

### **Información Importante**

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Bibliotecas Bucaramanga**  
**Universidad Santo Tomás**

**Estudio Técnico para la Valorización de Residuos Sólidos Vegetales provenientes de la  
Plaza de Mercado San Francisco de Bucaramanga.**

**(Estudio de caso)**

Alba J. Vargas Buitrago

Trabajo de grado para optar el título de Magister en Ciencias y Tecnologías Ambientales

Director del Proyecto

Martha Cervantes Díaz

Químico, M.Sc.

Codirector

Luis Eduardo Jaimes Reátiga

Ing. Químico, M.Sc.

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Química Ambiental

Maestría en Ciencias y Tecnologías Ambientales

2016

**Dedicatoria**

A mi esposo y mis hijos Nicole y Juan Luis, quienes con su silencio y amor me llevaron  
hasta la meta y a cumplir mi sueño.

A mi madre quien con su apoyo aligeró las cargas para hacer posible este sueño.

### **Agradecimientos**

A Dios por cada momento de mi vida, por permitirme ser feliz, por ponerme en el camino de la sabiduría y por la fuerza que me da en cada momento para culminar mis proyectos.

A mi esposo e hijos, inspiradores de mis logros y motores de mi vida, gracias por ese apoyo incondicional, por agregarle ese toque acogedor a este trayecto, compartir mis alegrías y animarme cuando pensaba que no podía terminar.

A mi directora, Profesora Martha Cervantes, por la orientación y el apoyo, su tiempo y su paciencia los cuales han sido inestimables al igual que al co-director Ing. Luis Eduardo Jaimes Reátiga.

A mi madre, mi hermana y mi sobrina, por su apoyo incondicional, que sienten este logro y se alegran como si fuera propio.

### **Lista de Contenido**

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN                                                                        | 21 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                                       | 24 |
| 2. JUSTIFICACIÓN                                                                    | 25 |
| 3. OBJETIVO GENERAL                                                                 | 27 |
| 3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS                                                           | 27 |
| 4. MARCO REFERENCIAL                                                                | 28 |
| 4.1 MARCO TEÓRICO                                                                   | 28 |
| 4.1.1 RESIDUO SÓLIDO (RS).                                                          | 28 |
| 4.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RSO.                                                     | 31 |
| 4.1.3 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES                                                     | 33 |
| 4.1.4 ACTIVIDADES GENERADORAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS                                 | 35 |
| 4.1.5 PROCESOS DE APROVECHAMIENTO Y MINIMIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS. | 38 |
| DIÉSEL FABRICADO MEDIANTE EL PROCESO QUÍMICO DE FISCHER-TROPSH                      | 43 |
| 4.1.5.4.1 BIOETANOL O ALCOHOL CARBURANTE.                                           | 43 |
| 4.1.5.4.2 METANIZACIÓN.                                                             | 44 |
| 4.1.5.4.3 BIODIESEL.                                                                | 44 |
| 4.1.5.4.4 BOCASHI.                                                                  | 45 |
| 4.1.5.4.5 BIOFERTILIZANTES.                                                         | 45 |
| 4.1.5.4.6 BIOFERMENTOS.                                                             | 46 |
| 4.1.6 PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS                      | 46 |
| 4.1.7 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RESIDUOS CON FINES DE APROVECHAMIENTO               | 47 |
| 4.1.8 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS                                           | 48 |
| 4.1.8.1.1 ANÁLISIS DE PESADA TOTAL.                                                 | 51 |

|                                                                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| VALORIZACION DE RESIDUOS SOLIDOS VEGETALES                                                                                                      | 6         |
| 4.1.8.1.2 ANÁLISIS PESO-VOLUMEN.                                                                                                                | 51        |
| 4.1.8.1.3 ANÁLISIS DE BALANCE DE MASAS.                                                                                                         | 51        |
| 4.1.8.2.1 ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OPS, A TRAVÉS DEL CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA, CEPIS.                          | 52        |
| 4.1.8.2.2 UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USEPA.                                                                                 | 53        |
| 4.1.8.3.1 ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO                                                                                                      | 54        |
| 4.2 MARCO DE ANTECEDENTES                                                                                                                       | 61        |
| 4.2.1 PLAZA DE MERCADO SAN FRANCISCO                                                                                                            | 74        |
| 5. DISEÑO METODOLÓGICO                                                                                                                          | 77        |
| 5.1 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA PLAZA DE MERCADO CENTRAL DE BUCARAMANGA. | 77        |
| 5.2 SELECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA MATERIA PRIMA O RESIDUOS DE ORIGEN VEGETAL OBJETO DE ESTUDIO                                               | 78        |
| 5.3 MINERÍA DE TEXTO                                                                                                                            | 78        |
| 5.4 DISEÑO DE UNA BIOREFINERÍA PARA EL RESIDUO ORGÁNICO Y BIOCOMPUESTOS IDENTIFICADOS COMO MÁS SOSTENIBLE.                                      | 81        |
| <b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>                                                                                                                | <b>82</b> |
| <b>6.1 COMPOSICIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS</b>                                                                       | <b>82</b> |
| 6.1.1 INFORMACIÓN OFICIAL                                                                                                                       | 82        |
| 6.1.2 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA PLAZA DE MERCADO SAN FRANCISCO         | 88        |
| <b>6.2 MINERÍA DE TEXTO</b>                                                                                                                     | <b>95</b> |
| 6.2.1 DINÁMICA CIENTÍFICA                                                                                                                       | 95        |
| 6.3 BIOREFINERÍA PARA LA PIÑA                                                                                                                   | 105       |
| 6.4 BIOREFINERÍA                                                                                                                                | 105       |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 6.5 RESIDUOS DE LA PIÑA                | 108 |
| 6.5.1 BROMELINA.                       | 111 |
| 6.5.2 PECTINA.                         | 112 |
| 6.5.3 VERMICOMPOSTING.                 | 112 |
| 6.5.4 ETANOL.                          | 113 |
| 6.5.5 ANTIOXIDANTE FENÓLICO.           | 114 |
| 6.5.6 ÁCIDO CÍTRICO.                   | 115 |
| 6.5.7 ÁCIDO LÁCTICO.                   | 115 |
| 6.5.8 ÁCIDO FERÚLICO.                  | 116 |
| 6.5.9 ENERGÍA Y FUENTE DE CARBONO.     | 116 |
| 6.5.10 DECOLORANTE.                    | 117 |
| 6.5.11 FIBRA.                          | 117 |
| 6.5.12 ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS. | 118 |
| 6.5.13 ALIMENTO PARA ANIMALES.         | 118 |
| 7.CONCLUSIONES                         | 122 |
| 8.DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS        | 125 |

**Lista de Tablas**

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1 Clasificación de Residuos Sólidos Orgánicos .....                                                  | 32  |
| Tabla 2 Principales ingredientes extraídos de residuos agroindustriales.....                               | 33  |
| Tabla 3 <i>Distribución de la muestra</i> .....                                                            | 56  |
| Tabla 4 <i>Distribución de la plaza de mercado por sectores.</i> .....                                     | 76  |
| Tabla 5 <i>Composición de los RSO generados en las Plazas de Mercado de Bucaramanga</i> .....              | 83  |
| Tabla 6. <i>Composición de los RSO generados en las Plazas de Mercado de Floridablanca</i> .....           | 84  |
| Tabla 7. <i>Composición de los RSO generados en las Plazas de Mercado de Piedecuesta</i> .....             | 85  |
| Tabla 8. <i>Composición de los RSO generados en las Plazas de Mercado de Girón</i> .....                   | 85  |
| Tabla 9. <i>Composición de los RSO generados en el Área Metropolitana de Bucaramanga.</i> .....            | 86  |
| Tabla 10. <i>Composición de los RSO vegetales generados en la plaza de mercado San Francisco.</i><br>..... | 90  |
| Tabla 11. <i>Composición, Cantidad y Valor porcentual de Residuos Sólidos Orgánicos Vegetales</i><br>..... | 90  |
| Tabla 12. <i>RSO de origen vegetal seleccionados</i> .....                                                 | 95  |
| Tabla 13. <i>Composición Química de los Residuos de Piña</i> .....                                         | 109 |

### Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 1 Determinación de la Muestra según Estrato Económico. Adaptado de Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos, por Cantanhede, Alvaro, 2005.</i>                                                                                                             | 54 |
| <i>Figura 2 Pesaje de bolsas para la muestra. Adaptado de Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos, por Cantanhede, Alvaro, 2005.</i>                                                                                                                                | 57 |
| <i>Figura 3 Determinación de la densidad de los residuos. Adaptado de Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos, por Cantanhede, Alvaro, 2005.</i>                                                                                                                    | 57 |
| <i>Figura 4 Determinación composición física de los residuos. Adaptado de Método sencillo de análisis de residuos sólidos, por López, Jorge Luis, 2009.</i>                                                                                                                                                      | 58 |
| <i>Figura 5. Método del cuarteo para escoger una muestra. Adaptado de Método sencillo de análisis de residuos, por Sakurai, Kunitoshi, 1983.</i>                                                                                                                                                                 | 59 |
| <i>Figura 6. Resumen de actividades para la caracterización de residuos Sólidos. Adaptado de Método sencillo de análisis de residuos sólidos, por López, Jorge Luis, 2009.</i>                                                                                                                                   | 60 |
| <i>Figura 7. Principales características de una Biorefinería basada en el procesamiento biológico. Adaptado de Biowaste biorefinery in Europe: opportunities and research &amp; development needs, por fava, Fabio, 2015.</i>                                                                                    | 72 |
| <i>Figura 8. Área de influencia directa de la plaza de mercado San Francisco. Adaptado de <a href="https://www.google.it/maps/place/Plaza+San+Francisco/@7.1353442,-73.1238426,18z/data8330b8df07">https://www.google.it/maps/place/Plaza+San+Francisco/@7.1353442,-73.1238426,18z/data8330b8df07</a>, 2016.</i> | 75 |
| <i>Figura 9 Proceso metodológico de la vigilancia tecnológica. Adaptado de Herramientas de Software especializadas para Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva, por Torres &amp; Marro, 2015.</i>                                                                                                     | 79 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 10. Etapas del proceso metodológico que se llevará a cabo en el ejercicio de minería de texto. Adaptado de Unidad de Bibliometría – USTABUCA, 2016.....                                                                                                                                                                                        | 81 |
| Figura 11. Cantidad de Residuos Sólidos Generados por Clase en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Autor, 2016.....                                                                                                                                                                                                                                 | 87 |
| Figura 12. Valor Porcentual de Residuos Sólidos Generados en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Autor, 2016.....                                                                                                                                                                                                                                   | 88 |
| Figura 13. Composición de los residuos sólidos orgánicos vegetales, Autor, 2016. ....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 92 |
| Figura 14. Valor porcentual de los residuos sólidos orgánicos vegetales, Autor, 2016.....                                                                                                                                                                                                                                                             | 94 |
| Figura 15. Evolución en el tiempo de la producción científica relacionada la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales (cáscaras de frutas). Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology). .... | 96 |
| Figura 16. Áreas de aplicación de la investigación relacionada la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales (cáscaras de frutas). Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).....             | 97 |
| Figura 17.Principales revistas científicas relacionadas la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales (cáscaras de frutas). Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).....                    | 98 |
| Figura 18. Distribución de la investigación científica relacionada la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales (cáscaras de frutas). Fuente: Unidad de                                                                                                                                                                |    |

*Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology)..... 99*

*Figura 19. Principales grupos de frutas relacionada la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales. Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology)..... 100*

*Figura 20. Relación entre los grupos de frutas con la actividad biológica relacionada la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales. Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology)..... 101*

*Figura 21. Dinámica científica relacionada con la investigación con el fruto de la piña. Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology). .... 102*

*Figura 22. Áreas de interés de la investigación sobre el fruto de la piña. Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology)..... 103*

*Figura 23. Distribución por países de la investigación sobre el fruto de la piña. Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology)..... 104*

*Figura 24. Biorefinería para Residuos Sólidos Orgánicos, Adaptado de A Biochemical Approach to Attributing Value to Biodiversity-The Concept of the Zero Emissions Biorefinery, por Gravitis, Janis, 2015. .... 107*

|                                                                                                                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Figura 25. Comparación de Algunas de las Propiedades Químicas de la Piña, Tomado de Opportunity for high value-added chemicals from food supply chain waste, por Matharu, A, S, 2015.....</i> | <i>110</i> |
| <i>Figura 26. Biorefineria del Potencial de Aprovechamiento de los residuos de la Piña, Autor, 2016. ....</i>                                                                                    | <i>119</i> |
| <i>Figura 27. Biorefineria propuesta para la plaza de mercado San Francisco de Bucaramanga, Autor, 2016.....</i>                                                                                 | <i>121</i> |

**Lista de Abreviaturas y Acrónimos**

GIRS Gestión Integral de Residuos

PGIRS Plan de Gestión Integral de residuos Sólidos

RS Residuo Solido

RSO Residuo Sólido Orgánico

MAVDT Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

GTC Guía Técnica Colombiana

ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

CV Ciclo de Vida

UAESP Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos

AMB Área Metropolitana de Bucaramanga

### Glosario

**Aprovechamiento de los residuos:** Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.

**Biodegradable:** Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por organismos vivos, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias. Sustancia que se descompone o desintegra con relativa rapidez en compuestos simples por alguna forma de vida como: bacterias, hongos, gusanos e insectos. Lo contrario corresponde a sustancias no degradables, como plásticos, latas, vidrios que no se descomponen o desintegran, o lo hacen muy lentamente. Los organoclorados, los metales pesados, algunas sales, los detergentes de cadenas ramificadas y ciertas estructuras plásticas no son biodegradables.

**Caracterización de residuos:** Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades.

**Contaminación:** Alteración reversible o irreversible de los ecosistemas o de alguno de sus componentes producida por la presencia o la actividad de sustancias o energías extrañas a un medio determinado. La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

**Contaminación ambiental:** Introducir al medio cualquier factor que anule o disminuya la función biótica.

**Contaminante:** Es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, aguas, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición, o afecten la salud humana.

**Degradable:** Estructura o compuesto que puede ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales (biodegradable involucra la acción de microorganismos, fotodegradable implica la acción de la luz.

**Desarrollo sostenible:** Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad y manejo racional de los recursos naturales.

**Disposición final:** La acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevean afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

**Eliminación:** Sacar, separar, descartar un residuo del circuito de utilización. Los residuos se han de eliminar sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos o métodos que puedan causar perjuicios al medioambiente.

**Emisión:** Sustancia en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo o subsuelo.

**Fracción orgánica de residuos:** Parte de los residuos constituida por desperdicios de origen doméstico, como por ejemplo verduras, frutas, carnes, pescados, harinas o derivados, etc., susceptible de degradarse biológicamente, y también por los residuos de jardinería y poda. Se designa así, por extensión, a todo el contenido del contenedor especializado destinado a la recogida segregada de materia orgánica o contenedor marrón.

**Generación:** La acción de producir residuos sólidos a través de procesos productivos o de consumo.

**Generador:** Persona física o moral que produce residuos, a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.

**Gestión integral de los residuos:** El conjunto articulado e interrelacionado de acciones y normas operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de los residuos sólidos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

**Lixiviados:** Los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos sólidos y que contienen sustancias en forma disuelta o en suspensión que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositen residuos sólidos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua.

**Manejo integral de residuos:** Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, coprocesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

**Materias primas:** Sustancias que permanecen en su estado natural u original, antes de ser sometida a un procesamiento o proceso de fabricación. Materiales primarios de un proceso de fabricación.

**Medio ambiente:** Marco animado e inanimado en el que se desarrolla la vida de los seres vivos. Abarca seres humanos, animales, plantas, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos, así como los valores de estética, ciencias naturales e histórico culturales.

**Proceso de degradación:** Proceso por el cual la materia orgánica contenida en la basura sufre reacciones químicas de descomposición (fermentación y oxidación) en las que intervienen microorganismos dando como resultado la reducción de la materia orgánica y produciendo malos olores.

**Reciclable:** Materiales que todavía tienen propiedades físicas o químicas, útiles después de servir a su propósito original y que, por lo tanto, pueden ser reutilizados o refabricados convirtiéndolos en productos adicionales.

**Reciclaje:** Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente. Según la complejidad del proceso que sufre el material o producto durante su reciclaje, se establecen dos tipos: directo, primario o simple; e indirecto, secundario o complejo.

**Residuo:** Todo material en estado sólido, líquido o gaseoso, ya sea aislado o mezclado con otros, resultante de un proceso de extracción de la Naturaleza, transformación, fabricación o consumo, que su poseedor decide abandonar.

**Residuos orgánicos:** Los residuos orgánicos son los residuos de comida y restos del jardín. Son todos aquellos residuos que se descomponen gracias a la acción de los desintegradores.

**Residuo aprovechable:** Todo aquel material que puede utilizarse como materia prima y devolverse al flujo de materiales y cuyo procesamiento puede ser económicamente viable.

**Valorización:** Acción de aumentar el valor de un residuo. Los residuos se han de valorizar sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos o métodos que puedan causar perjuicios al medioambiente.

### Resumen

Las plazas de mercado producen volúmenes considerables de residuos sólidos los cuales contribuyen notoriamente a la contaminación ambiental, principalmente por el inadecuado manejo de éstos, lo que ocasiona impactos ambientales importantes. Por ejemplo, afectación del aire por la generación de olores ofensivos producto de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos, contaminación visual por la acumulación de basuras en lugares inapropiados, contaminación del agua por vertimientos de éstos al sistema de alcantarillado y en menor grado, pero de manera significativa, sobre la salud de los actores principales (vendedores, clientes y asentamientos humanos) ubicados cerca al área de influencia de las plazas, así como por reproducción excesiva de animales que pueden transmitir enfermedades infecto contagiosas. El relleno sanitario el Carrasco recibe diariamente 1000 toneladas provenientes de 18 municipios de Santander(Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD, 2015). En promedio 15.958 ton/mes, son generadas por el Área Metropolitana, con una producción per cápita de 0,9716 Kg/Habitante-día. La disposición de residuos orgánicos en el relleno sanitario está estimada en un 88,18% del valor total, del cual un 33,33% son residuos de comida y una buena parte de estos son residuos de origen vegetal(Alcaldía de Bucaramanga, 2017). Los residuos sólidos de origen vegetal que se producen en las plazas de mercado, provienen de los desechos de diversos tipos de frutas, legumbres y hortalizas, entre otros. Dentro de la composición química de estos se encuentran biomoléculas como agua, carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales. Muchos de estos residuos, tienen el potencial de ser reutilizados en otros sistemas de producción, por ejemplo, biorefinerías para la obtención de compuestos de valor agregado, aprovechables en industrias como alimentos, cosmética y farmacéutica. Esto permitirá reducir la contaminación y el impacto ambiental antes mencionado. Teniendo en cuenta lo anterior y los conceptos de ecología

industrial, el análisis del ciclo de vida de la cuna a la cuna y la economía circular, se consideran principio rector de la innovación ecológica, con el objetivo de una "*economía de basura cero*" en el que los residuos se utilizan como materia prima para nuevos productos y aplicaciones. El objetivo de la presente investigación consistió en desarrollar un estudio técnico para el aprovechamiento y valorización económica de desechos vegetales provenientes de la plaza de Mercado San Francisco de Bucaramanga, para lo cual fue necesario identificar la composición de los residuos sólidos orgánicos de origen vegetales generados, como factor determinante del potencial de aprovechamiento y valorización de dichos residuos. Una vez agotado el anterior paso se identificó que, el residuo que se genera en mayor proporción es la cáscara de piña, y a través de la minería de datos se logró determinar las alternativas y tecnologías disponibles para el aprovechamiento de dicho residuo. El resultado, el gran potencial y valor comercial, medicinal y cosmeceútico que tiene la bromelina, compuesto extraído de la cáscara de piña. Por esta razón y en conclusión la estrategia de valorización propuesta para los residuos generados en la plaza de mercado San Francisco, fue el aprovechamiento de los residuos de la piña para extraer bromelina y los demás residuos incluidos los del proceso de extracción del biocompuesto llevarlos a producción de fertilizantes orgánicos líquidos y sólidos; sin no antes sugerir la conformación de una biorefinería metropolitana para la valorización de todos los residuos de plazas de mercado del Área Metropolitana.

Palabras claves: Valorización, Biorefinería, Caracterización, aprovechamiento, residuo orgánico, bromelina, piña.

### **Abstract**

Market squares produce considerable volumes of waste which contribute significantly to air pollution, mainly by inadequate management of these, resulting in very high environmental impacts, as for example, involvement of air by odors offensive product of the decomposition of organic solid waste generation; visual pollution by the accumulation of waste in inappropriate places; water pollution by discharges to the sewerage system and especially by the percolation of the leachates generated and to a lesser extent but a significant influence on the health of key players (vendors, customers and human settlements located near the area of influence of the squares as well as landfills) and by excessive reproduction of animals that can transmit transmissible infectious diseases. The Carrasco landfill receives daily from 744,4 ton/day of 18 municipalities of Santander (Superintendency of services public home SSPD, 2015). On average 15.958 ton/month, they are generated by the Metropolitan Area, with a per capita of 0,9716 Kg/inhabitant-day production. The disposal of organic waste in the landfill is estimated at 88.18% of the total value, which a 33.33% are food residue and a good portion of these are waste of vegetable origin (Mayor of Bucaramanga, 2017). Daily approximately 70 tons of waste from the market places are arranged at the landfill the Carrasco (Vanguardia Liberal, 2015). Solid waste from plants that occur in the market places, come from debris of various kinds of fruits and vegetables, among others. The chemical composition of these biomolecules such as water, carbohydrates, lipids, proteins, vitamins and minerals are inside. Many of these residues have the potential to be reused in other production systems, for example, biorefineries to obtain value added compounds, useful in industries such as food, cosmetics and pharmaceutical industries. This would reduce pollution and the aforementioned environmental impact. With this in mind, the concepts of industrial ecology, the analysis of the life cycle from cradle to cradle and the circular economy are considered guiding

principle of eco-innovation, with the aim of a "zero waste economy" in which residues are used as raw material for new products and applications. The objective of this project is to develop a technical study for the exploitation and economic valorization of vegetable wastes from square market San Francisco of Bucaramanga, for which it was necessary to identify the composition of organic solid waste generated vegetables, such as determinant of the potential use and recovery of such waste. Once exhausted the previous step was identified that the waste that is generated in a greater proportion is pineapple shell, and through data mining was achieved to determine alternatives and technologies available for the use of such waste. The result, the great potential and value commercial, medicinal and Cosmeceutical that has the Bromelain, compound extracted from the shell of pineapple. For this reason and in conclusion the strategy of evaluation proposed for the waste generated in the market square of San Francisco, It was the use of residues of pineapple to remove Bromelain and other waste including the extraction of the bi process take them to production of solid and liquid organic fertilizers; without not before suggest the conformation of a biorefinery Metropolitan for the valuation of all the waste of squares markets of the Area Metropolitan.

Key Words: Valuation, biorefinery, characterization, utilization, organic residue.

### **Introducción**

En el mundo se producen aproximadamente 1600 millones de toneladas por año de residuos sólidos(Skinner, 2000), los cuales generan graves problemas, no solo por el deterioro progresivo del medio ambiente, sino también desde el punto de vista económico puesto que los costos de recolección, transporte y disposición final son cada vez mayores.

Los residuos sólidos han ocasionado y siguen ocasionando impactos ambientales negativos por su disposición inadecuada y porque su producción per cápita va en aumento, asunto asociado al incremento de la población, a los procesos de transformación industrial (globalización), y a los hábitos de consumo de los individuos.

En la actualidad se ha tratado de buscar solución a éste problema, implementado la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), de la cual hace parte una integralidad de procesos que van desde separación en la fuente (orgánico, reciclaje e inservible), hasta la transformación de los que permiten éste proceso o a la disposición final de los que no se pueden reciclar.

A partir de la separación en la fuente se ha buscado usos alternativos benéficos para el entorno, como es el proceso de reciclaje para la transformación de los residuos sólidos orgánicos nuevamente en materia prima. El proceso de compostaje de los residuos orgánicos como biofertilizantes y acondicionadores de suelos, la producción de gas, humus, los biocombustibles, entre otros, son técnicas mediante las cuales se puede aprovechar éste tipo de residuos, sin duda las más estudiadas y las más aplicadas.

En el mundo, la preocupación acerca del aprovechamiento de residuos ha generado gran interés en la comunidad científica y sobre todo en la industria, en donde los procesos de transformación generan desechos y subproductos que pueden ser útiles en otras actividades; sin embargo, los residuos generados en el consumo de productos agrícolas y las transformaciones agroindustriales no han sido aprovechados eficientemente en Colombia; en parte, porque su valor es aún desconocido y los estudios son aún incipientes; de tal manera que estudios recientes utilizando principalmente técnicas biotecnológicas han centrado su atención en la necesidad de identificar y recuperar sustancias de interés o de valor agregado para la industria presentes en residuos

provenientes de procesos comerciales que involucran productos de origen vegetal como frutas y verduras, entre otros.

Es así como se han diseñado procesos para utilizar estos residuos en la generación de productos de alto valor comercial como azúcares solubles, fibra, ácidos orgánicos, enzimas, aminoácidos, minerales, aceites esenciales, flavonoides, vitaminas y metabolitos secundarios biológicamente activos, entre otros, presentes en cantidades diferentes dependiendo de la fracción (jugo, cáscara, pulpa, mesocarpio), su estado de madurez y el sistema empleado para la extracción.

Según datos del Área Metropolitana de Bucaramanga al relleno sanitario el Carrasco recibe diariamente 40 toneladas de residuos provenientes de las plazas de mercado, por lo cual constituyen un potencial de materia prima para ser aprovechada. El interés es determinar cuánto de esta cantidad se puede aprovechar para obtener estos subproductos.

El fin principal de esta investigación es estudiar la viabilidad de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de origen vegetal generados en la plaza de mercado de San Francisco de Bucaramanga buscando obtener productos de interés que pueden servir como materia prima para procesos de algunos sectores industriales principalmente farmacéutico, cosmetológico y alimentario. Además, que funcione como piloto para ser desarrollado en todas las plazas de mercado del área metropolitana.

Para tal fin es necesario identificar la composición y la cantidad de los Residuos Sólidos Orgánicos (RSO) generados en la plaza, los cuales se producen durante la selección, manipulación y comercialización de los productos y así determinar la materia prima a procesar. A través de Minería de texto identificar y seleccionar los procesos y tecnologías más apropiadas de acuerdo a las características de los residuos considerados como materia prima, para después proponer un modelo de Biorefinería para aquel residuo identificado como de mayor aprovechamiento.

La finalidad es ofrecer un modelo de gestión sostenible para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en las plazas de mercado que contribuya a la protección y conservación del medio ambiente y le confiera un valor agregado al proceso final. Con ello se planteará una estrategia que permitirá minimizar, transformar y/o aprovechar los RSO de manera adecuada dándole un valor agregado y que contribuyan con la reducción del impacto negativo generado sobre el medio ambiente.

### **1. Planteamiento del Problema**

El manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos (RSU) constituye una preocupación creciente de las ciudades en las naciones en desarrollo. Los RSU suelen eliminarse en un vertedero o relleno abierto en la mayoría de ciudades, que no es la forma correcta de disposición ya que esta práctica provoca riesgos ambientales que ocasionan desequilibrios ecológicos, con respecto a la tierra, el agua y el aire.

El principal problema que enfrentan los municipios es el manejo y disposición de los RSU, ya que implica un gasto enorme, sin embargo, no es prioridad para las administraciones y por esta razón recibe muy poca atención e inversión. No es sólo un problema técnico, sino que también está fuertemente influenciada por factores políticos, jurídicos, socioculturales, ambientales y económicos, así como los recursos disponibles, ya que los planes de gestión de residuos (si los hay) están estructurados de tal forma que no son sostenibles. Por otra parte, estos factores tienen interrelaciones que suelen ser complejos en los sistemas de gestión de residuos.

La gestión adecuada requiere la construcción y el montaje de instalaciones y maquinaria específica, con base en un plan de manejo adecuado, mucha voluntad, compromiso político,

económico, así como un cambio de cultura en la sociedad y un compromiso hacia la gestión adecuada de residuos.

El aumento de los niveles de población, el rápido crecimiento económico, la falta de cultura y compromiso ambiental y el aumento del nivel de vida de la comunidad ha llevado a un punto sin retorno la problemática ambiental asociada a la disposición de residuos.

En el caso de Bucaramanga y su área metropolitana el problema es grave ya que los mecanismos y programas implementados para la gestión de los residuos no han sido capaces de dar solución a la problemática ambiental generada por los residuos. Si bien es cierto que no hay donde disponer los residuos, también es cierto que las acciones o el plan de acción o gestión implementado por el organismo encargado de la gestión de los residuos no ha tomado acciones desde la prevención sino desde la corrección, razón por la cual todos aquellos factores que incrementan la generación de los residuos seguirán en aumento.

## **2. Justificación**

A partir de la promulgación de la Agenda 21 por parte de la División de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, se pretende incorporar alternativas de mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del área urbana, el cual se orienta a prevenir, mitigar y controlar los factores de deterioro de la calidad ambiental. Entre los nuevos objetivos, se destacan la eliminación o reducción en la producción de residuos, la reutilización o el aprovechamiento de los residuos producidos, el reciclaje ecológicamente racional, la ampliación del alcance de los servicios que se ocupan de los mismos, y los cambios en las pautas no sostenibles de producción y consumo.

Las políticas nacionales en cuanto a residuos en su decreto 2981 de 2013 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2013), en el artículo 88 establece la obligatoriedad de realizar una gestión integral de residuos y aprovechar aquellos que sea posible involucrándolos en ciclos productivos con viabilidad social, económica y financiera que garanticen su sostenibilidad en el tiempo.

Teniendo en cuenta las actuales circunstancias nacionales y locales relacionadas con temas como el crecimiento poblacional, los retos financieros y económicos, la sostenibilidad ambiental de nuestros recursos, el incremento en la generación de residuos y los hábitos de consumo, se hace necesario pensar en una política para aprovechamiento a través de estrategias para valorizarlos y como resultado principal permita disminuir la disposición en rellenos sanitarios, todo esto enmarcado en la promoción de la seguridad ambiental, económica y social. En términos de su efecto sobre la salud humana y del medio ambiente, se ha convertido en un reto ante la sociedad global encontrar medidas eficaces para combatir la amenaza de la contaminación.

