

## Información Importante

La Universidad de La Sabana 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 de La Sabana.

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 de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

**BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA**  
UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
Chía - Cundinamarca



El presente formulario debe ser diligenciado en su totalidad como constancia de entrega del documento para ingreso al Repositorio Digital (Dspace).

<b>TITULO</b>	Evaluación de la calidad de cebolla ( <i>Allium fistulosum</i> ) en postcosecha descrita por un modelo en Dinámica de Sistemas		
<b>SUBTITULO</b>			
<b>AUTOR(ES)</b> Apellidos, Nombres (Completo) del autor(es) del trabajo	González Vargas, Andrea Liliana		
<b>PALABRAS CLAVE</b> (Mínimo 3 y máximo 6)	Cebolla		calidad
	dinámica de sistemas		microbiológico
	modelo		fisicoquímico
<b>RESUMEN DEL CONTENIDO</b> (Mínimo 80 máximo 120 palabras)	<p>En esta investigación se describe el impacto que tiene el actual sistema de empaque y transporte entre Aquitania y Bogotá sobre la calidad de cebolla larga (<i>allium fistulosum</i>) cosechada, utilizando la integración de análisis fisicoquímicos y microbiológicos; y el uso de un modelo en dinámica de sistemas. Se realizó la cuantificación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de cebolla larga durante 8 días de almacenamiento a temperatura ambiente. Posteriormente se planteó un modelo en dinámica de sistemas, el cual describe la pérdida de calidad del producto en las diferentes etapas, mediante el análisis de las relaciones existentes de variables relevantes en cosecha y empaque.</p>		

Autorizo (amos) a la Biblioteca Octavio Arizmendi Posada de la Universidad de La Sabana, para que con fines académicos, los usuarios puedan consultar el contenido de este documento en las plataformas virtuales de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

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, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE CEBOLLA (*Allium fistulosum*) EN POSTCOSECHA  
DESCRITA POR UN MODELO EN DINAMICA DE SISTEMAS**

**ANDREA LILIANA GONZÁLEZ VARGAS**  
Tesis de grado para optar al título de  
Magister en Diseño y Gestión de Procesos

Directores: Msc Leonardo González  
Indira Sotelo Díaz., pH.D.



**UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
ÉNFASIS SISTEMAS LOGÍSTICOS**

**BOGOTÁ  
2012**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma de Jurado

---

Firma de Jurado

---

Firma de Jurado

Bogotá, 1 de noviembre de 2012

A mis hijos Camilo y Juan Esteban, a mí amado esposo y mis padres.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitir que cada momento de mi vida, cada sonrisa y también cada lágrima, sean un camino de aprendizaje y crecimiento que me acercan a su luz.

Doy gracias de manera especial a Indira Sotelo y Leonardo González, quienes dirigieron esta investigación con su conocimiento y experiencia, y fueron fundamentales para el desarrollo de la misma.

Extiendo mi agradecimiento a la Cámara de Comercio de Bogotá, a Colciencias y a la Universidad de la Sabana quienes fueron los gestores del proyecto “Diseño de un sistema de valorización de cebolla junca” el cual permitió formular mi proyecto de tesis.

Agradezco a la Universidad y todas las personas de que me apoyaron durante el proceso de investigación, planteamiento y realización del proyecto.

Por último agradezco a mi esposo por su amor y apoyo incondicional, a mis hijos por cada abrazo que me llenó de fuerzas para llegar al final del camino en la consecución de esta meta, y a mis padres quienes toda la vida me han colmado de sus bendiciones y apoyo.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	4
RESUMEN .....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	12
1.1 ALCANCE .....	13
1.2 HIPÓTESIS .....	13
2. JUSTIFICACIÓN .....	14
3. OBJETIVOS .....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
4. MARCO REFERENCIAL .....	18
4.1 ANTECEDENTES .....	18
4.2 MARCO TEÓRICO .....	21
4.2.1 La cebolla ( <i>Allium fistulosum</i> ). .....	21
4.2.2 Pérdida de calidad en productos perecederos.....	23
4.2.2.1 Cambios Físicoquímicos. ....	25
4.2.3. Influencia de factores externos en la calidad del producto.....	28
4.2.4 La cebolla como un sistemas biológico. ....	30
4.2.4. La Dinámica de Sistemas como herramienta descriptiva del cambio la calidad de la cebolla. ....	31

