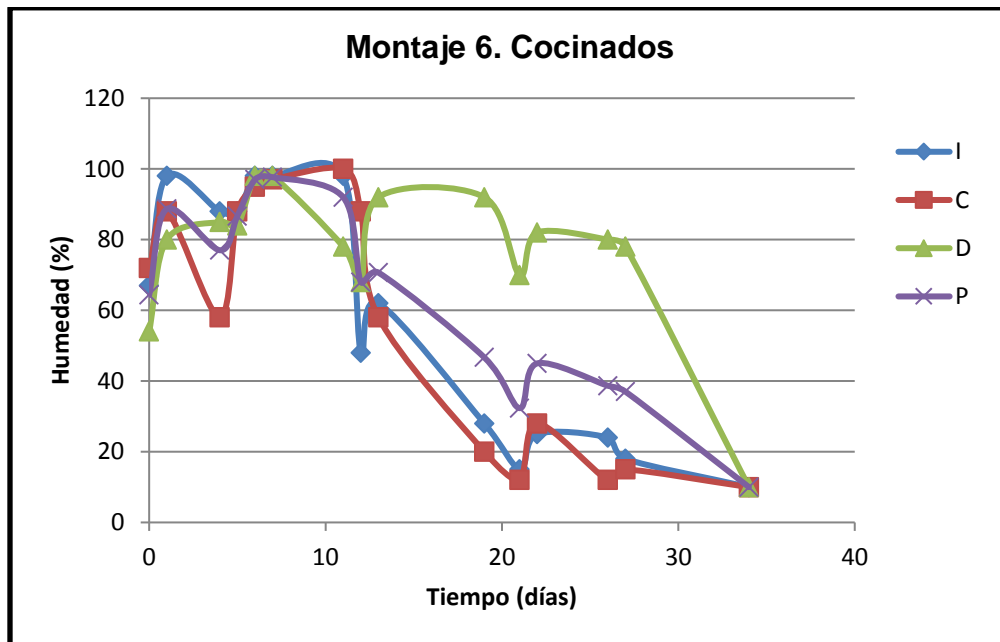
### Montaje 6. Residuos de alimentos cocinados

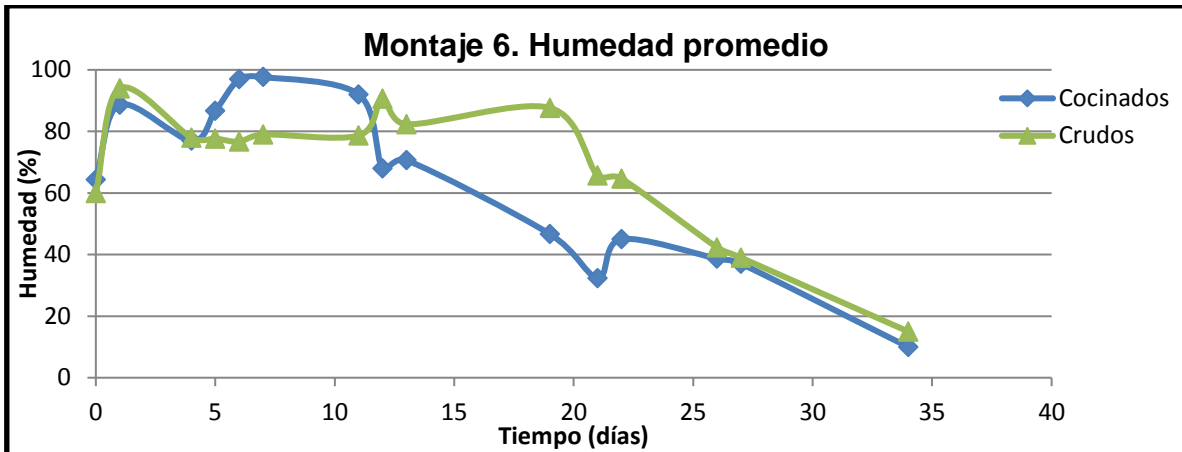
Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N	
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)
Residuos de alimentos	9.00	80	1.80	1165.56	14.00	7.72	34.95	0.63	1.88	0.03
Aserrín	1.50	5	1.43	235.70	11.54	6.36	40.00	0.57	0.10	0.00
Corte de Césped Húmedo y Seco	0.72	20	0.58	37.30	35.00	19.30	58.00	0.33	3.40	0.02
Hojasca	0.86	38	0.53	44.55	35.00	19.30	48.60	0.26	0.90	0.00
		% H	64.12		Vol. total:		52.694	C: 1.79		N: 0.06
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )						
Residuos de alimentos	9.00	1165.56	0.14	0.008	Relación C:N 30.09					
Aserrín	0.26	235.70	0.02	0.001						
Corte de Césped	0.72	37.30	0.35	0.019						
Poda de árboles	0.86	44.55	0.35	0.019						

RESIDUOS COCINADOS O PROCESADOS													
# MONTAJE	6												
FECHA	18/10/2018												
DESCRIPCIÓN	C/N= 30.09						H=64.12%						

día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0	18/10/2018	21.5	22	20.5	21.3	6.6	6.7	6.75	6.68	67	72	54	64.3
1	19/10/2018	44	45	45	44.7	5.9	6.1	6	6	98	88	80	88.7
4	22/10/2018	53	53	49.5	51.8	6.9	6.7	6.75	6.78	88	58	85	77
5	23/10/2018	51	52.5	48	50.5	6.8	6.75	6.7	6.75	88	88	84	86.7
6	24/10/2018	44	50	45.5	46.5	6.7	6.9	6.75	6.78	98	95	98	97
7	25/10/2018	52	53	45	50	6.8	6.9	6.8	6.83	98	97	98	97.7
11	29/10/2018	45	48	45	46	8.8	6.9	6.8	7.5	98	100	78	92
12	30/10/2018	35.5	38.5	36	36.7	7	6.9	6.9	6.93	48	88	68	68
13	31/10/2018	37.5	41	37	38.5	6.8	7	6.9	6.9	62	58	92	70.7
19	06/11/2018	30.5	27.5	27	28.3	6.9	6.9	6.8	6.87	28	20	92	46.7
21	08/11/2018	27.5	35	21	27.8	6.9	6.9	6.9	6.9	15	12	70	32.3
22	09/11/2018	25.5	28.5	23	25.7	6.9	6.9	7	6.93	25	28	82	45
26	13/11/2018	22.5	22	20	21.5	6.9	6.9	6.9	6.9	24	12	80	38.7
27	14/11/2018	19	18	17	18	6.9	6.9	6.9	6.9	18	15	78	37
34	21/11/2018	19	19	19	19	6.9	6.9	6.9	6.9	10	10	10	10