Para hacer frente a los desafíos en el mantenimiento del equilibrio entre la calidad del medio ambiente y las actividades humanas, específicamente en procesos de contaminación por RSO, la valorización de residuos para la obtención de biocompuestos de valor agregado, aparece como una alternativa limpia, renovable, económicamente viable y ambientalmente racional para la eliminación de xenobióticos y la reducción del potencial peligro de contaminantes en el medio. Considerando lo anterior, es necesario desarrollar estrategias que permitan el aprovechamiento, minimización, valorización, transformación y disposición de residuos. Al minimizar estos efectos, los RSO se pueden convertir en productos valiosos tales como flavonoides, pectinas, fibras, ácidos grasos volátiles, biogás, entre otros.

Esta estrategia además de brindar una solución al problema ambiental y de salubridad por el impacto negativo generado a través de los gases de efecto invernadero y los lixiviados resultantes del proceso de descomposición no controlado en el vertedero, ofrece una alternativa económica que haría sostenible la gestión de los residuos orgánicos, dando un paso más en la sostenibilidad, reflejado en el valor agregado de dichos residuos, donde el costo-beneficio se puede evaluar claramente. Se debe avanzar en la generación de proyectos de investigación básica y aplicada que propongan posibles alternativas, la evaluación del desempeño de sus aplicaciones y la determinación de las condiciones óptimas para su aprovechamiento, de manera que coadyuven decididamente a satisfacer las necesidades del entorno y permitan un ritmo sostenido de crecimiento económico de la población.

### **3. Objetivo General**

Identificar los biocompuestos de valor agregado potencialmente obtenibles a partir de los residuos sólidos orgánicos vegetales provenientes de la plaza de mercado San Francisco de Bucaramanga.

#### **3.1 Objetivos Específicos**

- Determinar la composición cualitativa y cuantitativa de los residuos sólidos de origen vegetal generados en la plaza de mercado San Francisco de Bucaramanga, por el método de análisis por muestreo estadístico para seleccionar la materia prima objeto de estudio.

- Analizar las alternativas de obtención de productos de valor agregado como materia para el sector farmacéutico y cosmetológico a través de minería de texto empleando Scopus (Elsevier, B.V., 2016) y software especializado *Vantage Point*.
- Proponer una Biorefinería en términos cualitativos para el residuo identificado como de mayor volumen en la caracterización, teniendo en cuenta los resultados de la minería de texto.

## **4. Marco Referencial**

### **4.1 Marco Teórico**

#### **4.1.1 Residuo Sólido (RS).**

En cuanto a la definición de este concepto el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio en su decreto 2981 de 2013, artículo 2 lo define como “Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles. Los residuos sólidos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables”(Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2013).

De otra parte, el Parlamento Europeo y del Consejo en su Directiva 2008/98 de 19 de noviembre de 2008, define a los residuos sólidos como: “cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse”, en este caso, un concepto muy amplio si se tiene en cuenta que, en los países desarrollados, el índice de consumo es mayor con respecto a los demás y por tanto una mayor producción de residuos sólidos.

Además de estos conceptos esta para los residuos sólidos orgánicos definidos en la Guía Técnica Colombiana GTC 53-7 como aquellos “Materiales sólidos o semisólidos de origen animal, humano o vegetal que se abandonan, botan, desechan, descartan y rechazan y son susceptibles de biodegradación incluyendo aquellos considerados como subproductos orgánicos provenientes de los procesos industriales”(Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, 2006) toda vez que estos hacen parte del ciclo de vida de los residuos sólidos. Según la UAESP (2010) en la norma IRAM-ISO 14040, el ciclo de vida (CV) de los RS, lo define como aquellas “etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema productivo, a partir de la adquisición de materia prima o de su generación hasta la disposición final”.

Tomando en cuenta lo anterior podemos decir que los Residuos Sólidos Orgánicos RSO constituyen todo material de desecho biodegradable proveniente de la elaboración, manipulación, transformación de alimentos o de cualquier elemento de origen vegetal o animal y los cuales son susceptibles de aprovechamiento y transformación pueden ser procesados en presencia de oxígeno con técnicas sencillas como el compostaje y la lombricultura, o en la ausencia de oxígeno mediante la digestión anaeróbica, así como la de obtener productos de valor agregado principalmente para la industria farmacéutica y cosmetológica. Son una parte importante de los desechos sólidos municipales. La mayoría se originan principalmente dentro de los hogares, en los comercios, y de forma secundaria en instituciones y centros industriales.

Según el Ministerio de Ambiente. Vivienda y Desarrollo Territorial, entre los residuos sólidos urbanos, los orgánicos son tal vez los residuos que más problemas ambientales generan, tanto por su volumen, toda vez que constituyen el componente más importante como por las características de sus procesos naturales de descomposición (MAVDT, 2008).

La descomposición de la materia orgánica es un proceso netamente natural y en el intervienen los micro organismos biológicos. Todos los seres vivos; animales y plantas, nacen, crecen, se reproducen, mueren y se descomponen para reintegrarse a los ciclos biogeoquímicos propios de la naturaleza. Las bacterias encargadas de la descomposición, transforman la materia orgánica en sus componentes básicos; gases (especialmente dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>), vapor de agua y minerales.

Estos procesos suceden en casi todos los ecosistemas, permitiendo un equilibrio natural. Según los estudios, el consumo de alimentos y otros productos orgánicos en los centros urbanos hace que se genere en ellos un volumen tal de residuos orgánicos y a unas tasas tales que la naturaleza no puede descomponerlos a sus tasas normales de descomposición(MAVDT, 2008).

Como consecuencia, la acumulación de tales residuos genera numerosos problemas, entre los cuales los más importantes y conocidos son:

- Proliferación de insectos y roedores vectores de enfermedades.
- Incremento de poblaciones de aves (gallinazos) y otros animales consumidores de materia orgánica en descomposición.
- Contaminación del aire por emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).
- Malos olores
- Contaminación del suelo

- Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas debido a los lixiviados o líquidos generados en el proceso de descomposición de la materia orgánica.
- Afectación del paisaje.
- Deterioro de la salud de la población rural o urbana localizada en los alrededores de los botaderos o sitios de acumulación.

#### **4.1.2 Clasificación de los RSO.**

Según su naturaleza y/o características físicas los residuos sólidos orgánicos se clasifican en (Jaramillo Henao & Zapata Márquez, 2008a):

- Residuos de alimentos. Son restos de alimentos que provienen de diversas fuentes, entre ellas: restaurantes, comedores, cafeterías y otros establecimientos de expendio de alimentos.
- Resto de vegetales. Son los que hacen relación a residuos de cocina que no han sido sometidos a cocción como lo son cascaras de frutas y legumbres.
- Papel y cartón. Son residuos con un gran potencial para su reciclaje.
- Subproductos cárnicos (cueros cebos, viseras). Son depositados a contenedores de almacenamiento temporal.
- Plásticos. Son considerados como residuos de origen orgánico ya que se fabrican a partir de compuestos orgánicos como el etanol (componente del gas natural), también son fabricados utilizando algunos derivados del petróleo.

En la tabla 1 se describen los RSO en cuanto a la clasificación según la norma técnica GTC 53-7 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, 2006) que los clasifica de acuerdo con su origen, procedencia o tipo de generador. De los RSO procedentes de la plaza de mercado San Francisco de Bucaramanga y catalogados según el anterior criterio técnico como

institucionales y comerciales, se incluyen los residuos orgánicos frescos y procesados de alimentos, así como los provenientes de la manipulación y venta de hortalizas y frutas, productos verdes, restos de comida preparada, cárnicos y en algunos casos madera.

Tabla 1 Clasificación de Residuos Sólidos Orgánicos

| TIPO DE GENERADOR      | TIPO DE RESIDUOS                     | DESCRIPCIÓN                                   |
|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| NATURALES - FORESTALES |                                      | Residuos de leña                              |
|                        |                                      | Ramaje                                        |
|                        |                                      | Follaje                                       |
| AGRICOLA               | Actividades pecuarias                | Residuos generados por el manejo de animales  |
|                        |                                      | Estiércol                                     |
|                        |                                      | Mortalidad Natural                            |
| INDUSTRIAL             | Agricultura                          | Residuos vegetales de cosechas                |
|                        | Industrias procesadoras de alimentos | Cárnicos                                      |
|                        |                                      | Plumas y escamas, estiércol, sangre, despojos |
|                        |                                      | Estiércol, Tamos.                             |
|                        |                                      | Productos deteriorados                        |
|                        |                                      | Desechos y excedentes de procesos             |
|                        |                                      | Lácteos                                       |
|                        |                                      | Grasas                                        |
|                        |                                      | Productos deteriorados                        |
|                        |                                      | Desechos y excedentes de procesos             |
|                        |                                      | Bebidas alcohólicas                           |
|                        |                                      | Cascarilla                                    |
|                        |                                      | Afrecho                                       |
|                        | Frutas y verduras                    | Pulpa de papel                                |
|                        |                                      | Levaduras                                     |
|                        |                                      | Bagazo                                        |
|                        |                                      | Cascara o semilla                             |
|                        |                                      | Residuos provenientes de barreduras           |
|                        |                                      | Residuos orgánicos excedentes de proceso      |
|                        | Grasas                               | Grasas                                        |
|                        |                                      | Tortas oleaginosas                            |
|                        | Cereales y otros granos              | Afrecho                                       |
|                        |                                      | Almidones                                     |
|                        |                                      | Bagazo                                        |
|                        |                                      | Borra de café                                 |
|                        | Azúcar                               | Bagazo                                        |
|                        |                                      | Subproductos                                  |
|                        | Curtiembres                          | Proceso de Pelambre: Grasa, pelo y carnaza    |
|                        | Madera y Pulpa                       | Viruta y aserrín                              |
|                        |                                      | Almidón                                       |

Tabla 1 (Continuación)

|                             |                                                                      |                                                                                                                |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| INTITUCIONAL<br>Y COMERCIAL | Otras<br>industrias                                                  | Lodos orgánicos provenientes de las plantas de tratamiento<br>(Incluye aguas provenientes de aguas domesticas) |
|                             | Plazas de<br>mercado;<br>actividades<br>turísticas<br>recreacionales | Residuos orgánicos frescos y procesados                                                                        |
|                             |                                                                      | Residuos de poda y jardinería                                                                                  |
| DOMESTICO                   | Hogar                                                                | Residuos orgánicos frescos y procesados                                                                        |

Nota: Adaptado de GTC 53-7 Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos no peligroso.

#### 4.1.3 Residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales se caracterizan por no ser de interés en el proceso que los generó, pero pueden utilizarse o transformarse para generar un producto con valor comercial (Saval, 2012). Las tecnologías actuales deben ser capaces de recuperar, reciclar y dar sustentabilidad a la obtención de ingredientes de alto valor agregado (Galanakis, 2013) los cuales se pueden utilizar en la industria alimenticia o farmacéutica, en la tabla 2 se puede observar el potencial de aprovechamiento de estos residuos.

Tabla 2 Principales ingredientes extraídos de residuos agroindustriales

| Origen del Residuo                          | Ingredientes de Interés                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Frutas, Verduras y<br>pescado               | Pectina, Limoneno, flavonoides, fenoles, hesperidina, fibra dietética, tartrato de calcio, beta-caroteno, licopeno, carotenoides, proteínas, lípidos, quitina. |
| Cereales                                    | Albúmina, globulina, fibras insolubles, arabinoxilanos, beta-glucanos, glucosa, arabinosa, galactosa.                                                          |
| Raíces, tubérculos y<br>plantas oleaginosas | Arabinoxilanos, fenoles, ácidos orgánicos, fitoesteroles, albumina, fenoles, pectina.                                                                          |
| Productos cárnicos y<br>productos lácteos   | Proteína, hidrolizados de proteínas, lactosa, beta-lactoglobulina, alfa-lactalbúmina.                                                                          |

Nota: Adaptado de Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. Galanakis, Charis M. 2012

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), a nivel mundial se desperdicia aproximadamente una tercera parte de los alimentos generados para consumo humano (Galanakis, 2012). Este tipo de residuos se genera desde el campo de cultivo hasta la etapa de comercialización. Debido a la gran variedad de residuos que se puede obtener, es importante mencionar que con el fin de explotarlos eficientemente es necesario realizar la identificación, cuantificación y caracterización de los mismos (Mirabella, Castellani, & Sala, 2014).

También es necesario considerar que la mayoría de los residuos agroindustriales son regionales y por temporadas, por lo que las características de los mismos pueden cambiar según el caso. Los residuos agroindustriales pueden ser de origen animal o vegetal, y se pueden dividir en siete grupos: (I) cereales, (II) raíces y tubérculos, (III) plantas oleaginosas, (IV) frutas y verduras, (V) productos cárnicos, (VI) pescados y mariscos y (VII) productos lácteos (Galanakis, 2012).

Las aplicaciones que se le ha dado a este tipo de residuos se pueden clasificar en cuatro grupos: (I) pre-tratamiento, extracción y recuperación de compuestos bioactivos e ingredientes alimenticios (fibras dietéticas, pigmentos, pectinas, oligosacáridos, flavonoides, carotenoides, compuestos fenólicos, tocoferoles y vitaminas); (II) producción de enzimas, antibióticos, hongos comestibles, ácidos orgánicos y biocombustibles; (III) producción de alimento para animales y (IV) producción de composta (Ayala-Zavala et al., 2011), (Federici, Fava, Kalogerakis, & Mantzavinos, 2009), (Galanakis, 2012). Dentro de estas aplicaciones, las enzimas representan una herramienta muy útil para el pretratamiento, extracción y recuperación de compuestos con alto valor agregado

#### **4.1.4 Actividades generadoras de residuos orgánicos**

Los RSO provienen de la materia orgánica que se encuentra presente en todos los seres vivos, entre un 95% al 99% (Navarro, Moral, Gómez, & Mataix, 1995). La composición química está determinada por elementos como el Carbono, Hidrógeno y Oxígeno, con la presencia en algunos casos de Fosforo, Nitrógeno y Azufre.

Tomando en cuenta lo señalado en la tabla 1, se puede considerar que los RSO son generados por actividades como la agricultura, ganadería, industrias procesadoras de alimentos, Industrias del cuero, forestales, plantas procesadoras de lodos, actividades comerciales, turísticas, domésticas y plazas de mercado. En todos estos casos, los RSO presentan características variadas y con proporciones diferentes lo que resulta una amplia variedad. A continuación, se mencionan en particular algunas actividades que comúnmente generan RSO, por cuanto han tomado interés y estudio profundo:

##### ***4.1.4.1 Residuos agrícolas, ganaderos y forestales***

Los residuos agrícolas, ganaderos y forestales han tomado fuerza en los últimos años, pues se han utilizado como alimento para animales, abono para el suelo y fertilizantes orgánicos entre otros y son fuente de estudios para extraer productos de valor agregado. En cuanto a los residuos agrícolas, determinado como abono verde (Navarro et al., 1995) básicamente es el resultante de los restos de cosecha de plantas verdes, que luego serán depositadas sobre el suelo de cultivo.

El empleo de esta técnica aporta en su gran mayoría nutrientes para el suelo como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio (N, P, y K). Igualmente, pueden aportar, tras un proceso adecuado de humificación, es decir, de descomposición y formación de sustancias húmicas, una cantidad importante de humus beneficioso para el suelo (Navarro et al., 1995) de manera que los restos de

cosecha derivados de la actividad agrícola, es considerable, si se tiene en cuenta que en nuestro país es base de nuestra economía.

Los restos forestales están compuestos principalmente por restos leñosos y de lenta mineralización, son originados de forma natural y artificial en su mayor parte. Son obtenidos por procesos de poda y aclare, como de otras labores que se practican en silvicultura (Navarro et al., 1995). Por demás, estos residuos son asociados a las actividades de la industria de la madera, comunes a los restos de podas forestales en su mayor parte.

#### ***4.1.4.2 Residuos de industrias agroalimentarias y afines***

En esta actividad, la mayoría de los RSO producidos, está relacionada con el procesamiento y fabricación de alimento de origen cárnico, lácteo, bebidas alcohólicas, frutas y verduras, grasas, cereales y otros granos y azúcares, entre muchos otros. Cabe resaltar que la producción de residuos originados por parte de los mataderos industriales, con el vertido y descarga a afluentes y aguas continentales, están siendo cada vez más incontrolables desde el punto de vista social y económico convirtiéndose en una problemática ambiental y de salud pública.

En cuanto a su capacidad orgánica y origen biológico, su empleo está siendo orientado comúnmente como enmienda orgánica en los suelos, (Navarro et al., 1995) considera que los residuos derivados de mataderos, hacen un excelente aporte orgánico destacando elementos como el N en todos ellos y el P en restos de huesos, la presencia de K es escasa en comparación con las demás. El aprovechamiento de los efluentes de industrias cárnicas indica que el vertido sobre los suelos de estos residuos los enriquece en nutrientes, mejoran su fertilidad y sobre todo las propiedades físicas.

#### **4.1.4.3 Residuos plazas de mercado**

Los residuos agroindustriales se caracterizan por no ser de interés en el proceso que los generó, pero pueden utilizarse o transformarse para generar un producto con valor comercial(Saval, 2012). Los residuos provenientes de las plazas de mercado constituyen una fracción importante en los residuos orgánicos generados diariamente en una ciudad y que son dispuestos en rellenos sanitarios. Los mercados centrales mayoristas o plazas de mercado, se configuran como un elemento esencial en los canales de distribución.

En Bucaramanga, estos mercados tienen raíces coloniales y se configuran como centros de abastecimiento del municipio(CEDIEL, 2014). En cuanto a la generación de residuos en las plazas de mercado se obtiene una alta participación del componente verduras (mayor al 50%), le sigue las frutas (promedio del 14%). Los sectores de verduras, frutas y hortalizas son los mayores generadores de residuos, más del 80% comprendiendo vegetales, papel y madera(Nam-Velzea, 2000).

Las costumbres alimenticias de cada región influyen en las características fisicoquímicas de sus residuos orgánicos de plazas y centros de acopio. Este tipo de biomasa presenta elevados niveles de humedad (84,14 a 93,85% p/p), con un promedio de 88,69% p/p. La humedad es significativa para evaluar la rapidez de descomposición del elemento orgánico.

Los residuos orgánicos de plaza presentan un bajo contenido de cenizas (varía entre 8,5 a 37,65% p/p), presenta elevados contenidos de material volátil (48,75 a 79,5% p/p), los contenidos de carbón fijo varían entre (8,2 a 22,83% p/p), poseen contenidos medios o bajos de carbono orgánico total (promedio 33,4% p/p) y altos contenidos de oxígeno, valor promedio de 44,77% p/p), presentan contenidos de nitrógeno que oscilan entre (1,39 y 2,05% p/p) y contenidos de azufre entre (0,0026 y 0,1% p/p), estos valores son bajos en comparación con otras fuentes de biomasa.

El contenido de grasas oscila entre (1,19 y 11,97% p/p) y el contenido promedio de proteína es de 10,36 % p/p, poseen valores de solidos volátiles entre 62,35 y 91,51%. Una relación adecuada entre el carbono y el nitrógeno (C/N) de 16% p/p favorece la digestibilidad de los materiales orgánicos de plazas. Adicionalmente, estos residuos poseen un contenido de materia orgánica dentro del rango ideal (73,02 y 47,79 % p/p) para los procesos biológicos. Por esta razón, este tipo de biomasa puede ser aprovechada mediante procesos de transformación encaminada a la obtención de productos de valor agregado(Escalante, Orduz, Zapata, Cardona, & Duarte, 2011).

#### **4.1.5 Procesos de Aprovechamiento y Minimización de los residuos sólidos orgánicos.**

Es común que los RSO como tal no tengan ningún valor, de hecho, hoy en día son arrojados a los rellenos sanitarios, ocasionando situaciones de tipo ambiental ya descritas anteriormente. Es así que la mejor manera de aprovecharlos y minimizarlos, sea mediante técnicas de transformación física, química y biológica, sugeridas en esta investigación, toda vez que sea económicamente viable, técnicamente posible y ambientalmente sustentable. El aprovechamiento de los residuos en general, debe orientarse hacia normas y acciones directas o como resultado de procesos de tratamiento, reutilización, reciclaje, producción de bio-abono, generación de biogás, compostaje, incineración con producción de energía, entre otros(Rodríguez Herrera, 2012).

De acuerdo a la Política para la Gestión de Residuos(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), el aprovechamiento se entiende como el conjunto de fases sucesivas de un proceso, cuando la materia inicial es un residuo, entendiéndose que el procesamiento tiene el objetivo económico de valorizar el residuo u obtener un producto o subproducto utilizable. Aprovechables son aquellos que pueden ser reutilizados o transformados en otro producto, reincorporándose al ciclo económico y con valor comercial.

La maximización del aprovechamiento de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las basuras, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son dispuestos en cualquier sitio contaminando el ambiente. El aprovechamiento debe realizarse siempre y cuando sea económicamente viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente.

De modo tal, que las normas y acciones orientadas hacia los residuos aprovechables deben tener en cuenta lo siguiente:

- Se trata de materia prima con valor comercial, en consecuencia, sujeta a las leyes del mercado y consideradas como insumo(Jaramillo Henao & Zapata Marquez, 2008a).
- Su destino es el aprovechamiento ya sea de manera directa o como resultado de procesos de tratamiento, reutilización, reciclaje, producción de bioabono, generación de biogás, compostaje, incineración con producción de energía, entre otros.
- La definición de residuo aprovechable se deberá hacer por las autoridades ambientales y municipales en sus respectivos Planes de Gestión de Residuos Sólidos, que deberán formular.
- La calificación de residuo aprovechable debe darse teniendo en cuenta que exista un mercado para el residuo, en el cual están comprometidos los generadores de las materias primas y de los productos finales.
- Deben ser objeto del establecimiento de incentivos de toda índole, en especial económicos y tributarios. Teniendo en cuenta que el análisis del impacto de un producto o proceso debe ser integral, los incentivos que se otorguen deben considerar el proceso productivo en su integridad, de modo que no se distorsionen los objetivos de la gestión ambiental que consisten no sólo el

disminuir un impacto ambiental específico - postconsumo -, sino todo los que se genera durante el proceso productivo.

- La población que actualmente está realizando las actividades de recuperación debe tener reconocimiento y espacio para su trabajo.

Clases de aprovechamiento que se logran a partir del tratamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos(Jaramillo Henao & Zapata Marquez, 2008b):

#### ***4.1.5.1 Alimentación animal***

En muchas partes de nuestro país, principalmente en las zonas rurales, algunos pobladores separan la fracción orgánica generada en el inmueble para la alimentación de animales, en su mayoría ganado y credos.

Los residuos orgánicos tienen un alto contenido en humedad lo que implica dificultades para el almacenamiento, el consumo debe ser rápido con el fin de evitar problemas de fermentación o descomposición del mismo. Para incorporar el producto orgánico como complemento importante en la alimentación animal, es necesaria una correcta planificación en la que se tenga en cuenta: de qué productos se dispone, en qué cantidades y en que periodos de tiempo.

#### ***4.1.5.2 El compostaje***

El compostaje es un proceso natural y bioxidativo, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos aerobios que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termófila dando al final como producto de los procesos de degradación de dióxido de carbono, agua y minerales, como también una materia orgánica estable, libre de patógenos y disponible para ser utilizada en la agricultura

como abono acondicionador de suelos sin que cause fenómenos adversos (ARROYAVE S & VAHOS M, 1999).

El compostaje (Rodríguez Herrera, 2012) es un proceso biológico con una matriz sólida y auto calentamiento; dicha matriz está constituida, básicamente, de material orgánico como estiércol, residuos de animales, residuos vegetales y/o residuos de comida, los que sirven como fuente de nutrientes para el crecimiento microbiano. Igualmente, el compostaje es una técnica para producir abonos orgánicos que se utilizan en actividades agrícolas y parques, a través de la descomposición microbiana de residuos orgánicos (residuos de cocina de hogares y comercios, de plazas de mercado y de poda de árboles) contenidos en residuos urbanos (Alcaldía de Bucaramanga, 2017).

Dicho de otro modo, la descomposición microbiológica aeróbica de residuos orgánicos de distinta procedencia en condiciones de temperatura, humedad y aireación controladas, conduce a la obtención de un producto llamado Compost o abono compuesto. Las principales fuentes de generación de residuos orgánicos son las siguientes:

- Residuos de alimentos de hogares generales
- Restaurantes
- Residuos de plazas de mercado
- Corte de césped
- Poda de árboles
- Cadena de distribución de alimentos
- Fábrica de producción de alimentos

#### **4.1.5.3 Lombricultivo**

Es una biotecnología que utiliza a una especie domesticada de lombriz, como una herramienta de trabajo que recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus, carne y harina de lombriz. Se trata de una interesante actividad zootécnica que permite perfeccionar todos los sistemas de producción agrícola. La lombricultura es un negocio de expansión y en un futuro será el medio más rápido y eficiente para la recuperación de suelos en las zonas rurales(Jaramillo Henao & Zapata Márquez, 2008a).

La lombricultura es la técnica de criar lombrices en cautiverio, logrando obtener una rápida y masiva producción y crecimiento en espacios reducidos, utilizando para su alimentación materiales biodegradables de origen agrícola, pecuario, industrial y casero, produciendo como resultado la transformación de los desechos en biomasa y humus (abono orgánico) de alta calidad. La lombricultura no sólo produce el lombricompost; también se tiene una producción importante de lombrices con el 60% de proteínas en peso seco aproximadamente. Esto también plantea un recurso valioso para la economía, la cual tiene que sustituir progresivamente la compra de concentrados para nutrición animal en razón de sus costos.

Las heces de la lombriz (humus) son ricas en nutrientes, ya que contienen cinco veces más nitratos que el suelo, once veces más potasio y, lo que es más importante, siete veces más fósforo intercambiable y tres veces más magnesio intercambiable, lo que favorece notablemente la asimilación de los nutrientes por las plantas. Las lombrices requieren condiciones ambientales óptimas para su buen desarrollo, uno de estos factores es la humedad, dado que la lombriz requiere de un buen nivel para la alimentación y la respiración, las humedades superiores al 80% les generaría la muerte. En la misma medida se encuentra la temperatura, la cual presenta un rango muy limitado entre 20 y 33 grados centígrados.

#### **4.1.5.4 Biocombustibles**

Biocombustible es cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso, proveniente de la biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal). Este término incluye (Jaramillo Henao & Zapata Márquez, 2008a):

- Bioetanol (o alcohol carburante)
- Metanol
- Biodiesel

*Diésel fabricado mediante el proceso químico de Fischer-Tropsch*

- Combustibles gaseosos, como metano o hidrógeno.

##### *4.1.5.4.1 Bioetanol o Alcohol Carburante.*

Se define como compuesto orgánico líquido, de naturaleza diferente a los hidrocarburos derivados de petróleo, gas natural o carbón, que tiene en su molécula un grupo hidroxilo (OH) enlazado a un átomo de carbono. La norma colombiana NTC 5308 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2004) define alcohol carburante, como etanol anhidro obtenido a partir de la biomasa, con un contenido de agua inferior a 0.7% en volumen. La obtención de alcohol carburante (bioetanol) resulta de tres (3) procesos diferentes:

- Fermentación de los compuestos orgánicos, acompañada de un proceso de destilación y secado. Este proceso es el que se utiliza con materias primas como la caña de azúcar o remolacha azucarera.
- Segregación molecular, proceso en el que se fragmenta la biomasa separando las proteínas del almidón, la fibra etc. El almidón, convertido en azúcar fermentable puede producir alcohol.

Mediante este proceso se obtiene bioetanol a partir de distintas materias primas, como yuca, maíz, papa.

- Hidrólisis de la celulosa, este proceso permitiría utilizar cualquier materia que contenga celulosa, por ejemplo, desechos o residuos agrícolas. El proceso está en investigación en muchas partes del mundo y se calcula que será económicamente viable muy pronto.

#### *4.1.5.4.2 Metanización.*

En los rellenos sanitarios, al existir materia orgánica, se produce gas metanizado en el proceso de fermentación anaeróbica, debido a la descomposición de la materia orgánica, actividad que tiene lugar durante toda la vida del relleno y una vez tapadas las capas que diariamente se extienden para su compactación y almacenamiento. Este gas, fundamentalmente metano (50% al 60%) y CO<sub>2</sub> (35% al 45%), debe ser extraído para su eliminación, quemado en antorcha o utilizado como combustible en motores de combustión interna. Esta alternativa empieza a ser rentable a partir de una cantidad de RSU dispuesta no inferior a 100.000 t/año que con una producción 1 kg/hab/día, supone 275.000 habitantes con un porcentaje de materia orgánica en el residuo del 40% al 45%. Caso de no recuperar el gas del relleno, la contribución de este al efecto invernadero es francamente importante.

#### *4.1.5.4.3 Biodiesel.*

Es un combustible para motores diésel, que puede ser producido partiendo de materias primas agrícolas (aceites vegetales y/o grasas animales), aceites o grasa de fritura usados y metanol o etanol, que también pueden obtenerse a partir de productos agrícolas.

La producción de aceites vegetales puede realizarse a partir de más de 300 especies diferentes, sin embargo, las condiciones edafoclimáticas, rendimiento, contenido en aceite y la necesidad de mecanizar la producción, limitan actualmente el potencial de obtención de aceites vegetales a unas

pocas especies, dentro de las cuales la palma, la colza, el girasol y la soya son las más utilizadas. De acuerdo con las estimaciones mundiales, la palma es el cultivo con mejor posibilidad de convertir su aceite en biodiesel(Jaramillo Henao & Zapata Marquez, 2008a).

El proceso de producción se basa en la transesterificación, en la cual al agregar al aceite un alcohol (metanol o etanol) y un catalizador (por ejemplo, hidróxido de potasio KOH), se obtiene biodiesel y como productos adicionales glicerina, agua y residuo que puede utilizarse como fertilizante. Aunque el proceso químico es relativamente sencillo, para producir un biodiesel de calidad deben optimizarse las variables del proceso, tales como el exceso y catálisis de metanol, la desactivación del catalizador, la agitación, la temperatura y, en general, todas las condiciones del proceso.

#### *4.1.5.4.4 Bocashi.*

Receta japonesa mediante la cual aprovechan los residuos orgánicos de una forma similar al compostaje, el producto final se denomina también abono orgánico, la técnica es a través de volteos frecuentes y temperaturas por debajo de los 45-50 °C, hasta que la actividad microbiana disminuye al disminuir la humedad del material. Se considera un proceso de compostaje incompleto. Algunos autores lo han considerado un abono orgánico fermentado(Restrepo Rivera, 2001), sin embargo, es un proceso enteramente aeróbico.