---

5	METODOLOGÍA.....	35
5.1	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA Y ANÁLISIS COMPARATIVO .....	35
5.1.1	Identificación del entorno del cultivo de cebolla.....	36
5.1.2	Toma de muestras.....	37
5.1.3	Análisis fisicoquímicos y microbiológicos .....	38
5.1.4	Métodos de composición general.....	40
5.2	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DINÁMICA .....	42
5.2.1	Análisis estadístico. ....	42
5.2.2	Establecimiento del Diagrama Causal.....	42
5.3	FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	43
5.4	SIMULACIÓN DEL MODELO Y EVALUACIÓN DEL MODELO .....	44
5.5	EXPERIMENTACIÓN CON EL MODELO.....	44
5.6	DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA.....	45
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
6.1	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA Y ANALISIS COMPARATIVO .....	47
6.1.1	Identificación del entorno de cultivo y la cosecha de cebolla .....	47
6.1.2	Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de deterioro de cebolla larga .....	51
6.3	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DINÁMICA .....	56
6.3.1	Análisis estadístico y del comportamiento del producto en cosecha empaque y transporte .....	56
6.3.2	Construcción del modelo para la pérdida de calidad de cebolla .....	61

---

6.4	FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN .....	66
6.5	SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MODELO .....	72
6.5.1	Resultados cebolla cosechada .....	74
6.5.2	Resultados cebolla empacada.....	76
6.5.3	Resultados cebolla transportada .....	78
7	CONCLUSIONES .....	79
8	RECOMENDACIONES.....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	82

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de la cebolla larga .....	22
Figura 2. Diagrama para la construcción de un modelo representativo de un sistema biológico real.....	31
Figura 3. Diagrama causal ciclo de realimentación (retroalimentación) .....	33
Figura 4 Diseño experimental para mediciones fisicoquímicas y microbiológicas de la cebolla larga .....	40
Figura 5. Sembrado de Cebolla en Aquitania .....	48
Figura 6 Proceso de cosecha .....	48
Figura 7. Proceso de empaque.....	49
Figura 8. Situación actual de transporte .....	50
Figura 9. Almacenamiento y tratamiento de pelado de cebolla .....	51
Figura 10. Variación de la Firmeza en función de la humedad en el producto .....	54
Figura 11. Variación de la acidez en función del pH .....	59
Figura 12. Diagrama general de modelado en cebolla .....	62
Figura 13. Diagrama para la const.....	62
Figura 14. Diagrama causal pérdida de calidad de cebolla en cosecha .....	64
Figura 15. Diagrama causal pérdida de calidad de cebolla empacada .....	65
Figura 16 Diagrama causal pérdida de calidad de cebolla empacada .....	65
Figura 17. Diagrama de Forrester cebolla cosechada.....	66

---

Figura 18 Diagrama Forrester Sección calidad hongos para la cebolla cosechada .....	67
Figura 19. Diagrama de Forrester cebolla empacada .....	70
Figura 20. Diagrama de Forrester cebolla transportada.....	71
Figura 21. Datos experimentales Nivel de hongos en función del tiempo de almacenamiento .....	73
Figura 22. Modelo de simulación Nivel de hongos en el tiempo.....	73
Figura 23. Comportamiento de la Calidad en Mesófilos.....	74
Figura 24. Comportamiento de la calidad en pH .....	74
Figura 25. Calidad Total Remanente cebolla cosechada.....	75
Figura 26. Calidad remanente microbiológica (mesófilos) en empaque.....	76
Figura 27. Calidad remanente microbiológica (mesófilos) en empaque .....	77
Figura 28. Calidad remanente total para cebolla Transportada .....	78

