

ECOLOGÍA INDUSTRIAL APLICADA A CULTIVO DE CRISANTEMO EN EL ORIENTE  
ANTIOQUEÑO

LUZ NERY DÍAZ GARCÍA  
OSCAR FABIÁN ARCOS JIMÉNEZ  
CAROLINA PEÑA GALLEGO  
LINA MARCELA DAVID BOTERO  
JAIME ZULUAGA MACHADO  
ANDREA ESTEBAN TORRES

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
MEDELLÍN

2014

ECOLOGÍA INDUSTRIAL APLICADA A CULTIVO DE CRISANTEMO EN EL ORIENTE  
ANTIOQUEÑO

LUZ NERY DÍAZ GARCÍA  
OSCAR FABIÁN ARCOS JIMÉNEZ  
CAROLINA PEÑA GALLEGO  
LINA MARCELA DAVID BOTERO  
JAIME ZULUAGA MACHADO  
ANDREA ESTEBAN TORRES

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería Ambiental

Asesor

CARLOS FERNANDO CADAVID

Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
MEDELLÍN

2014

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	4
1. MARCO TEÓRICO .....	4
1.1 Compostaje .....	5
1.1.1 Conceptos básicos.....	5
1.1.2 Agentes de la descomposición .....	9
1.1.3 Parámetros del proceso de compostaje .....	11
1.1.4 Procesos de descomposición de materia orgánica .....	14
1.1.5 Técnicas de compostaje .....	18
1.2 Floricultura.....	20
1.2.1 Características de la industria y forma de comercio .....	21
1.2.2 Manejo de residuos sólidos convencionales del proceso productivo .....	21
1.3 Ecología Industrial.....	22
1.3.1 Definiciones básicas .....	22
1.3.2 El concepto de ecología industrial .....	24
1.3.3 Herramientas de la ecología industrial .....	25
1.3.4 Métodos de evaluación del análisis de flujo de materiales .....	26
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	29
2.1 Sistema a evaluar .....	29
3. ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES .....	32
3.1 Flujo de Materiales.....	32
3.1.1 Fertilización .....	33
3.1.2 Asimilación.....	35
3.1.3 Concentración de nutrientes en los residuos vegetales .....	36
3.1.4 Concentración de nutrientes como aporte del compost .....	37
3.1.5 Concentración de nutrientes típicas en los suelos en estudio.....	37
3.2 Balance del flujo de materiales .....	39
4. EVALUACIÓN DEL FLUJO DE MATERIALES .....	40
4.1 Método <i>Material intensity per service unit</i> (MIPS).....	40
4.2 Flujo Antropogénico Vs Geogénico .....	42
5. CONCLUSIONES .....	46
6. BIBLIOGRAFÍA .....	48

*“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier universidad”. Art. 82 Régimen Discente de Formación Avanzada, Universidad Pontificia Bolivariana.*




Firma:  
Nombre: Oscar Fabián Arcos Jiménez



Firma:  
Nombre: Luz Nery Díaz García



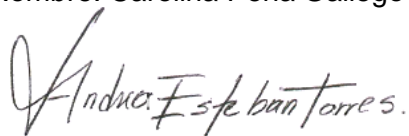
Firma:  
Nombre: Jaime Zuluaga Machado



Firma:  
Nombre: Carolina Peña Gallego



Firma:  
Nombre: Lina Marcela David Botero



Firma:  
Nombre: Andrea Esteban Torres

## INTRODUCCIÓN

El Oriente, subregión del departamento de Antioquia, Colombia, aporta aproximadamente el 8% del valor agregado que se genera en el departamento (Mesa, 2007) y en particular, los cultivos de flores son una de las principales actividades económicas de esta zona. Entre las diferentes variedades de flores que se cultivan en la región, el crisantemo se destaca por su alta demanda, sobre todo en países como Estados Unidos, donde son muy apetecidos para fiestas como San Valentín, Navidad y Día de la Madre (Pardo, 2009). De acuerdo a datos de ASOCOLFLORES, en el año 2006 existían en Antioquia 1190 hectáreas cultivadas de flores, de las cuales el 8% pertenecían al cultivo de crisantemo (Pardo, 2009).

Los cultivos de crisantemo y en general las industrias de floricultivos presentan consumos intensivos de energía y agua, así como de otros recursos, lo cual genera impacto sobre el ambiente y el entorno. En la región del Oriente antioqueño, debido a las propiedades naturales de sus suelos, ha sido necesaria la aplicación de químicos como la cal y ciertos fertilizantes, con el fin mejorar sus propiedades y favorecer el cultivo de esta variedad de flor (Osorio, 1997). Este tipo de prácticas altera las características de los suelos y puede ocasionar acumulación de nutrientes, además, con la lluvia se pueden presentar escorrentías y filtraciones lo cual generaría contaminación en cuerpos de agua (Weaber, 1998).

Por otra parte, los residuos derivados del proceso de producción de crisantemo, como tallos, hojas y flores descartadas por no alcanzar los estándares de calidad exigidos, representan también una problemática debido a su volumen y a la necesidad de una adecuada disposición. En particular, una empresa dedicada al cultivo y comercialización de crisantemo, ubicada en el Oriente antioqueño, es un ejemplo de cómo se pueden minimizar dichos impactos.

La empresa realiza el cultivo de crisantemo en camas de aproximadamente 36 m<sup>2</sup>, produciendo en cada ciclo más de 2900 tallos y generando aproximadamente 70 kg de residuo vegetal, denominado soca. Este residuo es compostado y utilizado como acondicionador de los suelos para iniciar nuevamente el ciclo de cultivo.

El presente trabajo tiene como fin realizar una evaluación de los efectos ambientales de la empresa, particularmente de la práctica de compostaje y el proceso de fertilización; analizando su desempeño ambiental a la luz de los conceptos de Ecología Industrial.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Compostaje**

#### **1.1.1 Conceptos básicos**

Actualmente se experimenta en el mundo un rápido crecimiento poblacional, lo cual conlleva ciudades más grandes, con mayor consumo y más generadoras de residuos, tal como lo plantea (Parr, 1993): “El incremento de la producción de residuos y su disposición final son aspectos que generan creciente preocupación debido a los efectos ambientales negativos que ocasionan. El reciclado de residuos permite disminuir los riesgos de contaminación y en el caso particular de los residuos domiciliarios permite reducir la cantidad que se deriva a rellenos sanitarios o depósitos a cielo abierto, promoviendo prácticas tendientes a conservar los recursos naturales”.

De acuerdo a (Ferrerías, 2004):

El compost es una alternativa de reciclado de residuos orgánicos que posibilita la obtención de productos que pueden ser usados como biofertilizantes y acondicionadores de suelo. El proceso de compostado consiste en una degradación controlada de materiales orgánicos llevada a cabo por microorganismos, que resulta en sustancias estables y nutrientes potencialmente disponibles para los vegetales (Zibilske, 1998). El empleo de lombrices contribuye a acelerar y mejorar la calidad del producto obtenido. En contraposición, la incorporación de materiales orgánicos frescos directamente al suelo constituye una mineralización no controlada que puede provocar inmovilización o pérdida de nutrientes por volatilización (Sztern y Pravia, 1999).

Tortosa (2008) presenta otras definiciones de compostaje:

El compostaje es una tecnología de bajo coste que permite transformar residuos y subproductos orgánicos en materiales biológicamente estables que pueden utilizarse como enmendantes y/o abonos del suelo y como sustratos para cultivo sin suelo, disminuyendo el impacto ambiental de los mismos y posibilitando el aprovechamiento de los recursos que contienen. Se define como un proceso biooxidativo controlado, que se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, debido a la actividad secuencial de una gran diversidad de microorganismos. Implica el desarrollo de una fase termofílica que genera temporalmente fitotoxinas, siendo productos de la biodegradación el dióxido de carbono, agua, minerales y una materia orgánica estabilizada denominada COMPOST, con ciertas características húmicas y libre de compuestos fitotóxicos y agentes patógenos (Zucconi y de Bertoldi, 1987).

Lo anteriormente definido significa que el proceso:

- Es biológico, lo que diferencia al compostaje de otros tratamientos de tipo físico o químico, desarrollándose una actividad eminentemente aeróbica.
- Es controlado, lo que indica la necesidad de una monitorización y control de parámetros durante el desarrollo del mismo, diferenciándolo de los procesos naturales no controlados. Parámetros tales como la temperatura, humedad y oxigenación, junto a la definición previa de la composición del sustrato, inciden enormemente en el desarrollo del proceso.
- Tiene lugar sobre sustratos orgánicos en fase sólida, generalmente heterogéneos, que actúan como soporte físico y matriz de intercambio, fuente de nutrientes y agua necesarios para el metabolismo microbiano, aporta microorganismos endógenos, retiene los residuos metabólicos generados durante su desarrollo y actúa como aislante térmico del sistema (Finstein y Hogan, 1993).
- Se desarrolla a través de una fase termofílica, en la que se registra una fuerte liberación de energía calorífica que eleva la temperatura, principal indicador de la dinámica del proceso, de forma que una lenta o escasa elevación de la misma debe interpretarse como un desarrollo no favorable de éste y/o un deficiente control de los factores que lo rigen. Estas temperaturas termofílicas, superiores a 40°C, que se producen en las primeras etapas del compostaje, disminuyen posteriormente durante la llamada fase de estabilización.
- Genera temporalmente sustancias fitotóxicas, siendo la producción generalmente menor y menos duradera con sustratos heterogéneos y bajo condiciones claramente aeróbicas. Una fitotoxicidad persistente durante el compostaje, indica un deficiente desarrollo del proceso, generalmente atribuible a insuficiente oxigenación.
- Libera dióxido de carbono y agua a la vez que se generan sustancias minerales, como principales productos de la biodegradación. Idealmente, los productos finales de un sistema de compostaje bien manejado son dióxido de carbono, vapor de agua, calor, materia orgánica estabilizada y amoníaco, aunque la proporción de éstos varía con la disponibilidad de carbono y nitrógeno en el residuo y con las condiciones en que se desarrolla el proceso en cada etapa del mismo (Keener y col., 1993).

Finalmente, Avendaño (2003) asegura:

El producto final obtenido en el proceso de compostaje se puede utilizar como enmienda orgánica en el suelo, con el fin de mejorar la estructura del mismo, aumentar la capacidad de intercambio catiónico, eliminar patógenos y así, aumentar el crecimiento de las plantas (Chefetz et al., 1996).

En la agricultura tradicional se realizaba el compostaje, entre otras cosas para deshacerse de los excrementos del ganado, que pueden ser peligrosos si entran en contacto con fuentes de agua. El químico alemán Justus Von Liebig (1803-1873) estudiaba de donde sacaban sus nutrientes las plantas, y pudo comprobar que obtenían el dióxido de carbono del aire y el nitrógeno y otras sustancias minerales (como el fósforo o el potasio) del suelo. Dedujo que la fuente de estas sustancias en el suelo era el humus, acumulado por las hojas caídas y demás restos orgánicos.