#### *4.1.5.4.5 Biofertilizantes.*

Son fertilizantes que aumentan el contenido de nutrientes en el suelo o que aumentan la disponibilidad de los mismos(Soto & Muñoz, 2002). Entre éstos es más conocido es el de bacterias fijadoras de nitrógeno como *Rhizobium*, pero también se pueden incluir otros productos como micorrizas, fijadoras de nitrógeno no simbióticas, etc.

#### 4.1.5.4.6 Biofermentos.

Los define como fertilizantes en su mayoría foliares, que se preparan a partir de la fermentación de materiales orgánicos. Son de uso común los biofermentos a base de excretas de ganado vacuno, o biofermentos de frutas(Soto & Muñoz, 2002).

### 4.1.6 Propiedades biológicas de los residuos sólidos orgánicos

Excluyendo el plástico, la goma y el cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los residuos se puede clasificar de la forma siguiente(Jaramillo Henao & Zapata Marquez, 2008a):

- Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.
- Hemicelulosa, un producto de condensación de azúcares con cinco y seis carbonos.
- Celulosa, un producto de condensación de glucosa de azúcar con seis carbonos.
- Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.
- Lignina, un material polímero presente en algunos productos de papel como periódicos.
- Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.
- Proteínas, que están formadas por cadenas de aminoácidos(Jaramillo Henao & Zapata Marquez, 2008a)

La característica biológica más importante de la fracción orgánica de los residuos de las ciudades, es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos relativamente inertes. La producción de olores y la generación de moscas están relacionadas también con la naturaleza putrefactible de los materiales orgánicos encontrados en este tipo de residuos (por ejemplo, los residuos de comida).

#### **4.1.7 Criterios de selección de residuos con fines de aprovechamiento**

A través de las investigaciones, se han definido criterios de selección de los residuos para ser aprovechados con fines biotecnológicos, algunos de ellos son:

- Que el principal componente del residuo pueda ser utilizado como sustrato para la producción fermentativa de insumos de procesos industriales, o bien, que el material pueda ser sometido a extracciones para recuperar alguno de sus componentes que tenga un mercado demandante.
- Que el residuo esté disponible localmente y en las cantidades necesarias para asegurar la fabricación de un producto de interés.
- Que no tenga otras aplicaciones o usos que compitan con el proceso que se pretende promover.
- Que no requiera pretratamiento, y en caso de requerirlo, que éste sea sencillo y económico.
- Que la disponibilidad del residuo permita planificar el proceso para el cual se va a utilizar.
- Que sea estable, es decir, que no se descomponga fácilmente bajo las condiciones ambientales del sitio donde se genera.

Con el marco de referencia anterior, se resumen ejemplos de los diferentes usos que se le han dado a diversos tipos de residuos agroindustriales, con base en la siguiente clasificación:

- Como sustrato para la producción fermentativa de metabolitos de interés.
- Como sustrato para la generación de bioenergéticos.
- Como mejoradores o acondicionadores de suelo obtenidos mediante composteo.
- Como suplemento alimenticio para animales.

Por otro lado, cuando los residuos no son reutilizados y se abandonan en el lugar donde se generaron, se convierten en contaminantes de suelos y aguas subterráneas(Saval, 2012).

#### **4.1.8 Caracterización de residuos sólidos**

Para determinar la cantidad y composición de los residuos sólidos que produce un sector en especial (institucional, residencial, industrial, etc.), es necesario efectuar una caracterización por medio de un aforo. Con este procedimiento se podrá determinar el porcentaje de materia orgánica, papel, vidrio, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), entre otras clases de residuos que se generan en un lugar determinado, y se obtendrán bases para proyectar el crecimiento de esos residuos en función del tiempo. De igual forma se podrá evaluar la composición fisicoquímica y biológica de los residuos, la cual será el fundamento para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento, tratamiento y disposición final (Rendón, 2010).

La gestión de los residuos sólidos se ha convertido en un tema prioritario para el país dentro de una amplia gama de temas que guardan relación con la problemática ambiental. La gestión integrada de los residuos es el término aplicado a todas las actividades asociadas con el manejo de los diversos flujos de residuos dentro de la sociedad, y su meta básica es administrarlos de tal forma que sean compatibles con el medio ambiente y la salud pública.

Para poder tener una buena gestión de los residuos sólidos es necesario cuantificar la producción día a día de un barrio, una industria o una ciudad, de igual forma poder conocer su calidad, la cual varía dependiendo del estrato socioeconómico, la ciudad, la densidad poblacional, etc. Para tal fin se efectúa una caracterización, que ha sido definida por el decreto 2981 de 2013 como la “Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades”. Con el fin de poder determinar las características de los residuos sólidos, se plantean tres metodologías: Diferencia de pesos y cuarteo, Recolección selectiva y Caracterización en viviendas.

La realización de la caracterización de los residuos sólidos urbanos es importante para muchos de los aspectos de la planificación y gestión de los mismos. Conocer las cantidades de residuos sólidos generadas es fundamental para seleccionar los equipos y maquinarias, el diseño de los itinerarios de recogida, las instalaciones de recuperación de materiales y las de disposición final.

En la búsqueda de una definición sobre los estudios de caracterización de los residuos, se han observado algunas afirmaciones en las investigaciones revisadas, entre las que tenemos:

- La realización de estudios de caracterización nos permite conocer la composición de los residuos sólidos y las fuentes de generación, para tomar las decisiones más adecuadas en la gestión de los mismos
- La realización de estudios de caracterización de residuos tiene como finalidad identificar las fuentes, características y cantidades de residuos generados, en base a unos datos recolectados y analizados
- La caracterización física es la obtención de la composición física, la distribución en tamaños y el contenido de humedad del Material Mezcla. La composición y la humedad son características que dependen mucho del origen de generación. Esta caracterización es muy importante para evaluar las posibilidades de aprovechamiento.

A partir de estas afirmaciones podemos definir los estudios de caracterización como un conjunto de acciones en base a una metodología, para recolectar los datos que nos permitan determinar las cantidades de residuos, su composición y sus propiedades en una determinada localidad y en un tiempo determinado. Para realizar un estudio de caracterización es muy importante definir muy bien el objetivo, ya que para cada necesidad varían los tipos de análisis que deben realizarse y por lo tanto la metodología de muestreo. Entre los objetivos para los cuales se desarrollan los estudios de caracterización están:

- El diseño de los sistemas de gestión integral de residuos sólidos. Esto implica el diseño de los sistemas e instalaciones de recogida selectiva, almacenamiento, recuperación, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final.
- Seguimiento y control de los sistemas de gestión de los residuos sólidos urbanos • Evaluación de programas de reducción y recuperación.
- La evaluación de los residuos sólidos para su aprovechamiento energético. • Analizar hábitos de consumo y de manejo de los residuos en una comunidad.
- La planificación de la gestión de los residuos sólidos por parte de los gobiernos nacionales, estatales, y locales o municipales(Runfola & Gallardo, 2009).

#### ***4.1.8.1 Metodologías para la realización de los estudios de caracterización de los residuos sólidos urbanos.***

Para la planificación de la gestión de los residuos sólidos urbanos es muy importante conocer las cantidades de residuos y su composición, para lo cual necesitamos realizar los estudios de caracterización. En los estudios de caracterización se necesita implementar una metodología para obtener los datos de generación y composición lo más fiables posibles ya que estos son los datos que nos permitirán tomar las decisiones más precisas para la gestión de los residuos sólidos, ya sea en el diseño de un sistema, instalaciones, selección de equipos, así como en el control y seguimiento del funcionamiento de los mismos en una localidad.

Existen varios métodos generales para determinar las cantidades de residuos sólidos urbanos, RSU, entre los principales están(Runfola & Gallardo, 2009):

#### *4.1.8.1.1 Análisis de pesada total.*

Se pesan la totalidad de los residuos que llegan a las instalaciones de tratamiento o vertido. También se le llama análisis del número de cargas que implica el pesaje en básculas de un número de cargas que llegan a los lugares de tratamiento o disposición final en un periodo determinado. Las tasas de generación por unidad se determinan utilizando datos de campo.

#### *4.1.8.1.2 Análisis peso-volumen.*

En este método se determina el peso y el volumen de las cargas que llegan a las instalaciones de tratamiento o vertido, con lo que se puede conseguir las densidades suelta y compactada. En base al volumen de carga de los camiones se puede determinar el peso y en base a la densidad se puede tener una idea del tipo de material contenido en los camiones de carga, este aspecto es muy utilizado en la recepción de residuos en plantas de tratamiento de residuos de construcción y demolición. También es muy utilizado para el diseño de Ecoparques.

#### *4.1.8.1.3 Análisis de balance de masas.*

Es la mejor forma de determinar la generación y el movimiento de residuos con cierto grado de fiabilidad. Consiste en identificar las entradas y salidas de materiales de un sistema limitado. El método se torna muy complejo debido a que se necesita una gran cantidad de datos, muchos de ellos no disponibles. Para la aplicación de un balance de masas se requiere conocer las fronteras del sistema, las actividades que cruzan u ocurren dentro del mismo y la generación de residuos sólidos asociada con las actividades del sistema.

#### *4.1.8.1.4 Análisis por muestreo estadístico.*

Este método implica la toma de un número representativo de muestras de residuos sólidos de alguna de las fuentes, durante un tiempo, determinándose los pesos totales y de sus componentes. A partir de un análisis estadístico se determinan la tasa de generación y la composición. El número de muestras dependerá de la precisión que se quiera alcanzar, aplicándose métodos estadísticos.

#### ***4.1.8.2 Metodologías propuestas por algunos organismos oficiales.***

Se realizó una revisión de organismos oficiales que tienen propuestas metodológicas sobre la caracterización de RSU y encontramos dos importantes organizaciones de relevancia internacional, estas son(Runfola & Gallardo, 2009):

##### *4.1.8.2.1 Organización Panamericana de la Salud, OPS, a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, CEPIS.*

Plantea que para diseñar o mejorar los sistemas de manejo y tratamiento de residuos sólidos, se debe conocer las características de los mismos en relación con la generación, composición, y la densidad, según el tratamiento que se requiera para tratar esos residuos, en tal sentido se requiere de la realización de estudios de caracterización en determinado número de viviendas. Para la caracterización de los Residuos Sólidos, el CEPIS propone una metodología, diseñada por el Doctor Kunitoshi Sakurai en 1982, la cual se aplica en los países de América Latina y el Caribe. En función de un procedimiento estadístico determinan la muestra representativa de una población para realizar la caracterización y el proceso de validación de los datos obtenidos y el número de la muestra seleccionada.

#### 4.1.8.2.2 *United States Environmental Protection Agency, USEPA.*

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, USEPA. La USEPA utiliza de dos enfoques metodológicos para la realización de la caracterización de los residuos sólidos urbanos, RSU una la del flujo de material y la otra, los estudios específicos de caracterización en el sitio. A nivel nacional la EPA utiliza la metodología del flujo de material que se basa en un balance de masas. Las tasas de residuos reciclados son determinadas a partir del recuento de materiales reciclables recolectados. Se calcula la cantidad de material y productos en toneladas que son generados, recuperados y desechados. Luego completa la información con los estudios específicos de caracterización en comunidades locales, que consiste en seleccionar muestras, para determinar su peso y los componentes individuales del flujo de residuos.

Una vez analizadas las metodologías propuestas por estos dos importantes organismos oficiales se puede concluir que la metodología propuesta por el CEPIS, está orientada sólo hacia la caracterización por muestreo estadístico, y más hacia los residuos residenciales. En los países en vías de desarrollo es muy limitada la aplicación del método de caracterización por balance de material, ya que no cuentan con un registro histórico sistematizado y organizado de la información sobre la generación y composición de los residuos sólidos urbanos que permita tener una información consolidada a nivel nacional.

De la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América se puede concluir, que aplica diferentes metodologías para la caracterización de los residuos sólidos urbanos, RSU. Estratifican las mismas de acuerdo al alcance requerido de la información. Es decir que a nivel de pequeñas localidades utilizan la caracterización por muestreo y a nivel estatal o nacional emplean el método de caracterización por balance de material, pidiéndose ajustar a cualquier escenario que requiera identificar los residuos generados (Runfola & Gallardo, 2009).

#### 4.1.8.3 Metodología para el Análisis de los Residuos.

La caracterización de los residuos sólidos se realiza para un determinado número de viviendas o usuarios (del servicio de aseo), que deberán ser una muestra representativa del universo de los generadores. Generalmente la metodología aplicada en los estudios de caracterización es la diseñada por el doctor Kunitoshi Sakurai, para los países de América Latina y del Caribe (Cantanhede, Monge, Sandoval Alvarado, & Caycho Chumpitaz, 2005). Además, este método sencillo para el análisis de residuos sólidos es recomendado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS. Para realizar un estudio de caracterización de residuos sólidos se pueden seguir los siguientes pasos:

##### 4.1.8.3.1 Zonificación del área de estudio.

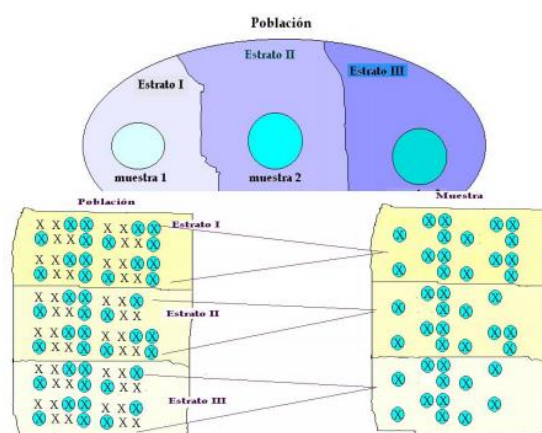


Figura 1 Determinación de la Muestra según Estrato Económico. Adaptado de Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos, por Cantanhede, Alvaro, 2005.

Se busca delimitar áreas con características similares; en zonas urbanas se pueden diferenciar de acuerdo con sus unidades de procedencia tales como: residencial, comercial, industrial, barrio de calles y áreas públicas (Tchobanoglous, 1994), como se puede observar en la figura 1.

#### 4.1.8.3.2 Identificar la población actual.

Esta información puede ser consultada en los planes de desarrollo y en los PGIRS de cada Municipio o también, en las bases de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE.

#### 4.1.8.3.3 Número de muestras.

Cantidad de muestras por zonas representativas que pueden ser determinadas según la fórmula diseñada por Sakurai.

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2}$$

$n$  = Tamaño de la muestra

$N$  = Tamaño de la población

$E$  = Error permisible

$Z_{1-\alpha/2}$  = Nivel de confianza

$\sigma^2$  = Varianza de la población

$\sigma$  = Desviación estándar

Donde:

$n$ : Tamaño de la muestra. Es necesario incrementar un 10% por pérdida de muestra.

$N$ : Tamaño de la población (Número total de viviendas).

$\sigma^2$ : Varianza de la población (0,04 gr/hab/día)

$Z_{1-\alpha/2}^2$ : Coeficiente de confianza (1.96 con un grado de confianza del 95%)

$E$ : Error permisible en la estimación de la producción per cápita

#### 4.1.8.3.4 Distribución de la muestra.

La distribución total de la muestra, como se describe en la tabla 3 se realiza según la zonificación de áreas y con una asignación aproximada en número de muestras.

Tabla 3 *Distribución de la muestra*

| Área     | Total Generadores | % del Total       | Muestra proporcional |
|----------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Área 1   | $X_1$             | $m_1=(X_1*100)/N$ | $(n*m_1)/100$        |
| Área 2   | $X_2$             | $m_2=(X_2*100)/N$ | $(n*m_2)/100$        |
| Área n.. | $X_{n..}$         | $mn=(Xn*100)/N$   | $(n*m_n)/100$        |
| Total    | N                 | 100               | n                    |

Nota: Adaptado de Caracterización de Residuos Domiciliarios del Distrito de Matucana, Pacheco, H., B. Karen, 2009.

#### 4.1.8.3.5 Determinar el punto de muestreo.

Cada muestra debe asignarse a una manzana y a un generador específico que deberá estar comprometido con la realización del estudio. Preferiblemente hay que ubicar en un mapa los puntos de muestreo resaltando el área a la que pertenecen.

#### 4.1.8.3.6 Capacitar a la población a muestrear.

Es importante dar instrucciones a todos los generadores de los puntos de muestreo seleccionados. La capacitación está dirigida hacia como clasificar (orgánicos, reciclables, inorgánicos) y almacenar los residuos (bolsas o recipientes de colores).

#### 4.1.8.3.7 Toma de muestras.

Antes de recolectar la muestra es necesario conocer de los puntos de muestreo la información general sobre los usuarios (productores de residuos), su percepción y propuestas de mejora al servicio de aseo, y las formas almacenamiento y recolección de sus residuos sólidos. Una vez se hayan recolectado los residuos clasificados de cada área, estos deberán ser pesados (excluyendo el

peso del recipiente que los contenga) y registrados diariamente durante los ocho días que dure aproximadamente el muestreo.

#### 4.1.8.3.7 Determinar la producción Per Cápita (PPC).

Los kilogramos diarios de producción de residuos sólidos se pueden obtener para cada punto de muestreo, para cada área y por habitante.



Figura 2 Pesaje de bolsas para la muestra. Adaptado de Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos, por Cantanhede, Alvaro, 2005.

#### 4.1.8.3.8 Determinar la densidad.

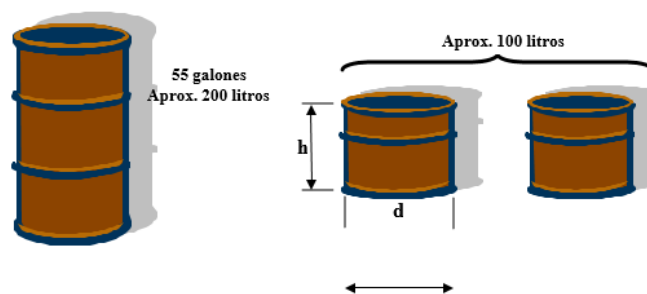


Figura 3 Determinación de la densidad de los residuos. Adaptado de Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos, por Cantanhede, Alvaro, 2005.

Se conoce también como peso específico y se refiere al peso de un material por unidad de volumen. Para encontrar el volumen es necesario; aforar un recipiente cilíndrico, seleccionar una muestra por área del material clasificado, registrar en un formato la selección, introducir el material en el recipiente hasta el borde, levantar varias veces el recipiente a unos pocos centímetros del suelo, registrar en un formato el volumen no compactado de los residuos y aplicar la fórmula de la densidad, como se observa en la figura 3.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso (Kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

Los valores de masa y volumen de residuos sólidos son datos importantes para seleccionar y definir actividades de manejo.

#### 4.1.8.3.9 Determinar la composición física de los residuos.

Con las muestras seleccionadas se separan y clasifican los componentes de acuerdo a las categorías típicas de los residuos que se han utilizado para estudios de caracterización, de acuerdo a lo mostrado en la figura 4.

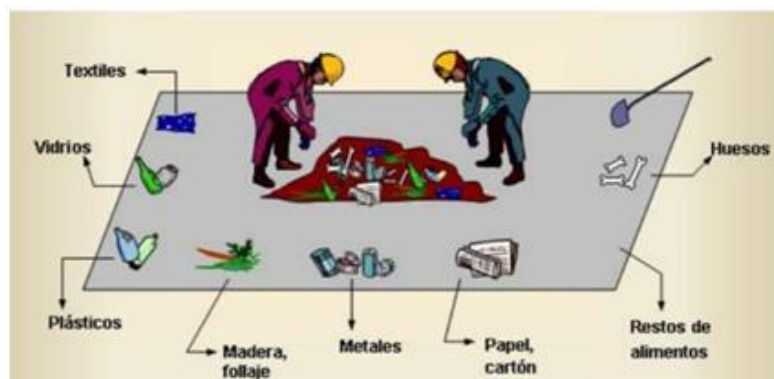


Figura 4 Determinación composición física de los residuos. Adaptado de Método sencillo de análisis de residuos sólidos, por López, Jorge Luis, 2009.

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente recomienda que de los residuos recolectados por área de estudio se toma una muestra de 1 m<sup>3</sup> y se los vierte el piso limpio, los materiales gruesos se cortan a un tamaño máximo de 15cm, se mezcla la muestra y se recoge una pequeña (50 kg o menos) después de realizar el cuarteo las veces que sea necesario, como se describe en la figura 5.

El peso y volumen de los residuos clasificados por componentes se registran en un formato por cada área de estudio. Estos datos contribuyen a la selección de tratamientos y/o formas de aprovechamiento(López, 2009).

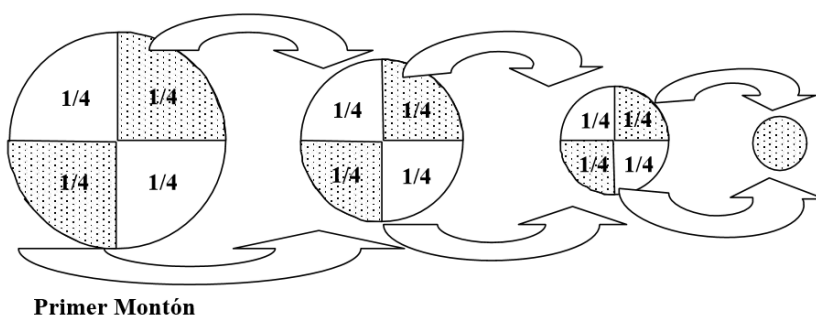


Figura 5. Método del cuarteo para escoger una muestra. Adaptado de Método sencillo de análisis de residuos, por Sakurai, Kunitoshi, 1983.

#### 4.1.8.3.10 Establecer el contenido de humedad.

Con la contraparte de residuos obtenida del cuarteo se homogeniza una muestra hasta de 50 litros, se deposita en recipientes de 20 litros perforados y pesados previamente (W1), se pesan cada recipiente con los residuos (W2), se colocan sobre una superficie que irradie calor, y después de cuatro días se vuelve a pesar (W3) (CEPIS 2009). El contenido de humedad (peso – húmedo) se expresa como porcentaje del peso del material húmedo con la siguiente fórmula:

$$\%Hum = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1}$$

#### 4.1.8.3.11 Determinar el poder calorífico.

Para calcularlo teóricamente se debe adoptar los valores de cada componente en seco, se calcula el poder calorífico superior de la basura (Ps) y finalmente se calcula el poder calorífico inferior (Pi).

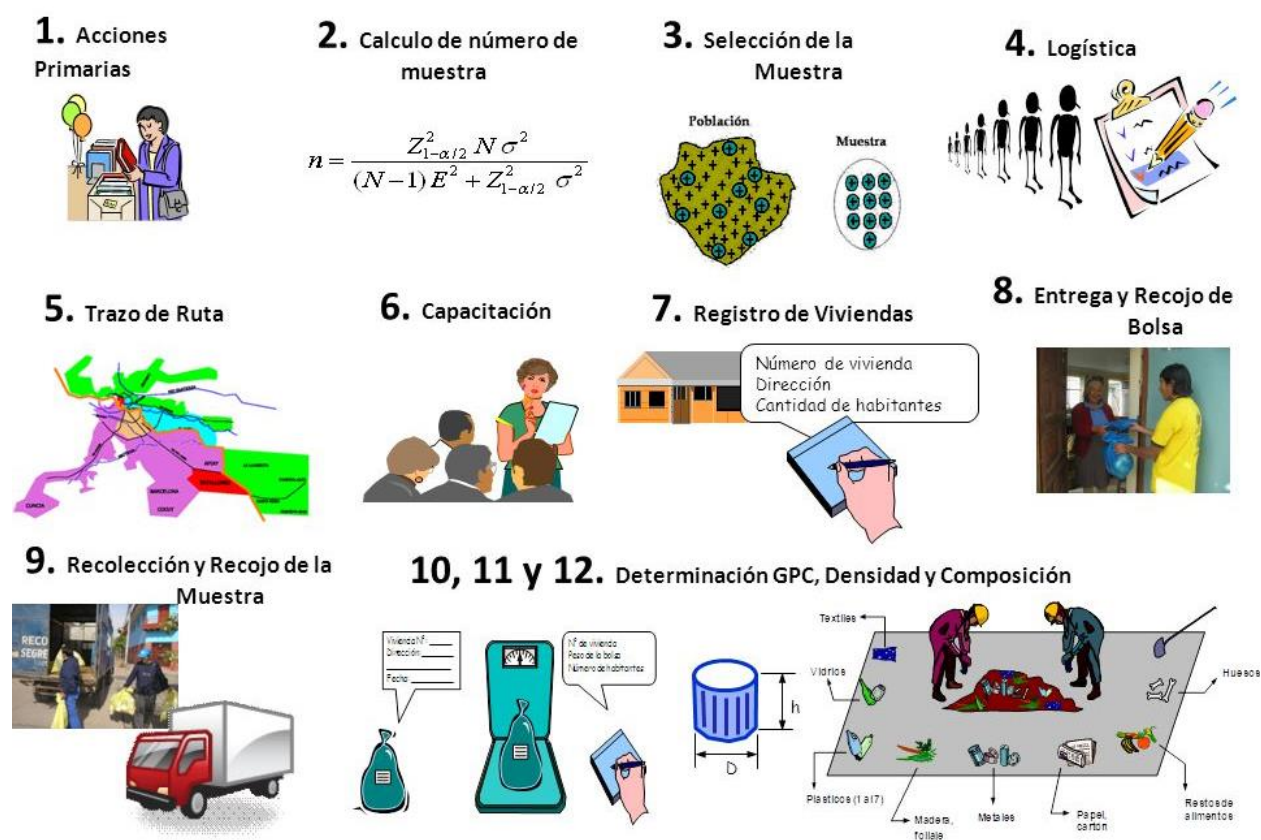


Figura 6. Resumen de actividades para la caracterización de residuos Sólidos. Adaptado de Método sencillo de análisis de residuos sólidos, por López, Jorge Luis, 2009.

Todas las actividades necesarias para llevar a cabo una caracterización de residuos adecuada se resumen en la figura 6.

## 4.2 Marco de Antecedentes

El tema sobre la problemática de los residuos sólidos no es nuevo, pues en Bucaramanga, son innumerables las entidades públicas o privadas que de alguna manera han abordado esta problemática. El Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), desde el año 2008, ha venido desarrollando la política de gestión integral de los residuos sólidos urbanos con el fin de transformar el panorama actual, de tal manera que se puedan aprovechar, y considerarlos como un recurso base para la generación de empleo, mejoramiento de la calidad de vida y enmarcarlos dentro del proceso de desarrollo sostenible.

En la actualidad, los residuos de tipo orgánico comúnmente son los que generan la mayor problemática ambiental a la ciudad, pues la gran mayoría de estos, llegan al botadero a cielo abierto el Carrasco, el cual se encuentra ubicado en el área de desarrollo urbano del Área Metropolitana, además, se encuentra aledaño a la microcuenca de la quebrada la Iglesia.

El crecimiento urbano ha causado un incremento en la generación de residuos domésticos, de manejo especial e industriales peligrosos y no peligrosos. Estos residuos son acumulados en los sitios de disposición final, generalmente basureros o los mal llamados rellenos sanitarios; los cuales, sin un manejo apropiado, pueden producir problemas de contaminación de aire, agua y suelo, así como de salud pública (Noguera & Olivero, 2010), sin contar con los impactos indirectos de influencia general como el calentamiento global (Köfalusi & Aguilar, 2006; Solórzano, 2003).

En particular, los países en desarrollo desconocen las cantidades y tipos de residuos sólidos (RS) que son recolectados, la cantidad reciclada y la recuperada, la inadecuada selección de sitios de disposición final, así como los programas ineficientes de reutilización y reciclaje. Por esta razón, es muy importante conocer la generación y composición de los residuos sólidos (Aguilar-Virgen, Armijo-de Vega, Taboada-González, & Aguilar, 2010).

En el mundo se producen aproximadamente 1600 millones de toneladas por año de residuos sólidos, los cuales generan graves problemas, no sólo por el deterioro progresivo del medio ambiente, sino también desde el punto de vista económico (García & Tena, 2006) puesto que los costos de recolección, transporte y disposición final son cada vez mayores.

Se estima que los servicios de disposición, tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos mueven mundialmente un mercado anual de 100000 millones de dólares, de los cuales 43000 millones corresponden a Norteamérica, 42000 millones a la Unión Europea y sólo 6000 millones a Suramérica, siendo la producción de residuos de 250, 200 y 150 millones de toneladas por año respectivamente (Skinner, 2000).

En el caso de Colombia, las cifras del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible indican que en un día el país produce 27300 toneladas de basura de las cuales el 65% son residuos orgánicos y el 35% inorgánicos. Los componentes que constituyen la fracción orgánica de las basuras colombianas son residuos de alimentos, papel, cartón, madera y residuos de jardín. Sólo el 40% de los residuos sólidos municipales tiene un manejo adecuado, el 50% es manejado de forma indebida y el 1% es recuperado gracias al reciclaje.

La fracción orgánica constituye uno de los principales factores que incrementa la contribución a la contaminación por los rellenos sanitarios ya que su descomposición genera lixiviados que arrastra elementos inorgánicos altamente tóxicos presentes en los residuos (Acurio, Rossin, Teixeira, & Zepeda, 1997; Noguera & Olivero, 2010).

En el año 2006, la Súper Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) realizó un estudio del cual se dedujo la situación de la disposición final de los residuos en el país antes y después de la implementación de la Resolución 1390 de 2005. En dicho documento se estableció que en los 1.102 municipios de Colombia se generaban cerca de 21.000 toneladas diarias de

residuos sólidos urbanos. Antes de la expedición de la Resolución 1390 de 2005, 373 municipios disponían sus residuos en 604 sitios inadecuados, 348 municipios realizaban la disposición final en 143 rellenos sanitarios y existían 32 plantas de aprovechamiento. Con la aplicación de la resolución y la gestión de las entidades involucradas se logró clausurar 145 botaderos a cielo abierto e incrementar los rellenos sanitarios a 195 y las plantas integrales a 34.

Este estudio fue repetido en el año 2015 con información del año 2014, en el cual se determinó una producción de 25941,79 toneladas diarias de residuos sólidos con información de solo 752 municipios ya que de los 1102 municipios del país solo estos cuentan con información disponible, evidenciado que si bien es cierto la mayoría dispone sus residuos en rellenos sanitarios, aún persisten botaderos a cielo abierto, celdas de contingencia y celdas transitorias no permitidas según la reglamentación; sin desconocer la incertidumbre respecto a los municipios que no tienen información disponible (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD, 2015).