## RESUMEN

La cebolla (*Allium fistulosum*) es altamente perecedera debido a sus condiciones intrínsecas como contenido de humedad, alta tasa metabólica entre otras, y a los factores externos a los que esté expuesta durante los procesos de cosecha y post- cosecha entre ellos el empaque y transporte. El objetivo de esta investigación fue describir el impacto que tiene el actual sistema de empaque y transporte entre Aquitania y Bogotá sobre la calidad de cebolla larga (*allium fistulosum*) cosechada, utilizando la integración de análisis fisicoquímicos y microbiológicos; y el uso de un modelo en dinámica de sistemas, realizando la cuantificación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de cebolla larga durante 8 días de almacenamiento a temperatura ambiente. Se utilizó cebolla cultivada en Aquitania, Boyacá Colombia, sometida a los actuales sistemas de cosecha empaque y transporte, de acuerdo como se realiza en este municipio y en Corabastos. Posterior a su recolección se trasladó al laboratorio de la Universidad de La Sabana donde se almacenó en condiciones: Humedad relativa 68% y a 16°C, durante el tiempo de análisis que correspondió a 8 días. Los cambios en la calidad del producto estuvieron determinados en su mayoría por el aumento en el recuento de mesófilos para la cebolla cosechada y empacada; y cambios en la firmeza de la cebolla transportada. Adicionalmente, se observó que el aumento en el deterioro del producto fue mayor, para la cebolla transportada con respecto al producto cosechado, esto responde al daño acumulativo de los tratamientos posteriores a la cosecha: empaque y transporte.

Se realizó un análisis estadístico que definió el cambio de las variables medidas durante el tiempo de estudio para cada una de las etapas analizadas (cosecha, empaque y transporte) y de esta forma la influencia de dichas variables en el deterioro total del producto para cada etapa. Con esta información se planteó un modelo en dinámica de sistemas, el cual describe la pérdida de calidad del producto en las diferentes etapas, mediante el análisis de las relaciones existentes de variables relevante en cosecha y empaque como: la relación inversa entre pH y acidez, además del el bucle positivo que se presenta entre la calidad total de producto y el crecimiento microbiano.

## INTRODUCCIÓN

En el marco de la convocatoria para el apoyo de proyectos de cierre de brechas tecnológicas sector hortofrutícola 2008-2009 entre Colciencias y la Cámara de Comercio de Bogotá, la Universidad de La Sabana planteó el proyecto “*Diseño de un sistema de valorización de cebolla junca como hortaliza pre cortada lista para consumo*”. Cuyo objetivo general fue diseñar equipos para la limpieza y adecuación de cebolla, desde el momento que entra a una planta de procesamiento. Durante el desarrollo del proyecto investigativo planteado para Colciencias, se observaron las diferentes condiciones de manejo en cosecha y pos cosecha de la cebolla larga, lo cual llevó a identificar cuáles de éstas condiciones podrían tener influencia en la pérdida de calidad del producto sobre variables de respuesta fisicoquímicas y microbiológicas. Por esta razón, se planteó el presente proyecto de grado de Maestría, en el cual se tienen en cuenta dos de los factores actuales del proceso de pos cosecha como son las condiciones de empaque y el transporte de la cebolla, estudiados en dos fincas del municipio de Aquitania (Departamento de Boyacá, República de Colombia).

El agro sector hortícola es estratégico en el mercado global, esencialmente porque las tendencias de consumo están reconociendo cada vez más el aporte que las hortalizas tienen en la nutrición y la salud de la población. Sin embargo, el acceso al mercado hortícola está delimitado por el cumplimiento efectivo de medidas regulatorias en orden a calidad, inocuidad y sostenibilidad (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Universidad Nacional de Colombia., 2010). Es por eso que una descripción del comportamiento en la calidad de la cebolla resultante de los actuales procesos de post cosecha permitirían plantear futuras estrategias, que ayuden a minimizar pérdidas en estos procesos de acuerdo con las variables más relevantes para el deterioro de este producto.

En la primera parte del documento se encuentran los objetivos de la realización del estudio, seguido por un marco conceptual que presenta una explicación de los procesos que se realizaron durante el estudio, para posteriormente presentar la metodología usada en la investigación y los resultados y conclusiones de la misma.