Con base en estos estudios, Von Liebig desarrolló su *Ley del mínimo*, según la cual es aquel de los nutrientes necesarios o esenciales que está en menor proporción en el suelo (o no está en una forma disponible para la planta) respecto a los demás el que impide el desarrollo de una planta. Estas proporciones son relativas a la proporción en las que la necesita la planta. Por ejemplo: si la planta necesitase N-P-K (nitrógeno – fósforo - potasio) en una proporción 10 – 25 - 10 y los tuviéramos presentes en el suelo en proporción 8 – 12 - 9 el nutriente limitante sería el fósforo, porque a pesar de estar en mayor cantidad está en una proporción respecto a los demás que es distinta a la que necesita la planta. Ocurriría lo mismo si la proporción fuese 20 – 30 - 20, por que el N y el K estarían al doble de lo que hemos dicho, pero el P no llegaría a este doble.

A partir de esto, estimó que como la tríada N - P - K (junto con el calcio, el magnesio y el azufre) constituía el grupo de los macronutrientes que más necesitaba la planta también eran los que más probablemente estuvieran limitando el crecimiento de esta, y así un abono creado con estos tres nutrientes potenciaría el desarrollo de las plantas. A partir de aquí tenemos el surgimiento de los abonos o fertilizantes químicos. El problema es que aunque estos sean los macronutrientes, los micronutrientes (principalmente el hierro, zinc, cobre, manganeso, molibdeno, boro y cloro) son igualmente esenciales. Así, a pesar de que las plantas necesiten muy poco hierro para vivir, un suelo especialmente pobre en hierro puede hacer que este sea el elemento limitante, de modo que mientras no solucionásemos este problema añadir los otros nutrientes no serviría de gran cosa.

El desarrollo de la técnica de compostaje a gran escala tiene su origen en la India con las experiencias llevadas a cabo por el inglés Albert Howard desde 1905 a 1947. Su éxito consistió en combinar sus conocimientos científicos con los tradicionales de los campesinos. Su método, llamado método LNDORÉ, se basaba en fermentar una mezcla de desechos vegetales y excrementos animales, y humedecerla periódicamente. La palabra compost viene del latín *componere*, juntar; por lo tanto es la reunión de un conjunto de restos orgánicos que sufre un proceso de fermentación y da un producto de color marrón oscuro, es decir, que en él, el proceso de fermentación está esencialmente finalizado. El abono resultante contiene materia orgánica así como nutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y hierro, necesarios para la vida de las plantas.



Fue en el año 1925 cuando en Europa comenzó a estudiarse la posibilidad de descomponer a gran escala las basuras de las ciudades con la puesta en marcha del método LNDORÉ. En la ciudad holandesa de Hanmer se instaló en 1932 la primera planta de compost hecho con las basuras urbanas. A principios de la década de los 60 había en Europa 37 plantas, dicho número aumentó considerablemente durante esa década y a primeros de los 70 se llegó a 230 plantas, destacando el Estado Francés y el Estado Español, instalándose en este último sobre todo plantas de compost en el Levante Y Andalucía. Sin embargo, a partir de mediados de los setenta la evolución se estancó y se cerraron numerosas plantas. Una de las causas de este estancamiento fue la deficiente calidad del compost producido (no se hacía separación previa en origen de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos) y el poco interés de los agricultores en utilizarlos.

### **Otras definiciones de compostaje**

Avendaño (2003) presenta otras definiciones de compostaje:

- El compostaje es la conversión biológica bajo condiciones controladas, de material de desecho en un producto higiénico, rico en humus y relativamente estable que acondiciona el suelo y nutre las plantas (Mathur, 1991).
- Proceso bioxidativo controlado que: (1) involucra un sustrato orgánico heterogéneo; (2) evoluciona pasando a través de una fase termofílica y una liberación temporal de fitotoxinas; y (3) permite la producción de dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada (Zucconi, 1987 citado por Mathur, 1991).
- Descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos en condiciones controladas (INTEC, 1997).
- Fermentación aeróbica de una mezcla de materiales orgánicos en condiciones específicas de aireación, humedad, temperatura y nutrientes, y con la intervención bacteriana, hongos y numerosos insectos detritívoros (Labrador, 1996).

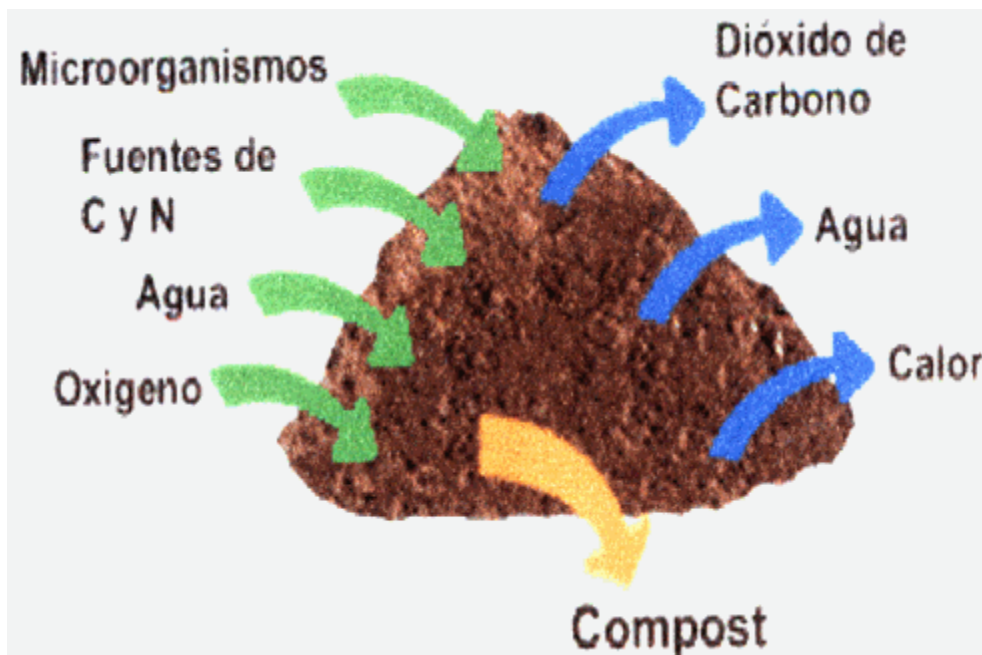


Figura 1: Esquema del proceso de compostaje.

Fuente: En línea: <http://www.monografias.com/trabajos46/compostaje/compostaje2.shtml>

### 1.1.2 Agentes de la descomposición

El compostaje se realiza en pilas, las cuales favorecen la creación de un entorno adecuado para que el ecosistema descomponedor se desarrolle.

#### 1.1.2.1 Agentes microscópicos

Las bacterias son los microorganismos descomponedores por excelencia y junto con otros tipos de microbios conforman una “comunidad” que se alimenta de los residuos orgánicos, al tiempo que producen temperaturas adecuadas, que favorecen el desarrollo de las diferentes etapas de compostaje.

#### Tipos de microorganismos

Autores como Avendaño (2003) han recopilado información sobre los microorganismos que participan del proceso de compostaje:

- **BACTERIAS:** son las más pequeñas y numerosas; corresponden a un 80 – 90% de los billones de microorganismos típicos encontrados en el compost (Trautmann y Olynciw, 2000).

Las bacterias son las principales responsables de la descomposición y la generación de calor. Las bacterias mesófilas cumplen un rol importante durante la primera etapa del compostaje, principalmente por su habilidad de crecer rápidamente en proteínas solubles y otros sustratos fácilmente disponibles (Miller, 1991). Durante la segunda etapa, cuando las temperaturas son mayores a 40°C comienzan a predominar las bacterias termófilas. La población bacteriana presente durante el proceso pertenece principalmente al género *Bacillus*, siendo las principales especies: *B. brevis*, *B. circulans*, *B. cogulans*, *B. licheniformes*, *B. sphaericus*, *B. subtilis* (Strom, 1985 citado por Pinto, 2001).

Dichas bacterias toleran temperaturas de hasta 55°C, pero decrecen drásticamente a los 60°C o más. Cuando las condiciones son desfavorables, estos microorganismos forman endoesporas para sobrevivir, las cuales son resistentes al calor y a la desecación.

Una vez que el compost se enfría, las bacterias mesófilas nuevamente predominan, siendo la recolonización dependiente del tipo de esporas generadas en las etapas anteriores y a las condiciones existentes en la masa de compostaje.

- **ACTINOMYCETES:** Son microorganismos parecidos a los hongos, pero actualmente son considerados como bacterias filamentosas. Como otras bacterias, estos carecen de núcleo, pero forman una estructura ramificada de filamentos (micelio), análoga a la que forman los hongos filamentosos (Brock y Madigan, 1991).

Los filamentos que forman se observan comúnmente en las últimas etapas del compostaje, en los primeros 10 a 15 cm de la pila (Trautmann y Olynciw, 2000). Algunas especies aparecen durante la etapa termófila y otras son más importantes durante la etapa de enfriamiento o maduración, donde solo quedan los materiales más resistentes.

En el compostaje juegan un rol importante en la degradación de compuestos orgánicos complejos como materiales leñosos, paja y aserrín (Labrador, 1996). Las condiciones óptimas para su desarrollo son ambientes húmedos aerobios, (Chen y Griffin, 1966, citado por Miller, 1991) con un pH neutro o ligeramente alcalino (Lacey, 1973, citado por Miller, 1991).

El característico olor a tierra del suelo es causado por los actinomicetes, del género *Streptomyces*, los cuales producen una serie de metabolitos llamados geosminas. (Brock y Madigan, 1991, 1991). Los actinomicetes que comúnmente se encuentran en

el compost son: *Actinobifidachromogena*, *Micrbisporabispora*, *Micropolysporafaeni*, *Nocardiasp*, *Streptomycesrectus*, *S. thermofuscus*, *S. thermovulgaris*, *S.violaceus-ruber*, *Thermoactinomycesvulgaris*, *T. sacchari*, *Thermonosporacurvata*, *T. viridis*(Fergus, 1964 citado por Pinto 2001).

- HONGOS: Atacan el material más resistente, poseen un rol limitado en el compostaje, excepto en la etapa de maduración, cuando las temperaturas son moderadas y los sustratos son predominantemente celulosa y lignina (Eastwood, 1952; Chang, 1967; Chang y Hudson, 1967: De Bertoldi et al., 1983 citado por Miller, 1991).

Estos son excluidos de las fases tempranas de altas temperaturas puesto que sólo algunos son capaces de soportar temperaturas mayores a 55°C.La máxima tasa de crecimiento y de respiración de los hongos es de una magnitud menor que las de las bacterias (Mathur, 1991).

#### **1.1.2.2 Agentes macroscópicos (macroorganismos)**

Avendaño (2003) explica acerca de los macroorganismos lo siguiente:

Participan en la degradación de los distintos residuos, los cuales cumplen la función de romper los materiales. Logran que las partículas tengan una mayor superficie de contacto, facilitando la acción de los microorganismos (hongos, bacterias, y actinomicetes).

Algunos de estos son gusanos, ácaros depredadores, escarabajos, ciempiés, lombrices de tierra, hormigas, caracoles, entre otros.

#### **1.1.3 Parámetros del proceso de compostaje**

- HUMEDAD: Los microorganismos necesitan agua como medio para transportar los nutrientes y otros elementos a través de la membrana celular. El agua es esencial para disolver y transportar los nutrientes y sustratos que los organismos pueden absorber sólo como solución (Mathur, 1991). Es requerida para necesidades fisiológicas, solución de sustratos y sales, como medio de colonización bacteriana y es determinante para el intercambio gaseoso (Pinto, 2001).