La Ciudad de Bucaramanga es la capital del departamento de Santander, situado en la zona andina de Colombia. La ciudad está ubicada a aproximadamente 1.000 metros de altura sobre el nivel del mar y localizada entre la vertiente Oriental del río de Oro y entre éste y el Macizo Ígneo-metamórfico de Santander en la Cordillera Oriental de Colombia a 7° 6'53.5" de latitud Norte y 73° 7'42.16" de longitud Oeste (Plan de Desarrollo Vigencia 2016 – 2019 Bucaramanga Sostenible). Ciudad intermedia de Colombia, con una población estimada según proyecciones DANE a 2012 de 526.056 habitantes y cuya área metropolitana cuenta con 1.322.945 habitantes conformada por Floridablanca, Girón y Piedecuesta (DANE, 2005).

La producción de residuos sólidos en el año 2002 fue de 92000 toneladas equivalentes a 252 toneladas diarias, según estadísticas generadas por la EMAB empresa local encargada de la recolección de basuras (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,

2004). Actualmente, se estima recibe 744 toneladas diaria, provenientes de Bucaramanga y 17 municipios más.

La cantidad de desechos que llegan al Carrasco ha pasado de 17 mil toneladas al mes hace dos años, a 26 mil en la actualidad(Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD, 2015; Vanguardia Liberal, 2015) y sólo un 1.5% de la basura se recicla(Vanguardia Liberal, 2015). Este 1.5% comprende principalmente cartón, plástico y vidrio, pero solo representa 396 ton/mes, realizado por los recicladores formales. Según el Área Metropolitana de Bucaramanga los residuos orgánicos dispuestos en el relleno sanitario el Carrasco provenientes de las plazas de mercado son de 40 ton/día, lo cual representa el 5% del total de residuos orgánicos.

El relleno sanitario el Carrasco ha venido presentado diversos problemas a través de los años, que afectan al medio ambiente y a la población que se encuentra en los lugares aledaños a él.

Uno de los impactos significativos que ha presentado es la vulneración de derechos fundamentales y colectivos que se le han venido transgrediendo a la población cercana al mismo; otro problema es el manejo que se ha realizado por parte de la EMAB (empresa encargada de la administración), en relación con el plan de manejo ambiental, la cobertura diaria según el manual de operaciones, entre otros; trayendo consecuencias como la disminución de la vida útil del relleno sanitario, generación excesiva de lixiviados, gases y vectores entre otros.

Por todo lo mencionado, actualmente el relleno no cuenta con la licencia ambiental requerida para su funcionamiento y las entidades a cargo deben encontrar otro sitio adecuado para construir uno nuevo ya que así lo ordena una sentencia del Tribunal Administrativo de Santander.

Al percibir esta problemática, existe una preocupación colectiva, ya que el no cumplimiento de la empresa a cargo en relación con el debido funcionamiento del relleno sanitario, no solo genera conflictos institucionales, sino regionales, sociales y ambientales.

La eficiencia de la gestión de este tipo de residuos se determina, entre otras acciones, en reducir al mínimo la cantidad de desechos enviados al vertedero. Estos esfuerzos incluyen al reciclaje, convertir los desechos en energía, obtener productos de valor agregado, diseñar productos que usen menos material, y aplicar la legislación que confiere por mandato, que los fabricantes se hagan responsables de los gastos de disposición de productos y del embalaje. Por ejemplo, en la ecología industrial, donde los subproductos de una industria pueden ser materia prima útil a otro; lo que redundaría, en una disminución de los desechos finales.

La mayor parte del comercio mayorista de productos agrícolas de consumo humano, y gran parte del minorista, se lleva a cabo en las centrales de abasto de las ciudades colombianas. En el caso de Bucaramanga que cuenta con 12 plazas de mercado, la comercialización se realiza en la central de abastos que en conjunto con las plazas de mercado y los expendios ambulantes circundantes conforman el sector de distribución y comercialización de productos de origen vegetal.

El consumo de vegetales y frutas ha ido en aumento, en gran parte debido a todas las propiedades terapéuticas que han sido asociadas a ellos. Los residuos sólidos que se producen diariamente en este sector son sobre todo de origen vegetal y están constituidos por frutas y verduras que pueden tener un potencial de aprovechamiento aún no determinado.

Igualmente, estos residuos están constituidos por diferentes estructuras vegetales de desecho (cáscaras, tallos, semillas, etc.). Estos sub-productos pueden ser utilizados como materia prima para la obtención de otros productos, debido a la procedencia que tienen. Azúcares, espesantes (pectinas y almidones), aceites esenciales, sustancias bioactivas son algunos de los compuestos que se pueden encontrar en estos desperdicios de la agroindustria (Segovia Gómez, 2015). Los polisacáridos contenidos en este tipo de materiales pueden ser aprovechados por medio de la

transformación enzimática de los complejos amiláceos y celulósicos (Howard, Abotsi, Jansen van Rensburg, & Howard, December 2003) en azúcares que posteriormente son fermentados hasta alcohol u otros productos de valor agregado (Saval, 2012).

La mayoría de investigaciones sobre residuos orgánicos realizadas tanto en los países desarrollados como en Colombia, han concentrado sus esfuerzos en la transformación de estos residuos a biogás y compost (Castillo M., É., Cristancho, D., Arellano A., V., 2007; Farias Camero, D., Ballesteros G., M., Bendeck, M., 2010; Hamzawi, Kennedy, & McLean, July 1998; Tchobanoglous, 1994)

Los residuos del comercio o del procesamiento industrial de productos de origen vegetal como frutas y verduras, algunos de ellos con alta capacidad contaminante, son una reserva potencial de materiales que pueden convertirse en bienes económicos y útiles. Los residuos de la agroindustria incluyen una gama alta de materiales en fase sólida o líquida. Conocer y determinar la composición de dichos materiales, su potencial como materia prima está aún por determinarse para la mayoría de estos residuos (Solís Fuentes & Durán de Bazúa, María del Carmen, 1999).

Igualmente, se han llevado a cabo estudios para el diseño de procesos de conversión de residuos sólidos municipales a alcohol (Cardona Alzate, Sánchez Toro, Ramírez Arango, & Alzate Ramírez, 2004), algunos de los cuales han sido patentados para su implementación a nivel comercial (Titmas, 1999). En particular, se ha identificado que la compañía Masada Resource Group inició la operación de la primera planta productora de etanol en Estados Unidos a partir de residuos sólidos municipales mediante la hidrólisis ácida de la celulosa contenida en los mismos (Ames & Werner, August 2003).

Sin embargo, la mayoría de estos procesos se limitan al tratamiento de la celulosa mediante hidrólisis ácida y no explora la utilización de enzimas ni la potencialidad de hidrolizar el almidón presente en los residuos sólidos de origen vegetal.

La importancia del aprovechamiento de dichos residuos radica en el potencial de extracción de compuestos químicos de alto valor comercial y químico como las Pectinas que son polisacáridos que se componen principalmente de unidades de ácido galacturónico unidas por enlaces glicosídicos. Son sustancias blancas amorfas que forman en agua una solución viscosa; combinadas en proporciones adecuadas con azúcar y ácidos, forman una sustancia gelatinosa utilizada como espesante(Durán & Honores, 2012).

Las Enzimas son biocatalizadores de naturaleza proteica. Todas las reacciones químicas del metabolismo celular se realizan gracias a la acción de catalizadores o enzimas.

Los Aceites esenciales comúnmente llamados esencias están constituidos principalmente por terpenos. Son sustancias de consistencia grasosa, más o menos fluidas, a veces resinosas, muy perfumadas, volátiles, casi siempre coloreadas y más livianas que el agua. Los aceites esenciales pueden extraerse de las flores, hojas, semillas, frutos, cortezas, raíces o de la madera(Ochoa, 1998).

Los Flavonoides y carotenoides son pigmentos naturales presentes en las frutas y en los vegetales, así como en el café, la cocoa y la cerveza, que protegen del daño de los oxidantes, como los rayos ultravioleta (Londoño Londoño, 2011). Los flavonoides se utilizan como suplemento alimenticio para animales y humanos, ingredientes de bebidas refrescantes y confites, desodorización, desinfección, inhibidores de trombosis, antiinflamatorios, inhibidores de cáncer, antialérgicos, edulcorantes, bioflavonoides (vitamina P) y antioxidantes. Al igual que los flavonoides, los carotenoides también poseen esta propiedad antioxidante.

Los Hongos comestibles son organismos heterótrofos, es decir, que requieren del material orgánico para subsistir. Poseen el doble del contenido de proteínas que los vegetales y disponen de nueve aminoácidos esenciales, contando además con leucina y lisina (ausente en la mayoría de los cereales). Poseen alta cantidad de minerales y vitaminas (superando a la carne de muchos pescados). Completan la caracterización sus bajas calorías y carbohidratos(Bioceánico, 2008).

La Fibra dietaria (alimento para animales y humanos), constituyente que da firmeza y textura fuerte a las estructuras externas de las frutas. Posee efectos preventivos contra determinadas enfermedades cardiovasculares y ayuda a mejorar la función gastrointestinal. La fibra dietaria obtenida principalmente de las cortezas de las frutas, consta de polisacáridos estructurales (celulosa, hemicelulosa, pectinas, rafinosa y estafinosa), polisacáridos no estructurales (gomas y mucílagos), sustancias estructurales no polisacáridas (lignina) y de otras sustancias como cutina, taninos y suberina(Román et al., 2004).

Aunque existen evidencias del uso de residuos de la industria de cítricos para alimentación animal(Belibasakis & Tsirgogianni, 1996), biocombustible(Pourbafrani, Forgács, Horváth, Niklasson, & Taherzadeh, 2010; Wilkins, Widmer, & Grohmann, 2007), y diferentes aplicaciones de los compuestos bioactivos extraídos de dichos residuos(Fernández-López et al., 2004; Sreenath, Crandall, & Baker, 1995), se encuentran en el mercado, pocos productos desarrollados para consumo humano a partir de corteza de cítricos. Dichas estructuras presentan componentes activos muy importantes para la industria alimenticia como son los flavonoides, carotenoides, y pectinas(Cerezal & Piñera, 1996); pero cuando se piensa en esta alternativa para consumo humano es importante desarrollar protocolos que permitan extraer o enmascarar los compuestos que le confieren a la corteza el gusto amargo como son algunos bioflavonoides y aceites esenciales(Yeoh, Shi, & Langrish, 2008).

Un ejemplo a tener en cuenta, es el caso de los mercados verdes que han tomado gran importancia en Europa motivados en la comunidad por productos de origen agrícola, ecológicos que vayan encaminados a preservar la salud. Los consumidores se muestran sensibles al *carácter natural, no alterado* (poco o nada de plaguicidas) de los productos y al hecho de tratarse a menudo de productos *no tratados* lo cual lo relacionan con calidad de vida.

Adicionalmente, hay un interés ecológico o ambiental que permita garantizar el bienestar animal teniendo en cuenta las buenas condiciones de alojamiento y empleo de una alimentación natural (sin harinas animales, sin hormonas, etc.), junto con el uso muy limitado de medicamentos, permitiendo desarrollar en los productos propiedades organolépticas atribuidas principalmente a la ausencia de pesticidas o aditivos químicos lo que los hace de mejor calidad y mejor sabor; todo esto, traducido en la protección del entorno y calidad ambiental. Mas sin embargo el costo hace que se dificulte el acceso, pero la gran mayoría de los países europeos le han apostado a esta alternativa que ha tenido un desarrollo importante, prometedor y con gran interés en la investigación.

Los mercados verdes de la Unión Europea han identificado las estrategias de comercialización y de comunicación, susceptibles de mejorar los procesos de producción y transformación de los productos resultantes de la agricultura ecológica, estrategia muy importante, porque reduce considerablemente la generación de residuos y se valorizan aquellos sobrantes de los procesos de selección y comercialización. Un factor también importante, ha sido el impacto del desarrollo de estas actividades en el desarrollo rural.

El uso de la biomasa como recurso renovable sostenible es la única manera de reemplazar el carbono a partir de fuentes fósiles para la producción de los productos a base de carbono, tales como, productos químicos, materiales y combustibles líquidos con una notable reducción de

emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente. El término biorefinería es ampliamente utilizado "Las biorefinerías se podrían describir como las industrias de base biológica integradas, utilizando una variedad de tecnologías para fabricar productos tales como productos químicos, combustibles y alimentos e ingredientes de alimentos, biomateriales, fibras y generación de calor y electricidad, con el objetivo de maximizar el valor añadido a lo largo de los tres pilares de la sostenibilidad, Medio Ambiente, Economía y Sociedad (Ohara, 2003).

La biorefinería es una instalación industrial que procura el uso integral de la biomasa de forma sostenible para la producción de biocombustibles, energía, materiales y productos químicos con valor agregado(Muñoz, 2014). El nuevo concepto de biorefinería es muy amplio, ya que tiene en cuenta la gestión de todas las características de sostenibilidad en términos de economía, el medio ambiente y la sociedad. Este concepto está íntimamente ligado con el progreso de la agricultura, la eficiencia y la disponibilidad de alimentos y la producción de los mismos, así como el uso de la biomasa para la generación de energía y obtención de compuestos de valor agregado(Delfín, López, & Mondragón, 2016).

Las tecnologías utilizadas en el contexto de las biorefinerías pueden analizarse mejor ahora, en términos de sostenibilidad ambiental y económica a través de un conjunto de indicadores y metodologías basadas en análisis de sistemas. La mayoría de ellos tienen un gran potencial pero que todavía se encuentran en fase de desarrollo. En general, es esencial promover el análisis preciso de los impactos de proceso sobre el medio ambiente y los recursos biológicos (a través de indicadores técnicos como consumo de energía neta, análisis del ciclo de vida y los indicadores de la huella ecológica) y el uso del modelo de biorefinería integrada como herramientas esenciales para afrontar el reto de la protección de los recursos biológicos.(Fava et al., 2015)

Los residuos orgánicos están disponibles en grandes cantidades y compuestos principalmente por residuos agrícolas, desechos de jardín, lodos, residuos de la elaboración de alimentos y desechos orgánicos domésticos con potencial de aprovechamiento para la elaboración de productos de valor agregado como químicos finos, biomateriales y biocombustibles.

Actualmente, empresas que generan residuos de tipo orgánico están pagando para la gestión de sus residuos grandes cantidades de dinero.

El sector de la alimentación en Colombia genera una gran cantidad de subproductos y residuos, al mismo tiempo grandes volúmenes de efluentes altamente contaminados. Tales residuos solamente se valorizan parcialmente en los diferentes niveles de valor agregado (como agregados en tierras de cultivo, alimentación de animales, compost), mientras que las fracciones más grandes se disponen en rellenos sanitarios o de forma inadecuada generando preocupación ambiental, con los costos correspondientes y los impactos negativos sobre la sostenibilidad ambiental y del sector comercial.

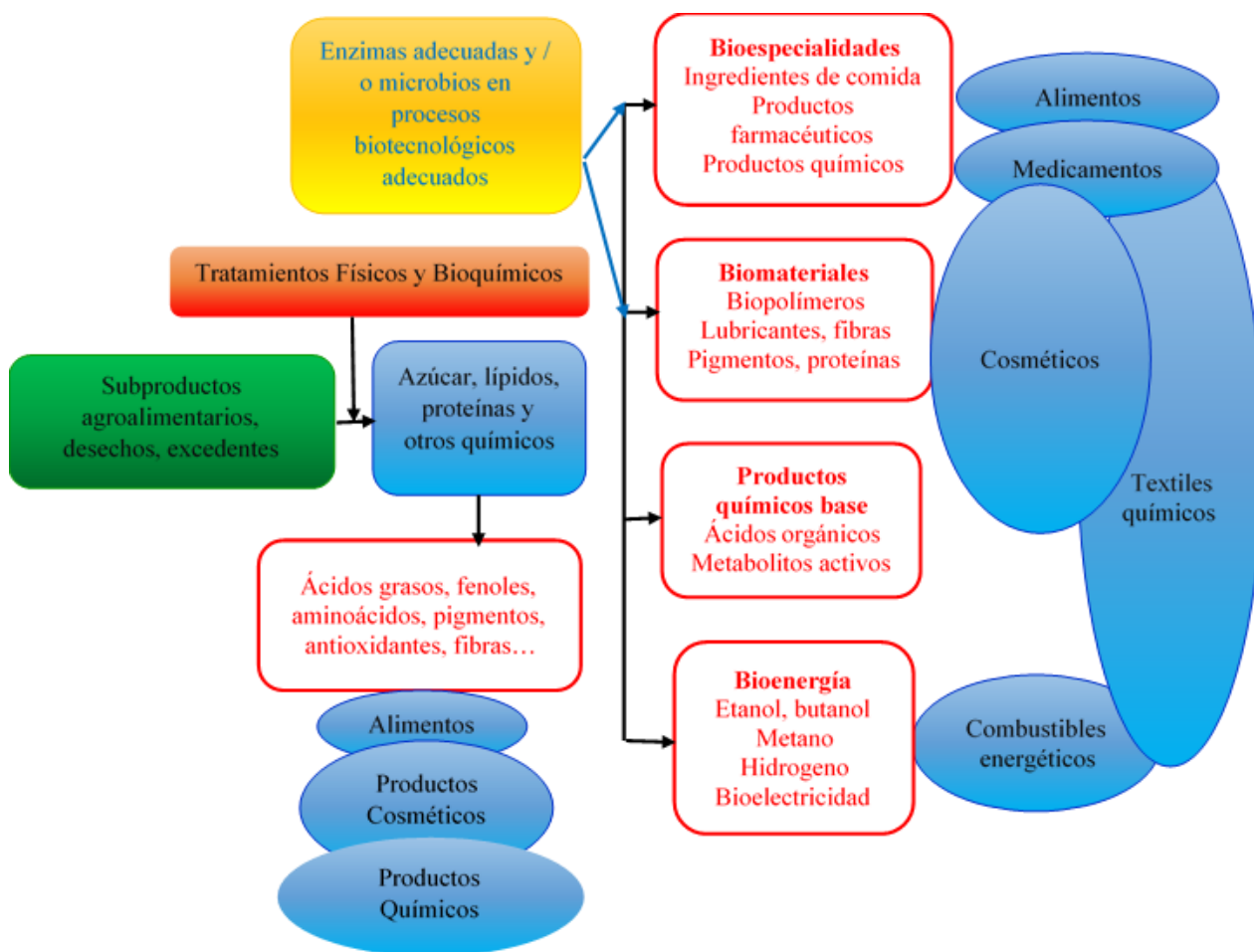


Figura 7. Principales características de una Biorefinería basada en el procesamiento biológico. Adaptado de *Biowaste biorefinery in Europe: opportunities and research & development needs*, por fava, Fabio, 2015.

De la comercialización y del procesamiento de productos agrícolas, se generan subproductos de vegetales, residuos y efluentes que normalmente consisten en proteínas, azúcares, fibras y lípidos junto con las vitaminas y otros agentes bioactivos y, por lo tanto, podrían ser fuentes baratas y abundantes de químicos, biomateriales y sustratos para la producción biotecnológica.

De hecho, después de tratamientos previos específicos con agentes físicos y biológicos seguidos por procedimientos específicos de recuperación, varios antioxidantes naturales de valor agregado, agentes antimicrobianos, vitaminas, etc., además de las macromoléculas, tales como celulosa,

almidón, lípidos, proteínas, fibras, enzimas y pigmentos vegetales se puede obtener de ellos, que puede ser observado en la figura 7.

Muchos otros compuestos obtenidos a partir del tratamiento previo pueden transformarse además en productos químicos más sofisticados naturales o de mayor valor agregado (por ejemplo, productos farmacéuticos, sabores, vitaminas y ácidos orgánicos), macromoléculas (tales como biopolímeros y enzimas microbianas) y los biocombustibles (como el bioetanol, metano y biohidrógeno), a través de procesos biotecnológicos adaptados.(Federici et al., 2009).

Si los mismos enfoques son aplicados a la elaboración de subproductos de alimentos (es decir, productos secundarios que no entraron en el medio ambiente), que pueden generar una serie de moléculas bioactivas naturales (vitaminas, fibras dietéticas, pigmentos, ácidos orgánicos, aminoácidos, etc.) de especial interés para la industria alimentaria y la industria farmacéutica moderna y la industria cosmética.

El mercado de estos productos de base biológica está aumentando notablemente: a nivel mundial, que aumentó de 77 a 92 miles de millones € del 2005-2010 y se va a aumentar hasta 228 y 515 miles de millones de euros en 2015 y 2020, respectivamente (sin biocombustibles y productos farmacéuticos). Por lo tanto, la adopción de este tipo de estrategias para la puesta en valor de los flujos de residuos orgánicos permite mejorar significativamente la sostenibilidad de los sectores industriales mencionados anteriormente, y en particular del sector de la alimentación.(Fava et al., 2015)

Para el caso de las frutas, estas se caracterizan por estar compuestas principalmente por tres partes fundamentales, pulpa, semilla y cáscara, siendo la pulpa la parte comestible más consumida por la población en general y la cáscara la parte residual del alimento, ya que esta pocas veces se utilizan en diversas funciones específicas, como lo son: elaboración de pectina, sustratos,

composteo, harinas cítricas, aceites esenciales, así como también compuestos bioactivos con efectos benéficos para la salud, como la fibra y los polifenoles (Cervantes, Cruz, & Campos, 2016). En la actualidad se investiga en biomasa lignocelulósica para obtener energía, combustibles, biomateriales y productos químicos, mediante tecnologías limpias y sistemas cerrados que permitan conservar el medio ambiente (Muñoz, 2014).

Por ejemplo, en la industria del procesamiento de la piña al elaborar conservas y zumos, no se aprovecha aproximadamente el 60% del total. En estos desperdicios se pueden encontrar mayoritariamente enzimas (bromelina), azúcares (fructosa), polifenoles, entre ellos el ácido ferúlico y fibra (Trejo-Márquez & Pascual-Bustamante, ).

En la industria de los cítricos, limón y naranja, la piel constituye uno de sus principales subproductos, de la que se pueden obtener pectinas y aceite esenciales que son muy preciados por otras empresas alimentarias (Londoño Londoño, 2011; Segovia Gómez, 2015). Además, otros subproductos de alto valor comercial e importancia química son los polifenoles que son de los componentes más activos que se pueden encontrar en los desperdicios de la industria agroalimentaria (Segovia Gómez, 2015), su principal representante son los flavonoides (Londoño Londoño, 2011).

#### **4.2.1 Plaza de mercado San Francisco**

Las plazas de mercado se encuentran en crisis debido a múltiples factores que no facilitan la sostenibilidad del sector (Jairo Puentes Bruges, 2014). El contexto social, económico y ambiental de la plaza de San Francisco es complejo, pues si bien es cierto es un elemento esencial en los canales de distribución que genera un buen número de empleos y facilita la adquisición de bienes y servicios necesarios para la comunidad también es cierto que para el caso específico ha generado impactos importantes no solo ambientales sino sociales como es la falta de cultura ambiental, el

manejo inadecuado de los residuos sólidos, la invasión del espacio público y por supuesto la cantidad incontable de gallinazos que a diario merodean los alrededores de la plaza así como problemas de salubridad pública y malos olores con lo que en repetidas ocasiones ha tenido que lidiar(El Espectador, 2014).

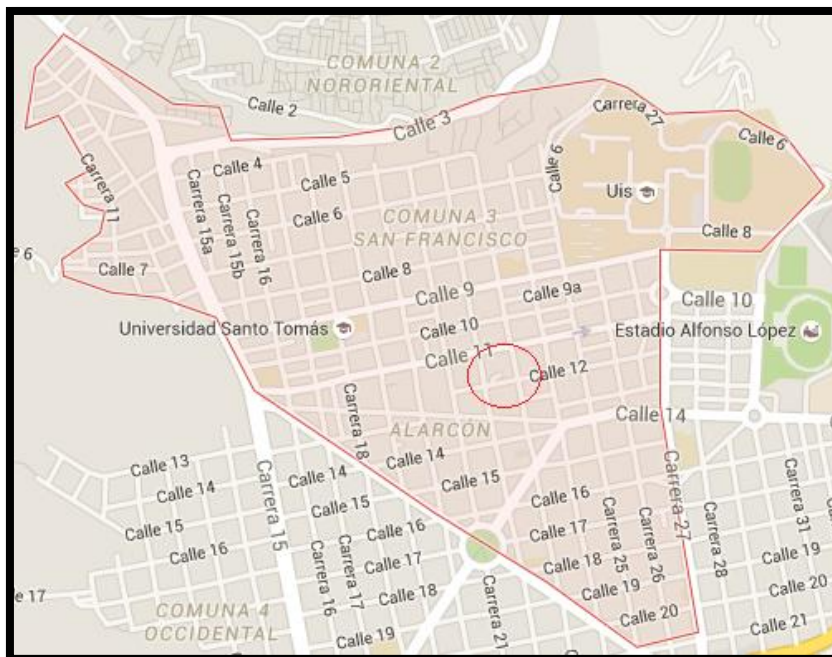


Figura 8. Área de influencia directa de la plaza de mercado San Francisco. Adaptado de <https://www.google.it/maps/place/Plaza+San+Francisco/@7.1353442,-73.1238426,18z/data8330b8df07>, 2016.

Como se observa en la figura 8, la plaza de mercado está ubicada en el casco urbano del municipio en el barrio San Francisco en la Comuna 3 con un área total de 8.193,66 m<sup>2</sup>, considerada una de las más grandes y antiguas del municipio.

Tabla 4 *Distribución de la plaza de mercado por sectores.*

| SECTOR       | ACTIVIDAD COMERCIAL                            | NUMERO DE PUESTOS |
|--------------|------------------------------------------------|-------------------|
| 1            | Bodega (frutas y verduras)                     | 200               |
| 2            | Comedores o restaurantes                       | 11                |
| 3            | Administración (frutas y verduras)             | 25                |
| 4            | Pollo                                          | 34                |
| 5            | Cárnicos                                       | 109               |
| 6            | Pasillo central (frutas y verduras)            | 130               |
| 7            | Respaldo pasillo central (legumbres, cantinas) | 36                |
| 8            | Externos (legumbres, bares)                    | 24                |
| 9            | Diagonal carrera 23 (bares, fuentes de soda)   | 29                |
| 10           | Quesos y hierbas                               | 47                |
| 11           | Entre diagonales y externos (ropa, víveres)    | 178               |
| 12           | Carrera 22                                     | 45                |
| 13           | Diagonal carrera 22                            | 27                |
| 14           | Sanitarios                                     | 1                 |
| <b>TOTAL</b> |                                                | 938               |

Nota: Administración plaza San Francisco Bucaramanga, Autor, 2016.

La infraestructura interna de la plaza, se encuentra organizada por sectores, donde las actividades comerciales que se desarrollan en cada sector varían o se mezclan ya que no está distribuida por tipo de producto, teniendo así un total de catorce (14) sectores, con un total de 938 locales habilitados, los cuales se relacionan a en la tabla 4.

El proceso interno que se da en el subsector de las plazas de mercado es muy sencillo y corresponde a compra, recepción, almacenamiento, desempaque y venta de mercancías. Su jornada laboral inicia a las 3:00 am con operaciones en el sector de la Bodega y el cierre de jornada en días de mercado es a la 1:00 pm.

Así mismo, las materias primas que ingresan a la plaza de mercado, corresponden a productos de origen vegetal, animal y procesados, tales como verduras, legumbres, frutas, productos cárnicos (res, cerdo, cabro, pollo), lácteos y carnes frías, hierbas, desechables, productos de todo (granos, harinas, pastas, alimentos enlatados o envasados, bebidas, artículos de limpieza y aseo personal, dulces y licores), artículos misceláneos de vestir y accesorios.

## **5. Diseño Metodológico**

A continuación, se presentan las etapas que se llevarán a cabo en la realización de este proyecto.

### **5.1 Determinación de la composición cualitativa y cuantitativa de los Residuos Sólidos generados en la Plaza de mercado Central de Bucaramanga.**

Este paso se desarrollará según las directrices, normas y metodologías expresas en la Política Nacional de Residuos Sólidos, buscando establecer la producción *per cápita* de residuos orgánicos en la plaza de Mercado San Francisco de Bucaramanga, su composición cualitativa y cuantitativa para evaluar su potencial aprovechamiento a través del método de análisis por muestreo estadístico. La metodología se desarrollará según lineamientos del decreto 2981 de 2013, la resolución 0754 de 2014 y el título F de la RAS 2000.

## **5.2 Selección y cuantificación de la materia prima o residuos de origen vegetal objeto de estudio**

Una vez determinada la composición de los residuos sólidos generados en la plaza de mercado San Francisco de Bucaramanga, se seleccionará la información de aquellos residuos orgánicos de origen vegetal que de acuerdo con el objeto de estudio sean potencialmente aprovechables para producir compuestos de valor agregado.

## **5.3 Minería de texto**

Mediante el uso de la minería de texto se identificarán los diferentes productos de valor agregado que se pueden obtener a partir de los residuos sólidos orgánicos de origen vegetal generados en las plazas de mercado y así determinar la factibilidad de aprovechamiento.

La minería de texto es una de las herramientas que emplea la vigilancia tecnológica, la cual a su vez se define como proceso sistemático en el que se capta, analiza y difunde información de diversa índole -económica, tecnológica, política, social, cultural, legislativa, mediante métodos legales, con el ánimo de identificar y anticipar oportunidades o riesgos, para mejorar la formulación y ejecución de la estrategia de las organizaciones. El proceso metodológico(Torres & Marro, ) se presenta en la Figura 9.

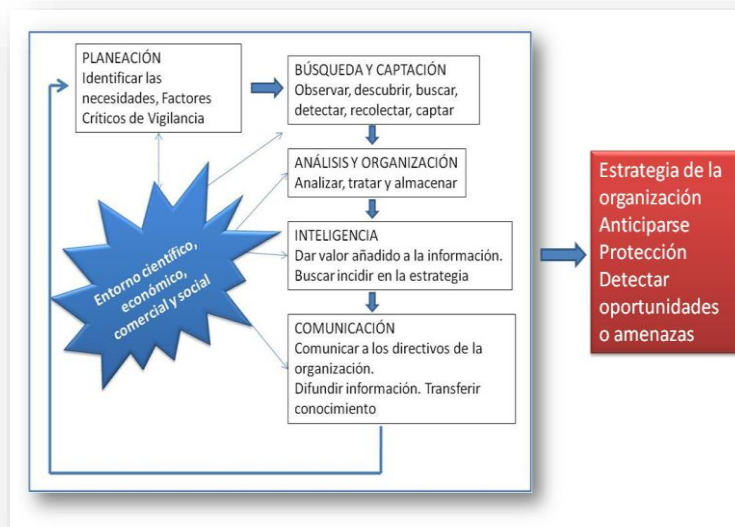


Figura 9 Proceso metodológico de la vigilancia tecnológica. Adaptado de Herramientas de Software especializadas para Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva, por Torres & Marro, 2015.