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el planteamiento del problema de investigación del presente estudio se observó que la comercialización de cebolla (*Allium fistulosum*) en su gran mayoría se realiza sin o con un mínimo valor agregado (Pinzon, 2009). Es de anotar que la producción de esta cebolla es típicamente estacional, lo cual genera variaciones en los precios, restándole competitividad al cultivo, por lo cual es importante generar tecnología para su almacenamiento (Baez & Diaz, 2005) (Herrera, Sanchez, & Peña, 2006).

La cebolla larga fresca durante los procesos de empaque (Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural, 2007) y transporte (de Aquitania a la Central Mayorista de Abasto de Bogotá - CORABASTOS) sufre deterioro en sus características de calidad que no han sido cuantificadas, por lo que es importante determinar la influencia que tienen estos dos factores en el envejecimiento del producto y abrir una posibilidad para que nuevos estudios usen estos resultados investigativos para plantear soluciones.

Adicionalmente, a pesar de la importante producción de cebolla larga en Colombia (291.305 ton/año) y del uso de modelos matemáticos para determinar vida útil en diferentes productos (James, James, & Evans, 2006), y de poderse considerar la calidad de un producto alimenticio como un sistema que se encuentra en constante cambio (Caez G. , 2008), hasta el momento no se han encontrado reportes del uso de la Dinámica de Sistemas para estudiar la pérdida de calidad que sufre la cebolla larga con los procesos de empaque y transporte. Al ser esta una metodología usada para estudiar el comportamiento de sistemas, mediante la construcción de modelos de simulación para sistemas complejos, y teniendo en cuenta que la cebolla como producto alimentario es un sistema diverso (Caez G. , 2008), se plantea usar la dinámica de sistemas como una herramienta descriptiva a los principales indicadores de pérdida de calidad que tiene la cebolla (*Allium fistulosum*) al almacenarse a temperatura ambiente. Por tanto es un estudio novedoso ya que integra el análisis fisicoquímico con una herramienta de modelación matemática que ha sido usada adecuadamente en la predicción de vida útil de productos alimenticios perecederos.

En razón a los problemas identificados la presente investigación buscó resolver la siguiente pregunta de investigación:

*¿Qué efecto tiene los procesos de empaque y transporte actual de la cebolla larga en su pérdida de calidad?*

### **1.1 ALCANCE**

El presente estudio se basa en los resultados obtenidos en el proyecto “*Diseño de un sistema de valorización de cebolla junca como hortaliza precortada lista para consumo.*” contrato 2333 Patrocinado por Colciencias y la Cámara de Comercio de Bogotá. En el cual se identificaron cambios en la calidad de la cebolla que podrían ser causados por los procesos empaque y transporte entre Aquitania y Bogotá y condiciones de almacenamiento (Sotelo, González, Moreno, & Agudelo, 2011).

En esta investigación se cuantificaron algunos factores que influyen negativamente en la calidad del producto como son: humedad, pH, acidez, firmeza, carga microbiana. Las mediciones fueron efectuadas al producto sin lavar y en ningún momento se le realizó un proceso de limpieza como lo establece la normatividad en vegetales frescos para el consumo humano, ya que se quiso determinar las condiciones actuales reales a las que está sometida la cebolla y su efecto sobre la calidad.

### **1.2 HIPÓTESIS**

La hipótesis planteada en la investigación sugiere que el método de empaque y transporte usado actualmente en la cebolla larga proveniente de Aquitania Boyacá, tienen una influencia en la pérdida de calidad del producto que ha sido cosechado y que no ha tenido procesos de limpieza y lavado.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la convocatoria para el apoyo de proyectos de cierre de brechas tecnológicas sector hortofrutícola 2008-2009 entre Colciencias y la Cámara de Comercio de Bogotá, la Universidad de La Sabana planteó el proyecto “*Diseño de un sistema de valorización de cebolla junca como hortaliza pre cortada lista para consumo*” en el cual se encuentra como uno de sus resultados de investigación la formación de un joven investigador: Un estudiante de maestría en diseño y gestión de procesos.