Cuando la humedad es excesiva (mayor a 65%) la proliferación microbiana es suprimida, no por la sobre abundancia de agua sino debido a que disminuye el

intercambio gaseoso y por lo tanto existe menor disponibilidad de oxígeno, generando un ambiente anaeróbico (Alexander, 1977).

- **TEMPERATURA:** Con temperaturas superiores a 60 °C se eliminan la mayoría de los microorganismos patógenos, así como otros microbios indeseados. El centro de la pila de compost debe alcanzar las más altas temperaturas, siendo éstas un indicativo de un buen proceso de compostaje.

La temperatura es un factor importante en el proceso de compostaje, refleja la actividad biológica de los microorganismos, siendo una de las condiciones ambientales determinante de la rapidez con la cual los materiales son metabolizados (Alexander, 1977). Es fundamental en la maduración del compost, ya que la elevación de la temperatura durante el proceso refleja una actividad microbiana óptima y un equilibrio entre la aireación, humedad y composición de la mezcla (Labrador, 1996).

La retención y la continua generación de calor están influenciadas por las temperaturas ambientales lo que se relaciona con el tamaño de la pila (capacidad de aislamiento), contenido de agua y relación C/N de sus constituyentes, los de menor relación C/N alcanzan mayores temperaturas (Mathur, 1991).

El manejo de la temperatura requiere cuidado y control. Ya que así como la alta temperatura es capaz de sanitizar patógenos, también puede terminar con la flora benéfica, las enzimas responsables de la degradación se desnaturalizan y se convierten en no funcionales, provocando que los microorganismos no puedan nutrirse de manera adecuada (Graves, 2000).

Las altas temperaturas también son conducentes a una pérdida evaporativa excesiva de agua y emanación de olores (Mathur, 1991).

Normalmente en esta etapa, se logran destruir semillas de malezas, esporas de hongos y algunas fitotoxinas que posteriormente significarían un problema al adicionar el compost al suelo (INTEC, 1997).

Los parámetros de humedad y temperatura fueron tomados de Avendaño (2003).

- **OXIGENO:** Debido a que se trata de un proceso aerobio, es decir que se realiza en presencia de oxígeno, este elemento es fundamental para el correcto desempeño del compostaje. Los microorganismos presentes en las pilas requieren de oxígeno para realizar su metabolismo y por esta razón, la aireación de las pilas es esencial.

El estatus del oxígeno en una masa de compostaje está dado por las tasas de utilización y suministro (Pinto, 2001). El suministro óptimo es de 0,6-1,8 m<sup>3</sup>aire/día/kg de sólidos volátiles durante la etapa termofílica del compostaje (Mathur, 1991).

Se puede presentar durante la etapa de enfriamiento un aumento en la utilización de oxígeno debido presumiblemente al uso de sustratos restantes o productos inestables por nuevas poblaciones microbianas (Harperetal., 1992).

- **NUTRIENTES:** Sólo pueden ser objeto de compostaje los materiales que son biodegradables, es decir, asimilables por los microorganismos, y deben contener una cantidad equilibrada de elementos nutritivos. Especial importancia tiene la relación existente entre el carbono y el nitrógeno; se considera que lo "ideal" es que esa relación esté comprendida entre 25:1 y 35:1. Si la relación carbono/nitrógeno es demasiado elevada, el proceso tiene lugar con lentitud, por falta de nitrógeno para cubrir las necesidades de los microorganismos.

Por otra parte, si la relación es muy baja, tiene lugar un fenómeno de autorregulación que conduce a la pérdida del nitrógeno sobrante en forma de amoníaco. Conviene evitar las pérdidas de amoníaco porque supone pérdidas de un interesante elemento fertilizante y porque el amoníaco es un contaminante atmosférico. Después de carbono y nitrógeno, es importante, aunque en medida muy inferior, que los microorganismos cuenten con un adecuado suministro de fósforo. La relación carbono/fósforo óptima es cualquiera comprendida entre 120:1 y 175:1.

Los parámetros de oxígeno y nutrientes fueron tomados de (Web\_La\_Natural, s.f.).

- **pH:** Su influencia radica en la tolerancia de los microorganismos a ambientes ácidos o básicos. De acuerdo a Avendaño (2003):

Durante el proceso de compostaje se producen diferentes fenómenos o procesos que hacen variar este parámetro. Al comienzo y como consecuencia del metabolismo fundamentalmente bacteriano, los complejos carbonados fácilmente degradables, se transforman en ácidos orgánicos, provocando que el pH descienda. Luego los niveles aumentan como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando valores más altos (alrededor de 8,5), lo cual coincide con el máximo de actividad de la fase termófila (Guerraet al., 2001). Finalmente, el pH disminuye en la fase final o de maduración (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica (Graves, 2000).

A continuación, en la Tabla 1 se presentan los parámetros óptimos del proceso de compostaje.

Parámetro	Condiciones óptimas	
	Rango Razonable	Rango Óptimo
C/N	20:1– 40:1	25:1– 30:1
Humedad (%)	40 - 65	50 - 60
Temperatura (°C)	45 - 66	55 - 60
pH	5,5 - 9	6,5 - 8,0

Tabla 1: Parámetros óptimos del proceso de compostaje.

Fuente: Avendaño(2003)

### 1.1.4 Procesos de descomposición de materia orgánica

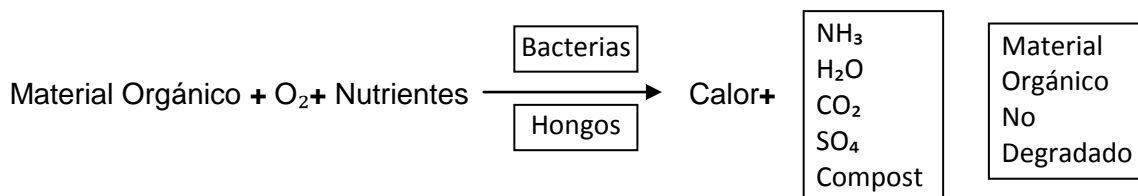
La materia orgánica se degrada mediante cualquiera de los dos procesos siguientes: degradación aerobia y degradación anaerobia, dependiendo de si se realiza en presencia de oxígeno o en ausencia de éste.

#### 1.1.4.1 Descomposición aeróbica

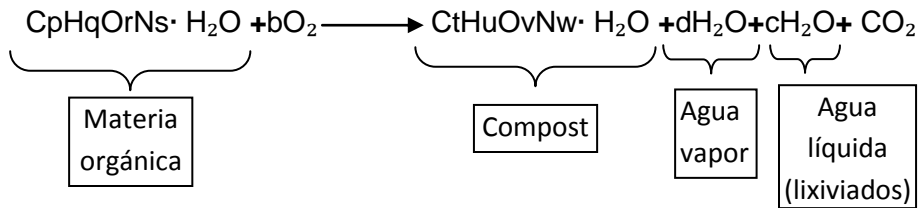
La siguiente descripción fue tomada de (Márquez, s.f.):

La descomposición aerobia según varios investigadores (Mayea, 1992; Funes y Hernández, 1996; Karczynsky, 1996 y Kolmans y Vásquez 1996), es el proceso que comúnmente se lleva a cabo en una composta donde la acción de los microorganismos depende primordialmente de la presencia de oxígeno, evitando así, la formación de malos olores.

El compostaje aerobio es un proceso de degradación en donde los microorganismos transforman los compuestos orgánicos mediante reacciones metabólicas, en las que se separan los electrones de los compuestos y se oxidan las estructuras de carbono a dióxido de carbono y agua. Aquí nunca se produce una oxidación completa ya que una parte de la materia es transformada y otra no es biodegradable (Eweis et al., 1999). El proceso de degradación aeróbica es descrito por la siguiente ecuación:



Según Andrés y Rodríguez (2008):



Es necesario tener presente que la composición de la materia orgánica y, por lo tanto, los valores de los coeficientes, dependen de cada tipo de residuo y las condiciones en las que se desarrolló el proceso.

El compostaje aerobio ocurre en distintas fases (Grossi, 1993; Tchobanoglous, 1994): en la primera de ellas hay una gran actividad de bacterias mesófilas, éstas utilizan como fuente de energía gran parte del carbono presente, expulsando CO<sub>2</sub> y generando calor debido a que las reacciones metabólicas presentan una naturaleza exotérmica. La generación de calor incrementa la temperatura lo que origina una segunda fase, donde la materia orgánica es estabilizada a través de reacciones bioquímicas de oxidación, las cuales son llevadas a cabo por organismos de naturaleza termófilas; en la última fase, denominada fase de maduración, la temperatura desciende, actuando mohos y actinomicetes que contribuyen de esta manera con la estabilidad del compost.

- **FASE DE LATENCIA:** Es la etapa de adaptación de los microorganismos al medio y el inicio de la propagación y colonización de los residuos. Esta etapa comienza con la conformación de la pila y termina cuando es apreciable un aumento en la temperatura. Tiene lugar en medio ácido con un pH igual a 6, debido a la reacción ácida de los jugos celulares y a la actividad bacteriana con la conformación de ácidos originando un descenso en el pH hasta 5,5.

La duración de esta etapa es muy variable, ya que esta obedece a muchos factores. Si la relación C/N, el pH y la concentración de Oxígeno presentan valores dentro de un rango aceptable, entonces la duración de esta etapa depende solo de la temperatura ambiente y principalmente de la carga microbiana que contiene el material. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12 °C, en pilas debidamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 horas.

- **ETAPA MESOTÉRMICA 1 (10 – 40 °C):** En esta etapa, se destacan las fermentaciones facultativas de la micro flora mesófila, con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica). Si el proceso se mantiene en estado aeróbico, entonces en esta



etapa actúan los Euactinomicetos (aerobios estrictos), que son de gran importancia debido a su capacidad de producir antibióticos. La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso.

La etapa mesotérmica requiere valores óptimos de humedad y aireación. La actividad metabólica hace que la temperatura aumente progresivamente y la falta de disipación del calor produce un incremento aún mayor de esta, favoreciendo el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos.

- ETAPA TERMOGÉNICA (40 – 75°C): Dependiendo de la pila inicial que se tenga y de las condiciones ambientales, esta etapa puede tener una duración que varía entre una semana en sistema acelerados, y uno o dos meses en sistemas de fermentación lenta. La micro flora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintróficas.

Por lo general durante esta etapa, son eliminados todos los organismos mesófilos patógenos, esporas, hongos, semillas y materia indeseable. Si la compactación y ventilación son adecuadas en el proceso, entonces se producen claras emanaciones de vapor de agua. El CO<sub>2</sub> se produce en cantidades importantes que se esparcen desde el núcleo a la corteza. Este gas es esencial en el control de larvas de insectos; ya que la concentración de CO<sub>2</sub> alcanzada resulta letal para las larvas. Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos que intervienen, entran en fase de muerte.

Debido a que esta etapa es de gran interés para la higienización de la composta, es conveniente su prolongación hasta que todos los nutrientes se hayan agotado. Esta es la fase que más se debe vigilar para asegurar una buena pasteurización y evitar una excesiva mineralización, si se prolonga durante mucho tiempo.

- ETAPA MESOTÉRMICA 2: Con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, la temperatura disminuye hasta llegar a valores cercanos a los 40°C en donde son aptas las condiciones para que se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos, los cuales utilizarán como nutriente la materia orgánica más resistente a la biodegradación, como la lignina y la celulosa.