La realización de este ejercicio tendrá el acompañamiento de la Unidad de Bibliometría de la Universidad Santo Tomás. La metodología empleada contempla las etapas de planeación, búsqueda, captación, análisis y organización de la información con el fin de identificar los aspectos científicos y técnicos para la obtención de biocompuestos a partir de los residuos sólidos vegetales con aplicación en industrias cosméticas, de alimentos, y farmacéuticas, entre otros.

El desarrollo del trabajo contempla las siguientes actividades:

- Definición del tema
- Inventario de herramientas de consulta disponibles
- Identificación de descriptores, definición de las ecuaciones de búsqueda, tipo de documentos a analizar (artículos, patentes, noticias, otros).

- Análisis de datos mediante un programa de minería de textos (*Vantage Point*) y hoja de cálculo de Excel.
- Elaboración del informe final, con retroalimentación y validación de los investigadores expertos que acompañan el desarrollo del ejercicio.

Se consultará la base de datos referencial *Scopus* (Elsevier, B.V. 2016) para determinar la actividad científica relacionada con los términos: residuos sólidos vegetales, biomasa, valorización de residuos, entre otros. Los registros que se obtengan de la base de datos consultada, se analizarán mediante el programa especializado de minería de texto *Vantage Point* (Licencia académica 9.0, *Search Technology, Inc*), disponible para la unidad de Bibliometría de la Biblioteca de la Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga. Se consultaron además diferentes páginas de internet para identificar empresas, organizaciones, revistas y magazines, relacionadas con información de mercado, regulaciones e identificar posibles tendencias en tecnología y uso en el área de interés. Un esquema de la metodología se presenta en la Figura 10.

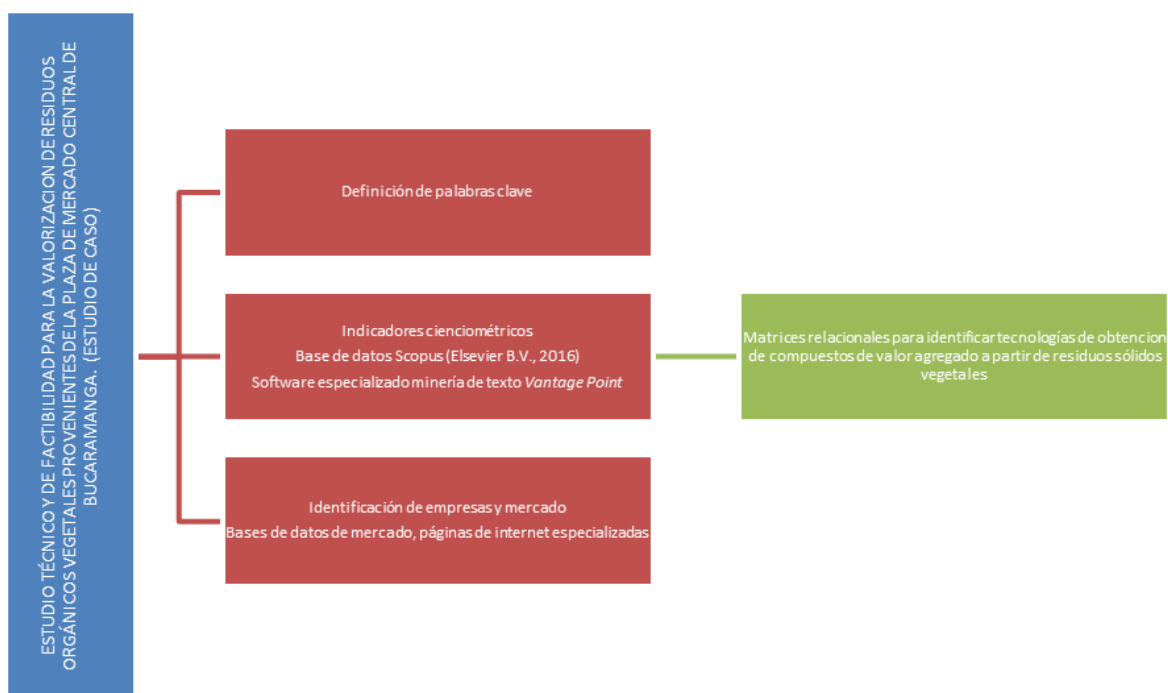


Figura 10. Etapas del proceso metodológico que se llevará a cabo en el ejercicio de minería de texto. Adaptado de Unidad de Bibliometría – USTABUCA, 2016

#### 5.4 Diseño de una Biorefinería para el residuo orgánico y biocompuestos identificados como más sostenible.

El ejercicio de minería de texto permitirá identificar y seleccionar la mejor o las mejores alternativas de valorización de los residuos seleccionados de la plaza de mercado como materia prima para el caso de estudio. Una vez identificados estos biocompuestos de valor agregado se diseñará una Biorefinería que permitirá aprovechar los residuos orgánicos de origen vegetal generados en la plaza de Mercado San Francisco y que funcione como alternativa para replicar en otras plazas de mercado o centros de acopio donde se generen residuos de características similares, de tal manera que permita usarla como herramienta sostenible de manejo y aprovechamiento de residuos para disminuir el impacto generado por la disposición inadecuada de residuos de origen

orgánico vegetal y que al mismo tiempo sirva como estrategia de valorización que genere ingresos económicos.

## **6. Resultados y Discusión**

### **6.1 Composición Cualitativa y Cuantitativa de los Residuos Sólidos**

Para determinar la composición y cantidad de residuos sólidos orgánicos de origen vegetal generados en la plaza de mercado San Francisco se buscó la información de tipo oficial disponible sobre el sector para lo cual el Área Metropolitana de Bucaramanga desarrolló un proyecto con la finalidad de determinar la cantidad de residuos generados en las plazas de mercado del Área metropolitana.

Igualmente aplicando la normatividad correspondiente (Resolución 0754 de 2014 y Decreto 2981 de 2013) y los métodos desarrollados para caracterización de residuos, se determinó en campo la composición y cantidad de residuos generados.

#### **6.1.1 Información Oficial**

Con la finalidad de identificar información disponible sobre la generación de residuos en las plazas de mercado se consultó las entidades que tienen autoridad sobre dicho sector.

El Área Metropolitana de Bucaramanga AMB se encontró la información disponible de un estudio adelantado entre el año 2015 y 2016 en las plazas de mercado de los municipios de Bucaramanga, Girón, Piedecuesta y Florida identificó los residuos sólidos generados con el objetivo de cuantificar y cualificar dichos residuos. Esta información sirve como fuente de

determinación del potencial de materia prima disponible en el Área metropolitana para la contextualización del proyecto.

Tabla 5 *Composición de los RSO generados en las Plazas de Mercado de Bucaramanga*

| Plaza de Mercado                        | R. Orgánicos      | R. Inorgánico no Aprovechable | R. Inorgánico Aprovechable | Especiales   | Total Residuos Sólidos por Plaza |
|-----------------------------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------|----------------------------------|
|                                         | Kilogramos/semana |                               |                            |              |                                  |
| La Concordia                            | 6179              | 809                           | 25                         | 2088         | <b>9101</b>                      |
| Kennedy                                 | 3414              | 170                           | 64                         | 17           | <b>3665</b>                      |
| La Rosita                               | 1121              | 82                            | 31                         | 1274         | <b>2508</b>                      |
| Central                                 | 19309             | 15590                         | 7                          | 8600         | <b>43506</b>                     |
| Asomercobu                              | 1831              | 70                            | 99                         | 21           | <b>2021</b>                      |
| Satélite                                | 8472              | 1020                          | 996                        | 3716         | <b>14204</b>                     |
| Asovesan                                | 1519              | 3300                          | 3599                       | 3868         | <b>12286</b>                     |
| Asoven                                  | 8395              | 272                           | 24                         | 1455         | <b>10146</b>                     |
| Comercabu                               | 1121              | 82                            | 31                         | 1274         | <b>2508</b>                      |
| Guarín                                  | 13102             | 3619                          | 435                        | 3627         | <b>20783</b>                     |
| San Francisco                           | 17720             | 15815                         | 22                         | 4137         | <b>37694</b>                     |
| Centro Abastos                          | 89300             | 42812                         | 2534                       | 286          | <b>134932</b>                    |
| <b>Total Residuos Sólidos por Clase</b> | <b>171483</b>     | <b>83641</b>                  | <b>7867</b>                | <b>30363</b> | <b>293354</b>                    |

Nota: Área Metropolitana de Bucaramanga, AMB, Autor. 2016

Para el caso de Bucaramanga, como podemos observar en la tabla 5, cuenta con información oficial disponible de 12 plazas de mercado en la que se puede identificar la composición de los residuos (Residuos Orgánicos, Residuos Inorgánicos no aprovechables, Residuos Inorgánicos Aprovechables y Especiales) y la cantidad de residuos generados por semana.

Es importante observar que, en la ciudad de Bucaramanga lugar de influencia del proyecto se generan aproximadamente 300 toneladas por semana de residuos en las plazas de mercado, cantidad que va a terminar en el relleno sanitario el Carrasco. Igualmente, se producen

aproximadamente 40 toneladas de residuos orgánicos que en su mayoría son potencial de materia prima para la investigación.

Tabla 6. *Composición de los RSO generados en las Plazas de Mercado de Floridablanca*

| Plaza de Mercado                            | R.<br>Orgánicos   | R.<br>Inorgánico no<br>Aprovechable | R.<br>Inorgánico<br>Aprovechable | Especiales  | Total<br>Residuos<br>Sólidos por<br>Plaza |
|---------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------------------------------------|
|                                             | Kilogramos/semana |                                     |                                  |             |                                           |
| Asovecum                                    | 1008              | 86                                  | 11                               | 471         | 1576                                      |
| Asovecan                                    | 1018              | 50                                  | 6                                | 325         | 1399                                      |
| Villabel                                    | 7000              | 388                                 | 58                               | 0           | 7446                                      |
| Cumbre                                      | 2753              | 270                                 | 18                               | 1241        | 4282                                      |
| Zapamanga II Etapa                          | 529               | 102                                 | 35                               | 189         | 855                                       |
| Asovesur                                    | 755               | 74                                  | 0                                | 1214        | 2043                                      |
| La Colmena                                  |                   | 70                                  |                                  | 459         | 529                                       |
| Bucarica                                    | 459               | 337                                 | 25                               | 33          | 854                                       |
| Central                                     | 16500             |                                     |                                  |             | 16500                                     |
| <b>Total Residuos<br/>Sólidos por Clase</b> | <b>30022</b>      | <b>1377</b>                         | <b>153</b>                       | <b>3932</b> | <b>35484</b>                              |

Nota: Área Metropolitana de Bucaramanga, AMB, Autor. 2016

Floridablanca es un municipio con aproximadamente de 257 mil habitantes en la zona urbana, en el cual se identificaron 9 plazas de mercado que producen alrededor de 35.5 toneladas de residuos sólidos por semana de las cuales 30 toneladas corresponden a residuos de características orgánicas, la información se puede observar en la tabla 6.

Tabla 7. Composición de los RSO generados en las Plazas de Mercado de Piedecuesta

| Plaza de Mercado                            | R. Orgánicos      | R. Inorgánico<br>no<br>Aprovechable | R. Inorgánico<br>Aprovechable | Especiales  | Total<br>Residuos<br>Sólidos por<br>Plaza |
|---------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------------------|
|                                             | Kilogramos/semana |                                     |                               |             |                                           |
| Central                                     | 4270              | 839                                 | 134                           | 2616        | 7859                                      |
| Campesina                                   | 259               | 10                                  | 12                            |             | 281                                       |
| Coliseo de Ferias                           | 92                | 91                                  | 11                            | 479         | 673                                       |
| Cabecera                                    | 78                | 36                                  | 11                            | 13          | 138                                       |
| <b>Total Residuos<br/>Sólidos por Clase</b> | <b>4699</b>       | <b>976</b>                          | <b>168</b>                    | <b>3108</b> | <b>8951</b>                               |

Nota: Área Metropolitana de Bucaramanga, AMB, Autor. 2016

Piedecuesta cuenta con aproximadamente 123 mil habitantes en la zona urbana, en la tabla 7 se observa que la cantidad de residuos sólidos generados en las plazas de mercado del municipio es aproximadamente de 9 toneladas por semana de lo cual casi 5 toneladas son de origen orgánico.

Tabla 8. Composición de los RSO generados en las Plazas de Mercado de Girón

| Plaza de<br>Mercado                         | R.<br>Orgánicos   | R.<br>Inorgánico no<br>Aprovechable | R.<br>Inorgánico<br>Aprovechable | Especiales | Total<br>Residuos<br>Sólidos por<br>Plaza |
|---------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------|-------------------------------------------|
|                                             | Kilogramos/semana |                                     |                                  |            |                                           |
| Central                                     | 4500              | 131                                 | 0                                | 98         | 4729                                      |
| Altos de Arenales                           | 2322              | 116                                 |                                  |            | 2438                                      |
| Poblado                                     | 4097              | 350                                 | 327                              | 595        | 5369                                      |
| <b>Total Residuos<br/>Sólidos por Clase</b> | <b>10919</b>      | <b>597</b>                          | <b>327</b>                       | <b>693</b> | <b>12536</b>                              |

Nota: Área Metropolitana de Bucaramanga, AMB, Autor. 2016

En el municipio de Girón, el cual cuenta con una población aproximada en el casco urbano de 166 mil habitantes se producen semanalmente 12.5 toneladas de residuos sólidos de los cuales aproximadamente 11 son de origen orgánico, como se observa en la tabla 8.

Tabla 9. *Composición de los RSO generados en el Área Metropolitana de Bucaramanga.*

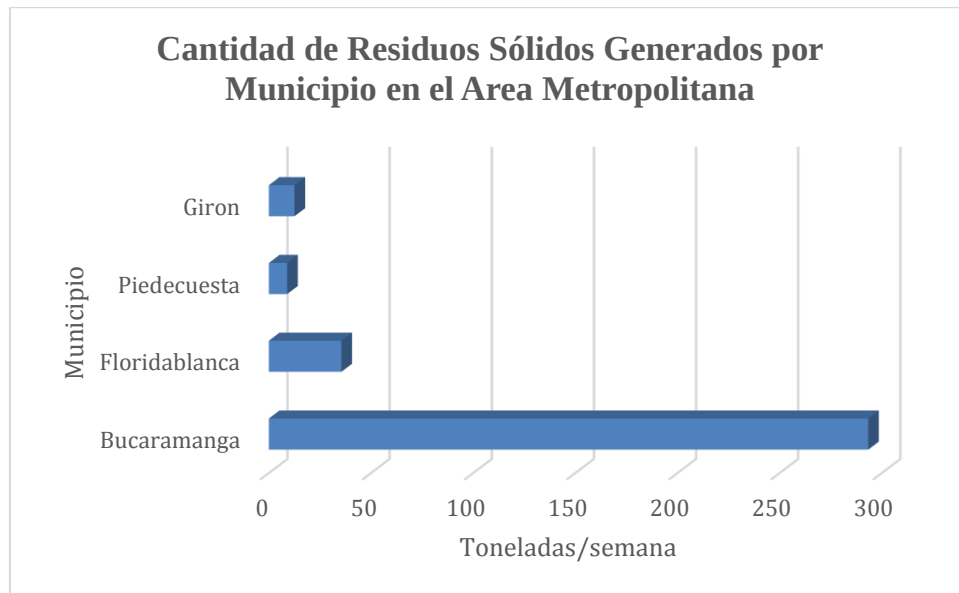
| Municipio                     | R. Orgánicos      | R. Inorgánico no Aprovechable | R. Inorgánico Aprovechable | Especiales   | Total Residuos Sólidos por Plaza | % Generación por municipio |
|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------|
|                               | Kilogramos/semana |                               |                            |              |                                  |                            |
| <b>Bucaramanga</b>            | 171483            | 83641                         | 7867                       | 30363        | 293354                           | <b>83,74</b>               |
| <b>Floridablanca</b>          | 30022             | 1377                          | 153                        | 3932         | 35484                            | <b>10,13</b>               |
| <b>Piedecuesta</b>            | 4699              | 976                           | 168                        | 3108         | 8951                             | <b>2,56</b>                |
| <b>Girón</b>                  | 10919             | 597                           | 327                        | 693          | 12536                            | <b>3,58</b>                |
| <b>Total Residuos Sólidos</b> | <b>217123</b>     | <b>86591</b>                  | <b>8515</b>                | <b>38096</b> | <b>350325</b>                    | <b>100</b>                 |
| <b>% de la Composición</b>    | <b>61,98</b>      | <b>24,72</b>                  | <b>2,43</b>                | <b>10,87</b> | <b>100</b>                       |                            |

Nota: Área Metropolitana de Bucaramanga, AMB, Autor. 2016

Una vez consolidada la información de los municipios del Área Metropolitana de acuerdo a la cantidad y cualidades de los residuos sólidos se obtiene el resultado que se puede observar en la tabla 9 y figura 10.

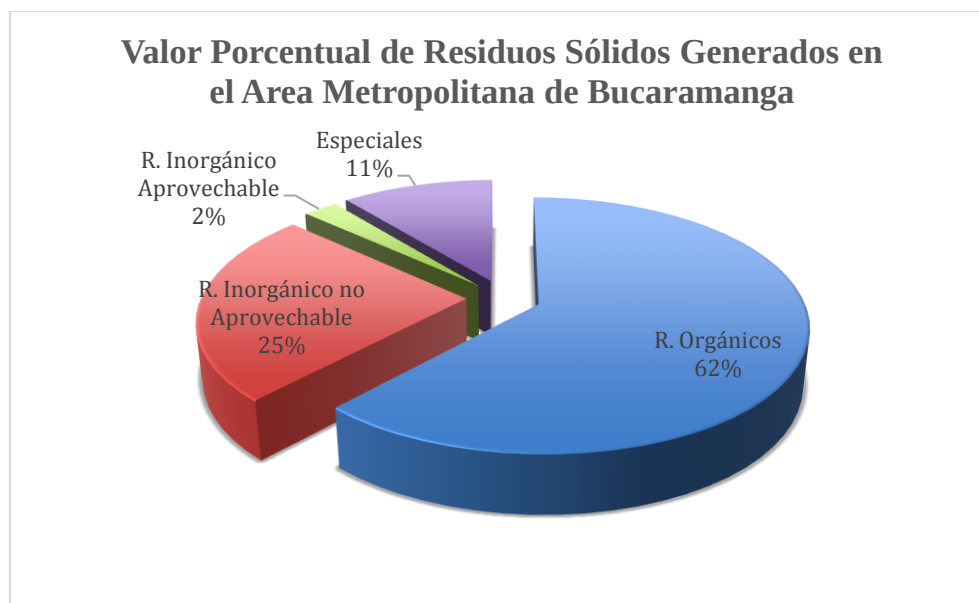
De la tabla 9 y figura 10 se puede resaltar que semanalmente se producen cerca de 350 toneladas de residuos sólidos en las plazas de mercado de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Piedecuesta y Girón. De esa cantidad considerable el 83,74 por ciento son generados por las plazas de mercado de Bucaramanga. Además, el 61,98 por ciento son de origen orgánico que corresponden a cerca de 220 toneladas, dispuestas semanalmente en el relleno sanitario el Carrasco

ya que ninguna de estas plazas de cualquiera de los municipios cuenta con planes de gestión integral de residuos sólidos o programas desarrollados que permitan hacer un aprovechamiento.



*Figura 11. Cantidad de Residuos Sólidos Generados por Clase en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Autor, 2016.*

En la figura 11 se identifica la cantidad de residuos sólidos orgánicos generados por municipio donde evidentemente Bucaramanga es el municipio que genera mayor cantidad, siendo un municipio importante para desarrollar proyectos de aprovechamiento y valorización.



*Figura 12. Valor Porcentual de Residuos Sólidos Generados en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Autor, 2016.*

La figura 12 representa la distribución porcentual de acuerdo a la clase de residuos que se genera en el Área Metropolitana por los municipios que la integran. Es relevante la cantidad de residuos de origen orgánico comparado con los residuos inorgánicos y especiales. Bajo esta conclusión es evidente la necesidad y la importancia del desarrollo de proyectos de aprovechamiento y valorización para evitar llevar esta cantidad de residuos al sitio de disposición final (Noguera & Olivero, 2010), que como ya fue descrito anteriormente genera impactos negativos de gran magnitud en el entorno (Köfalusi & Aguilar, 2006; Noguera & Olivero, 2010).

#### **6.1.2 Determinación de la Composición Cualitativa y Cuantitativa de los Residuos**

##### **Sólidos Orgánicos de la Plaza de mercado San Francisco**

La validación estadística de los datos de la muestra para la caracterización es fundamental, ya que asegura una mayor confiabilidad de los parámetros obtenidos. En esta etapa como técnicas de recolección se empleó la observación directa, efectuando visitas permanentes de manera informal a la plaza de mercado. Para determinar la composición y cantidad de residuos sólidos orgánicos

vegetales de la plaza se usó el método de análisis por muestreo estadístico (Método descrito anteriormente) el cual consiste en identificar durante 8 días los residuos generados, separándolos de acuerdo a las características y pesándolos diariamente para determinar el porcentaje de generación. Con el fin de identificar y conocer algunas acciones relevantes sobre las actividades diarias de recolección, selección y almacenamiento fue necesario el apoyo de la Administración de la Plaza en el acompañamiento y acercamiento a la comunidad vendedora que hizo parte de la muestra seleccionada.

Los componentes identificados se determinaron o se escogieron teniendo en cuenta aquellos que representaban mayor volumen, igualmente se excluyó los residuos sólidos orgánicos de origen animal, puesto que el interés de la investigación radica en los residuos de origen vegetal. El lugar donde se llevó a cabo el proceso de recolección de la información primaria fue el cuarto de acopio, en la hora de finalización de la jornada (3 p.m) que según el operario del cuarto estaban todos los residuos del día depositados.

Este resultado determina la cantidad total de residuos que se genera en la plaza y nos permite dimensionar o evaluar la parte operativa para cualquier proceso de gestión, aprovechamiento o valorización. De allí la importancia de calcular adecuadamente los parámetros, ya que su uso errado podría llevarnos a grandes confusiones

Los resultados obtenidos en el proceso de caracterización son los reportados en la tabla 10.

Tabla 10. *Composición de los RSO vegetales generados en la plaza de mercado San Francisco.*

| Caracterización Cuantitativa y Cualitativa de Residuos Sólidos Orgánicos Vegetales |                   |                |                |                |                |               |                |                |                                      |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|--------------------------------------|------------|
| Composición                                                                        | Peso (Kilogramos) |                |                |                |                |               |                |                | Total<br>Composición<br>(Kilogramos) | %          |
|                                                                                    | Lunes             | Martes         | Miércoles      | Jueves         | Viernes        | Sábado        | Domingo        | Lunes          |                                      |            |
| Cáscara de Piña                                                                    | 508,37            | 623,18         | 1304,5         | 1286,8         | 964,35         | 927,22        | 1003,5         | 520,5          | 7138,42                              | 25,16      |
| Cáscara de frijol y arveja                                                         | 170,05            | 210,07         | 859,7          | 598,5          | 739,7          | 644,98        | 687,2          | 176,2          | 4086,4                               | 14,40      |
| Tuza y hoja de mazorca                                                             | 29,4              | 32             | 75,5           | 63             | 182,35         | 212,5         | 247,23         | 30,5           | 872,48                               | 3,08       |
| Cáscara de naranja                                                                 | 183,37            | 205,87         | 528,97         | 565,2          | 479,27         | 205,75        | 244,5          | 197,68         | 2610,61                              | 9,20       |
| Verdura en mal estado                                                              | 71,76             | 103,2          | 192,99         | 203,37         | 137,36         | 119,62        | 132,78         | 94,2           | 1055,28                              | 3,72       |
| Fruta en mal estado                                                                | 387,87            | 422,65         | 446,85         | 457,5          | 639,33         | 329,93        | 356,4          | 359,34         | 3399,87                              | 11,98      |
| Hoja de repollo y lechuga                                                          | 268,85            | 294,1          | 824,8          | 862,6          | 923,81         | 535,7         | 567,87         | 294,5          | 4572,23                              | 16,12      |
| Cáscara de yuca                                                                    | 30,5              | 41,1           | 88,4           | 93             | 144,5          | 88,6          | 102,7          | 47             | 635,8                                | 2,24       |
| Hoja de cebolla                                                                    | 39,05             | 45,3           | 152,6          | 170,2          | 312,57         | 135,23        | 153,6          | 39,32          | 1047,87                              | 3,69       |
| Plantas Aromaticas                                                                 | 58,3              | 62,7           | 68,4           | 75,9           | 70,9           | 60,2          | 78,56          | 64,1           | 539,06                               | 1,90       |
| Desperdicios de Cocina                                                             | 35,88             | 40,3           | 25,28          | 27,68          | 47,84          | 71,77         | 63,4           | 41,24          | 353,39                               | 1,25       |
| Racimo del Platano                                                                 | 23,92             | 51,35          | 40,55          | 59,2           | 12,4           | 33,8          | 38             | 29,2           | 288,42                               | 1,02       |
| Cáscara de maracuya                                                                | 101,03            | 113,47         | 120,96         | 134,54         | 106,42         | 327,6         | 289,5          | 119,54         | 1313,06                              | 4,63       |
| Cáscara de otras frutas                                                            | 50,38             | 78,23          | 20,63          | 34,2           | 78,96          | 56,9          | 67,7           | 72,6           | 459,6                                | 1,62       |
| <b>Total (Kilogramos)</b>                                                          | <b>1958,73</b>    | <b>2323,52</b> | <b>4750,13</b> | <b>4631,69</b> | <b>4839,76</b> | <b>3749,8</b> | <b>4032,94</b> | <b>2085,92</b> | <b>28372,49</b>                      | <b>100</b> |

Nota: Autor. 2016

En la tabla 10 se puede observar los componentes identificados como más relevantes a la hora de realizar la cuantificación y selección de los residuos. Se puede apreciar que los residuos que se encuentran en mayor cantidad son los de algunos cítricos, granos y verduras, como es el caso de la piña, la naranja, el frijol, la arveja y las hojas de repollo y lechuga.

Tabla 11. *Composición, Cantidad y Valor porcentual de Residuos Sólidos Orgánicos Vegetales*

| Composición                | Total<br>Composición<br>(Kilogramos) | %     |
|----------------------------|--------------------------------------|-------|
| Cáscara de Piña            | 7138,42                              | 25,16 |
| Cáscara de frijol y arveja | 4086,4                               | 14,40 |
| Tuza y hoja de mazorca     | 872,48                               | 3,08  |
| Cáscara de naranja         | 2610,61                              | 9,20  |
| Verdura en mal estado      | 1055,28                              | 3,72  |
| Fruta en mal estado        | 3399,87                              | 11,98 |

Tabla 11 (Continuación)

|                           |                 |            |
|---------------------------|-----------------|------------|
| Hoja de repollo y lechuga | 4572,23         | 16,12      |
| Cáscara de yuca           | 635,8           | 2,24       |
| Hoja de cebolla           | 1047,87         | 3,69       |
| Plantas Aromáticas        | 539,06          | 1,90       |
| Desperdicios de Cocina    | 353,39          | 1,25       |
| Racimo del Plátano        | 288,42          | 1,02       |
| Cáscara de maracuyá       | 1313,06         | 4,63       |
| Cáscara de otras frutas   | 459,6           | 1,62       |
| <b>Total (Kilogramos)</b> | <b>28372,49</b> | <b>100</b> |

Nota: Autor. 2016

El volumen de frutas en mal estado también es representativo, pero este obedece a aquellas frutas seleccionadas como sobremaduradas (fermentadas) o descompuestas para las cuales habría la necesidad de primero determinar las condiciones físicas y químicas para el objeto de la investigación. Para el caso de los residuos de comida estos son destinados para alimentación como complemento alimenticio de una industria porcícola, quienes los recoge en el lugar de acopio. Adicionalmente, el operario del cuarto de residuos manifestó que algunos residuos principalmente frutas de puestos que no pertenecen la plaza, sino que son ventas externas o ambulantes también depositan los residuos en el cuarto de acopio.

Como resultado del proceso de cuantificación se logró determinar que la cantidad de residuos orgánicos de origen vegetal generados en la plaza de mercado San Francisco durante 8 días son de aproximadamente 28 toneladas con un promedio de 3.5 toneladas por día, lo cual se encuentra consignado en la tabla 11.



Figura 13. Composición de los residuos sólidos orgánicos vegetales, Autor, 2016.

Comparado con los datos oficiales suministrados por el Área Metropolitana donde dice que se producen aproximadamente 18 toneladas de residuos orgánicos por semana, el valor cuantificado a través de la caracterización por análisis estadístico es mayor y las posibles razones puede ser las expuestas anteriormente como es el acopio de residuos externos a la plaza, el método de caracterización usado, un aumento en el consumo y el día de más de trabajo en campo comparado con el muestreo realizado por el Área Metropolitana.

En la tabla 11 se observa la cantidad de residuos generados por componente seleccionado en una semana de 8 días de caracterización, igualmente los valores porcentuales para cada uno de los componentes donde las cáscaras de piña representan el mayor porcentaje de residuos generados, lo cual se encuentra representado en las figuras 12 y 13.

Con una producción semanal de un poco más de 7 toneladas de residuos, la piña es definitivamente el producto que más genera residuos en la plaza.

Como puede verse en las figuras 13 y 14 la cantidad de residuos orgánicos de origen vegetal generados en la plaza de mercado San Francisco es considerable, por lo que se hace necesario proponer diferentes alternativas de aprovechamiento y valorización para estos residuos y así disminuir el impacto ambiental, social y económico que acarrearán por los altos costos de transporte y tratamiento que conllevan. Para lo anterior se tuvo en cuenta la cantidad y el tipo de residuos producidos por la plaza.