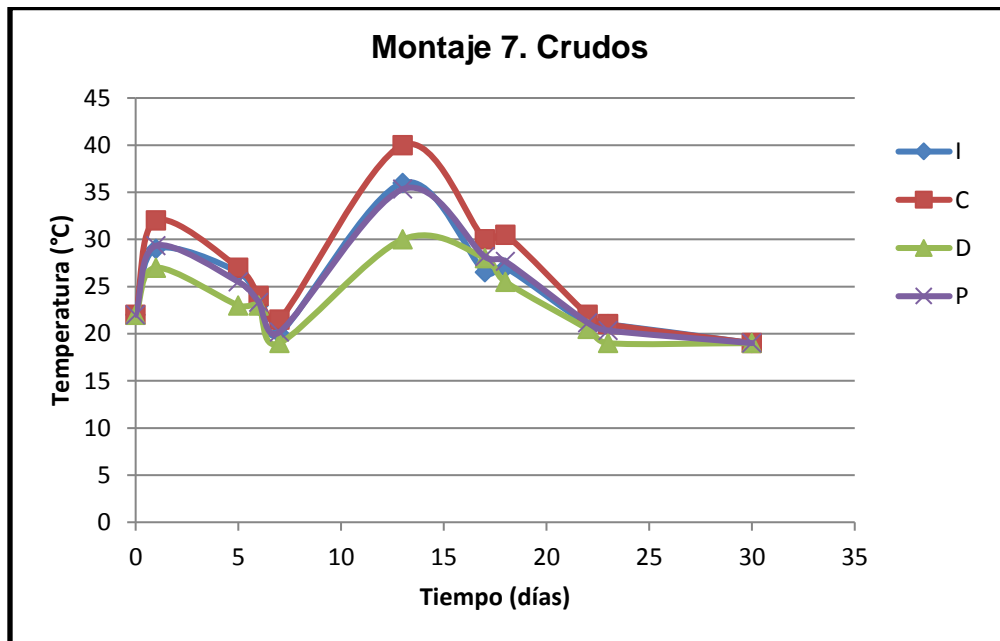
### Montaje 7. Residuos de frutas y verduras

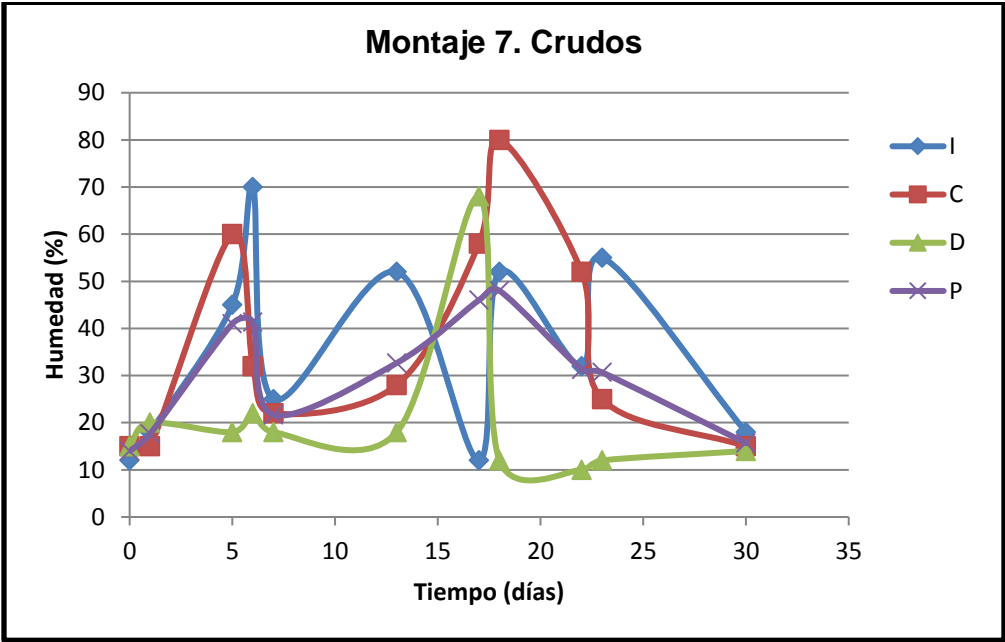
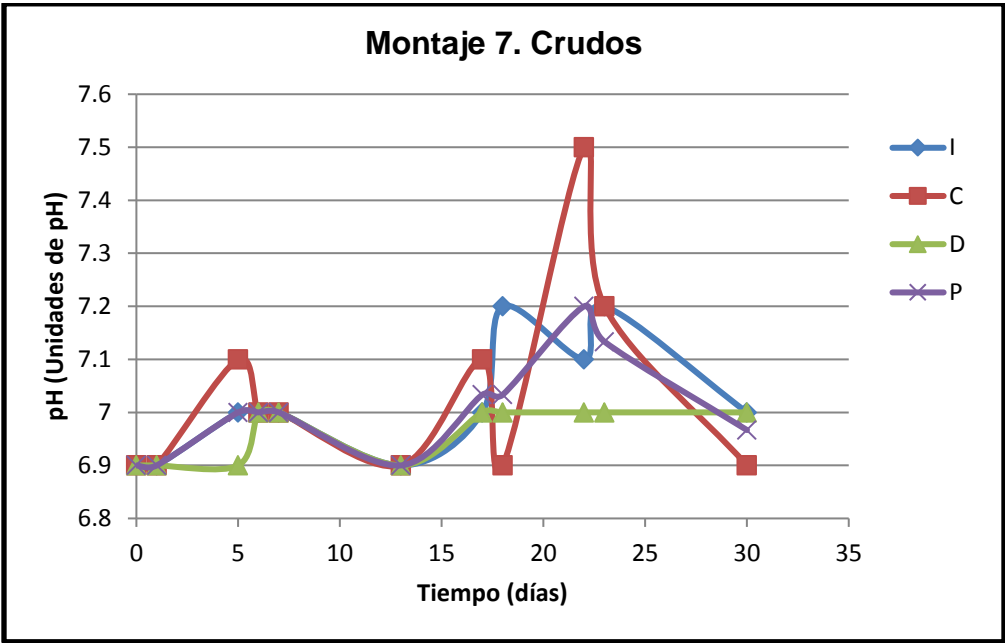
Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N	
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)
Aserrín	1.00	5	0.95	235.70	7.69	4.24	40.00	0.38	0.10	0.00
Residuos de frutas y verduras	4.12	80	0.82	439.41	17.00	9.38	56.00	0.46	1.40	0.01
Corte de Césped	1.86	30	1.30	96.35	35.00	19.30	58.00	0.76	3.40	0.04
Hojarasca, hojas secas	0.74	38	0.46	38.33	35.00	19.30	48.60	0.22	0.90	0.00
		% H	54.21		Vol. total:		52.227	C:	1.82	N: 0.06
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )						
Viruta de madera mezclada	0.26	235.70	0.02	0.001	Relación C:N		29.89			
Residuos de frutas y verduras	4.12	439.41	0.17	0.009						
Aserrín	1.86	96.35	0.35	0.019						
Poda de árboles	0.74	38.33	0.35	0.019						