En esta última fase son sintetizados coloides húmicos, hormonas, vitaminas y antibióticos, esto a partir de componentes orgánicos, favoreciendo así el desarrollo vegetal. El pH disminuye tendiendo a la neutralidad. Al consumirse toda la materia orgánica susceptible de aportar carbono, disminuye la actividad biológica y la presencia de bacterias termófilas, lo que permite que la temperatura descienda progresivamente

hasta llegar a condiciones ambientales, en donde el material se presenta estable biológicamente y se da porculminado el proceso. La duración de esta etapa depende de numerosos factores, debido a que es un período de fermentación lenta, en el que la parte menos biodegradable de la materia orgánica es transformada.

#### **1.1.4.2 Descomposición anaeróbica**

La siguiente descripción fue tomada de (Márquez, s.f.):

En este tipo de descomposición el oxígeno no se encuentra en condiciones ni cantidades adecuadas, lo que provoca que los microorganismos utilicen para la fermentación otros elementos diferentes a él, originando así olores desagradables debido a la formación de ciertos gases. En este proceso se da una reducción donde los malos olores que se despiden se deben a la pudrición del material y a la generación de sustancias tóxicas como ácido sulfhídrico, mercaptanos y metil mercaptanos que pueden ser nocivos para la actividad biológica del suelo, pero luego que la degradación termina el resultado es un biofertilizante utilizable.

La Bioquímica y microbiología de los procesos anaerobios es mucho más complicada que para los procesos aerobios, esto se debe a la existencia de numerosas rutas que puede utilizar una comunidad anaerobia para lograr la transformación de las sustancias orgánicas.

Debido a que el objeto de estudio del presente trabajo es un proceso de degradación aerobio, denominado compostaje, no se entrará en mayor detalle para describir el proceso anaeróbico.

El mecanismo anaerobio consta de un proceso de tres etapas:

- **ETAPA HIDRÓLISIS:** Es la etapa en la cual ocurre la degradación y descomposición de macromoléculas de origen orgánico a productos más simples, esto se lleva a cabo por un grupo de bacterias denominadas facultativas.
  
- **ETAPA DE ACIDOGÉNESIS:** En esta etapa ocurre la degradación de las sustancias intermedias hasta ácidos grasos de cadenas cortas o volátiles u otros compuestos sencillos, esto ocurre también gracias a las bacterias facultativas. Aquí además ocurre la degradación para formar ácido acético.

- **ETAPA DE METANOGÉNESIS:** Es la última y en la cual se forma el metano debido a un enorme grupo de bacterias llamadas metanogénicas. Estas son estrictamente anaerobias ya que si existe la presencia de oxígeno este impide su crecimiento.

### **1.1.5 Técnicas de compostaje**

Existen diferentes técnicas de compostaje adecuadas de acuerdo a múltiples necesidades. La elección de una técnica determinada depende de diversos factores como el tipo de material, su cantidad, los recursos disponibles, entre otros. Una forma de clasificar las diferentes técnicas de compostaje, es de acuerdo a los mecanismos de aireación que se utilizan. A continuación se enumeran algunas de las técnicas utilizadas, de acuerdo a la Corporación Nacional Forestal de Chile (CONAF, n.d.).

#### **1.1.5.1 Compostaje en pilas estáticas**

La tecnología para el compostaje en pilas estáticas es relativamente simple y es el sistema económico y el más utilizado. Los materiales se acumulan sobre el suelo o pavimento, sin comprimirlos en exceso, siendo importante la forma y medida de la pila.

Las medidas óptimas oscilan entre 1,2 y 2 metros de altura, por 2 – 4 metros de ancho, siendo la longitud variable. La sección tiende a ser trapezoidal, aunque en zonas muy lluviosas es semicircular para favorecer el drenaje del agua. Las pilas son ventiladas por convección natural y se voltean con una frecuencia que depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que se desea realizar el proceso, siendo habitual realizarlo cada 6 a 10 días.



Figura 2: Fotografía pilas estáticas de compostaje

Fuente: CONAF

### 1.1.5.2 Compostaje en pilas estáticas aireadas pasivamente

Se utiliza una red de tuberías, de 3 a 5 pulgadas de diámetro, perforadas que se coloca en la parte inferior de la pila. La altura recomendada de la pila es de 1 a 1,5 metros, aunque la forma y el tamaño óptimo de la pila depende del tamaño de partículas, contenido de humedad, porosidad y nivel de descomposición, todo lo cual afecta el movimiento del aire hacia el centro de la pila. Para permitir el flujo adecuado de aire que entra a través de las cañerías, se coloca una cubierta de turba.

### 1.1.5.3 Compostaje en pilas estáticas aireadas forzosamente

Se utilizan compresores para inyectar aire al interior o aspiradores que succionan aire hacia el exterior. Se requiere de equipos como redes de tuberías, válvulas y sistemas de control, temperatura y humedad. El aporte de oxígeno puede realizarse continuamente o en intervalos que van ligados al termostato.



Figura 3: Fotografía pilas estáticas de compostaje con aireación pasiva

Fuente: CONAF

### 1.1.5.4 Compostaje en pilas de volteo

Este sistema considera voltear las pilas usando técnica manual o mecánica, en forma regular cada 6 a 10 días.



Figura 4: Fotografía pilas de volteo

Fuente: CONAF

## 1.2 Floricultura

Ávila (2013) presenta la siguiente definición:

La floricultura es la disciplina de la horticultura orientada al cultivo de flores y plantas ornamentales en forma industrializada para uso decorativo, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de consumidor. Como en toda actividad comercial es importante el análisis de la oferta y demanda, para que esta actividad productiva sea rentable y sostenible en el tiempo.

Es importante conocer en detalle todo el desarrollo productivo, tecnológico, económico, comercial y social de las plantas ornamentales. Los productores llamados floricultores, producen plantas en macetas, para jardín, para su uso por jardineros, paisajistas, decoradores de interiores. Las flores de corte y follaje se utilizan para la venta en floristerías o florerías, puestos callejeros o cementerios.

La floricultura es un tipo de producción que conlleva un uso intensivo de la superficie y de la mano de obra. Sus producciones se desarrollan en su mayoría bajo invernadero, y donde el clima lo permite.

Existen numerosas clasificaciones para las especies florícolas que difieren en el criterio a tener en cuenta, si consideramos el valor del producto. El producto puede ser la planta entera, la flor, la hoja, el follaje, el fruto o el cultivo en sí. A grandes rasgos esta clasificación contempla dos grandes grupos: flor o follaje de corte y plantas en

macetas. Otras clasificaciones se basan en los requerimientos ecológicos y las características morfológicas, (anuales/bianuales, herbáceas perennes, bulbosas y leñosas) y otras tienen en cuenta el tipo de producto. En la actualidad los mayores esfuerzos en la investigación están focalizados hacia mejoras genéticas de los cultivos y el desarrollo de nuevas tecnologías.

### **1.2.1 Características de la industria y forma de comercio**

De acuerdo con Ávila (2013), la floricultura mundial ocupa un área de unas 190.000 hectáreas. Para el año 2006-2007 se estimaba que la misma movía valores de 60 mil millones de dólares al año y con demanda creciente (Holland Flower Council, 2010).

La flor cortada ocupa el principal volumen de comercialización, seguido por las plantas en maceta. Esta actividad se desarrolla a lo largo de todo el mundo en más de 145 países.

La producción está siendo cada vez más desplazada hacia países en desarrollo del Hemisferio Sur. África abastece principalmente el mercado europeo, Colombia y Ecuador exportan al mercado norteamericano y Oceanía y el Sudeste Asiático abastecen el mercado japonés. Si agrupamos por superficie cultivada, África y Medio Oriente tienen un 1% destinado a floricultura. Europa un 10%, América 13% y Asia destina el 75%.

Dentro del mercado de flores podemos encontrar básicamente tres sectores: quienes controlan el negocio desde la producción hasta la distribución, los subastadores y otros intermediarios, y los financistas.

### **1.2.2 Manejo de residuos sólidos convencionales del proceso productivo**

La Asociación Colombiana de Exportadores de Flores (ASOCOLFLORES, s.f.) asegura que:

Aproximadamente el 90% de los residuos sólidos convencionales generados por la floricultura corresponde a desechos vegetales, el 6% a plástico de invernadero, un 2% en papel y cartón y el 2% restante se distribuye entre una serie de residuos como madera, metal, capuchón, caucho y otros.

Los residuos vegetales, producto del manejo y ciclo vital de las plantas ofrecen a la vez una amenaza y una oportunidad según sea el manejo que se les dé.

La amenaza ambiental que presentan incluye eutroficación de aguas si estos o sus lixiviados son dispuestos en cuerpos de agua; emisiones al aire si estos son quemados; potenciales riesgos de magnificación de plaguicidas en la cadena trófica, si éstos se dan como alimento a ganado y otros animales de granja.

La oportunidad consiste en aprovecharlos en compost y reincorporarlos al proceso productivo como fuente de nutrientes y acondicionador de suelos.

Con relación a los otros residuos convencionales de carácter inorgánico presentan la mayoría de ellos el potencial de ser reciclados. Sin embargo, las opciones actuales de manejo no son siempre las mejores y se requiere una mayor gestión conjunta entre el sector privado (productores y proveedores) y el público (autoridades ambientales y otras entidades) para lograr que existan las opciones apropiadas a la totalidad de los residuos generados en una empresa de flores.

El aprovechamiento de residuos vegetales es el manejo de los mismos, lo cual permite el ahorro de fertilizantes mediante la elaboración de un abono orgánico de excelente calidad mediante procesos de compostaje.

### **1.3 Ecología Industrial**

El término Ecosistema Industrial, que sentó las bases para la definición del concepto de Ecología Industrial (EI), fue acuñado por primera vez en la revista *Managing Planet Earth*, en 1989, a partir de terminologías como metabolismo y simbiosis industrial, sinergia de subproductos y desarrollo sustentable. En última instancia, lo que se busca es que las industrias e incluso las ciudades, se comporten como un ecosistema natural, que emulen sus dinámicas, es decir, que nada se desperdicie, que los residuos de uno sean las materias primas de otro, cerrando ciclos y optimizando el consumo de recursos y energía. Los beneficios económicos y medioambientales de poner en práctica estos supuestos vienen dados por “el ahorro de recursos y la minimización de residuos, la disminución de cargas contaminantes, la mejora de la imagen ambiental de las empresas, entidades y municipios y la mayor relación y colaboración dentro del sector industrial con el medio social y natural” (Torre, 2010).

#### **1.3.1 Definiciones básicas**

Las siguientes definiciones se tomaron del documento *Ecología Industrial* de Anabelle Zegarra (Zegarra).