Con el fin de evaluar claramente las diferentes alternativas de aprovechamiento de los residuos, se realizará una clasificación dependiendo de la cantidad y calidad de los residuos generados, tomando aquellos que se encuentran en mayor proporción.

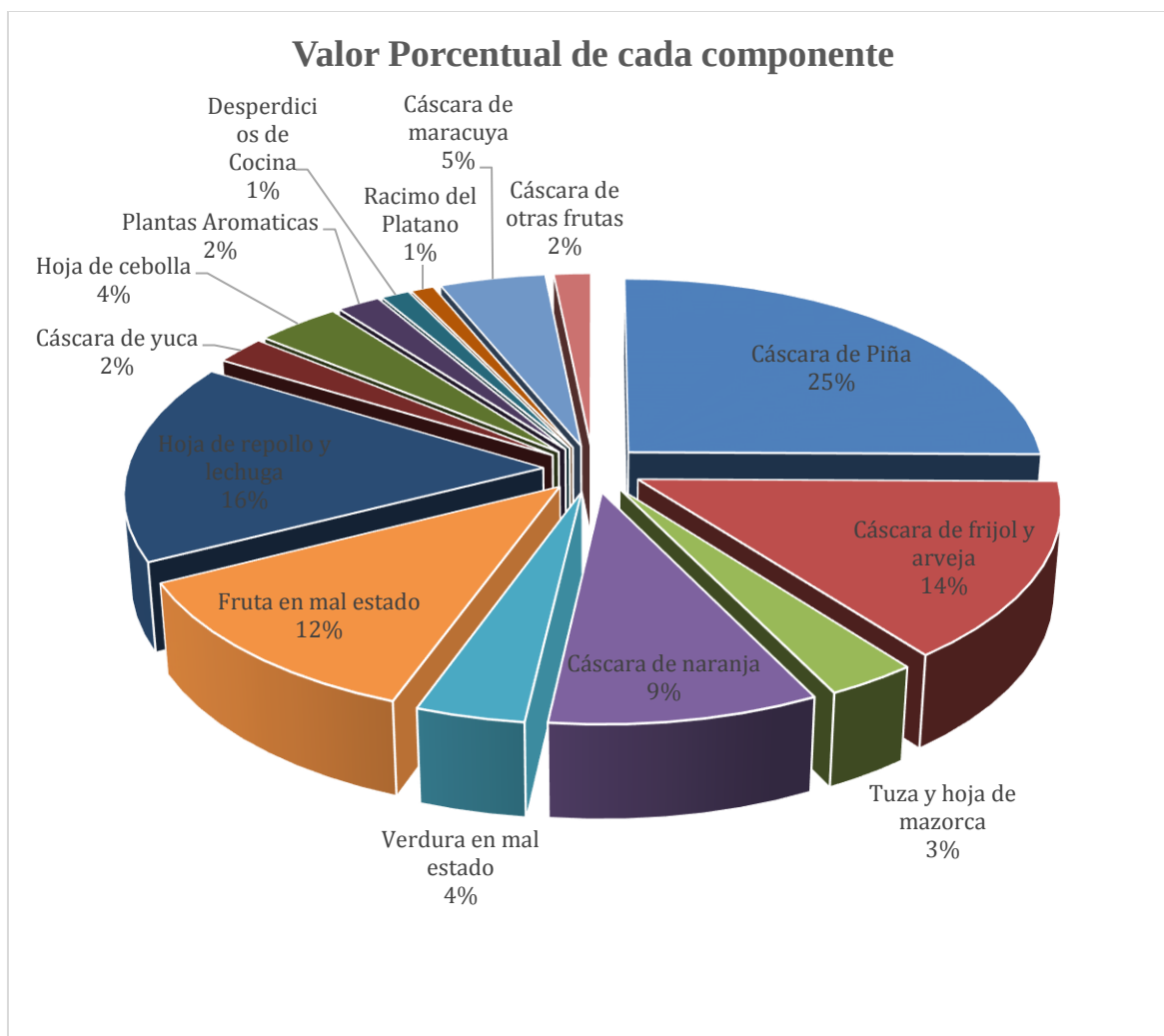


Figura 14. Valor porcentual de los residuos sólidos orgánicos vegetales, Autor, 2016.

Una vez identificada la composición y cantidad de los residuos generados se seleccionarán aquellos que representan mayor porcentaje de generación consignados en la tabla 12, especialmente frutas ya que estas son el objeto de la investigación. Por esta razón los residuos escogidos para realizar la minería de texto son la piña, maracuyá y los cítricos como naranja.

Tabla 12. *RSO de origen vegetal seleccionados*

| Composición         | Total peso (Kg/semana) | %     |
|---------------------|------------------------|-------|
| Cáscara de Piña     | 7138,42                | 25,16 |
| Cáscara de naranja  | 2610,61                | 9,2   |
| Cáscara de maracuyá | 1313,06                | 4,63  |

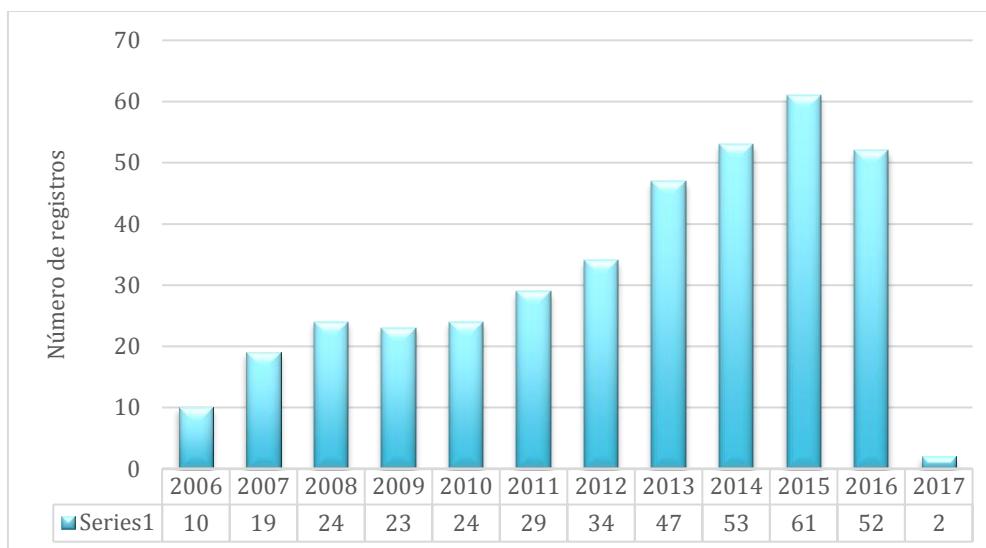
Nota: Autor. 2016

## 6.2 Minería de Texto

Con el fin de identificar los principales productos de valor agregado que pueden obtenerse a partir de las cáscaras o residuos de frutas de vegetales en general, se estructuró la siguiente ecuación de búsqueda en la base de datos referencial Scopus (Elsevier, B.V., 2016) (TITLE-ABS-KEY ( "fruit peel\*" OR "fruit waste\*" OR "vegetable residue\*" ) AND TITLE-ABS-KEY ( product\* OR "value-added product" ) ) AND DOCTYPE ( ar ) y de la cual se recuperaron 464 registros.

### 6.2.1 Dinámica científica

Se obtuvieron 464 registros de la base de datos de Scopus, los cuales se analizaron empleando el software de minería de texto *Vantage Point* (disponible en la Unidad de Bibliometría de la Crai-Biblioteca de la Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga). Se destacan los siguientes aspectos de esta revisión.



*Figura 15. Evolución en el tiempo de la producción científica relacionada la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales (cáscaras de frutas). Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).*

Los primeros artículos aparecen indexados a partir de 1944, en el cual se reporta el aislamiento de aminoácidos a partir de vegetales frescos (Albanese, A. A. (1944). Amino acid analysis of some common vegetables: Method for carbohydrate-free extraction of nitrogen from fresh vegetables. *Industrial and Engineering Chemistry*, 16(10), 609-611).

Entre 1944 y 2005 se registran tan solo 86 registros de artículos indexados en Scopus. A partir del 2006 puede apreciarse una tendencia creciente en el interés por el aprovechamiento de los residuos de cáscaras de frutas para la obtención de compuestos de valor agregado, como se observa en la figura 15. Siendo en 2015 el año de mayor actividad con 61 registros.

En cuanto a las áreas de aplicación de estos trabajos de investigación, se tiene que la agricultura y las ciencias biológicas es la más importante, con 233 trabajos relacionados con esta temática, seguido por la bioquímica, genética y biología molecular con 113; ingeniería química aplica con

70 registros, en tanto que las ciencias ambientales aportan 69 registros, medicina 60 y química 59 trabajos, representado en la figura 16.

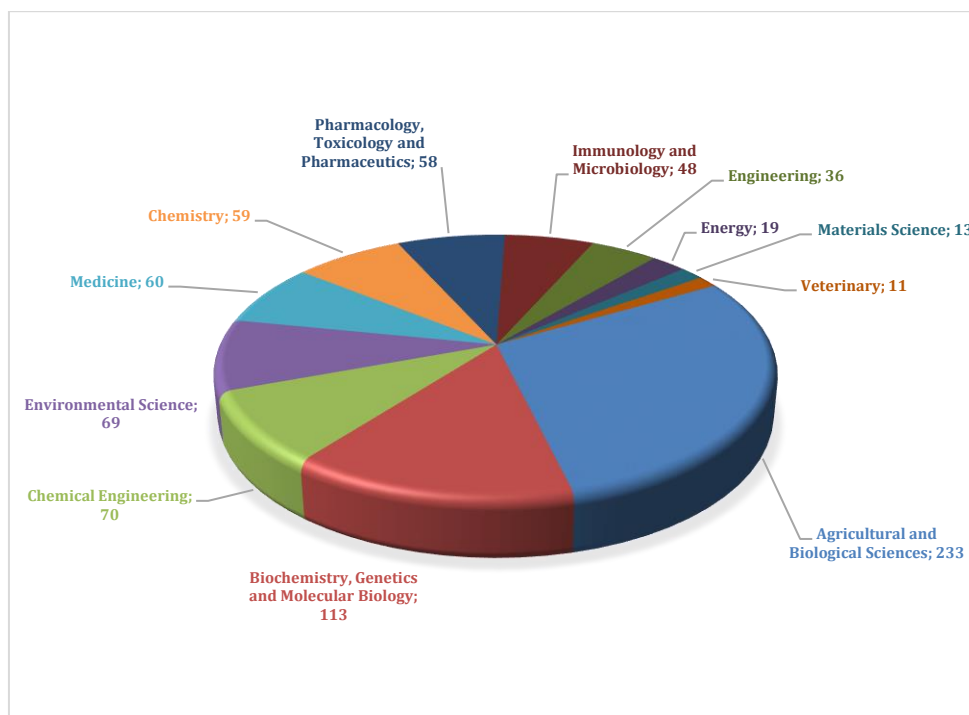


Figura 16. Áreas de aplicación de la investigación relacionada la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales (cáscaras de frutas). Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).

Se cuentan alrededor de 309 revistas científicas en las cuales se han publicado los trabajos relacionados con la valorización de residuos, las más importantes se presentan en la Figura 17, entre las cuales sobresalen: *Food Chemistry* (16), *Bioresource Technology* (10) y *Acta Horticulturae* (8).

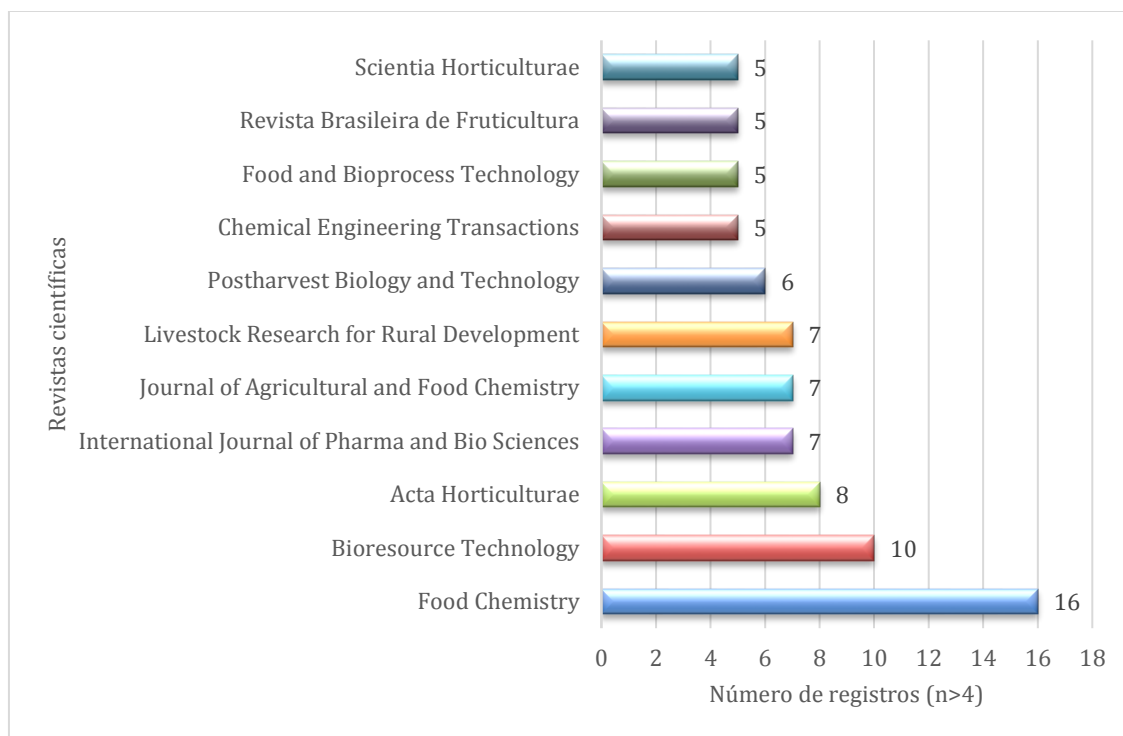
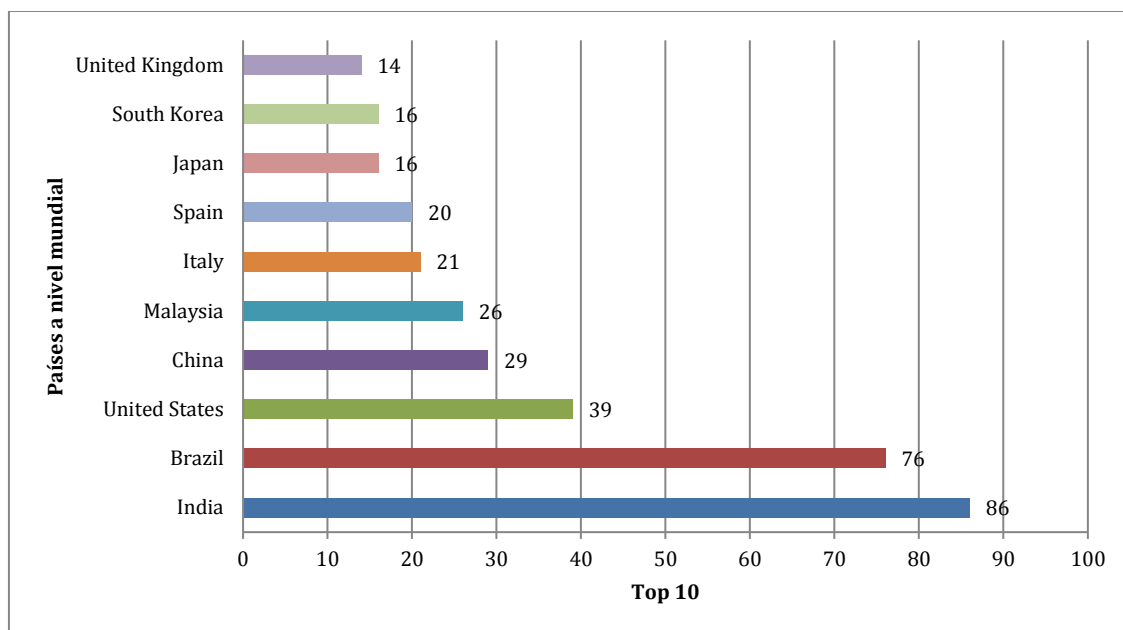


Figura 17. Principales revistas científicas relacionadas la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales (cáscaras de frutas). Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).

En cuanto a la distribución de la investigación a nivel geográfico se encuentra que a nivel mundial que la India lidera la investigación en esta área con 86 trabajos de investigación, seguido por Brasil con 76, Estados Unidos con 39.



*Figura 18. Distribución de la investigación científica relacionada la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales (cáscaras de frutas). Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).*

Dentro de las frutas más estudiadas del grupo de residuos sólidos vegetales se encuentran los cítricos con 92 artículos relacionados, seguido por los frutos de las passifloras (maracuyá, curuba, granadillas, entre otras) con 32 registros, manzana con 26, mango con 20, como puede apreciarse en la Figura 19.

Uno de los procesos de valorización económica que se pueden aplicar a los residuos sólidos orgánicos de origen vegetal corresponde a la obtención de compuestos de valor agregado que pueden ser de interés para la industria cosmética, alimentos, farmacéutica, entre otras. Estas aplicaciones están relacionadas con las actividades biológicas que exhiben dichos compuestos.

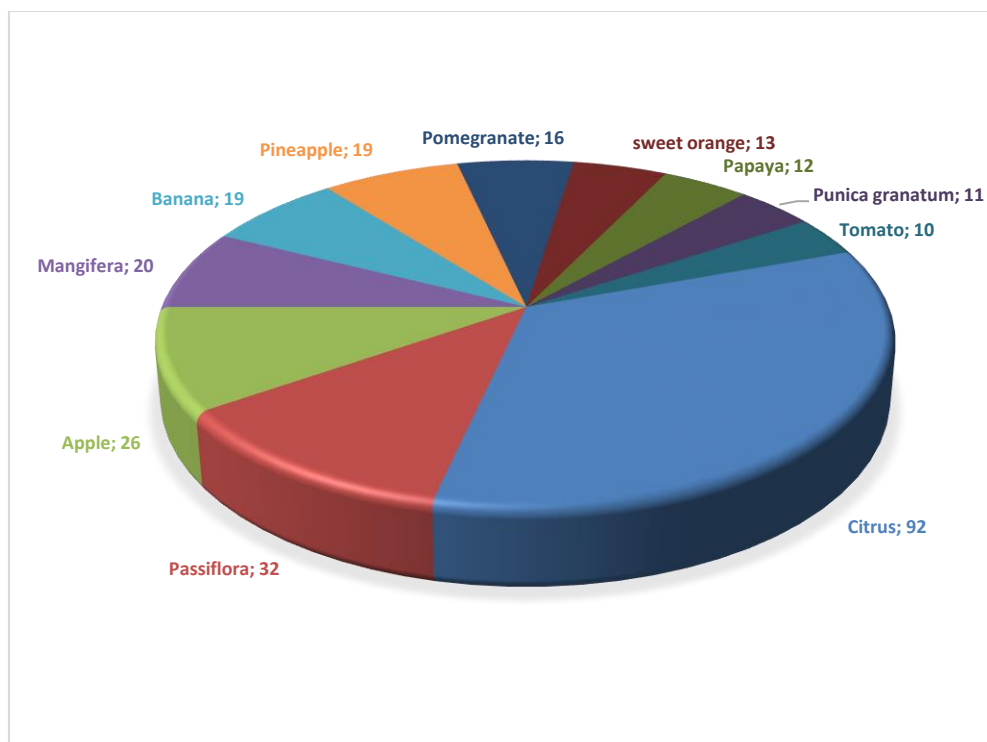


Figura 19. Principales grupos de frutas relacionada la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales. Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).

Dentro de las actividades biológicas más estudiadas para los productos naturales se encuentra la actividad antioxidante, antimicrobiana, antibacteriana, antifúngica, entre otras. Estas actividades son aprovechadas principalmente por la industria alimenticia para la preservación y conservación de productos perecederos. En la Figura 20, se presenta la relación entre las frutas encontradas dentro de los residuos vegetales y la actividad biológica, se observa que los frutos cítricos son los más estudiados, siendo la capacidad antioxidante y la actividad antibacteriana las propiedades biológicas más evaluadas. La actividad antioxidante esté relacionada con la presencia en el fruto, especialmente, en la cáscara de compuestos polifenólicos responsables de esta propiedad.

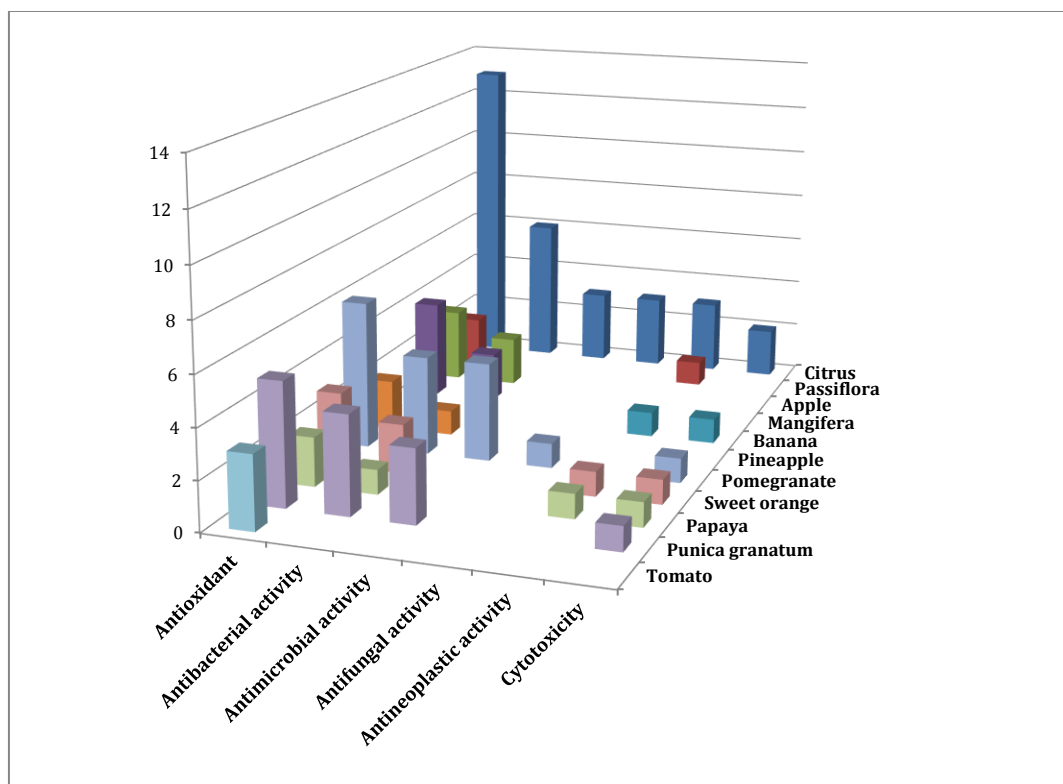


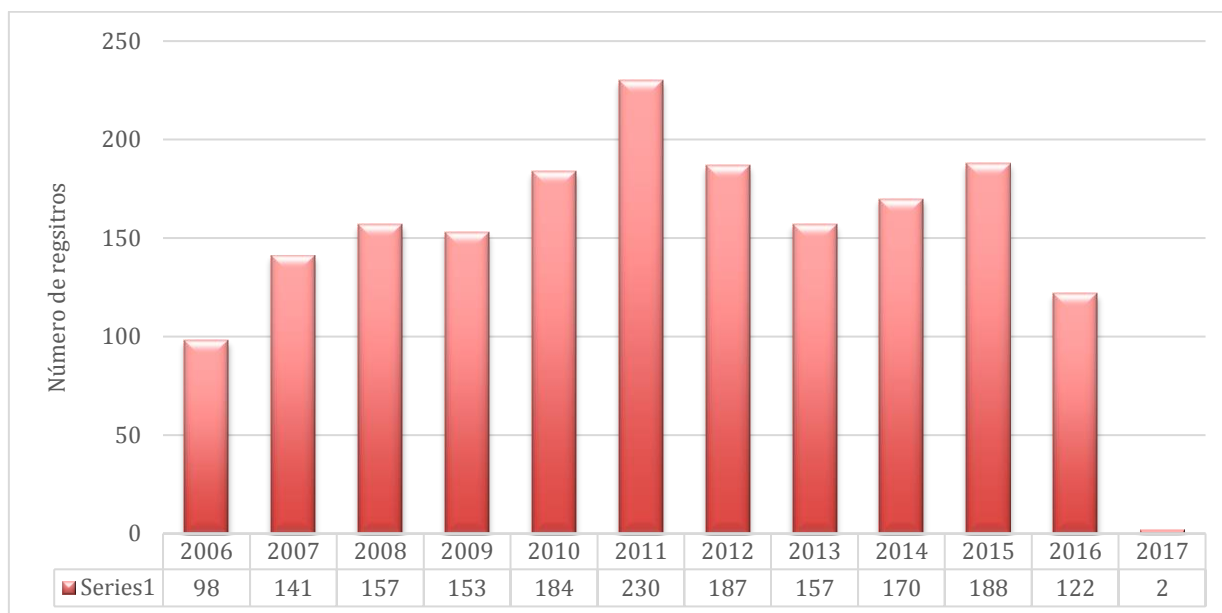
Figura 20. Relación entre los grupos de frutas con la actividad biológica relacionada la obtención de compuestos de valor agregado a partir de residuos vegetales. Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).

Dentro de los valores experimentales obtenidos durante la caracterización de los residuos provenientes de la plaza de Mercado de San Francisco de Bucaramanga, se encontró que los residuos más comunes y en mayor proporción fueron las cáscaras de piña.

Considerando lo anterior, se realizó la respectiva revisión bibliográfica, con el fin de identificar la dinámica de la investigación con esta fruta. Se estructuró la siguiente ecuación de búsqueda: *TITLE-ABS-KEY (piña OR pineapple OR "Ananas comosus") AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2005*. Se recuperaron 1794 documentos relacionados con el tema de interés.

La dinámica de la investigación relacionada con el número de artículos por año se presenta en la Figura 21. Se observa una tendencia creciente hasta el año 2011, siendo el de mayor actividad

con 230 artículos indexados en la base de datos de Scopus. A partir de 2012 hasta la fecha se observa una ligera baja en el número publicaciones, sin embargo, el interés se mantiene.



*Figura 21. Dinámica científica relacionada con la investigación con el fruto de la piña. Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).*

En la Figura 22 se presenta la distribución de las áreas de interés en las cuales se aplica la investigación sobre la piña. La agricultura y las ciencias biológicas presenta el mayor número de aplicaciones en este tema, seguido por la bioquímica, genética y biología molecular, medicina y química, principalmente.

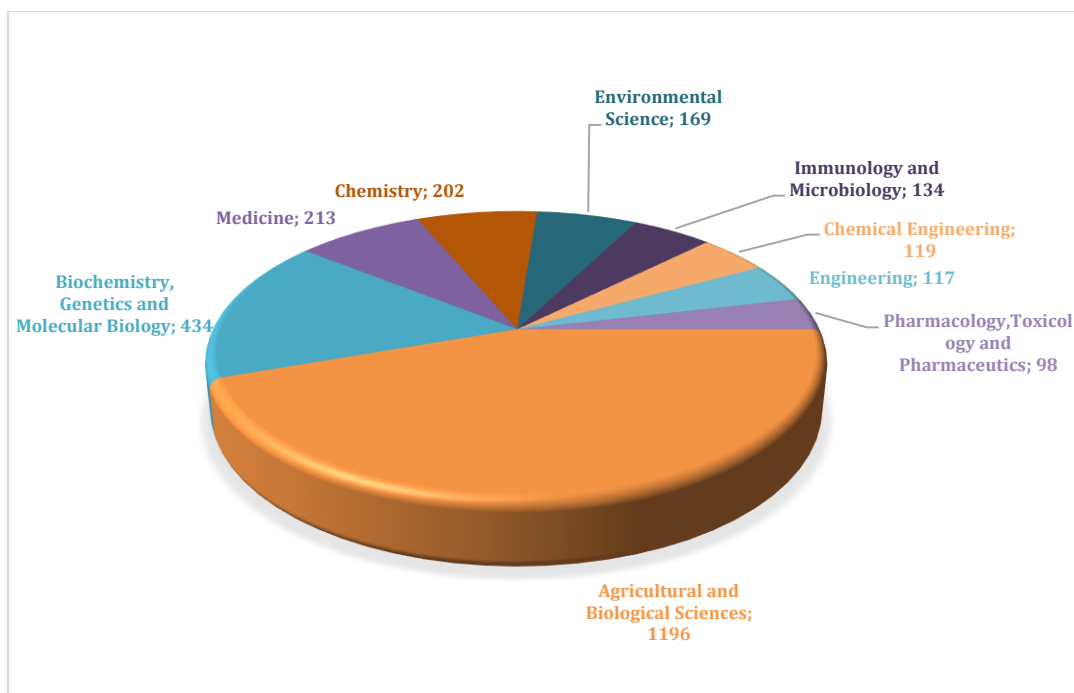
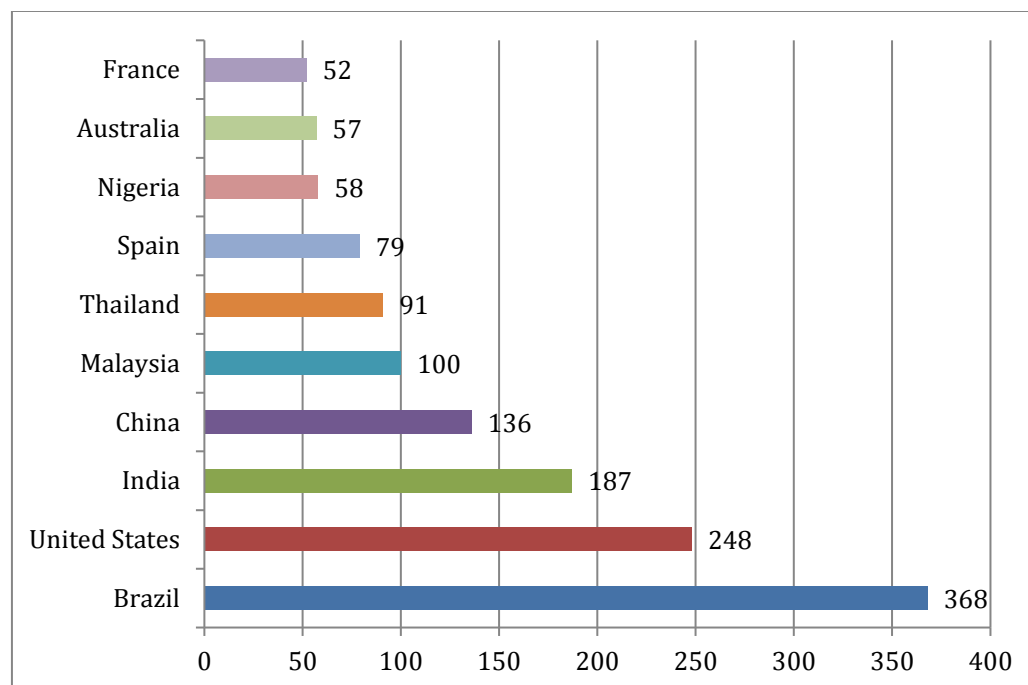


Figura 22. Áreas de interés de la investigación sobre el fruto de la piña. Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).