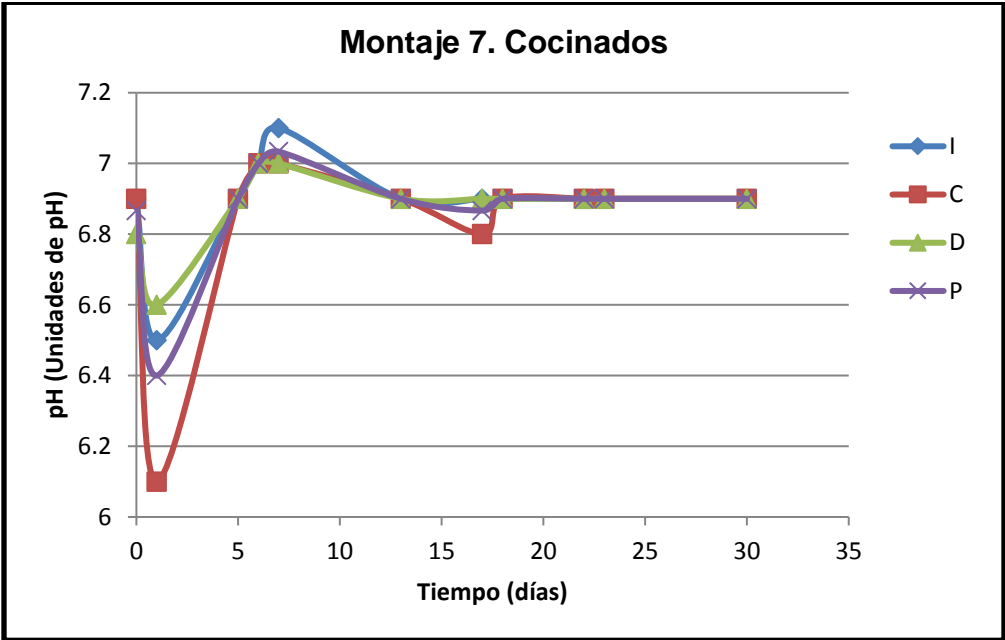
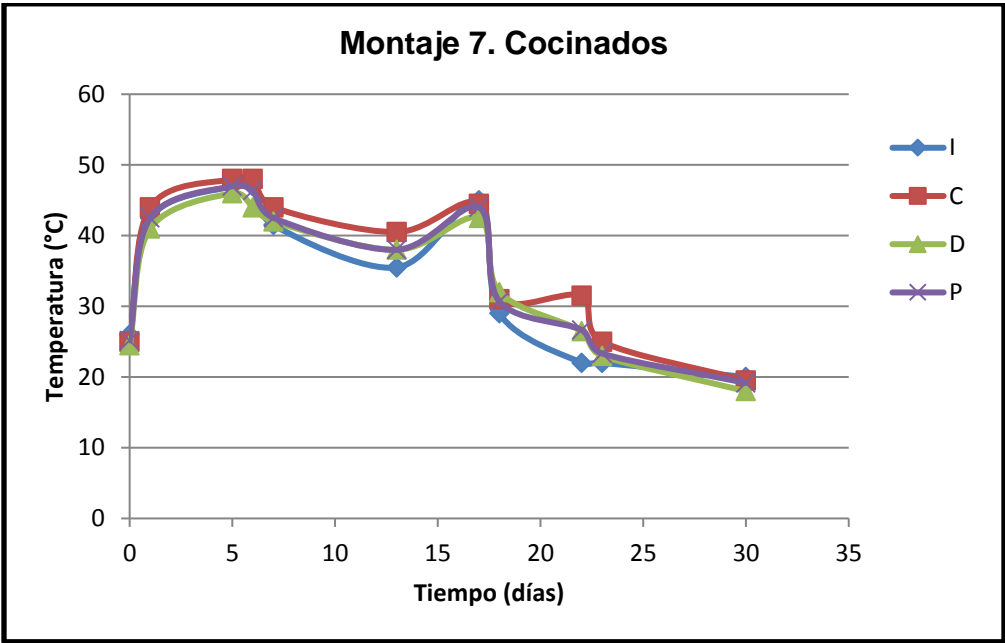
RESIDUOS CRUDOS O SIN COCINAR													
# MONTAJE	7												
FECHA	24/10/2018												
DESCRIPCIÓN	C/N= 29.89						H=54.21%						

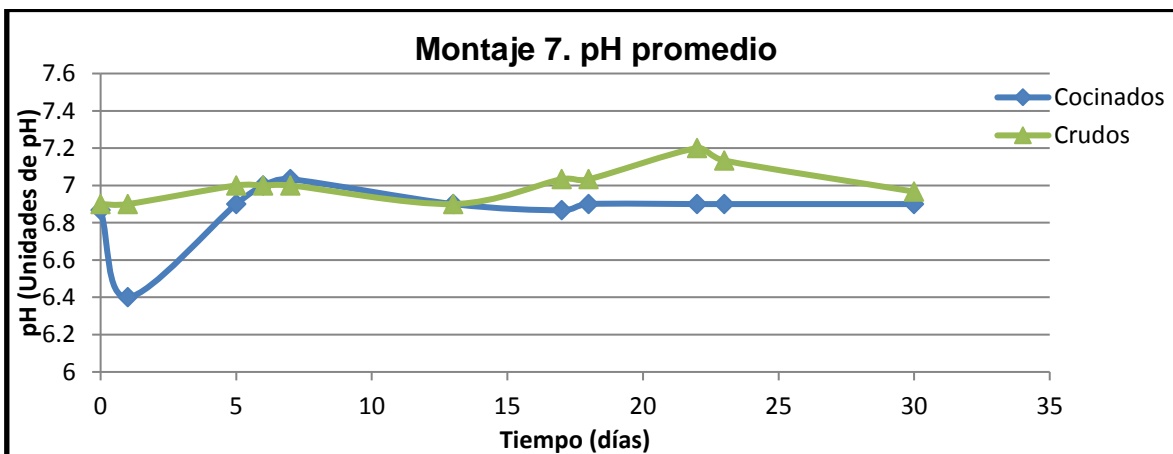
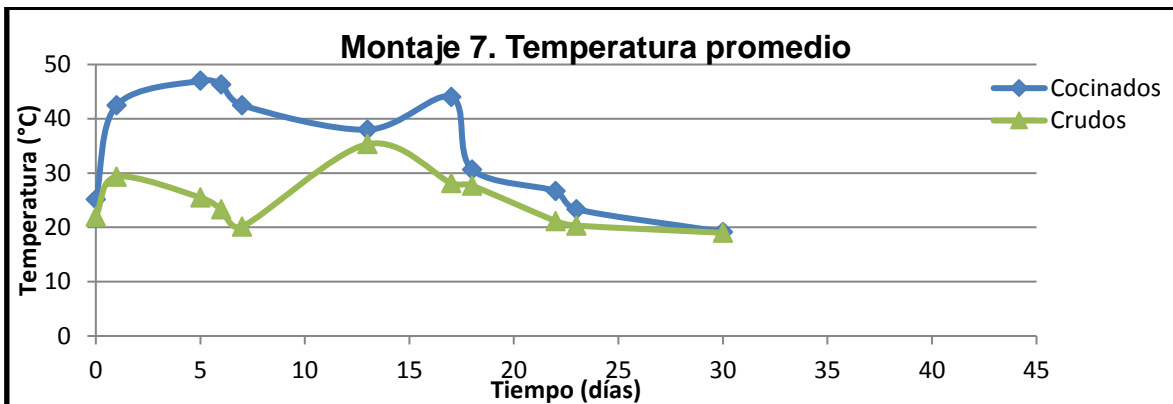
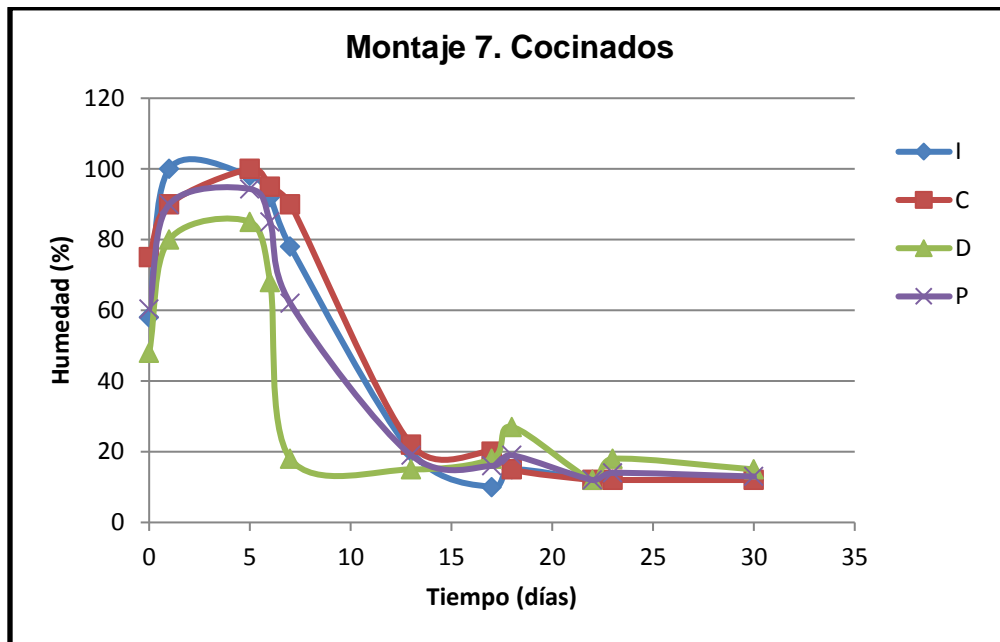
día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0	24/10/2018	22	22	22	22	6.9	6.9	6.9	6.9	12	15	15	14
1	25/10/2018	29	32	27	29.3	6.9	6.9	6.9	6.9	18	15	20	17.7
5	29/10/2018	26.5	27	23	25.5	7	7.1	6.9	7	45	60	18	41
6	30/10/2018	23	24	23	23.3	7	7	7	7	70	32	22	41.3
7	31/10/2018	20	21.5	19	20.2	7	7	7	7	25	22	18	21.7
13	06/11/2018	36	40	30	35.3	6.9	6.9	6.9	6.9	52	28	18	32.7
17	08/11/2018	26.5	30	28	28.2	7	7.1	7	7.03	12	58	68	46
18	09/11/2018	27	30.5	25.5	27.7	7.2	6.9	7	7.03	52	80	12	48
22	13/11/2018	21	22	20.5	21.2	7.1	7.5	7	7.2	32	52	10	31.3
23	14/11/2018	21	21	19	20.3	7.2	7.2	7	7.13	55	25	12	30.7
30	21/11/2018	19	19	19	19	7	6.9	7	6.97	18	15	14	15.7