En el marco del planteamiento de este proyecto se observó que podría haber una influencia entre las condiciones manejadas en cosecha y post cosecha, y el posterior deterioro de la cebolla y pérdida de calidad, por esta razón se plantea el presente proyecto de grado. El cual puede brindar beneficios a los productores y comercializadores, así como a los consumidores y la economía del sector.

Los cambios en los requerimientos de la demanda se observan precisamente, a raíz de las exigencias que realiza Corabastos a los cultivadores de cebolla, para que modifiquen el método de embalaje del producto con el fin de disminuir pérdidas, desechos de tierra y material extraño. Cuando la cebolla larga va dirigida al mercado mayorista, su manejo post cosecha es mínimo y se limita al corte de raíces, armado de la rueda, lo cual incluye el descalcete de algunas cebollas y el doblado de unos gajos para colocarlos en la parte media de la rueda y así darle forma. Para la venta a supermercado se le exige al comercializador tener un embalaje diferente y el acondicionamiento en este caso consiste en el corte de la raíz, la limpieza o descalceteado, el corte parcial del follaje y el empaque (Corpoica 2004)

La investigación en el proceso de pos cosecha, específicamente para el transporte permitirá presentar posibles soluciones a los problemas para los comercializadores de la región de Bogotá y se abre las puertas a la generación de industrias asociadas, impactando directa e indirectamente a la economía local.

La falta de competitividad en Colombia en el sector agroindustrial se refleja en los indicadores de generación de empleo directo del sector agroindustrial, donde el 93% es generado por el sector agrícola y el 7% restante en las actividades agroindustriales relacionadas. El sector de cebolla larga o de rama (*Allium fistulosum*) no es ajeno a esta

realidad, Bogotá recibe 174.780 ton/año de las 291.305 ton/año cultivadas en el país, convirtiéndola en el principal centro de acopio y distribución de cebolla del país con al menos el 60% de la producción nacional. Sin embargo la calidad del producto es mínima, debido a la carencia de un proceso de post cosecha adecuado, al tener un producto sucio, de corta vida útil (2-3 días), con mercado limitado y sin posibilidades de expansión ni de generar por si solos productos derivados.

Los beneficios para los comercializadores y distribuidores estarían fundamentados en cebolla de mejor calidad, apertura hacia mercados institucionales y al desarrollo de productos derivados; lo anterior permitiría proyectar a Bogotá como un generador de valor en la industria de la cebolla y no solo como el eslabón final de la cadena productiva. El beneficio sobre los productores sería un aumento de la demanda, lo que impulsaría la producción ya que el mayor productor de cebolla del país es Aquitania, el impacto social de la mejora estaría en esta región donde se producen 571.050 jornales anuales y la producción genera el 40% de los ingresos de la economía de la región, cifra del orden de \$373.800 millones de pesos anuales (impacto social Aquitania).

En la actualidad el 75.29 % de la producción nacional de cebolla larga se concentra en el departamento de Boyacá (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. CCI, 2008) que equivale a 219.338 toneladas al año. De esta producción, el 80 % (5.470 ton/año) es distribuida y consumida en la ciudad de Bogotá (DANE, 2001).

La cebolla larga (*Allium fistulosum*) se muestra como un producto de producción y comercialización local, con procesos artesanales o con bajo desarrollo a escala industrial. La FAO (Kitinoja, L y Kader, A., 2002) ofrece un manual para el manejo de pos cosecha que se puede aplicar a diferentes productos sin embargo es un manual del cual solo se pueden aplicar algunos principios a cebolla larga y está orientado a producción en pequeña escala, por esta razón se desea estudiar más a fondo la cebolla larga evidenciar cuantitativamente los parámetros que ya se han definido como responsables de la pérdida de calidad del producto Pero no ha sido medido su efecto sobre esta.