En cuanto a los países en los cuales se desarrollan los trabajos de investigación sobre la piña a nivel mundial se encuentran liderados por Brasil con 368 publicaciones, seguido por Estados Unidos con 248, China con 187, como puede apreciarse en la Figura 23. A Nivel latinoamericano además de Brasil, Cuba y Costa Rica sobresalen en la producción científica de esta fruta, con 29 y 26 artículos indexados en la base de datos, Colombia aporta 16 documentos.



*Figura 23. Distribución por países de la investigación sobre el fruto de la piña. Fuente: Unidad de Bibliometría - USTABUCA, cálculos basados en información de Scopus (Elsevier, 2016), procesados con VantagePoint (Versión 9.0, Search Technology).*

La aplicación de la piña básicamente se traduce a consumo fresco, jugos y aislamiento de productos de valor agregado como la bromelina, la cual es una enzima proteolítica de interés para la industria farmacéutica, cosmética y de alimentos. En la base de datos de scopus se encuentran alrededor de unos 620 documentos indexados desde el período de 2006 -2016 (hasta la fecha), apreciándose una tendencia creciente en el interés de la investigación, siendo el presente año, el de mayor actividad con 81 documentos.

### **6.3 Biorefinería para la Piña**

Los residuos agroindustriales se caracterizan por no ser de interés en el proceso que los generó, pero pueden utilizarse o transformarse para generar un producto con valor comercial(Saval, 2012). Las tecnologías actuales deben ser capaces de recuperar, reciclar y dar sustentabilidad a la obtención de ingredientes de alto valor agregado(Galanakis, 2012), los cuales se pueden utilizar en la industria alimenticia o farmacéutica. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), a nivel mundial se desperdicia aproximadamente una tercera parte de los alimentos generados para consumo humano(Galanakis, 2012). Este tipo de residuos se genera desde el campo de cultivo hasta la etapa de comercialización.

La reestructuración ecológica para el desarrollo sostenible implica cambios en la tecnología, las actividades económicas y los estilos de vida necesarios para armonizar las actividades humanas con los sistemas naturales. Un elemento importante para la eco-reestructuración es el concepto de Emisiones Cero ZERI (Zero Emissions Research Initiative), literalmente significa que no hay residuos en el aire, el agua y la tierra(Gravitis, 1998).

### **6.4 Biorefinería**

Las biorefinerías se podrían describir como las industrias de base biológica integradas, utilizando una variedad de tecnologías para fabricar productos tales como productos químicos, combustibles, calor, electricidad y alimentos e ingredientes de alimentos para animales, biomateriales, fibras con el objetivo de maximizar el valor añadido a lo largo de los tres pilares de la sostenibilidad (Medio Ambiente, Economía y Sociedad)(Fava et al., 2015).

El concepto de biorrefinería es mucho más que una simple definición, es una valiosa estrategia para centrarse en la era de la economía verde que se juegan un papel fundamental en un futuro próximo, una vez que se basa en la disponibilidad de biomasa. Este concepto está íntimamente ligado con el progreso de la agricultura, la eficiencia y la disponibilidad de alimentos y la producción de alimentos y químicos finos, así como el uso de la biomasa para la generación de energía (calor y electricidad).

En general, es esencial promover el análisis preciso de los impactos de proceso sobre el medio ambiente y los recursos biológicos (a través de indicadores técnicos como consumo de energía, análisis del ciclo de vida y los indicadores de la huella ecológica) y el uso del modelo de biorrefinería integrada como herramientas esenciales para afrontar el reto de la protección de los recursos biológicos.

La Biorefinería separa la biomasa vegetal, llamados materiales lignocelulósicos, en fracciones para aprovechamiento. Las tecnologías de Biorefinería producen valor añadido que pueden abarcar desde ingredientes alimentarios básicos hasta complejos fármacos y desde simples materiales de construcción hasta complejos compuestos industriales. Productos como etanol, biodiesel, glicerol, lípidos, aceites, ácido cítrico, ácido láctico, ácido acético, metanol, Isopropopanol, vitaminas, azúcar, encimas, fibras y polímeros de proteínas, etc., podrían ser producidos para su uso como materia prima en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica(Gravitis, 1998).

Lo crucial para la biorrefinería es productos como fibras especiales, nuevos adhesivos, plásticos biodegradables, tensioactivos degradables, biodetergentes, polímeros y enzimas específicos, etc., desarrollo con el objetivo de llenar nichos particulares principalmente de importancia por su aporte ambiental.

La biorefinería utiliza materiales de desecho orgánicos de la agricultura, la silvicultura, la pesca,

etc., convierte la biomasa en productos de valor agregado y limpia el medio ambiente como sistema interconectado y cerrado, como se puede observar en la figura 25.

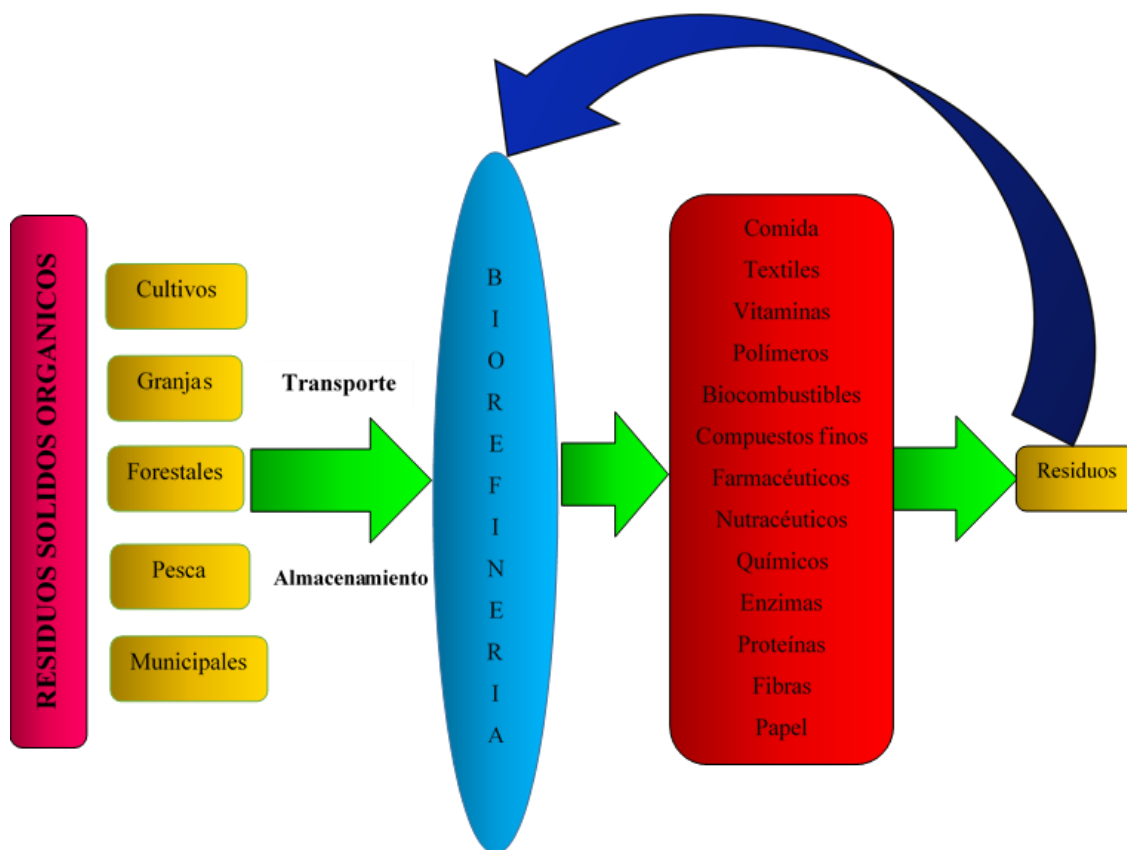


Figura 24. Biorefinería para Residuos Sólidos Orgánicos, Adaptado de A Biochemical Approach to Attributing Value to Biodiversity-The Concept of the Zero Emissions Biorefinery, por Gravitis, Janis, 2015.

La explotación de los subproductos de la fruta y de procesamiento de vegetales como fuente de compuestos funcionales y su aplicación en los alimentos es un campo prometedor que requiere la investigación interdisciplinaria de la tecnología de los alimentos, químicos de alimentos, nutricionistas y toxicólogos. En un futuro próximo, tenemos el reto de responder a las necesidades de investigación siguientes: En primer lugar, las tecnologías de procesamiento de alimentos deben ser optimizadas con el fin de reducir al mínimo las cantidades de residuos generados. En segundo lugar, los métodos para el aprovechamiento completo de los subproductos resultantes de la

elaboración de alimentos a gran escala y en niveles asequibles deberían desarrollarse. Se requiere la participación activa de las industrias de alimentos y aliados con respecto a la producción sostenible y la gestión de residuos.

### **6.5 Residuos de la Piña**

La piña o ananás (*Ananas sativus* Schult) como comúnmente se conoce es originaria de Sudamérica (Brasil), es una de las frutas tropicales con más alta demanda y más importantes del mundo y es el principal miembro comestible de la familia Bromeliaceae. Este jugo de fruta es el tercero más preferido en todo el mundo después de los jugos de naranja y manzana (Cabrera, Menezes, Oliveira, & Batista, 2000). De aspecto herbáceo, puede alcanzar los 1,20 m de altura, con raíces cortas, delgadas y con muchas raicillas superficiales y su multiplicación se hace de manera asexual.

En Colombia el uso que se le da a este fruto es fresco o en jugo, mermeladas y conservas, de la cáscara se puede obtener una bebida ácida y de las hojas se extrae fibra. Los subproductos se emplean para alimentación animal o en la fabricación de alcohol y vinagre. Además de su frescura y sabor, la piña contiene vitaminas A, B y C, hierro, fósforo y calcio.

El departamento de Santander ha tenido un alto potencial para este cultivo dadas sus condiciones agroecológicas. La piña ha consolidado a Santander ampliamente como el primer productor del país. Sus 8.675 hectáreas plantadas de la variedad Perolera, representan más del 90% de la oferta nacional. En el departamento el cultivo se centra en tres municipios vecinos que encabeza Lebrija con 59.4%, seguido de Rionegro con 20.5% y Girón con el 19 %. Durante 1999 el área sembrada creció en 67%, debido a los buenos precios presentados en el año anterior. La producción para el año 2013 estuvo alrededor de 249336 toneladas, con un rendimiento de 4411

kilogramos por hectárea producida según información del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

El procesamiento de frutas tropicales y subtropicales tiene proporciones de subproductos considerablemente mayores que los frutos templados (Schieber, Stintzing, & Carle, 2001). Los subproductos de la piña no son excepciones y consisten básicamente en la pulpa residual, las cáscaras, el tallo y las hojas. El aumento de la producción de piña y así mismo su comercialización y procesamiento, termina en la generación masivas de residuos. Esto se debe principalmente a la selección y eliminación de componentes no aptos para el consumo humano.

Además, el manejo brusco de frutas y la exposición a condiciones ambientales adversas durante el transporte y el almacenamiento pueden causar hasta un 55% de los desechos del producto. Estos desechos suelen ser propensos al deterioro microbiano, lo que limita su explotación. Además, durante el procesamiento de la piña, se genera gran cantidad de material de desecho inutilizable. Se ha demostrado que el 40-80% de la fruta de piña se descarta como desecho que tiene una alta demanda biológica de oxígeno (DBO) y valores químicos de la demanda de oxígeno (DQO) (Amador, Emond, & do Nascimento Nunes, Maria Cecilia, 2009).

Los resultados de los análisis para determinar la composición química de la piña han sido los reportados en la tabla 13.

Tabla 13. *Composición Química de los Residuos de Piña*

| <b>Composición Química de los Residuos de Piña</b> |                 |               |             |               |             |             |                |              |
|----------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------|---------------|-------------|-------------|----------------|--------------|
| <b>Parámetros</b>                                  | <b>Ensilada</b> | <b>Fresca</b> | <b>Seca</b> | <b>Pelada</b> | <b>Todo</b> | <b>Piel</b> | <b>Cogollo</b> | <b>Pulpa</b> |
| Humedad %                                          | 72,49           | 71,07         | 27,43       | 92,2          | -           | -           | -              | -            |
| Sólidos Totales %                                  | 27,51           | 29,03         | 72,57       | 7,8           | -           | -           | -              | -            |
| Sólidos Volátiles %                                | 87,12           | 96,12         | 95,9        | 89,4          | -           | -           | -              | -            |
| pH                                                 | 4               | 4,7           | 4,7         |               | -           | -           | -              | -            |

Tabla 13 (Continuación)

|                          |       |       |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Cenizas %                | 12,88 | 3,88  | 4,1  | 10,6 | 0,7  | 0,6  | 0,4  | 0,2  |
| <b>Base Seca %</b>       |       |       |      |      |      |      |      |      |
| Celulosa                 | 9     | 11,2  | 12   | 19,8 | 19,4 | 14   | 29,6 | 14,3 |
| Hemicelulosa             | 4,7   | 7     | 6,5  | 11,7 | 22,4 | 20,2 | 23,2 | 22,1 |
| Pectina                  | 5,1   | 6,7   | 7,1  | -    | -    | -    | -    | -    |
| Sólidos solubles en Éter | 4     | 6,1   | 6,7  | -    | -    | -    | -    | -    |
| Proteína                 | 0,91  | 3,13  | 3,3  | -    | 4,4  | 4,1  | 4,2  | 4,6  |
| Azúcar Reducida          | 5     | 25,8  | 27,8 | -    | 6,5  | -    | -    | -    |
| Azúcar No reducida       | 1,7   | 5,7   | 4,9  | -    | 5,2  | -    | -    | -    |
| Total de azúcar          |       |       |      | -    | 11,7 | -    | -    | -    |
| Lignina                  | 9     | 11,52 | 11   | -    | 4,7  | 1,5  | 4,5  | 2,3  |

Nota: Adaptado de Utilization of Pineapple Waste: A Review, Upadhyay, A., et al., 2013.

En la figura 26 se puede observar la comparación de la piña con otras frutas en cuanto a sus propiedades químicas importantes para identificar los procesos de aprovechamiento.

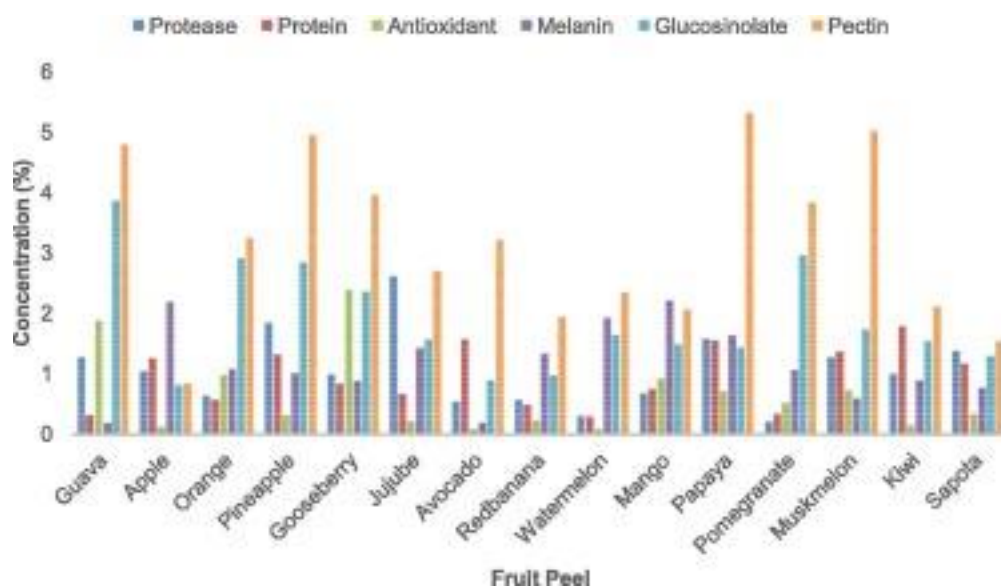


Figura 25. Comparación de Algunas de las Propiedades Químicas de la Piña, Tomado de Opportunity for high value-added chemicals from food supply chain waste, por Matharu, A, S, 2015.

Las investigaciones han logrado desarrollar interesantes procesos para provechar todas las partes de la planta y el fruto de la piña, como se había mencionado anteriormente, es un fruto rico en fibra, proteínas, enzimas, vitaminas, etc. Los investigadores se han centrado en la utilización de residuos de piña principalmente para la extracción de la enzima bromelina y secundariamente como materia prima de bajo costo para la producción de etanol, antioxidantes fenólicos, Biogás y producción de fibra. Las consecuencias científicas y tecnológicas pertinentes producirían mejores mercados y más rentables para los desechos de piña(Matharu, de Melo, & Houghton, 2016). Ya que la Piña nos ofrece una oportunidad de aprovechar sus residuos y convertirlos en productos con valor agregado y finos, se describen a continuación algunos de ellos:

#### **6.5.1 Bromelina.**

La bromelina es probablemente el componente más valioso y más estudiado de los residuos de piña. Esta biomolécula se utiliza como ablandadora de carnes, complemento alimenticio y se ha descrito que muestran varias acciones farmacológicas, por ejemplo, aumentan la absorción de medicamentos, se han utilizado en tratamientos de desórdenes digestivos, en enfermedades virales y en la formulación de vacunas.

Tienen potencialidades antiedematosas, antiinflamatorias, coagulación de la sangre, desbridamiento de quemaduras de tercer grado, aumento de la absorción de fármacos, antitrombóticas y fibrinolíticas. Recientemente, se demostró la posible actividad antitumoral de cisteíno-proteasas como la bromelina contenida en la piña en 5 tumores transplantables de ratón: Leucemia p-388, carcinoma pulmonar de Lewis, adenocarcinoma-755, sarcoma-37 y tumor ascítico de Ehrlich, así como la inhibición en la proliferación de tumores cerebrales (Castillo, Solano, Paquini, & Calderón, ).

La bromelina está presente principalmente en el tallo, conocido como bromelina de tallo y también en el fruto, aunque también se encuentra una pequeña cantidad de bromelina en los residuos del fruto (Hebbbar, Sumana, & Raghavarao, 2008). Se utilizan sistemas micelares inversos para extraer y purificar la bromelina del extracto acuoso crudo de residuos de piña (núcleo, cáscara, corona y tallo extendido). El tallo de la piña es una pérdida típica durante el aprovechamiento de la piña y se ha utilizado ampliamente para la extracción de bromelina.

#### **6.5.2 Pectina.**

Es un espesante, estabilizante y modificador de la reología de base biológica industrial, es la biomolécula principal presente en la piña. La biomasa de la piña puede servir como un suplemento prebiótico prometedor en los productos lácteos y productos funcionales, promueve el crecimiento de microbiota probiótica y por consiguiente la liberación de péptidos anti-mutágenos y antioxidantes (Sah, Vasiljevic, McKechnie, & Donkor, 2015).

Los glucosinolatos son potencialmente compuestos de alto valor interesantes para su uso como plaguicidas biológicos y posible tratamiento del cáncer. Los glucosinolatos están presentes en cantidades considerables en la cáscara y es conocida para actuar como defensa natural de la planta contra los insectos y enfermedades mediante la liberación de tiocianatos y otras toxinas generando un daño de tejidos vegetales. La extracción de pectina se llevó a cabo usando ácido nítrico y las propiedades químicas y reológicas de la pectina extraída fueron similares a los de la pectina industrial (Conceição, Fernandes, Prado, & de Resende, 2012).

#### **6.5.3 Vermicomposting.**

Recientemente, se ha desarrollado investigaciones sobre el compostaje de residuos de piña usando lombriz de tierra (Mainoo, Barrington, Whalen, & Sampedro, 2009). Se ha identificado que el vermicomposting es rápidamente descompuso, se consume alrededor del 99% de la pulpa

de piña de la masa húmeda, mientras que la cáscara tenía una pérdida de peso en casi el 87%. El pH del residuo cambió de ácido a neutro a alcalino durante el compostaje. Sin embargo, la rentabilidad aún no se ha estudiado. Utilización de los residuos de piña.

#### **6.5.4 Etanol.**

El interés en la conversión de recursos renovables en alcohol utilizando sustratos de bajo costo, como los desechos de piña, ha estado aumentando en la última década. Los desechos de piña han sido examinados para la producción de etanol, se utilizaron organismos como *Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis* para la fermentación y conversión en etanol. Sin embargo, los azúcares fermentables que incluían sacarosa, glucosa y fructosa eran relativamente bajos y el pretratamiento del sustrato con enzimas como celulasa y hemi-celulasa fueron necesarios para la producción de alcohol. Ambos organismos fueron capaces de producir aproximadamente 8% de etanol de residuos de piña en 48 h después de pretratar con enzimas celulasa y hemi-celulasa (Bankoffi & Han, 1990).

Se utilizó la cepa *Saccharomyces cerevisiae* para la producción continua de etanol a partir de jugo prensado de residuos de conservas de piña (Nigam, 2000). No se realizó pretratamiento de zumo y se añadieron los efluentes líquidos recogidos de diversas etapas de procesamiento y la producción de etanol fue del 92,5% del valor teórico. La materia prima utilizada aquí fue el residuo de la conservera de piña, así como el jugo de fruta podrida o desechada. La producción de etanol fue de 59,0 g / l sin suplementación y regulación de pH.

Se ha desarrollado una nueva técnica para producir etanol a partir de la extracción de líquido de los residuos de piña y piña de la planta (Upadhyay, Lama, & Tawata, 2013). Esta técnica permite la extracción de etanol de los residuos vegetales sin que el productor deba elegir entre los usos de los alimentos o los combustibles como producto final.

### **6.5.5 Antioxidante fenólico.**

La búsqueda de nuevos antioxidantes naturales se ha incrementado dramáticamente en los últimos años y en este sentido se están explorando ampliamente los subproductos agroindustriales. Fitoquímicos, especialmente fenólicos, en frutas y vegetales se sugiere que son los principales compuestos bioactivos para los beneficios de la salud. Se ha descrito la química de los compuestos fenólicos en relación con su actividad antioxidante y su presencia en varios alimentos, su biodisponibilidad y metabolismo (Balasundram, Sundram, & Samman, 2006).

El contenido fenólico de la piña ha sido reportado por varios investigadores. Se encontró contenido fenólico en frutas como equivalente de ácido gálico con el más alto contenido en ácido fenólico, 2,58 como equivalente de ácido clorogénico, mientras que el jugo tenía 358 mg/l como equivalente de ácido gálico (Sun, Chu, Wu, & Liu, 2002).

Los antioxidantes fenólicos de los desechos también se encuentran en grandes cantidades. El rendimiento de extracción de metanol y el contenido total de fenoles del residuo de piña (pulpa, semillas y cáscara) fueron de 30,2% y 10 mg/g (Cabral, Said, & Oliveira, 2009). Los residuos obtenidos en el proceso de fabricación de bromelina ha demostrado que los ácidos fenólicos y el ferúlico, podrían ser responsables de las actividades antioxidantes y antimicrobianas del extracto acuoso.

Se han sintetizado potentes fungicidas de los ácidos cinámico, p-coumárico y ferúlico que fueron aislados de los tallos de piña. También se ha identificado que el antioxidante fenólico de residuos de piña puede convertirse en compuestos más potentes por la isoenzima. Además, se ha desarrollado el potencial antiinflamatorio y antidiabético del tallo de piña. La investigación sobre los fitoquímicos de la cáscara de la piña y la hoja mostró una alta actividad antioxidante con altos

compuestos fenólicos. La hoja también tiene una cantidad significativa de contenido de fitosterol, particularmente beta-sitosterol, stigmasterol y campesterol (Upadhyay et al., 2013).

La producción de ácido orgánico a partir de desechos de frutas en la búsqueda de un sustrato de bajo costo ha sido una investigación de interés. A este respecto, se han utilizado desechos de piña para la producción de diversos ácidos orgánicos, particularmente ácido cítrico, láctico y ferúlico usando tecnología de fermentación.

### **6.5 6 Ácido cítrico.**

Este producto comercialmente valioso es ampliamente utilizado en las industrias alimentaria, farmacéutica y de bebidas como sustrato para acidificar y mejorar el sabor. Se ha investigado la producción de ácido cítrico en condiciones de fermentación en estado sólido utilizando residuos de piña como sustratos (Kumar & Manimegalai, 2003).

Se optimizó las condiciones de cultivo y la producción de ácido cítrico fue de 202,35 g/kg de residuos de piña seca. Los investigadores han utilizado cuatro especies de *Aspergillus* para comparar la producción de ácido cítrico bajo fermentación en estado sólido. Bajo condiciones optimizadas se obtuvo un rendimiento de 19,4 g de ácido cítrico/100 g de residuos de piña fermentada seca (Tran, Sly, & Mitchell, 1998).

### **6.5.7 Ácido láctico.**

El ácido láctico tiene una posición importante en la familia de ácidos carboxílicos debido a su aplicación tanto en las industrias alimentaria como no alimentaria. Se utiliza como conservante y acidulante en las industrias alimentarias. Sin embargo, la producción comercial de ácido láctico es costosa debido a las materias primas utilizadas (explotación de residuos biológicos). Algunos

investigadores han utilizado jarabe de piña, un residuo de procesamiento de alimentos, como sustrato de bajo costo para la producción de ácido láctico utilizando *Lactobacillus lactis* y la enzima invertasa para hidrolizar la sacarosa en glucosa y fructosa. Han reportado el rendimiento de 20 y 92 g/l de 20 y 100 g de azúcares totales /l (Jin, Yin, Ma, & Zhao, 2005).

#### **6.5.8 Ácido ferúlico.**

El ácido ferúlico es el ácido hidroxicinámico más abundante que se encuentra en las paredes celulares. Este antioxidante fenólico es ampliamente utilizado en la industria alimentaria y cosmética. La cáscara de piña se ha utilizado para la extracción alcalina de ácido ferúlico (Tilay, Bule, Kishenkumar, & Annapure, 2008).

#### **6.5.9 Energía y fuente de carbono.**

Los desechos de piña están compuestos por sustancias orgánicas y, por lo tanto, el problema de eliminación podría ser atenuado por la digestión anaeróbica y el compostaje. Algunos de estos residuos podrían tener aplicaciones para la producción de gas (Mbuligwe, 2004).

La biometanación de los residuos de frutas es el tratamiento de residuos más adecuado, ya que a la vez aporta energía en forma de metano y también produce un efluente altamente estabilizado con pH casi neutro y propiedad inodoro. Se usó residuos de piña para la producción de metano utilizando digestión semiautomática anaeróbica que podría producir hasta 1682 ml/día de biogás con un contenido de metano de 51% en el máximo.

Los desechos sólidos de piña se han utilizado para producir ácidos grasos volátiles y metano. Se ha identificado que, a mayor alcalinidad, hasta 53 g de ácidos grasos volátiles se produjeron a partir de un kilo de residuos de piña. Se produjo ácido acético, propiónico, butírico, ibutírico y

valérico junto con metano. Además, se ha usado desechos de piña como sustrato de carbono para producir gas hidrógeno a partir de los lodos de alcantarillado municipales (Wang, Lin, & Chang, 2006). El residuo contenía fuente de carbono y nitrógeno para el crecimiento celular y la producción de hidrógeno.

#### **6.5.10 Decolorante.**

Los tintes utilizados en las industrias textiles se han visto amenazados por problemas ambientales ya que son visibles en pequeñas cantidades debido a su brillo cuando se mezclan y se arrojan con grandes volúmenes de aguas residuales en las diferentes etapas en los procesos de teñido y acabado. Se ha identificado la utilización de residuos de piña para eliminar los tintes. El tallo de piña se utiliza como adsorbente de bajo costo para eliminar el colorante básico (azul de metileno) de la solución acuosa por adsorción (Hameed, Krishni, & Sata, 2009).

#### **6.5.11 Fibra.**

Los investigadores han informado que el polvo de fibra dietética preparado a partir de la cáscara de piña tiene 70,6% de fibra dietética total con mejores propiedades sensoriales que otras fibras dietéticas comerciales (Larrauri, Rupérez, & Calixto, 1997). Las hojas de piña se han utilizado para fabricar textiles e hilos gruesos en algunos países del sudeste asiático (Van Tran, 2006). Se comprobó que los procedimientos de fabricación de pasta alcalina eran superiores a la pulpa mecánica semi-química con rendimientos por debajo del 40%.

Se ha identificado un rendimiento de 2,1 g de fibra/100 g de residuos de pulpa de piña (Sreenath, Sudarshanakrishna, Prasad, & Santhanam, 1996). Además, se investigan fibras de hoja de piña en la fabricación de compuestos poliméricos reforzados con fibra debido a su alto contenido de celulosa, abundancia y bajo costo. Se encontró que las propiedades mecánicas de los compuestos

son superiores a otros compuestos de fibra natural a base de celulosa (Arib, Sapuan, Ahmad, Paridah, & Zaman, 2006).

#### **6.5.12 Eliminación de metales pesados.**

Se ha utilizado restos de fruta de piña como un bioabsorbente eficaz para eliminar metales tóxicos como el mercurio, el plomo, el cadmio, el cobre, el zinc y el níquel (Senthilkumaar, Bharathi, Nithyanandhi, & Subburam, 2000). Se ha identificado la eficacia en la remoción de metales pesados como el cromo, el cobre, el plomo, el níquel y el zinc de los lodos de aguas residuales contaminados utilizando ácido cítrico obtenido de residuos de piña fermentados (Dacera & Babel, 2008).