- AMBIENTE: “conjunto de valores sociales, naturales y culturales existentes en un lugar y momento determinado, que influyen en la vida del hombre y las generaciones futuras”.
- ECOLOGÍA: “ciencia encargada del estudio de la relación entre los seres vivos y su ambiente incluyendo las propiedades físicas”.
- ECOSISTEMA: “Se define como una unidad integrada por los organismos y su ambiente físico, los cuales interactúan entre sí generando flujos de materia y energía en un espacio y tiempo determinados”.
- INDIVIDUO: “es un sistema biológico funcional y la organización jerárquica más pequeña, puede ser unicelular o multicelular, en el caso de los seres más pequeños”.
- POBLACIÓN: “sistema biológico formado por un grupo de individuos de una misma especie y que están bajo las mismas condiciones ambientales”.
- COMUNIDAD: “conjunto de poblaciones que vive en una determinada área, bajo las mismas condiciones ambientales”.
- DESARROLLO SOSTENIBLE: de acuerdo al Principio 3° de la Declaración de Río de 1992, se define como “aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro, para atender sus propias necesidades”. Incluye tres dimensiones: Económica, Social y Ecológica.
- METABOLISMO INDUSTRIAL: “uso de materiales y energía para la industria y la forma en que estos materiales fluyen a través de sistemas industriales y se transforman y disipan como residuo”.
- SIMBIOSIS INDUSTRIAL: “la simbiosis se entiende como la relación de dos o más individuos de diferentes especies que se asocian para obtener un beneficio mutuo. A nivel industrial puede ser la relación benéfica entre diversas industrias”.
- ECOLOGÍA INDUSTRIAL: existen varias definiciones, desarrolladas por diferentes autores, a continuación se mencionan algunas:
  - ✓ “Producto de la evolución de los paradigmas sobre manejo ambiental y de la integración de nociones de sostenibilidad en los sistemas económicos y ambientales, en los cuales los procesos productivos son concebidos como parte integral del ecosistema”.
  - ✓ “Área de conocimiento que busca que los sistemas industriales tengan un comportamiento similar al de los ecosistemas naturales, transformando el modelo



lineal de los sistemas productivos en un modelo cíclico, impulsando las interacciones entre economía, ambiente y sociedad e incrementando la eficiencia de los procesos industriales”.

- ✓ “Nuevo enfoque del diseño industrial de productos y procesos, así como de la definición de estrategias de manufactura sostenible. Es un concepto en el que un sistema industrial no se ve en forma aislada de los sistemas que lo rodean, sino en concierto con ellos.”

### **1.3.2 El concepto de ecología industrial**

De acuerdo a Torre (2010): En las últimas décadas ha ido creciendo el interés por reducir los impactos generados por las actividades humanas sobre el medioambiente. En la década de los años 50 las medidas “al final de tubo” eran las más populares, a pesar de que tenían y tienen el inconveniente de no eliminar el contaminante, sino transferirlo de un medio a otro; además son costosas, no presentan mejoras ambientales, ni promueven el ahorro de recursos.

Con el tiempo surgió el concepto de Producción Más Limpia, el cual implica cambiar los procesos productivos y así disminuir los residuos en cantidad y/o toxicidad, aunque presenta la limitación de ser aplicado a las empresas de forma individual.

Al hablar de Ecología Industrial se concibe los sistemas industriales como ecosistemas, donde las industrias se relacionan con el entorno y el medio social, entendiéndose por industrias todos los sistemas humanos: la agricultura, el transporte, producción, etc. De esta forma, se cumple a cabalidad con el concepto de desarrollo sustentable, pues se abarcan los aspectos sociales, económicos y ambientales.

Además, según Cervantes (2009) “la Ecología Industrial puede describirse también, como el estudio de las interacciones e interrelaciones físicas, químicas y biológicas, dentro de los sistemas industriales, naturales, sociales y al mismo tiempo las interacciones entre ellos”.

De esta forma, existen tres elementos fundamentales en el enfoque de la Ecología Industrial:

- Creación una red de industrias o entidades relacionadas con su entorno.
- Imitación del funcionamiento de los ecosistemas naturales.
- Inclusión de los tres sectores del desarrollo sustentable (social, económico y ambiental).

En resumen, el objetivo principal de la ecología industrial es garantizar el desarrollo sostenible tanto a nivel local y regional, como global. Esto lo logra propiciando la

interrelación entre los sectores: ambiente, economía y sociedad, tal y como se ilustra en la Figura 5.



Figura 5. Objetivo de la Ecología Industrial. Fuente: (Cervantes, 2009)

### 1.3.3 Herramientas de la ecología industrial

Al momento de analizar los sistemas industriales, sus interrelaciones e interacciones, así como su sustentabilidad, la Ecología Industrial se sirve de diferentes herramientas. De acuerdo a Cervantes (2009) se tienen las siguientes:

- ANÁLISIS DE CICLOS DE VIDA (ACV): “Consiste en cuantificar todas las cargas ambientales de un producto o servicio “desde la cuna a la tumba””.
- ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIA (AFM): “Cuantifica las entradas y salidas de recursos (en masa) de una economía (región, país)”.
- DIAGRAMAS DE FLUJO: “Diagramas donde se expresan los procesos que tienen lugar en una empresa, entidad, región, etc. y se indican las materias primas, los residuos, emisiones y descargas, así como los materiales y energía intercambiados”.
- MERCADO DE SUBPRODUCTOS: “Consiste en la compra venta de residuos y/o subproductos entre entidades distintas”.
- METABOLISMO INDUSTRIAL: “Definido como el uso de materiales y energía que fluyen a través de los sistemas industriales para su transformación y posteriormente su disposición como residuo”.

- **ANÁLISIS ECONÓMICO AMBIENTAL:** “Cuantifica las cargas económicas de un producto o servicio sobre el ambiente, basado en los costos de generación del producto y la explotación de recursos naturales para su elaboración, hasta los impactos ambientales por su posterior manejo y disposición como residuo”.
- **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA:** “Definida como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva para aumentar la eficiencia de productos, procesos y servicios y disminuir los riesgos para el hombre y el medio ambiente”.
- **ECOEficiencia:** “Definida como la dotación de bienes y servicios a un precio competitivo, que satisfaga las necesidades humanas y la calidad de vida, al tiempo que reduzca progresivamente el impacto ambiental y la intensidad de la utilización de recursos a lo largo del ciclo de vida, hasta un nivel compatible con la capacidad de carga estimada del planeta”.
- **PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN (P2):** “Definida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), como la reducción o eliminación de residuos en la fuente a través de la modificación de los procesos de producción, promoviendo el uso de sustancias no tóxicas o menos tóxicas, implementando técnicas de conservación y reutilizando materiales en vez de incorporarlos al flujo de residuos”.

### **1.3.4 Métodos de evaluación del análisis de flujo de materiales**

El análisis de flujo de materiales (AFM) es una herramienta fundamental a la hora de evaluar el desempeño ambiental de una determinada industria o proceso. Permite realizar un seguimiento a un elemento, compuesto o un material en general, a través del empleo de balances de materia y energía, los cuales se basan en los principios físicos de conservación. A la hora de realizar una evaluación del AFM se cuenta con diferentes métodos e indicadores, cuya aplicación dependerá de la información disponible y de los objetivos que se pretendan alcanzar. A continuación se presentan algunos de los diferentes métodos de evaluación.

#### **1.3.4.1 Entrada de material por unidad de servicio (MIPS)**

El indicador MIPS (por sus siglas en inglés) realiza una medición de la cantidad de material utilizado en el “consumo” de un bien. Es en última instancia una contabilidad de los materiales o recursos directos e indirectos usados en la fabricación de un “producto”.

“Es una relación del consumo de recursos naturales por parte de un producto, durante su proceso de producción y de vida, con los servicios que entrega dicho producto”(Pérez, 2009). Con el fin de establecer dicha relación, se clasifican las materias primas en varias categorías como: abiótica, biótica, agua, aire, suelo, electricidad, etc.

#### **1.3.4.2 Índice de sostenibilidad de proceso (SPI)**

Se utiliza el factor área como la unidad básica de cálculo del Índice de Sostenibilidad de Proceso (SPI por sus siglas en inglés). La razón para haber escogido este factor, es que el área es una medida cuantificable y finita, además que se puede concebir como un recipiente de energía solar. Así, el SPI “mide y relaciona el impacto ecológico de un proceso con respecto a la cantidad y calidad de los flujos de masa y energía inducidos” (Krotscheck, 1996). En otras palabras, se trata de establecer el equivalente en área que se requiere para un proceso o servicio.

#### **1.3.4.3 Análisis de costo beneficio (ACB)**

Es un análisis basado en dos enfoques: económico y ecológico, teniendo este último dos aspectos a considerar: el ámbito social y ambiental. Se realiza una evaluación de los costos que se generan para una organización y su entorno desde el punto de vista ambiental; dichos costos pueden ser privados, los cuales afectan el flujo de caja, por ejemplo, la gestión, tratamiento, prevención y control de las corrientes de desperdicio. También están los costos públicos (externalidades), los cuales no afectan el flujo de caja de la organización, sino de la comunidad y los agentes externos a la misma.

De forma análoga se habla de beneficios privados y públicos, que en conjunto con los costos permiten realizar una “contabilidad ambiental”.

#### **1.3.4.4 Flujos antropogénicos vs geogénicos**

Consiste en una comparación entre los niveles naturales de un determinado “material”, con los niveles del mismo compuesto por acción del hombre. Por ejemplo, la concentración de nitrógeno normal en un determinado tipo de suelo y la concentración de nitrógeno en dicho suelo debido a la aplicación de fertilizantes.

#### **1.3.4.5 Análisis de entropía**

Es un análisis probabilístico de la forma en que se dispersa una determinada especie en un medio. Toma en cuenta que existen numerosas corrientes a través de las cuales se puede dispersar la especie y calcula la probabilidad de que la dispersión se realice a través de una o varias corrientes.

En la medida en que la especie se disperse a través de más corrientes, la entropía tiende a ser máxima y el proceso será más incontrolable y por lo tanto menos sostenible.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

### **2.1 Sistema a evaluar**

La Finca a evaluar está situada en el oriente antioqueño, en cercanías al municipio de La Ceja y cual cuenta con un área total de 12 hectáreas.

Estudios anteriores reportan que en el oriente antioqueño predominan los suelos llamados Andisoles, que se caracterizan según el sistema de clasificación taxonómica de suelos del USDA (SSS, 1999, 2006) como tierra fina y con bajo contenido de vidrio volcánico, además en el reporte del IGAC (2007) se menciona otras características, tales como altos contenidos de materia orgánica, pH ácido, alto fósforo total pero muy poco disponible, alto poder amortiguador del pH y carga variable.

Para complementar estos datos se realizó una visita técnica al floricultivo el día 15 de Diciembre de 2013. Durante esta se observó cómo es el proceso productivo; desde la etapa de pre siembra del Crisantemo hasta la etapa de empaque y refrigeración (Figura 6).