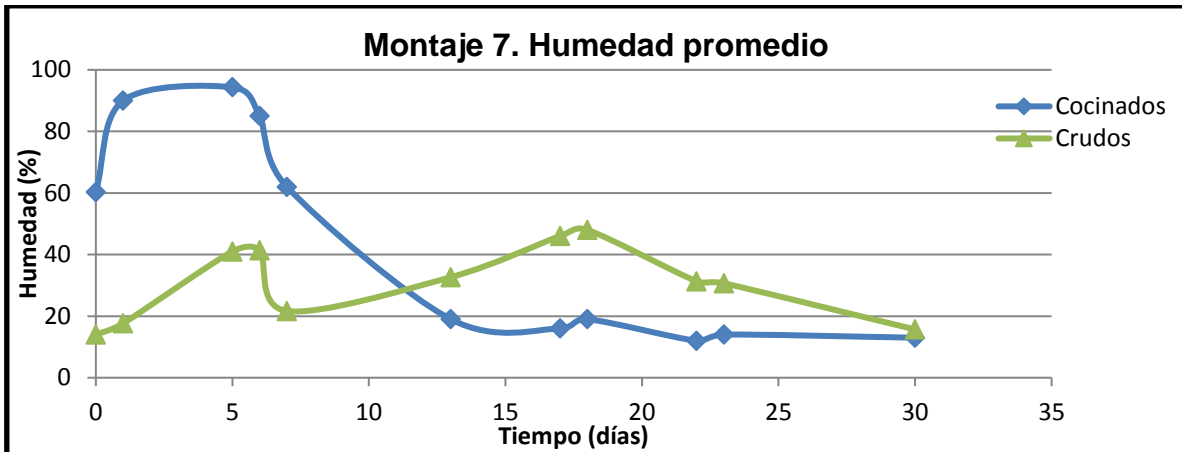










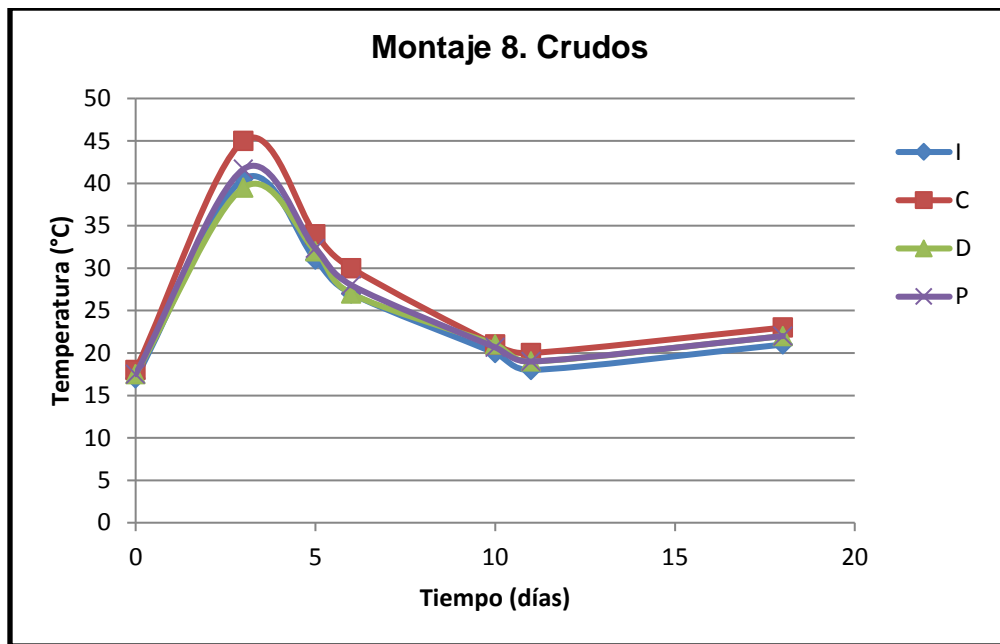


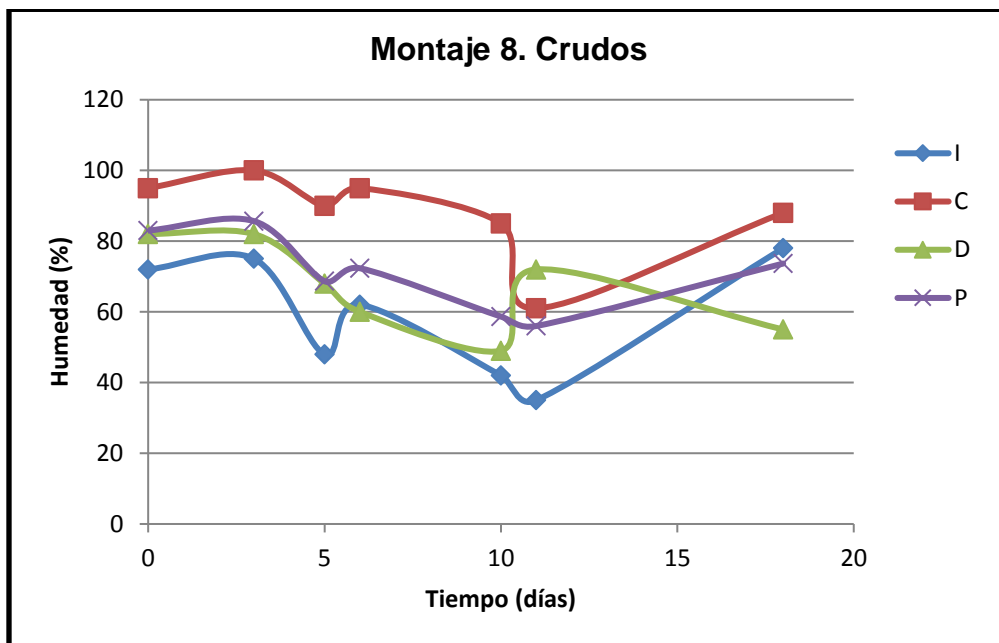
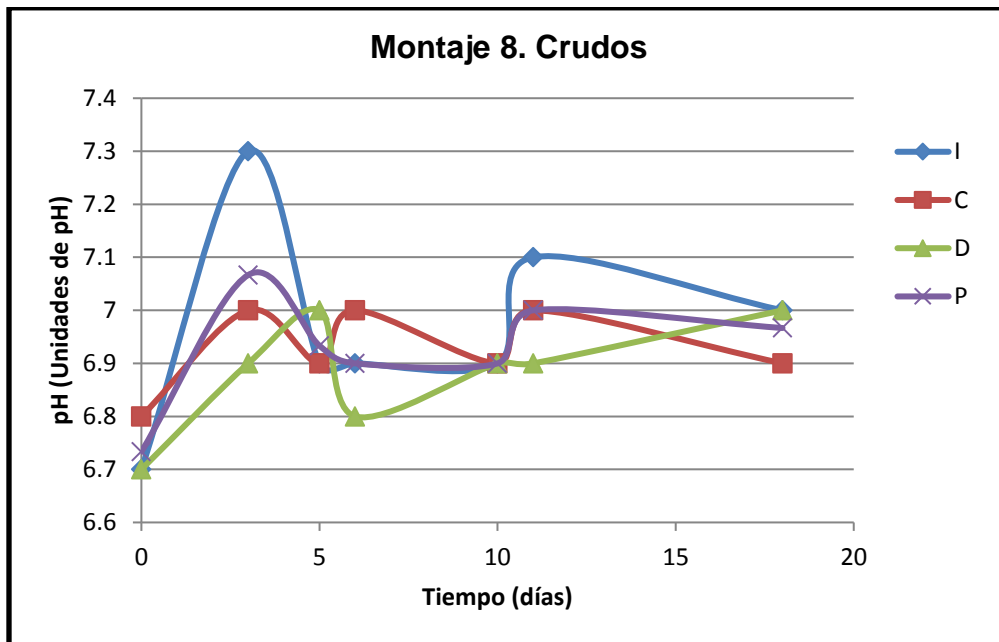
### Montaje 8. Residuos de frutas y verduras

Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N		
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)	
Aserrín	1.00	5	0.95	235.70	7.69	4.24	40.00	0.38	0.10	0.00	
Residuos de frutas y verduras	8.30	80	1.66	456.02	33.00	18.20	56.00	0.93	1.40	0.02	
Corte de Césped	1.5	30	1.05	77.70	35.00	19.30	58.00	0.61	3.40	0.04	
Hojas verdes	2.38	54	1.09	123.29	35.00	19.30	49.20	0.54	2.00	0.02	
		<b>% H</b>	<b>63.92</b>			<b>Vol. total:</b>	<b>61.052</b>	<b>C:</b>	<b>2.46</b>	<b>N:</b>	<b>0.08</b>
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )							
Aserrín	0.26	235.70	0.02	0.001	<b>Relación C:N</b> <b>30.04</b>						