Al ser la Dinámica de Sistemas una metodología usada para estudiar el comportamiento de los sistemas, mediante la construcción de modelos de simulación para sistemas complejos, y teniendo en cuenta que la cebolla como producto alimentario es un sistema

diverso (Caez, 2008) se plantea aplicar este método a los principales indicadores de calidad que tiene la cebolla (*Allium fistulosum*) al almacenarse a temperatura ambiente.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Describir el impacto que tiene el actual sistema de empaque y transporte entre Aquitania y Bogotá sobre la calidad de cebolla larga (*allium fistulosum*) cosechada, utilizando la integración de análisis fisicoquímicos, microbiológicos y el uso de un modelo en dinámica de sistemas.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de deterioro de cebolla larga.
- Establecer los principales cambios de calidad en tres diferentes condiciones de entorno para la cebolla, como son: cosecha, empaque y transporte.
- Describir el comportamiento de calidad de cebolla larga en condiciones de cosecha, empaque y transporte por medio de un modelo en dinámica de Sistemas.

#### 4. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presentan los antecedentes encontrados en la revisión bibliográfica realizada, y el marco teórico en el cual se evidencian las bases conceptuales que se tuvieron en cuenta en el desarrollo de la presente investigación.

##### 4.1 ANTECEDENTES

En Colombia se han realizado estudios en cebolla larga como el de Medina (Medina & Villamizar, Evaluación de pérdidas en la poscosecha de la cebolla junca (*Allium fistulosum*), 2004), los cuales muestran que la actual técnica de empaque de cebolla de los gajos en ruedas produce una pérdida del 25%, el deterioro no se presentó por las condiciones ambientales del transporte sino por cortes y doblamientos de los gajos que sufrieron por prácticas inapropiadas de manipulación.

El estudio realizado por Pinzón (Pinzon, 2009), evidencia que los factores tecnológicos de la producción de cebolla larga se caracterizan por la baja sostenibilidad y competitividad, relacionadas principalmente con una compleja problemática sanitaria y de deterioro de los recursos ambientales, que resultan en bajos rendimientos y obligan al uso intensivo de agroquímicos. Esta situación ha desplazado el cultivo a muchas zonas (caso de Boyacá), elevando exageradamente los costos de producción, agudizando los procesos de deterioro ambiental y acentuando los riesgos para la salud humana.

Respecto al uso de los modelos matemáticos en la descripción de la pérdida de calidad de productos frescos, existen algunas investigaciones en las que se obtienen modelos de predicción de vida de anaquel, debido a la importancia que tiene la calidad de un producto por ser el conjunto de propiedades que influyen en el grado de aceptación que tiene el consumidor por un alimento (Salinas, González, Pirovani, & Ulin, 2007). La modelación de deterioro de la calidad de vegetales frescos no ha sido un área tan estudiada como la de otros productos alimenticios ya que son productos novedosos en la industria alimenticia (Salinas, González, Pirovani, & Ulin, 2007).

La mayoría de modelos planteados para alimentos están relacionados con los métodos de transporte de los mismos, como los que tienen en cuenta la transferencia de calor y masa durante este proceso, así como la implementación de sistemas de refrigeración y su impacto en la conservación del alimento (James, James, & Evans, 2006). Otros estudios analizan la dinámica de la cadena de suministro de productos no perecederos cuya intención es ser capaz de soportar decisiones estratégicas para la configuración de la cadena de suministro mejorada mediante la investigación del impacto de la demanda de los clientes y la oferta, plazos requeridos en la entrega y el desempeño de la cadena de suministro (Kumar & Nigmatulin, 2011).

En Colombia, la Dinámica de Sistemas se ha usado para modelar procesos con los alimentos pero en su mayoría están enfocados a la cadena de suministro, como el estudio realizado por Vergara (Vergara, Amezcuita, & Maza, 2007), sobre Análisis de las Cadenas Productivas Agroindustriales Bajo la Óptica de la Dinámica de Sistemas: Una Aproximación al Caso de las Cadenas Productivas Agroindustriales en el Departamento de Bolívar, en el cual se planteó la metodología de simulación de cadenas productivas como parte de la construcción teórica y modelación de sistemas, ya que las cadenas productivas agroindustriales se manifiestan como cadenas de suministros, que no están descritas por una sola secuencia lineal; el producto no sigue una línea directa entre el productor y cliente final, en ella pueden existir saltos entre actores, haciendo más compleja su modelación, lo cual llevó a usar la dinámica de Sistemas.