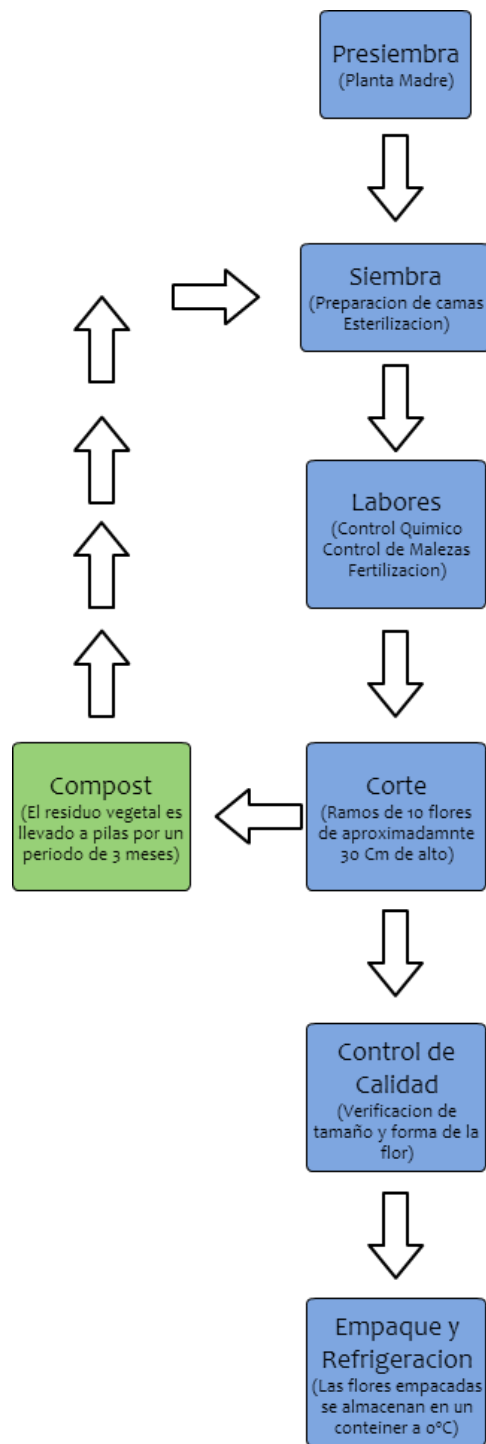


Figura 6. Esquema de producción de Crisantemos.

Igualmente durante la visita se recolectaron datos relacionados con el proceso de producción de Crisantemos en la finca relacionados en la Tabla 2.

Área de Camas	36 m <sup>2</sup>
Siembra Semanal	180 Camas/Semana
Tallos por Cama	3420 Tallos
Tallos Producidos	2709 Tallos
Peso Promedio de Tallo	40 g
Peso Producido por Cama	116,28 kg
Peso de Residuos Vegetales	70 kg
Compost (final)	28 kg
Duración del proceso	3 Meses

Tabla 2. Datos de cultivo de Crisantemo



### **3. ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES**

Se realizará la evaluación y análisis de los flujos de recursos materiales en la producción de Crisantemos para el caso particular. Se desarrollaran los balances de materia para tres componentes principales en el cultivo: Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Potasio (K), debido a que estos nutrientes son los de mayor importancia durante del cultivo de dichas plantas y son los más usados durante la fertilización. Con esto se pretende establecer en qué medida la fertilización es adecuada en términos ambientales, de tal forma que no se esté induciendo una acumulación de estos nutrientes en los suelos y los acuíferos de la zona.

#### **3.1 Flujo de Materiales**

Se realizará un cálculo del flujo de materiales del cultivo de Crisantemos durante las 9 semanas que dura el proceso del cultivo, esto con el fin de identificar las cantidades de nutrientes que circulan en el proceso. Los nutrientes que serán cuantificados son:

- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Potasio (K)

En la Figura 7, se representa un esquema de los flujos de materiales.

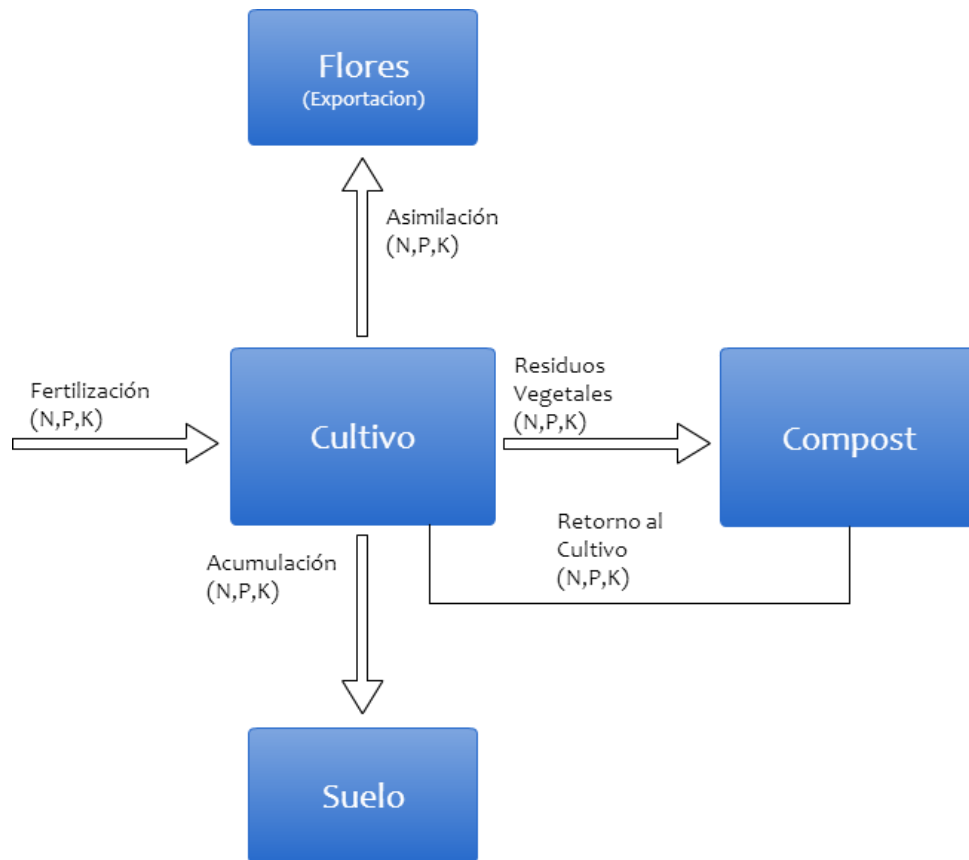


Figura 7. Flujo de materiales

### 3.1.1 Fertilización

Para obtener la cantidad de nutrientes adicionados al cultivo es necesario calcular el área total de camas para cultivo presentes en la finca.

$$\text{Área total solo camas} = 174 \text{ camas} * 36 \frac{m^2}{\text{cama}} * 1 \frac{Ha}{10000m^2} = 0,62Ha$$

En el curso de Posada (2007) se brindan datos sobre las cantidades de nutrientes usados en la fertilización que se debe realizar en un cultivo de Crisantemos. Con el área total de solo camas encontramos cual es la cantidad de fertilizantes que se aplican.

### Abonamiento inicial

$$N = 30 \frac{kg}{Ha} * 0,62 Ha = 18,6kg N$$

$$P = 100 \frac{kg}{Ha} * 0,62 Ha = 62kg P$$

$$K = 150 \frac{kg}{Ha} * 0,62 Ha = 93kg K$$

### 30 días

$$N = 60 \frac{kg}{Ha} * 0,62 Ha = 37,2kg N$$

$$K = 50 \frac{kg}{Ha} * 0,62 Ha = 31kg K$$

### 40 días

$$N = 1 \frac{gr}{l H2O} * 180 \frac{l H2O}{cama} . 174 camas * 4 plicaciones = 125,280kg N$$

$$K = 0,5 \frac{gr}{l H2O} * 180 \frac{l H2O}{cama} . 174 camas * 4 plicaciones = 62,640kg K$$

### 60 días

$$N = 60 \frac{kg N}{Ha} * 0,62 Ha = 37,2kg N$$

El total de fertilizantes aplicados en el cultivo se encuentran en la Tabla 3.

Macronutriente	Cantidad
Nitrógeno (N)	218 kg
Fósforo (P)	62 kg
Potasio (K)	186 kg

Tabla 3. Cantidad de fertilizantes incorporados en el cultivo de Crisantemos

### 3.1.2 Asimilación

Carranza (1992) reporta las cantidades de nutrientes asimilados por plantas de Crisantemo, específicamente de la variedad "Vero" (Tabla 4).

Macronutriente	Cantidad
Nitrógeno (N)	167,51 mg/planta
Fósforo (P)	17,65 mg/planta
Potasio (K)	151,31 mg/planta

Tabla 4. Asimilación de nutrientes por plantas de Crisantemo variedad "Vero"

Para obtener la cantidad asimilada en la totalidad del cultivo se calculó el número de tallos por cama y luego se multiplicó por las tasas de asimilación encontradas, obteniendo las cantidades de nutrientes asimiladas por las plantas de Crisantemo (Tabla 5).

$$\#de\ tallos = 3.420 \frac{tallos}{cama} * 174cama = 595.080\ tallos$$

$$N = 167,51 \frac{mg\ N}{planta} * 595.080\ plantas = 99,68kg\ N$$

$$P = 17,65 \frac{mg\ P}{planta} * 595.080\ plantas = 10,50kg\ P$$

$$K = 151,31 \frac{mg K}{planta} * 595.080 plantas = 90,04kg K$$

Macronutriente	Cantidad
Nitrógeno (N)	99,66 kg
Fósforo (P)	10,50 kg
Potasio (K)	90,04 kg

Tabla 5. Cantidad total de nutrientes asimiladas por plantas de Crisantemo.

### 3.1.3 Concentración de nutrientes en los residuos vegetales

Las concentraciones de nutrientes en plantas de Crisantemo se obtuvieron de González (1989); referenciadas en la Tabla 6. A partir de estas concentraciones se determinaron las cantidades de nutrientes que se presentan en los residuos vegetales y posteriormente pasan al compost.

Macronutriente	Concentración
Nitrógeno (N)	3,24%
Fósforo (P)	0,21%
Potasio (K)	5,10%

Tabla 6. Concentración de nutrientes en plantas de Crisantemo.

Para obtener la cantidad de nutrientes en cada planta se debe partir del peso seco de cada una, debido a que los valores dados por González (1989) se expresan en porcentaje del peso de cada planta. Los resultados totales se observan en la Tabla 7.

$$Peso\ seco = 15,63 \frac{g}{planta} N$$

$$N = 15,63 \frac{g}{tallo} * 595.080 tallos * 0,2relación \frac{residuo}{planta} * 3,2\%N * 1 \frac{kg}{1000g} = 59,52kg N$$

$$P = 15,63 \frac{g}{tallo} * 595.080 tallos * 0,2relación \frac{residuo}{planta} * 0,21\%P * \frac{kg}{1000g} = 0,39kg P$$

$$K = 15,63 \frac{g}{tallo} * 595.080 tallos * 0,2relación \frac{residuo}{planta} * 5,1\%K * \frac{kg}{1000g} = 94,87kg K$$

Macronutriente	Cantidad
Nitrógeno (N)	59,52 kg
Fósforo (P)	0,39 kg
Potasio (K)	95,87 kg

Tabla 7. Cantidad de nutrientes en los residuos vegetales de Crisantemo.

### 3.1.4 Concentración de nutrientes como aporte del compost

En su trabajo Komilis (2006) concluyó que durante en proceso de compostaje de residuos verdes o de jardín el porcentaje de volatilización de nitrógeno fue del 25% de su contenido inicial.

Tomando el dato anterior tenemos:

$$N = 59.52 kg N - (59.52 * 0.25) = 44.64 kg N$$

### 3.1.5 Concentración de nutrientes típicas en los suelos en estudio

Según Jaramillo (1995) las concentraciones de nutrientes en los suelos del oriente antioqueño se observan en la tabla 8.