Residuos de frutas y verduras	8.30	456.02	0.33	0.018							
Corte de Césped	1.5	77.70	0.35	0.019							
Poda de árboles	2.38	123.29	0.35	0.019							

RESIDUOS CRUDOS O SIN COCINAR													
# MONTAJE	8												
FECHA	19/09/2018												
DESCRIPCIÓN	C/N= 30.04						H=63.92%						

día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0	03/11/2018	17	18	17.5	17.5	6.7	6.8	6.7	6.73	72	95	82	83
3	06/11/2018	40.5	45	39.5	41.7	7.3	7	6.9	7.07	75	100	82	85.7
5	08/11/2018	31	34	32	32.3	6.9	6.9	7	6.93	48	90	68	68.7
6	09/11/2018	27	30	27	28	6.9	7	6.8	6.9	62	95	60	72.3
10	13/11/2018	20	21	21	20.7	6.9	6.9	6.9	6.9	42	85	49	58.7
11	14/11/2018	18	20	19	19	7.1	7	6.9	7	35	61	72	56
18	21/11/2018	21	23	22	22	7	6.9	7	6.97	78	88	55	73.7





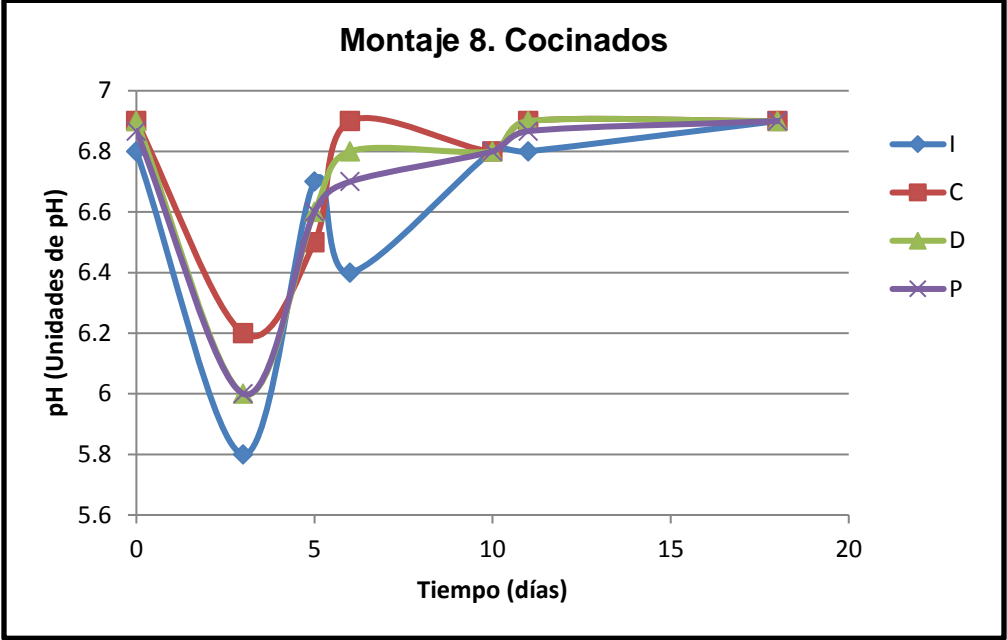
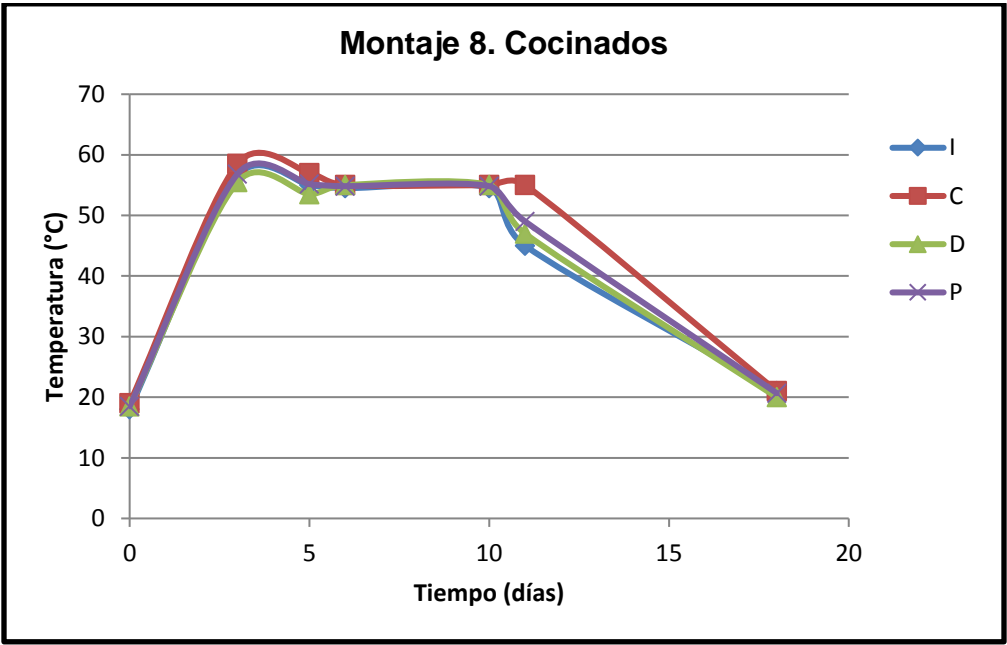