Para las nuevas investigaciones en deterioro de vegetales frescos es un reto desarrollar modelos matemáticos que se conviertan en herramientas útiles para predecir el deterioro de un producto y estimar la vida de anaquel del mismo con base en parámetros previamente establecidos. Del mismo modo se debe tener en cuenta metodologías que permitan obtener intervalos confiables de calidad óptima a partir de dichos modelos y considerar en estos los diferentes criterios de deterioro (Salinas, González, Pirovani, & Ulin, 2007).

En el caso específico de la vida útil de un producto alimenticio y cambios en su calidad, se encuentra el estudio realizado por Caez 2008, en el cual por medio de Dinámica de Sistemas se modelaron los factores fisicoquímicos determinantes en la estabilidad de un producto funcional Gama V. Los resultados de dicha investigación arrojan que la estabilidad de un producto alimenticio está establecida desde su inicio, pues allí se

determina el riesgo de deterioro del mismo, y para minimizar estos procesos es necesario evaluar cada tipo de alimento, pues no existe una teoría universal que modele todos los cambios de calidad en los alimentos. Esta investigación concluye que la Dinámica de Sistemas podría ser empleada para el seguimiento de la vida útil de los productos en góndola.

Los resultados del estudio realizado por Caez en el 2008, en los cuales logra explicar el comportamiento de pérdida de calidad de un producto de origen biológico por medio de la Dinámica de Sistemas, son un punto de partida para la utilización de esta metodología en el seguimiento de la calidad de cebolla larga; con el fin de determinar la influencia que tienen los procesos de empaque y transporte actuales sobre el deterioro del mismo.

La simulación es uno de los caminos más apropiados para comprender como funciona un sistema complejo, donde participan diferentes factores caracterizados por variables Interrelacionadas (Vergara, Amezquita, & Maza, 2007). Una de las metodologías de simulación, que permite analizar sistemas complejos con bajos requisitos matemáticos y de programación, es la Dinámica de Sistemas, creada por Jay Forrester entre los años 1950 y 1960 en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) (Vergara, Amezquita, & Maza, 2007). Investigaciones como las de Caez., 2008 han demostrado que la simulación con Dinámica de Sistemas es un método apropiado para predecir y explicar el comportamiento en la calidad de un alimento.

Como se ha mostrado, existen algunos estudios que buscan evidenciar la problemática del actual sistema de empaque y transporte en la calidad de la cebolla larga, sin embargo no se han realizado mediciones en el tiempo que permitan cuantificar de manera clara estas pérdidas. De igual forma los estudios de modelos en sistemas biológicos que fueron encontrados no tienen en cuenta el deterioro de este producto fresco (*Allium fistulosum*) que aunque es un vegetal; tiene características intrínsecas específicas y condiciones de manipulación propias del sector al que pertenece que deben ser estudiadas independientemente.

## 4.2 MARCO TEÓRICO

En el desarrollo del presente estudio, son importantes los conceptos de cebolla, pérdida de calidad de productos perecederos, cambios fisicoquímicos, cambios microbiológicos, influencia de factores externos en la calidad del producto, la cebolla como un sistema biológico y la dinámica de sistemas como herramienta de modelación.

### 4.2.1 La cebolla (*Allium fistulosum*).

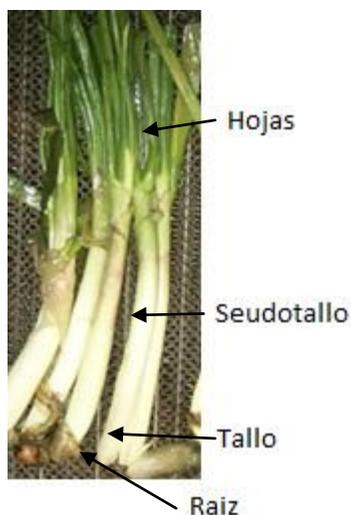
La Materia Prima usada en esta investigación, es *Allium fistulosum*, denominada en Colombia como cebolla larga o cebolla junca, también conocida comúnmente en otros países como cebolla de rama, cebolla de hoja, cebolla de invierno, cebolla de verdeo, cebolla china, cebollita, cebolleta, cebollín, cebollino o cebollino inglés.