#### **6.5.13 Alimento para animales.**

La producción de alimento para animales se ha convertido en una nueva industria. Varios estudios se han centrado en la explotación de residuos de piña como alimento para los rumiantes. La cáscara, el núcleo de la piña y las hojas se están utilizando como alimento para rumiantes (Van Tran, 2006).

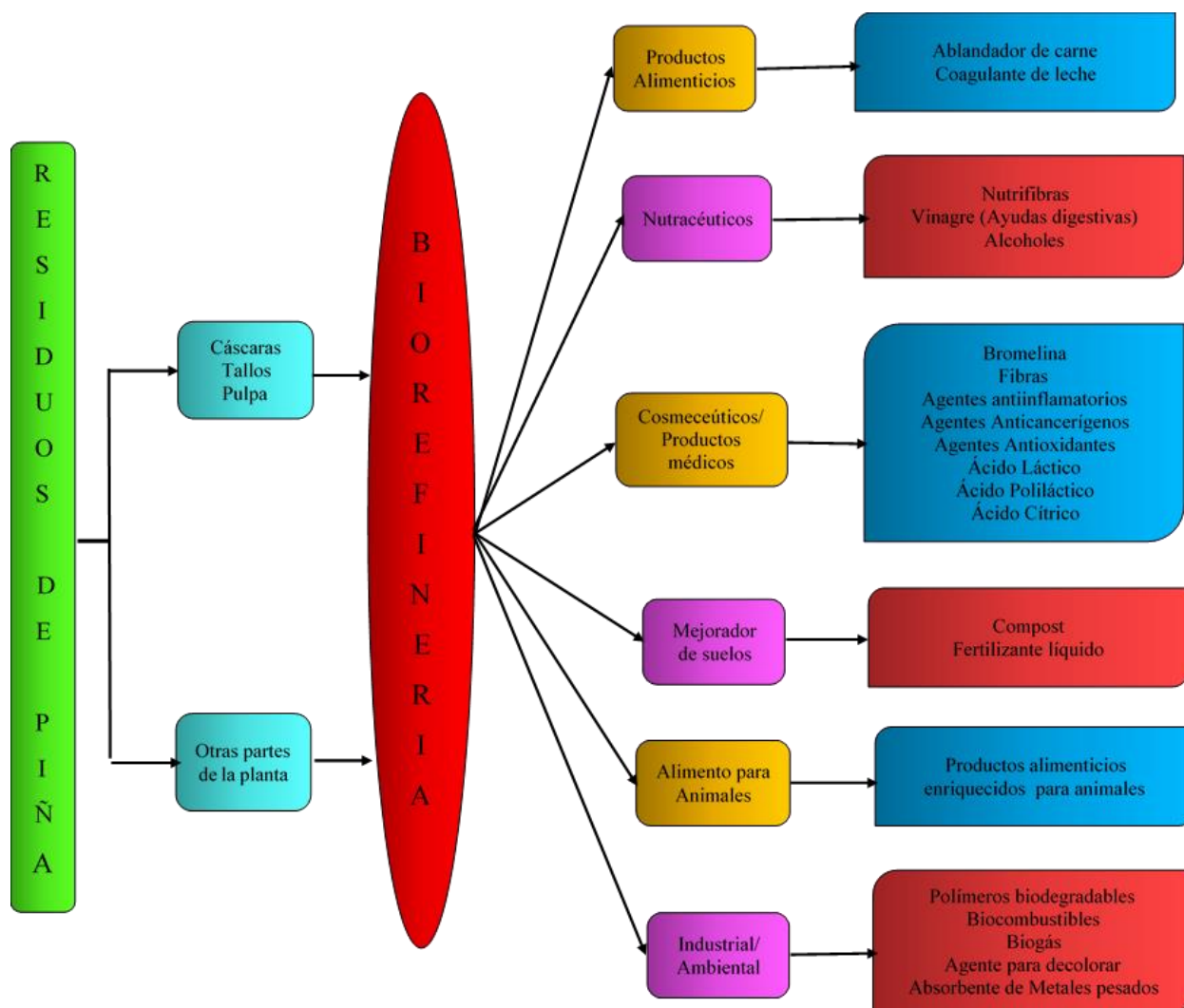


Figura 26. Biorefinería del Potencial de Aprovechamiento de los residuos de la Piña, Autor, 2016.

El valor nutritivo de la cáscara de piña se ha identificado, en China los desechos de piña se utilizan como fuente de alimentos procesados para la producción de leche (Sruamsiri, 2007). El ganado prefiere los residuos de piña fermentados con mayor acidez a los residuos frescos.

Además, ha mejorado el rendimiento y la digestibilidad aparente del subproducto de piña cuando se utiliza como alimento, los subproductos de la piña aumentaron la digestibilidad con el aumento de peso de los animales (Costa, Correia, Da Silva, De Medeiros, & De Carvalho, 2007).

El potencial de aprovechamiento de los residuos de la piña se describe en el diagrama de la biorefinería de la figura 27.

Finalmente, los desechos de piña contienen muchas sustancias reutilizables de alto valor. Los residuos tienen un alto potencial de explotación con futuro alentador. La aplicabilidad industrial para de extracción de bromelina es muy prometedor. Las tecnologías nuevas y emergentes, como la tecnología verde para la producción de biogás o bioetanol, es muy probable con residuos de piña. Además, las fibras dietéticas y los antioxidantes fenólicos podrían utilizarse como un nutracéutico inminente, capaz de ofrecer un suplemento nutricional de bajo costo a comunidades de bajos ingresos.

Si se aplican métodos científicos y tecnológicos, se podrían obtener productos valiosos de los desechos de piña. En este sentido, los sustratos baratos, como los desechos de piña, tienen perspectivas prometedoras. Por lo tanto, los subproductos ambientalmente contaminantes podrían convertirse en productos con mayor valor económico que el producto principal.

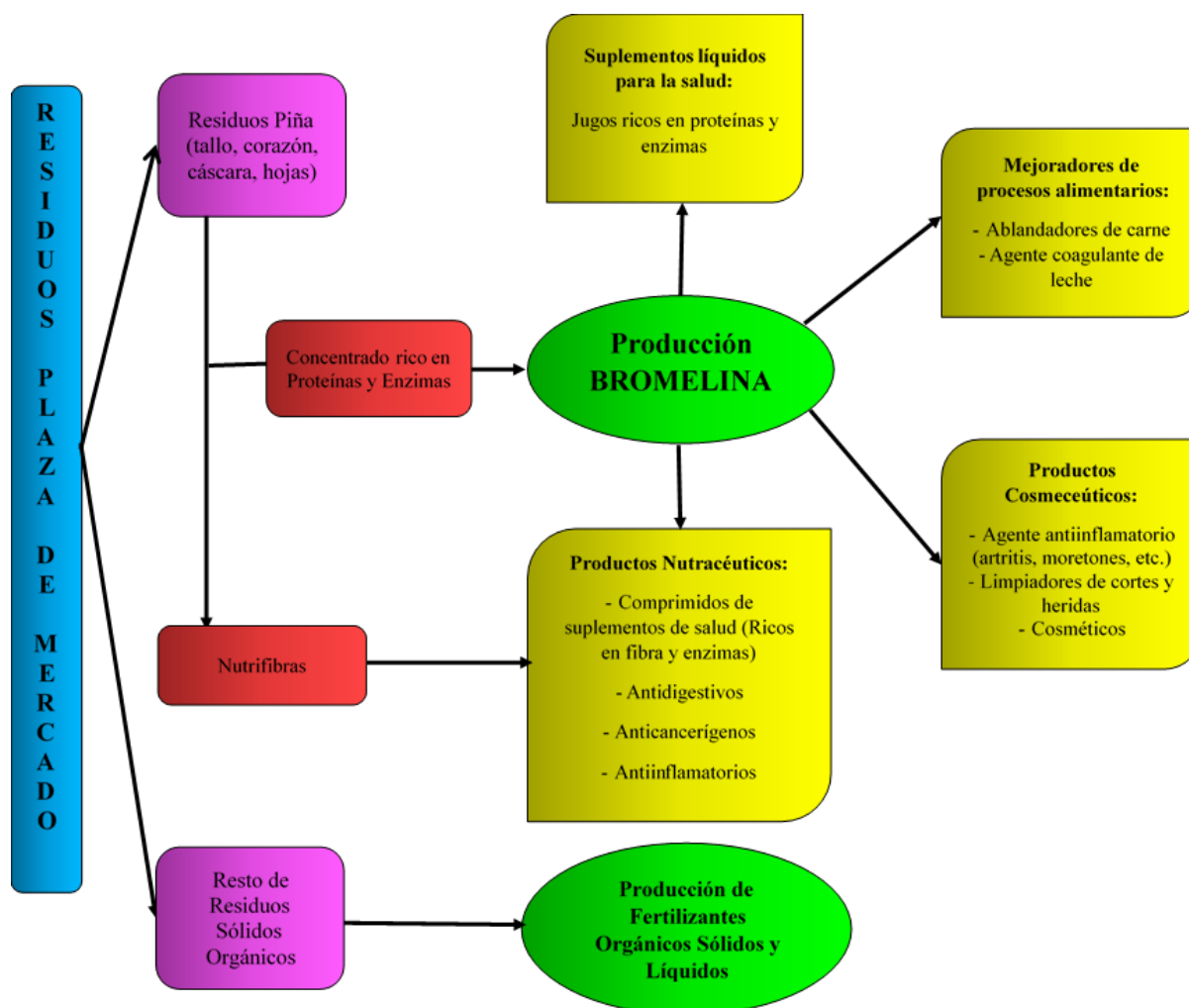


Figura 27. Biorefinería propuesta para la plaza de mercado San Francisco de Bucaramanga, Autor, 2016.

Dada la múltiple variedad de productos de valor agregado que ofrecen los residuos de la piña al ser aprovechados, y teniendo en cuenta los factores asociados al estudio de caso en cuanto a la disponibilidad de materia prima (un poco más de 7 toneladas/semana), tecnologías, oferta de mercado se propone para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de la Plaza de San Francisco la biorefinería de la figura 18, donde principalmente se propone extraer bromelina de los residuos de piña y con el resto de residuos incluidos los sobrantes de piña hacer compostaje para obtener un fertilizante orgánico tanto sólido como líquido de alto poder nutricional.

## 7.Conclusiones

Los residuos sólidos orgánicos de origen vegetal generados en la plaza de mercado San Francisco de Bucaramanga constituye un potencial de materia prima (aproximadamente 30 toneladas/semana) para ser aprovechados en producción de compuestos finos que generarían beneficios económicos, sociales y ambientales, dado que su aprovechamiento permitiría valorizar todos aquellos residuos convertidos en un problema por la dificultad para su gestión y disposición, sin contar con los altos costos que esto acarrea. Esta alternativa debe servir como base para que los demás sectores que generen esta clase de residuos lo tomen en cuenta principalmente las plazas de mercado del Área Metropolitana las cuales producen cerca de 220 toneladas/semana de residuos sólidos de origen orgánico, que no serían dispuestos en el relleno sanitario el Carrasco.

La explotación de los subproductos de la fruta y de procesamiento de vegetales como fuente de compuestos químicos finos (bromelina, pectina, antioxidantes, vitaminas, enzimas, fibras alimentarias y poliméricas, alimento para animales, biocombustibles, alcoholes, etc.) y su aplicación en los alimentos es un campo prometedor que requiere la investigación interdisciplinaria de la tecnología de los alimentos, químicos, nutricionistas y toxicólogos. En un futuro próximo, tenemos el reto de responder a la necesidad de desarrollar procesos y tecnologías para el aprovechamiento completo de los subproductos resultantes de la elaboración de alimentos a gran escala y en niveles asequibles. Se requiere la participación activa de las industrias de alimentos y aliados con respecto a la producción sostenible y la gestión de residuos.

El mercado floreciente de alimentos funcionales ha creado una vista gigantesca para la utilización de los residuos de origen orgánico vegetal y animal. Si se aplican métodos científicos y tecnológicos novedosos, se podrían obtener productos valiosos de los desechos de piña. En este sentido, los sustratos baratos, como los desechos de piña, tienen perspectivas prometedoras. Por lo tanto, los subproductos ambientalmente contaminantes podrían convertirse en productos con mayor valor económico que el producto principal. Sin embargo, la verificación de esta hipótesis es imprescindible para aprovechar residuos de piña como materias primas industriales.

Es importante desarrollar proyectos piloto para ser probadas y validadas las tecnologías. Sin embargo, los costos de los procesos desarrollados e integrados pueden ser altos, sobre todo por el hecho de que la industria poco desarrollada y tecnificada ha de hacer frente a tales problemas y, por tanto, dominada por los altos costos de procesamiento. Tales costos pueden reducirse significativamente mediante la intensificación de la investigación y el desarrollo en la integración de procesos. El bajo costo o sin costo de material de partida, junto con los beneficios ambientales procedentes de la eliminación de los residuos biológicos compensaría los altos costos de capital para iniciar una biorrefinería. Mientras los precios del petróleo tienden a aumentar, esta estrategia se hará aún más atractiva.

Implementar una biorrefinería para aprovechar los residuos sólidos orgánicos vegetales provenientes de la plaza de mercado de San Francisco es una opción ambiental, técnica, social y económicamente viable. La propuesta va dirigida a extraer el compuesto bioactivo de la bromelina que tiene gran demanda en la industria farmacéutica y cosmetológica, dichos productos extraídos de los residuos de la piña que de acuerdo a la caracterización realizada en la plaza es el residuo con

mayor presencia. Los residuos restantes tanto del procesamiento de la piña como de los generados en la plaza constituirían un material importante para producir fertilizantes sólidos y líquidos con un gran valor nutricional para los suelos.

La bromelina se puede obtener por cromatografía líquida (HPLC) del extracto de piña usando una columna de resina de intercambio catiónico. Posteriormente, la sal en la bromelina purificada se elimina mediante diafiltración. Finalmente, la solución desalada de bromelina se seca usando un liofilizador. Se determinó que 1,0 g de polvo de bromelina podría producirse a partir de 200 ml de solución de bromelina desalada o 100 g corazón de piña.

En el relleno sanitario el Carrasco se disponen 1000 toneladas diarias de residuos sólidos de los cuales el 51 % (510 toneladas), corresponde a residuos sólidos Orgánicos dispuestos. El caso, objeto de estudio, revela que genera 30 toneladas semana, siendo su aporte al relleno sanitario el Carrasco de 4,28 Toneladas día de residuos sólidos Orgánicos, por ende, una vez se desarrollen los procesos para la obtención de los biocompuestos de valor agregado potencialmente obtenibles a partir de los residuos sólidos vegetales provenientes de la plaza de mercado San Francisco de Bucaramanga identificados en el presente estudio, se estaría evitando disponer en el relleno sanitario el 0,93 % de los residuos sólidos Orgánicos dispuestos en la actualidad. Si se aplicara la estrategia en el Área metropolitana sería cerca del 6.5% menos de residuos orgánicos en el Carrasco.

### **8.Divulgación De Los Resultados**

Los resultados serán divulgados a través de un artículo publicado en una revista indexada en Publindex.

### Bibliografía

- Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. F., & Zepeda, F. (1997). *Diagnóstico De La Situación Del Manejo De Residuos Sólidos Municipales En América Latina Y El Caribe*,
- Aguilar-Virgen, Q., Armijo-de Vega, C., Taboada-González, P., & Aguilar, X. M. (2010). Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario. *Revista De Ingeniería*, 32(2), 16-27.
- Alcaldía de Bucaramanga. (2017). *Plan de gestion integral de resiudos solidos PGIRS 2016-2027*. ( No. 1).
- Amador, C., Emond, J., & do Nascimento Nunes, Maria Cecilia. (2009). Application of RFID technologies in the temperature mapping of the pineapple supply chain. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 3(1), 26-33.
- Ames, J., & and Werner, C. (August 2003). *Reaching the environmental community: Designing an information program for the NREL biofuels program*
- Arib, R., Sapuan, S., Ahmad, M., Paridah, M., & Zaman, H. K. (2006). Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites. *Materials & Design*, 27(5), 391-396.
- ARROYAVE S, M., & VAHOS M, D. (1999). Evaluación del proceso de compostaje producido en un tanque bio reactor piloto por medio de bioaumentación. *Universidad Nacional De Colombia.Medellín*,

- Ayala-Zavala, J., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodriguez, J., Siddiqui, M. W., . . . González-Aguilar, G. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44(7), 1866-1874.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203. doi:
- Ban-Koffi, L., & Han, Y. (1990). Alcohol production from pineapple waste. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 6(3), 281-284.
- Belibasakis, N., & Tsirgogianni, D. (1996). Effects of dried citrus pulp on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 60(1), 87-92.
- Bioceánico, P. (2008). *Producción Y Comercialización De Setas Y Hongos Comestibles V.Guía no.5: Hongos Y Setas*,
- Cabral, A., Said, S., & Oliveira, W. (2009). Retention of the enzymatic activity and product properties during spray drying of pineapple stem extract in presence of maltodextrin. *International Journal of Food Properties*, 12(3), 536-548.
- Cabrera, H., Menezes, H., Oliveira, J., & Batista, R. (2000). Evaluation of residual levels of benomyl, methyl parathion, diuron, and vamidothion in pineapple pulp and bagasse (smooth cayenne). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5750-5753.

Cantanhede, A., Monge, G., Sandoval Alvarado, L., & Caycho Chumpitaz, C. (2005).

Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. *Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo Y Práctica*, 1(1)

Cardona Alzate, C. A., Sánchez Toro, Ó J., Ramírez Arango, J. A., & Alzate Ramírez, L. E.

(2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. *Revista Colombiana De Biotecnología*; Vol.6, Núm.2 (2004); 78-89 1909-8758 0123-3475,

Castillo M., É., Cristancho, D., Arellano A.,V. (2007). Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. *Revista Colombiana De Biotecnología*, 5(2)

Castillo, L. I. G., Solano, A. S., Paquini, C. M., & Calderón, A. I. A.Extracción de bromelina a partir de residuos de piña.

CEDIEL, G. G. (2014). Análisis del sistema de las plazas públicas de mercado de la ciudad de bucaramanga: Estrategias para incrementar la sostenibilidad.

Cerezal, P., & Piñera, R. (1996). Carotenoides en las frutas cítricas. generalidades, obtención a partir de desechos del procesamiento y aplicaciones. *Alimentaria*, (277), 19-32.

Cervantes, K. D., Cruz, A. L., & Campos, M. M. (2016). Subproductos obtenidos a partir de distintas cáscaras de fruta. *Revista Iberoamericana De Producción Académica Y Gestión Educativa*, 4

- Conceição, M. C., Fernandes, T. N., Prado, M. E. T., & de Resende, J. V. (2012). Effect of sucrose and pectin addition on physical, chemical, thermal and rheological properties of frozen/thawed pineapple pulps. *Korea-Australia Rheology Journal*, 24(3), 229-239.
- Costa, R., Correia, M., Da Silva, J., De Medeiros, A., & De Carvalho, F. (2007). Effect of different levels of dehydrated pineapple by-products on intake, digestibility and performance of growing goats. *Small Ruminant Research*, 71(1), 138-143.
- Dacera, D. D. M., & Babel, S. (2008). Removal of heavy metals from contaminated sewage sludge using aspergillus niger fermented raw liquid from pineapple wastes. *Bioresource Technology*, 99(6), 1682-1689.
- Delfín, K. C., López, A. C., & Mondragón, M. C. (2016). Subproductos obtenidos a partir de distintas cáscaras de fruta. *Revista Iberoamericana De Producción Académica Y Gestión Educativa*,
- Durán, V., & Honores, M. (2012). *Obtención Y Caracterización De Pectina En Polvo a Partir De Cáscara De Maracuyá (Passiflora Edulis)*,
- El Espectador. (2014, 16 de julio). Plazas de mercado de bucaramanga, no cumplen normas de salubridad. *El Espectador*
- Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M., & Duarte, M. (2011). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en colombia. *Bucaramanga, Colombia. Ediciones Universidad Industrial De Santander*,

- Farias Camero, D., Ballesteros G., M., Bendeck, M. (2010). Variación de parámetros físicoquímicos durante un proceso de compostaje. *Revista Colombiana De Química*, 28(1)
- Fava, F., Totaro, G., Diels, L., Reis, M., Duarte, J., Carioca, O. B., . . . Ferreira, B. S. (2015). Biowaste biorefinery in europe: Opportunities and research & development needs. *New Biotechnology*, 32(1), 100-108. doi
- Federici, F., Fava, F., Kalogerakis, K., & Mantzavinos, D. (2009). Valorisation of agro-industrial by-products, effluents and wastes: Concept, opportunities and the case of olive oil sector 84, 895-900.
- Fernández-López, J., Fernández-Ginés, J., Aleson-Carbonell, L., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., & Pérez-Alvarez, J. (2004). Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 15(3), 176-185.
- Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26(2), 68-87. doi
- Galanakis, C. M. (2013). Emerging technologies for the production of nutraceuticals from agricultural by-products: A viewpoint of opportunities and challenges. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 575-579. doi
- García, F. J. A., & Tena, E. C. (2006). Gestión de residuos sólidos urbanos: Análisis económico y políticas públicas. *Cuadernos Económicos De ICE*, (71), 71-91.

- Gravitis, J. (1998). A biochemical approach to attributing value to biodiversity-the concept of the zero emissions biorefinery. *Proceedings of the 4th Annual World Congress on Zero Emissions, Windhoek, Namibia*,
- Hameed, [ . 5. 8. B., Krishni, R., & Sata, S. (2009). A novel agricultural waste adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 162(1), 305-311.
- Hamzawi, N., Kennedy, K. J., & McLean, D. D. (July 1998). Anaerobic digestion of co-mingled municipal solid waste and sewage sludge.38, 127-132.
- Hebbar, H. U., Sumana, B., & Raghavarao, K. (2008). Use of reverse micellar systems for the extraction and purification of bromelain from pineapple wastes. *Bioresource Technology*, 99(11), 4896-4902.
- Howard, R. L., Abotsi, E., Jansen van Rensburg, E. L., & and Howard, S. (December 2003). Lignocellulose biotechnology: Issues of bioconversion and enzyme production . *African Journal of Biotechnology ISSN 1684-5315 © 2003, Vol. 2 (12)*, 602-619.
- Ntc 5308, 5308, (2004).
- Guia para el aprovechamiento de residuos organicos no peligrosos GTC 53-7, GTC 53-7, (2006).
- Jairo Puentes Bruges. (2014, 19 de febrero). La crisis de las plazas de mercado. *Vanguardia Liberal*

Jaramillo Henao, G., & Zapata Marquez, L. M. (2008a). *Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos En Colombia*,

Jaramillo Henao, G., & Zapata Marquez, L. M. (2008b). *Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos En Colombia*,

Jin, B., Yin, P., Ma, Y., & Zhao, L. (2005). Production of lactic acid and fungal biomass by rhizopus fungi from food processing waste streams. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 32(11-12), 678-686.

Köfalusi, G. K., & Aguilar, G. E. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica*, (79), 39-51.

Kumar, R., & Manimegalai, G. (2003). A study on storage behaviour of whey based pineapple juice RTS beverage. *Indian Food Packer*, 57(2), 51-55.

Larrauri, J. A., Rupérez, P., & Calixto, F. S. (1997). Pineapple shell as a source of dietary fiber with associated polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(10), 4028-4031.

Londoño Londoño, J. (2011). Aprovechamiento de residuos de la agroindustria de cítricos: Extracción y caracterización de flavonoides. *Perspectivas Y Avances De Investigación De La Serie Lasallista Investigación Y Ciencia*,

López, J. L. F. (2009). Estudio de caracterización de los residuos sólidos. *Distrito De Las Lomas-Piura*,

Mainoo, N. O., Barrington, S., Whalen, J. K., & Sampedro, L. (2009). Pilot-scale vermicomposting of pineapple wastes with earthworms native to accra, ghana. *Bioresource Technology*, 100(23), 5872-5875.

Matharu, A. S., de Melo, E. M., & Houghton, J. A. (2016). Opportunity for high value-added chemicals from food supply chain wastes. *Bioresource Technology*, 215, 123-130. doi:

Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plasticos, vidrio, papel y carton. manual 3: Orgánicos, papel y cartón, (2008).

Mbuligwe, S. E. (2004). Comparative effectiveness of engineered wetland systems in the treatment of anaerobically pre-treated domestic wastewater. *Ecological Engineering*, 23(4), 269-284.

Resolucion 0754 de 2014.

por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los planes de gestión integral de residuos sólidos, (2014).

Decreto 2981 de 2013 por el cual se reglamenta la prestación del servicio Público de aseo. (2013).

Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28-41.

- Muñoz, D. M. (2014). Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería. *Ingresar a La Revista*, 12(2)
- Nam-Velzea, C. (2000). Gestión de residuos orgánicos en las plazas de mercado de santafé de bogotá. *Contrato PNUD (COL/96/23)*,
- Navarro, P., Moral, H., Gómez, L., & Mataix, B. (1995). Residuos orgánicos y agricultura. *Universidad De Alicante.Servicio De Publicaciones.Alicante.España*,
- Nigam, J. (2000). Continuous ethanol production from pineapple cannery waste using immobilized yeast cells. *Journal of Biotechnology*, 80(2), 189-193.
- Noguera, K., & Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en latinoamérica: Caso colombiano. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 34(132), 347-356.
- Ochoa, A. (1998). *Aceites Esenciales.El Aroma De La Naturaleza*.Agencia AUPEC, Universidad Del Valle.Cali,
- Ohara, H. (2003). Biorefinery.62, 474-477.
- Pourbafrani, M., Forgács, G., Horváth, I. S., Niklasson, C., & Taherzadeh, M. J. (2010). Production of biofuels, limonene and pectin from citrus wastes. *Bioresource Technology*, 101(11), 4246-4250.
- Rendón, A. F. M. (2010). Caracterización de residuos sólidos. *Cuaderno Activa*, (4), 67-72.

- Restrepo Rivera, J. (2001). *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: Experiencias con agricultores en mesoamérica y brasil* IICA, San José (Costa Rica).
- Rodríguez Herrera, H. (2012). Gestión integral de residuos sólidos.
- Román, M., Maria, O., Flórez, O. A., Gutiérrez, E., Lucía, E., Martínez, A., . . . Gilma, B. (2004). Desarrollo de una forma de dosificación sólida con fibra dietaria. *Vitae (Medellín)*, 11(2), 6-11.
- Runfola, J., & Gallardo, A. (2009). Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas. *II Simposio Iberoamericano De Ingeniería De Residuos. Barranquilla, Colombia, , 24*
- Sah, B., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. (2015). Effect of refrigerated storage on probiotic viability and the production and stability of antimutagenic and antioxidant peptides in yogurt supplemented with pineapple peel. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 5905-5916.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 16(2), 14-46.
- Schieber, A., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2001). By-products of plant food processing as a source of functional compounds — recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 12(11), 401-413.
- doi:[http://dx.doi.org/bdatos.usantotomas.edu.co:2048/10.1016/S0924-2244\(02\)00012-2](http://dx.doi.org/bdatos.usantotomas.edu.co:2048/10.1016/S0924-2244(02)00012-2)

- Segovia Gómez, F. (2015). Aprovechamiento de residuos agro-industriales: Preparación de extractos, caracterización y uso en alimentos.
- Senthilkumaar, S., Bharathi, S., Nithyanandhi, D., & Subburam, V. (2000). Biosorption of toxic heavy metals from aqueous solutions. *Bioresource Technology*, 75(2), 163-165.
- Skinner, J. H. (2000). Worldwide MSW market reaches \$100 billion: A report from the ISWA world congress 2000. swana CEO report. swana ne.
- Solís Fuentes, J. A., & Durán de Bazúa, María del Carmen. (1999). La potencialidad de uso de los residuos de la agroindustria: Algunos ejemplos cercanos.
- Solórzano, G. (2003). Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: El caso del metano. *Gaceta Ecológica*, (66), 7-15.
- Soto, G., & Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica.
- Sreenath, H. K., Crandall, P. G., & Baker, R. A. (1995). Utilization of citrus by-products and wastes as beverage clouding agents. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 80(2), 190-194.
- Sreenath, H. K., Sudarshanakrishna, K. R., Prasad, N. N., & Santhanam, K. (1996). Characteristics of some fiber incorporated cake preparations and their dietary fiber content. *Starch- Stärke*, 48(2), 72-76.

Sruamsiri, S. (2007). Agricultural wastes as dairy feed in Chiang Mai. *Animal Science Journal*, 78(4), 335-341.

Sun, J., Chu, Y., Wu, X., & Liu, R. H. (2002). Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), 7449-7454.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD. (2015). *Informe sectorial de servicio público de aseo*. (No. 2).

Tchobanoglous, G. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*

Tilay, A., Bule, M., Kishenkumar, J., & Annapure, U. (2008). Preparation of ferulic acid from agricultural wastes: Its improved extraction and purification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(17), 7644-7648.

Titmas, J. A. (1999). . U.S:

Torres, J. M. S., & Marro, F. P. Herramientas de software especializadas para vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva.

Tran, C., Sly, L., & Mitchell, D. (1998). Selection of a strain of *Aspergillus* for the production of citric acid from pineapple waste in solid-state fermentation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 14(3), 399-404.

Trejo-Márquez, M., & Pascual-Bustamante, S. Extracción de fibra en residuos agroindustriales de piña para su aplicación en alimentos funcionales.

- Upadhyay, A., Lama, J. P., & Tawata, S. (2013). Utilization of pineapple waste: A review. *Journal of Food Science and Technology Nepal*, 6, 10-18.
- Van Tran, A. (2006). Chemical analysis and pulping study of pineapple crown leaves. *Industrial Crops and Products*, 24(1), 66-74.
- Vanguardia Liberal. (2015, ). Se reciclan menos de 400 toneladas de residuos en promedio al mes. *Proceso De Reciclaje*
- Wang, C., Lin, P., & Chang, J. (2006). Fermentative conversion of sucrose and pineapple waste into hydrogen gas in phosphate-buffered culture seeded with municipal sewage sludge. *Process Biochemistry*, 41(6), 1353-1358.
- Wilkins, M. R., Widmer, W. W., & Grohmann, K. (2007). Simultaneous saccharification and fermentation of citrus peel waste by *saccharomyces cerevisiae* to produce ethanol. *Process Biochemistry*, 42(12), 1614-1619.
- Yeoh, S., Shi, J., & Langrish, T. (2008). Comparisons between different techniques for water-based extraction of pectin from orange peels. *Desalination*, 218(1), 229-237.