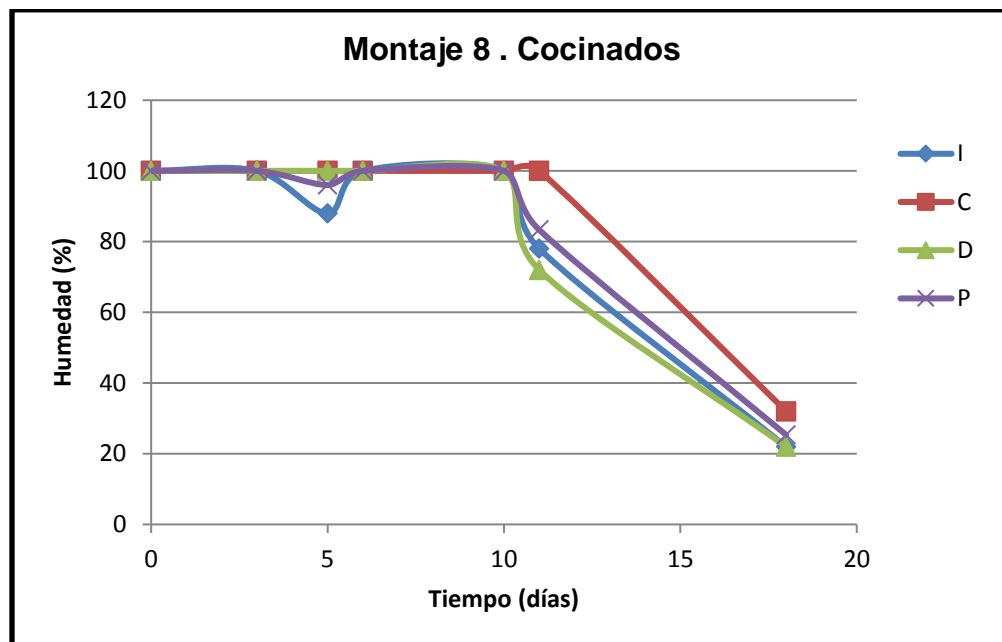
## Montaje 8. Residuos de alimentos cocinados

Componente	Peso (Kg)	Humedad (% en peso)	Peso seco (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (cm)	Volumen ocupado (L)	C		N		
							% En peso	(kg)	% En peso	(kg)	
Residuos de alimentos	17.54	80	3.51	1025.86	31.00	17.10	34.95	1.23	1.88	0.07	
Aserrín	3.00	5	2.85	235.70	23.08	12.73	40.00	1.14	0.10	0.00	
Corte de Césped	1.62	30	1.13	83.92	35.00	19.30	58.00	0.66	3.40	0.04	
Hojas verdes y secas	1.82	54	0.84	94.28	35.00	19.30	49.20	0.41	2.00	0.02	
		% H	65.27		Vol. total:		68.434	C:	3.44	N:	0.12
Componente	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura caneca (m)	Volumen ocupado (m <sup>3</sup> )							
Residuos de alimentos	17.54	1025.86	0.31	0.017	Relación C:N		27.72				
Aserrín	0.26	235.70	0.02	0.001							
Corte de Césped	1.62	83.92	0.35	0.019							
Poda de árboles	1.82	94.28	0.35	0.019							

RESIDUOS COCINADOS O PROCESADOS										
# MONTAJE	8									
FECHA	19/09/2018									
DESCRIPCIÓN	C/N= 27.72					H=65.27%				

día	fecha	Temperatura				pH				Humedad			
		I	C	D	P	I	C	D	P	I	C	D	P
0	03/11/2018	18	19	18.5	18.5	6.8	6.9	6.9	6.87	100	100	100	100
3	06/11/2018	56.5	58.5	55.5	56.8	5.8	6.2	6	6	100	100	100	100
5	08/11/2018	55	57	53.5	55.2	6.7	6.5	6.6	6.6	88	100	100	96
6	09/11/2018	54.5	55	55	54.8	6.4	6.9	6.8	6.7	100	100	100	100
10	13/11/2018	54.5	55	55	54.8	6.8	6.8	6.8	6.8	100	100	100	100
11	14/11/2018	45	55	47	49	6.8	6.9	6.9	6.87	78	100	72	83.3
18	21/11/2018	21	21	20	20.7	6.9	6.9	6.9	6.9	22	32	22	25.3





### Resumen de todos los montajes

Componente		MONTAJE RESIDUOS DE FRUTAS Y VERDURAS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		20 Jun.	27 Jun.	12 Sep.	19 Sep.	12 Oct.	18 Oct.	24 Oct.	03 Nov.
Peso (kg)	Corte de césped	2.18	0.88	1.16	2.50	1.56	1.10	1.86	1.50
	Poda de árboles	-	0.94	-	-	1.98	-	-	2.38
	Hojarasca	-	-	1.22	1.10	-	0.78	0.74	-
	Residuos de Frutas y verduras	4.44	4.58	4.38	3.76	9.10	7.62	4.12	8.30
	Residuos de alimentos	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aserrín	-	-	-	-	1.50	1.00	1.00	1.00
Volumen (L)	Corte de césped	19.11	18.58	19.30	19.30	19.30	19.30	19.30	19.30
	Poda de árboles	-	18.58	-	-	19.30	-	-	19.30
	Hojarasca	-	-	19.30	19.30	-	19.30	19.30	-
	Residuos de Frutas y verduras	9.29	7.63	7.72	11.58	18.20	12.13	9.38	18.20
	Residuos de alimentos	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aserrín	-	-	-	-	6.36	4.24	4.24	4.24
Parámetro	Carbono (kg)	1.86	1.22	1.33	1.77	2.52	1.98	1.82	2.46
	Nitrógeno (kg)	0.08	0.06	0.05	0.08	0.08	0.06	0.06	0.08
	Relación C/N	22.16	19.24	28.47	23.21	30.55	34.99	29.89	30.04
	% de Humedad	50.90	64.96	63.84	56.74	65.13	63.45	54.21	63.92
	Temperatura máxima	28	36	27	30	39	43	32	45
	Tiempo para alcanzar T máx.	8	1	10	1	7	7	1	3