Para calcular la concentración de nitrógeno utilizamos la siguiente ecuación(Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2005).

$$\%NT = \frac{\% M.O}{20}$$

$$\%NT = \frac{21,89\% M.O}{20} = 1.09\%$$

Haciendo el cambio de unidades tenemos:

$$1.09\% = 0.0109 \frac{g N}{g Suelo}$$

$$0.0109 \frac{g N}{g Suelo} * \frac{1000 mg}{1 g} * \frac{1000 g}{1 kg} = 10.945 \frac{mg N}{kg Suelo}$$

<b>Macronutriente</b>	<b>Cantidad</b>
Materia Orgánica	21,89 %
Nitrógeno	10.945 mg/kg Suelo
Fósforo (P)	3,23mg/kg suelo
Potasio (K)	90mg/kg suelo

Tabla 8. Concentración de nutrientes en suelos del oriente antioqueño.

Para obtener las cantidades teóricas de estos nutrientes en el suelo en estudio (suelo ocupado por todas las camas en producción) se debe determinar primero la cantidad de suelo, para después determinar las cantidades totales de estos nutrientes.

$$Cantidad\ de\ suelo\ (kg) = 0,62\ Ha * 0,2m * 10000 \frac{m^2}{Ha} * 1,5 \frac{kg}{lt} * \frac{1000lt}{m^3} = 1.860.000kg$$

$$N = 1.860.000kg\ suelo * 1.1\% N = 20.460\ kg\ N$$

$$P = 1.860.000 \text{ kg suelo} * 3.23 \frac{\text{mg}}{\text{kg suelo}} * \frac{\text{kg}}{1000000 \text{ mg}} = 6 \text{ kg P}$$

$$K = 1.860.000 \text{ kg suelo} * 90 \frac{\text{mg}}{\text{kg suelo}} * \frac{\text{kg}}{1000000 \text{ mg}} = 167,4 \text{ kg K}$$

### 3.2 Balance del flujo de materiales

Finalmente se realiza un balance de entradas y salidas encontradas en el flujo de materiales para obtener la cantidad de nutrientes que está siendo acumulada en el suelo.

$$N = 218 \text{ kg (Fertilización)} - 99,66 \text{ (Asimilación)} - 59,52 \text{ (Residuos)} + 44,64 \text{ (Compost)}$$

$$= 103,36 \text{ kg N}$$

$$P = 62 \text{ kg (Fertilización)} - 10,50 \text{ (Asimilación)} - 0,39 \text{ (Residuos)} + 0,39 \text{ (Compost)}$$

$$= 51,5 \text{ kg P}$$

$$K = 186 \text{ kg (Fertilización)} - 90,04 \text{ (Asimilación)} - 95,87 \text{ (Residuos)} + 95,87 \text{ (Compost)}$$

$$= 95,96 \text{ kg K}$$



#### 4. EVALUACIÓN DEL FLUJO DE MATERIALES

##### 4.1 Método Entrada de material por unidad de servicio (MIPS)

El método MIPS (Material Intensity Per Service unit) compara los datos (kg nutrientes / kg flor) suministrados por una empresa del Oriente Antioqueño con datos estándar de Costa Rica, por lo tanto sus resultados no son concluyentes, pero se llevó a cabo como ejercicio netamente académico.

Los siguientes datos fueron suministrados por una empresa del Oriente Antioqueño.

Descripción	Cantidad
Número de camas	180 camas
Peso producido por cama	116,28 kg/cama

Tabla 9. Peso producido de flores

Por lo tanto, el peso total de flores producidas es:

$$116,28 \frac{kg \text{ flor}}{cama} \times 180 \text{ camas} = 20930,4 \text{ kg flores}$$

Para determinar la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio en cada flor es necesario remitirse al análisis de flujo de materiales donde se indica la cantidad de nutrientes totales.

Nitrógeno (N):

$$\frac{103,36 \text{ kg N}}{20930,4 \text{ kg flores}} = 0,0049 \frac{kg N}{kg flor}$$

Fósforo (P):

$$\frac{51,5 \text{ kg P}}{20930,4 \text{ kg flores}} = 0,0024 \frac{\text{kg P}}{\text{kg flor}}$$

Potasio (K):

$$\frac{95,96 \text{ kg K}}{20930,4 \text{ kg flores}} = 0,0045 \frac{\text{kg K}}{\text{kg flor}}$$

Según González y Bertsch (1988) la absorción de los nutrientes, en mg/planta, es la mostrada en la Tabla 10:

Semana	Peso seco (g/planta)	Concentración (%)					Absorción (mg/planta)				
		K	N	Ca	P	Mg	K	N	Ca	P	Mg
<b>Finca 1 - Cartago</b>											
1	0,42	2,80	1,80	0,51	0,21	0,14	11,8	7,6	2,1	0,9	0,6
3	0,96	5,00	3,83	1,04	0,47	0,28	48,0	36,8	10,0	4,5	2,7
5	2,67	7,00	4,08	1,13	0,46	0,31	186,9	108,9	30,2	12,3	8,3
7	6,99	5,50	3,83	0,93	0,21	0,31	384,5	267,7	65,0	14,7	21,7
9	15,63	5,10	3,24	0,92	0,21	0,22	797,1	506,4	143,8	32,8	34,4
11	21,19	4,60	2,65	0,82	0,19	0,21	974,7	561,5	173,8	40,3	44,5
13	29,26	4,80	2,39	0,90	0,32	0,19	1404,5	699,3	263,3	93,6	55,6

Tabla 10. Peso seco (g/planta), concentración (%) y absorción (mg/planta) de macronutrientes durante el ciclo de crecimiento de Crisantemo en un invernadero del Valle Central, Costa Rica.

Por lo tanto las cantidades en kg de nutriente / kg Flor son:

$$1 \text{ planta} = 40 \text{ g flor}$$

Nitrógeno (N):

$$699,3 \frac{\text{mg N}}{\text{planta}} \times \frac{1 \text{ kg N}}{1000000 \text{ mg N}} \times \frac{1 \text{ planta}}{40 \text{ gr flor}} \times \frac{1000 \text{ gr flor}}{1 \text{ kg flor}} = 0,017 \frac{\text{kg N}}{\text{kg flor}}$$

Fósforo (P):

$$93,6 \frac{\text{mg P}}{\text{planta}} \times \frac{1 \text{ kg P}}{1000000 \text{ mg P}} \times \frac{1 \text{ planta}}{40 \text{ gr flor}} \times \frac{1000 \text{ gr flor}}{1 \text{ kg flor}} = 0,0023 \frac{\text{kg P}}{\text{kg flor}}$$

Potasio (K):

$$1404,5 \frac{mg K}{planta} \times \frac{1 kg K}{1000000 mg K} \times \frac{1 planta}{40 gr flor} \times \frac{1000 gr flor}{1 kg flor} = 0,035 \frac{kg K}{kg flor}$$

Realizando una comparación entre los datos obtenidos con la información suministrada por la empresa y el estándar en Costa Rica se puede definir lo siguiente:

Nutrientes	Datos obtenidos con información suministrada por la empresa	Estándar en Costa Rica
Nitrógeno (N)	0,0049 kg N / kg flor	0,017 kg N / kg flor
Fósforo (P)	0,0024 kg P / kg flor	0,0023 kg P / kg flor
Potasio (K)	0,0045 kg K / kg flor	0,035 kg K / kg flor

Tabla 11. Comparativo kg de nutrientes / kg de flor de los datos obtenidos con información suministrada por la empresa y el estándar del crisantemo en Costa Rica.

Se evidencia que la absorción del Crisantemo que cultiva la empresa del Oriente Antioqueño está por debajo del estándar en el contenido de nitrógeno y potasio, por lo que se deben implementar estrategias que ayuden a mejorar la asimilación de estos nutrientes por las plantas, ya que éstos no están siendo absorbidos por la planta y se están acumulando en el suelo generando así unos impactos ambientales dados por la lixiviación y/o volatilización de dichos nutrientes. También se concluye que los kg de fósforo por kg de flor corresponden a los del estándar.

#### 4.2 Flujo Antropogénico Vs Geogénico

Para calcular la cantidad de nutrientes en el suelo natural del oriente antioqueño es necesario remitirse a los datos del numeral 3.1.5 Concentración de nutrientes típicas en los suelos en estudio, donde la cantidad de suelo en kg calculada es igual a 1.860.000 kg de suelo.

Nitrógeno (N):

$$1.1\% N \times 1860000 \text{ kg suelo} = 20460 \text{ kg N}$$

Fósforo (P):

$$3,23 \frac{\text{mg P}}{\text{kg suelo}} \times 1860000 \text{ kg suelo} = 6007800 \text{ mg P}$$

$$6007800 \text{ mg P} \times \frac{1 \text{ kg P}}{1000000 \text{ mg P}} = 6,0078 \text{ kg P}$$

Potasio (K):

$$90 \frac{\text{mg K}}{\text{kg suelo}} \times 1860000 \text{ kg suelo} = 167400000 \text{ mg K}$$

$$167400000 \text{ mg K} \times \frac{1 \text{ kg K}}{1000000 \text{ mg K}} = 167,4 \text{ kg K}$$

Según el balance del flujo de materiales elaborado en el numeral 3.2 se obtienen los siguientes resultados de acumulación de nutrientes en el suelo:

<b>Nutrientes</b>	<b>Acumulación en el suelo (kg)</b>
Nitrógeno (N)	103,36
Fósforo (P)	51,5
Potasio (K)	95,96

Tabla 12. Acumulación de nutrientes

Realizando el comparativo podemos observar:

<b>Nutrientes</b>	<b>Condiciones antropogénicas (kg)</b>	<b>Condiciones geogénicas (kg)</b>
Nitrógeno (N)	20.460	103,36
Fósforo (P)	6,0078	51,5
Potasio (K)	167,4	95,96

Tabla 13. Comparativo condiciones antropogénicas Vs geogénicas

Se puede concluir según el método evaluado que se está presentando una mayor intensidad de consumo del fósforo generando como impacto principal la acumulación de este material en el suelo.

**ACUMULACIÓN DEL FÓSFORO:** las plantas reciben este elemento en forma de iones de fosfato. Estos son inmovilizados en el suelo y fácilmente absorbidos por los óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio y manganeso así como por partículas de arcilla. El fosfato aplicado que no es absorbido por las plantas permanece en el suelo hasta que se pierde por las escorrentías o erosión. El fosfato puede estar presente en grandes concentraciones en el agua de irrigación o en el agua que se drena de los campos inundados. Los excesos de fosfatos pueden producir la eutroficación y elevar la biomasa de algas.

Los fertilizantes fosfóricos pueden contener cadmio cuando se utilizan las rocas sedimentarias de fosfatos como materia prima. El cadmio también se adhiere al suelo por deposiciones aéreas. El uso actual de estos fertilizantes no representa ningún riesgo inmediato, pero se aconseja que se debiera eliminar el cadmio cuando se procese la materia prima.

### **Consecuencias negativas:**

**FERTILIDAD DEL SUELO:** la constante extracción de los nutrientes sin ninguna o poca reposición de los mismos provocará la disminución constante del grado de fertilidad del suelo. Esta explotación de los nutrientes que conduce hacia el agotamiento severo de la fertilidad del suelo, es un grave problema ambiental que enfrentan un sinnúmero de países en vías de desarrollo.

**EXPANSIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA:** si las tierras y mano de obra están disponibles, los bajos rendimientos provocados por el agotamiento de nutrientes obligan a

los agricultores a expandir la frontera agrícola, con frecuencia a expensas de bosques o de suelos marginales que están sujetos a la erosión o desertificación.