Componente		MONTAJE RESIDUOS COCINADOS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		20 Jun.	27 Jun.	12 Sep.	19 Sep.	12 Oct.	18 Oct.	24 Oct.	03 Nov.
<b>Peso (kg)</b>	Corte de césped	2.0	2.4	1.7	3.1	2.7	0.7	2.2	1.6
	Poda de árboles	-	0.9	-	-	1.8	-	-	1.8
	Hojarasca	-	-	2.7	1.6	-	0.9	0.8	-
	Residuos de Frutas y verduras	4.4	4.4	-	-	-	-	-	-
	Residuos de alimentos	15.7	7.8	13.9	13.9	16.1	9.0	7.9	17.5
	Aserrín	-	-	2.1	1.5	3.0	1.5	1.8	3.0
<b>Volumen (L)</b>	Corte de césped	19.11	49.83	19.30	19.30	19.30	19.30	19.30	19.30
	Poda de árboles	-	18.58	-	-	19.30	-	-	19.30
	Hojarasca	-	-	36.73	19.30	-	19.30	19.30	-
	Residuos de Frutas y verduras	9.29	13.68	-	-	-	-	-	-
	Residuos de alimentos	15.93	9.27	12.13	8.00	15.44	7.72	11.03	17.10
	Aserrín	-	-	8.99	6.36	12.73	6.36	7.64	12.73
<b>Parámetro</b>	Carbono (kg)	2.1	2.3	3.3	2.8	3.6	1.8	2.1	3.4
	Nitrógeno (kg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Relación C/N	21.87	23.67	29.76	25.26	25.18	30.09	28.98	27.72
	% de Humedad	82.41	70.73	62.40	54.77	64.02	64.12	61.54	65.27
	Temperatura máxima	44	48	50	50	61	53	48	59
	Tiempo para alcanzar T máx.	8	6	6	6	7	4	5	3

## Anexo 6. Análisis de laboratorio al producto final



Calle 79 B No. 70 - 16 Bogotá D.C.  
Teléfono: 2231999  
Teléfono: 2234087  
e-mail: servicioalcliente@agrilab.com.co

### Insumos Agrícolas

Registrado ante el ICA según Resolución 001271 del 05 de Mayo de 2014 (Última actualización)

Propietario / Remitente	Sra. LAURA CRISTINA LESMES POSADA / Sra. LAURA CRISTINA LESMES POSADA		
Identificación suministrada	M1 RESIDUOS COCINADOS 1		
Descripción	Sólido café	No. Laboratorio	MO 24999
Fecha de Ingreso	20-nov-18	Fecha de Entrega	03-dic-18

### CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO
Humedad	23,8	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cenizas	7,87	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Pérdidas por Volatilización	68,3	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable Total	28,4	%	Walkley-Black (NTC 5167)
pH (pasta de saturación)	6,25	Unidades pH	Potenciométrico
Densidad ( base seca - 20°C)	0,31	g/cm <sup>3</sup>	Gravimétrico (NTC 5167)
Conductividad Eléctrica	12,2	dS/m	Potenciométrico
Retención de Humedad	250	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cap. Intercambio Catiónico	60,1	(me/100g)	Volumétrico (NTC 5167)
C/N	21		
N Total ( NOrg )	1,35	%	Sumatoria
Nitrógeno Orgánico (NOrg)	1,35	%	Micro-Kjeldhal (NTC 5167)
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,98	%	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	1,04	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Calcio total (CaO)	0,47	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Magnesio total (MgO)	0,17	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Azufre total (S-SO <sub>4</sub> )	0,13	%	Turbidimétrico (NTC 5167)
Hierro total	0,06	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Manganeso total	51,7	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Cobre total	5,32	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Zinc total	29,2	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Boro total	13,3	mg/Kg	Colorimétrico (NTC 5167)
Sodio total	0,59	%	Emisión de Llama (NTC 5167)
Sílice total SiO <sub>2</sub> ( extraído con HF )	1,90	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Residuo Insoluble en ácido	1,08	%	Gravimétrico (NTC 5167)

*Insumos Agrícolas*

*Registrado ante el ICA según Resolución 001271 del 05 de Mayo de 2014 (Última actualización)*

Propietario / Remitente	Sra. LAURA CRISTINA LESMES POSADA / Sra. LAURA CRISTINA LESMES POSADA		
Identificación suministrada	M2 RESIDUOS COCINADOS 2		
Descripción	Sólido café	No. Laboratorio	MO 25000
Fecha de Ingreso	20-nov-18	Fecha de Entrega	03-dic-18

**CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO
Humedad	28,7	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cenizas	8,98	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Pérdidas por Volatilización	62,3	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable Total	27,7	%	Walkley-Black (NTC 5167)
pH (pasta de saturación)	6,25	Unidades pH	Potenciométrico
Densidad ( base seca - 20 °C)	0,33	g/cm <sup>3</sup>	Gravimétrico (NTC 5167)
Conductividad Eléctrica	5,49	dS/m	Potenciométrico
Retención de Humedad	239	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cap. Intercambio Catiónico	52,1	(me/100g)	Volumétrico (NTC 5167)
C/N	20		
N Total ( NOrg )	1,36	%	Sumatoria
Nitrógeno Orgánico (NOrg)	1,36	%	Micro-Kjeldhal (NTC 5167)
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,62	%	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	0,95	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Calcio total (CaO)	0,52	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Magnesio total (MgO)	0,16	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Azufre total (S-SO <sub>4</sub> )	0,15	%	Turbidimétrico (NTC 5167)
Hierro total	0,13	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Manganeso total	61,6	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Cobre total	7,11	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Zinc total	33,2	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Boro total	12,5	mg/Kg	Colorimétrico (NTC 5167)
Sodio total	0,61	%	Emisión de Llama (NTC 5167)
Sílice total SiO <sub>2</sub> ( extraído con HF )	3,23	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Residuo Insoluble en ácido	2,00	%	Gravimétrico (NTC 5167)

**Insumos Agrícolas**

**Registrado ante el ICA según Resolución 001271 del 05 de Mayo de 2014 (Última actualización)**

Propietario / Remitente	Sra. LAURA CRISTINA LESMES POSADA / Sra. LAURA CRISTINA LESMES POSADA		
Identificación suministrada	M3 RESIDUOS FRUTAS Y VERDURAS 1		
Descripción	Sólido café	No. Laboratorio	MO 25001
Fecha de Ingreso	20-nov-18	Fecha de Entrega	03-dic-18

**CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO
Humedad	65,7	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cenizas	3,59	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Pérdidas por Volatilización	30,7	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable Total	13,4	%	Walkley-Black (NTC 5167)
pH (pasta de saturación)	8,67	Unidades pH	Potenciométrico
Densidad ( base seca - 20°C)	0,29	g/cm <sup>3</sup>	Gravimétrico (NTC 5167)
Conductividad Eléctrica	6,04	dS/m	Potenciométrico
Retención de Humedad	128	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cap. Intercambio Catiónico	26,9	(me/100g)	Volumétrico (NTC 5167)
C/N	30		
N Total ( NOrg )	0,45	%	Sumatoria
Nitrógeno Orgánico (NOrg)	0,45	%	Micro-Kjeldhal (NTC 5167)
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,17	%	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	0,81	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Calcio total (CaO)	0,53	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Magnesio total (MgO)	0,09	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Azufre total (S-SO <sub>4</sub> )	0,06	%	Turbidimétrico (NTC 5167)
Hierro total	0,03	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Manganeso total	34,8	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Cobre total	4,73	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Zinc total	14,8	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Boro total	7,17	mg/Kg	Colorimétrico (NTC 5167)
Sodio total	0,04	%	Emisión de Llama (NTC 5167)
Sílice total SiO <sub>2</sub> ( extraído con HF )	0,95	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Residuo Insoluble en ácido	0,32	%	Gravimétrico (NTC 5167)