ENMIENDAS: por lo general, las zonas tropicales son pobres en nutrientes, con problemas de acidez y toxicidad por el aluminio. El reciclaje orgánico no ofrece ninguna solución ya que la biomasa producida en esos suelos es pobrísima en nutrientes esenciales. Estos suelos no podrían ser productivos sin las enmiendas apropiadas y sin la aplicación básica de nutrientes. El poco o ningún uso de nutrientes impedirá, en estos suelos, cualquier desarrollo de producción agrícola sostenible.

### **Suspensión de los efectos negativos**

Los efectos negativos de la aplicación de nutrientes en cantidades grandes y pequeñas pueden evitarse o remediarse a través de un buen manejo. La fertilización balanceada debe vencer los riesgos de la explotación y agotamiento de la fertilidad del suelo. El manejo racional de nutrientes puede evitar la contaminación principalmente a través de prácticas que reducen las pérdidas de nutrientes hacia los acuíferos o la atmósfera. Estas prácticas incluyen la fertilización balanceada y oportuna, fertilización específica en combinación con otras prácticas (como el uso de variedades mejoradas, manejo del agua y protección de los cultivos) que promuevan la máxima absorción de nutrientes por parte del cultivo. Se debe prestar también la debida atención a las pérdidas controlables (que provienen de la erosión y escorrentías) a través de un apropiado manejo de las tierras.

## 5. CONCLUSIONES

Los beneficios que se obtienen por la implementación de la Ecología Industrial son mayores ya que esto es una realidad hoy en día con miras en el futuro sustentable, cambiando sistemas lineales por sistemas cerrados para que todos se vean favorecidos.

La implementación de la Ecología Industrial genera grandes oportunidades de mejorar los ingresos de las industrias a través del incremento en la eficiencia del uso de sus recursos, tecnologías y del aprovechamiento e intercambio de residuos y subproductos como materias primas.

Es importante destacar que la Ecología Industrial pueden contribuir significativamente a que los gobiernos encuentren rutas hacia la sustentabilidad. La calidad de la planta de Crisantemo está determinada tanto por el período de luz al que se exponga la planta como por el tipo de sustrato que se le suministra y el cual garantiza sus características (altura y grosor del tallo) para la comercialización, ya que es una de las flores más demandadas en países como Estados Unidos. Dicho sustrato está compuesto fundamentalmente por nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), por lo tanto fueron los macronutrientes que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del análisis del presente trabajo.

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante los métodos evaluados se concluye que esta empresa del Oriente Antioqueño está consumiendo una elevada cantidad de macronutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) aumentando así los costos de producción; además no se está garantizando que las plantas estén asimilando las cantidades correctas del sustrato y estos se están acumulando en el suelo dejando como posibles consecuencias:

- Lixiviación de los macronutrientes afectando fuentes de agua, produciendo eutroficación y elevando la biomasa de algas.
- Evaporización de los macronutrientes aportando al efecto invernadero.
- Disminución del grado de fertilidad del suelo.

Es necesario que la empresa decida tomar acciones que garanticen la comercialización del Crisantemo sin generar grandes impactos negativos al medio ambiente y ser más eficaces en la producción de las flores.

Los sectores industriales están tomando conciencia acerca de la problemática ambiental y el sector de floricultivos no es ajeno a esta tendencia. Como se analizó en este estudio, este tipo de agroindustrias han implementado programas que buscan no solo un beneficio económico, sino una disminución en los impactos al medio ambiente, tal es el caso de los sistemas de compostaje. No obstante, es recomendable ir más allá y comenzar a pensar

en soluciones a largo plazo, en las que intervengan también otras empresas y formar asociaciones, en las que se reduzcan al máximo los residuos y en lo posible se cierren ciclos, es ahí donde juega un papel preponderante la Ecología Industrial.

A partir de los principios de la Ecología Industrial es posible realizar una evaluación de un proceso o grupo de procesos industriales y analizar su desempeño ambiental, esto permite hacer un seguimiento y determinar si las condiciones actuales son favorables o si por el contrario es necesario un cambio con el fin de disminuir los efectos sobre el medioambiente.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- (IGAC), Instituto Geografico Agustin Codazzi. (2007). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras, departamento de Antioquia*.
- (SSS), Soil Survey Staff. (1999). Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. In S. S. (SSS), *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey* (p. 871). Washington: USDA.
- ASOCOLFLORES. (s.f.). *Guía Ambiental Flores*. Recuperado el 02 de Marzo de 2014, de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/segunda%20parte%20gu%C3%ADa%20ambiental%20flores.pdf>
- Avenidaño, D. (2003). *El Proceso de Compostaje*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.
- Ávila, B. Q. (2013). *Floricultura*. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Carranza, L.A. Osorio, P.M. (1992). Estudio de la producción de biomasa en el cultivo de Pompón. *Universidad de La Salle*, 209.
- Cervantes, G. S. (2009). Ecología Industrial y Desarrollo Sustentable. *Ingeniería*, 63-70.
- CONAF. (n.d.). *Corporación Nacional Forestal*. Retrieved 2014 йил 25-02 from <http://alternativasquemas.conaf.cl/fichas/ficha5.pdf>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (2005). Manual Técnico de producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones caribe y valles interandinos.
- Dimitris P. Komilis, Robert K. Ham. (2006). Carbon dioxide and ammonia emissions during composting of mixed paper, yard waste and food waste. *Waste Management* 26, 62–70.
- Ferreras, G. &. (2004). Experiencias de aplicación de lombricompost en soja y cultivos hortícolas. *Agromensajes de la Facultad*.
- Herron, F. (1991). Fertilidad y fertilización de los Andisoles de Antioquia. *Resúmenes del VI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo y Tercer panel latinoamericano sobre suelos derivados de ceniza volcánica* (p. 124). Manizales: SCCS.
- Herron, F. (1993). Fertilización del Crisantemo en Andisoles de Antioquia. *Memorias del Primer Simposio Nacional del Crisantemo* (pp. 7 - 11). Rionegro: Asocolflores.

- Jaramillo, D. (1995). Andisoles del Oriente Antioqueño, caracterización química y fertilidad. 35.
- Jaramillo, D.F, M.T. Florez y L.N.Parra. (2006). Caracterización de un Andisol de la cuenca de la quebrada Piedas Blancas, Oriente Antioqueño, Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 36 (1), 61 - 71.
- Krotscheck, C. N. (1996). The Sustainable Process Index A new dimension in ecological evaluation. *Ecological Engineering*, 241-258.
- Márquez, R. (s.f.). *WEB DEL PROFESOR RONALD MÁRQUEZ*. Recuperado el 29 de 12 de 2013, de [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/?page\\_id=1398](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/?page_id=1398)
- Mesa, R. L. (2007). *Caracterización económica del Municipio de Rionegro, Antioquia, 2004-2006*. Medellín: Centro de Investigaciones y Consultorías - Universidad de Antioquia.
- NEGRO, V. A. (s.f.). *PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DEL COMPOST*.
- Osorio, N. (1997). *EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE ANDISOLES CULTIVADOS CON CRISANTEMO (Dedranthema grandiflora) EN EL ORIENTE ANTIOQUEÑO*. Medellín.
- Pablo Gonzalez, Floria Bertsch. (1989). Absorción de nutrientes por el crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*) var. "Super White" durante su ciclo de vida en el invernadero. *Agronomía Costarricense* 13(1), 51 - 60.
- Pardo, L. (2009). *Diagnóstico de la producción y comercialización del crisantemo (Chrysanthemum morifolium) en Colombia*. Zamorano.
- Parr, J. H. (1993). Utilization of municipal wastes. *Soil Microbial Ecology*, 545-559.
- Pérez, M. (2009). *Indicadores biofísicos de sustentabilidad*. México D.F.: UNAM- Centro de investigaciones interdisciplinarias en ciencias y humanidades.
- Posada, Susana Gomez. (2007). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Retrieved 2014 йил 24- Enero from Universidad Nacional Abierta y a Distancia: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/302568/Material\\_didactico\\_definitivo/leccin\\_12\\_cultivo\\_del\\_crisantemo.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/302568/Material_didactico_definitivo/leccin_12_cultivo_del_crisantemo.html)
- SSS, Soil Survey Staff. (2006). Keys to soil taxonomy. In S. S. SSS, *Keys to soil taxonomy* (p. 332). Washington: USDA.
- Torre, G. (2010). La Ecología Industrial: innovación y aplicación del desarrollo sustentable en sistemas humanos. *Innovación y Ecología Industrial*.

Tortosa, G. (22 de Septiembre de 2008). *Compostando Ciencia*. Recuperado el 27 de Diciembre de 2013, de <http://www.compostandociencia.com/2008/09/definicin-de-compostaje.html>

Weaber, D. R. (1998). Patterns of nutrient status and fertiliser practice on soils of the south coast of Western Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 37-53.

Web\_La\_Natural. (s.f.). *Web La Natural*. Recuperado el 27 de 12 de 2013, de <http://www.cdrtcampos.es/lanatural/compostaje.htm>

Zegarra, A. (n.d.). *Apuntes de Estudio. Ecología Industrial*. From Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo: [http://issuu.com/ingenieriaarquitecturausat/docs/ecologia\\_industrial](http://issuu.com/ingenieriaarquitecturausat/docs/ecologia_industrial)



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS

CERTIFICADO DE RECEPCIÓN DE TRABAJOS DE GRADO

FECHA:			ID
AUTOR(ES):	Andrea Esteban Torres		000240705
	Carolina Peres Gallego		000243785
	Jaime Zulvera Morredo		000019661
	Tina Marcela David B.		000215063
	Oscar Fabián Arcoz Jiménez		000070014
	Luz Nery Díaz García		000070231
TÍTULO:	Especialista en Ingeniería Ambiental		
ESCUELA:	ESCUELA DE INGENIERÍA		
PROGRAMA:	ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL		
DETALLE DEL MATERIAL			
IMPRESO:	CANTIDAD	CD-ROM:	CANTIDAD
	0		1
		OTROS (ejemplo: planos, videos)	ninguno
NOMBRE DE QUIEN ENTREGA:		Dora María Carmona Garcés - Coordinadora Académica Postgrados Ciencias del Ambiente	
NOMBRE DE QUIEN RECIBE: (espacio para el personal de la Biblioteca)			
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN LA WEB			
<p>El/Los autor/es de este trabajo de grado, presentado en el año 2014 para optar al título: <u>Exp. en Ing. Ambiental</u> autorizo/amos al SISTEMA DE BIBLIOTECAS DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, para publicarlo en la Web, con fines académicos, de manera que permita a los interesados en este trabajo su consulta y/o la reproducción, siempre que se le dé crédito al trabajo y a su(s) autor(res), mediante la correspondiente cita bibliográfica. De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión andina 351 de 1993, " Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.</p> <p><b>Nota:</b> Si son varios autores todos deben firmar para que sea válida esta autorización.</p>			
Atentamente,			
Firma(s):			c.c. 63545525
			c.c. 1128267623
			c.c. 98773098
			c.c. 1128273081
			c.c. 1085248337
			c.c. 1087574793
Si no desea dar su autorización para la publicación de su trabajo de grado en la Web, por favor firme aquí:			c.c.
			c.c.
			c.c.
			c.c.
Este certificado sólo tiene validez legal con firma y sello del Sistema de Bibliotecas			