**Insumos Agrícolas**

**Registrado ante el ICA según Resolución 001271 del 05 de Mayo de 2014 (Última actualización)**

Propietario / Remitente	Sra. LAURA CRISTINA LESMES POSADA / Sra. LAURA CRISTINA LESMES POSADA		
Identificación suministrada	M4 RESIDUOS FRUTAS Y VERDURAS 2		
Descripción	Sólido café	No. Laboratorio	MO 25002
Fecha de Ingreso	20-nov-18	Fecha de Entrega	03-dic-18

**CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO
Humedad	67,5	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cenizas	4,77	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Pérdidas por Volatilización	27,7	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable Total	11,4	%	Walkley-Black (NTC 5167)
pH (pasta de saturación)	8,30	Unidades pH	Potenciométrico
Densidad ( base seca - 20°C)	0,33	g/cm <sup>3</sup>	Gravimétrico (NTC 5167)
Conductividad Eléctrica	12,1	dS/m	Potenciométrico
Retención de Humedad	112	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cap. Intercambio Catiónico	25,9	(me/100g)	Volumétrico (NTC 5167)
C/N	28		
N Total ( NOrg )	0,41	%	Sumatoria
Nitrógeno Orgánico (NOrg)	0,41	%	Micro-Kjeldhal (NTC 5167)
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,15	%	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	0,81	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Calcio total (CaO)	0,36	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Magnesio total (MgO)	0,09	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Azufre total (S-SO <sub>4</sub> )	0,05	%	Turbidimétrico (NTC 5167)
Hierro total	0,05	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Manganeso total	34,5	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Cobre total	4,58	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Zinc total	14,6	mg/Kg	Abs. Atómica (NTC 5167)
Boro total	6,53	mg/Kg	Colorimétrico (NTC 5167)
Sodio total	0,02	%	Emisión de Llama (NTC 5167)
Sílice total SiO <sub>2</sub> ( extraído con HF )	1,07	%	Abs. Atómica (NTC 5167)
Residuo Insoluble en ácido	1,25	%	Gravimétrico (NTC 5167)

**OBSERVACIONES: Resultados expresados en base húmeda**


**\* N.D. NO DETECTADO**

- El presente informe registra fielmente los resultados de las variables solicitadas por el cliente y corresponden exclusivamente a la muestra enviada y analizada en las fechas indicadas.
- El informe solo tiene validez al estar firmado por el personal autorizado por AGRILAB LABORATORIOS S.A.S.
- El presente informe no puede ser reproducido parcial o totalmente, salvo autorización expresa por parte del laboratorio AGRILAB S.A.S.
- La fecha de ejecución de los ensayos, corresponde al período comprendido entre la fecha de ingreso y la fecha de emisión del presente informe de resultados.
- AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no presta los servicios de muestreo en campo, por lo tanto no se responsabiliza por los perjuicios derivados de dicho proceso.
- En el caso de análisis subcontratados, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. es responsable frente al cliente del trabajo realizado por el subcontratista, siempre y cuando este haya sido aprobado y contratado por el laboratorio.
- La verificación de análisis mediante ensayos de laboratorio se realizará máximo 15 días hábiles luego de emitido el presente informe de resultados.
- En Agrilab estamos interesados en la satisfacción de nuestros clientes. Para conocer sus inquietudes, quejas o reclamos sobre los resultados emitidos, hemos dispuesto el siguiente correo electrónico: [servicioalcliente@agrilib.com.co](mailto:servicioalcliente@agrilib.com.co), por favor comuníquese con nosotros a través de este medio y con gusto le brindaremos una respuesta clara y oportuna a su solicitud.

**ATENTAMENTE,**

  
**MYRIAM BÉNDECK LUGO**  
Química Directora Técnico PQ-1168

Página 1 de 1

  
**ALVARO ANDRES MORENO OSPINA**  
Químico Coordinador de Área PQ- 5067



## Anexo 7. Registro fotográfico del modelo

### Lote B de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito



**Análisis de campo para determinación de humedad y peso específico.**





### Inicio del montaje de la planta piloto

Zona para no permitir ingreso de roedores ni salida de lixiviados al terreno.



Piloto de compostaje para los primeros montajes



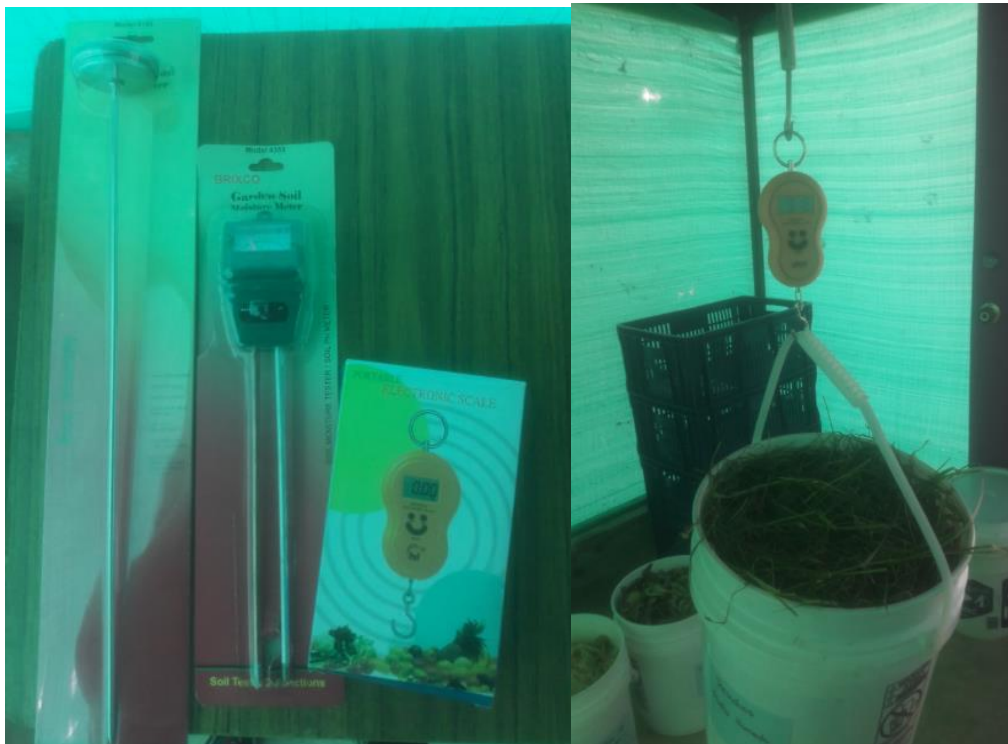
Piloto de compostaje luego de las modificaciones del cerramiento



## Módulos de canastas.



## Equipos para mediciones



## Montajes para cada modelo

### *Montaje 1. 20 de junio de 2018*





**Montaje 2. 27 de junio de 2018**







**Montaje 3. 12 de septiembre de 2018**





**Montaje 4. 19 de septiembre de 2018**





**Montaje 5. 12 de octubre de 2018**



**Montaje 6. 18 de octubre de 2018**



**Montaje 7. 24 de octubre de 2018**



**Montaje 8. 03 de noviembre de 2018**