La clasificación de la materia prima que se estudia es la siguiente:

Clase: Monocotiledoneae  
Superorden: Lliflorae  
Orden: Asparagales  
Familia: Alliaceae  
Tribu: Alliae  
Género: Allium  
Especie: Fistulosum

En la figura 1 se encuentra la estructura de la cebolla de rama, con base en esta se puede explicar que en el cultivo de este producto las partes que se encuentran bajo la tierra son la raíz el tallo y el seudotallo, de forma que lo único que sobresale son la hojas.

**Figura 1** Estructura de la cebolla larga



Fuente: Autor

La cebolla cultivada en Aquitania no utiliza empaque estándar para su protección en el transporte y manipulación, el único procedimiento al que se somete es un pelado superficial y un posterior empaque en ruedas de 50 Kg de peso que facilitan su manipulación pero no le brindan protección contra daños mecánicos (Granados & Guzman, 2003), a esta manera de protección del producto se le denomina **“Empaque”** en la presente investigación.

La calidad de un producto inicia desde la materia prima, por lo cual en cada parte del proceso se debe mantener su calidad, la etapa inicial del procesamiento de cebolla larga es el transporte de la materia prima, estudios locales muestran que la técnica de empaque de los gajos en ruedas que actualmente se usa para el transporte entre la finca y la ciudad produce una pérdida del 25% de la calidad del producto en comparación con el 3% obtenido al empacar los gajos en cajas plásticas; según el estudio, el deterioro no se presentó por las condiciones ambientales del transporte sino por cortes y doblamientos (Medina & Villamizar, Evaluación de pérdidas en la poscosecha de la cebolla junca (*Allium fistulosum*), 2004).

De acuerdo con la normatividad colombiana (NTC 1222) la cebolla puede ser empacada en costales de fique u otro material flexible nuevo con dimensiones de 80 cm de longitud y 70 cm de diámetro, también se sugiere empacarla en canastas plásticas con capacidad máxima de 30 Kg. En el caso de los empaques plásticos se debe contar con una ventilación adecuada que permita el intercambio de gases para evitar la alta concentración de etileno, dióxido de carbono y exceso de humedad (NTC 5422). Las dimensiones de la base de los empaques deben modularse para las estibas empleadas en las normas internacionales; como son: 1200mm\*800mm para las normas europeas o 1200mm\*1000mm para las normas de Estados Unidos, adicionalmente, la altura del empaque debe garantizar la protección del producto que se encuentra en la parte inferior del empaque (NTC 5422). Los conteos microbianos para la cebolla están determinados de acuerdo a lo estipulado en la NTC 1291 y el Decreto 1840 de 1994 del Ministerio de Salud, el cual establece que para hortalizas frescas se deben tener en cuenta los conteos máximos estipulados en la Normatividad de la Organización mundial de la Salud: “Quality control methods for medicinal plants materials” de 1998, en la cual se establecen unos límites máximos para plantas cosechadas en condiciones asépticas que son: Mohos y levadoras  $10^5$  UFC/gr, Bacterias aerobias  $10^7$  UFC/gr y E-coli  $10^4$  UFC/gr, no se encontró parámetro de referencia para los coliformes totales. Aunque estos estándares, son los de referencia, no se ajustan exactamente a las condiciones de la cebolla de estudio, ya que esta no es cosechada en condiciones apropiadas y tiene una contaminación microbiana alta; debido a el tipo de abono que se usa para su cultivo (gallinaza sin compostar) y a las condiciones de cosecha alejadas de las Buenas Prácticas Agrícolas.

#### **4.2.2 Pérdida de calidad en productos perecederos.**

La predicción de la calidad para los productos alimenticios es una actividad compleja, debido a la gama de atributos de calidad, la dinámica de las características del producto y condiciones de almacenamiento (Xiaojun & Dong, 2012). La mayoría de los enfoques utilizados en los modelos de predicción de calidad, se basan en la premisa de que existe una característica de calidad importante para el producto específico (Peneau & Brockhott, 2007).

En el caso de los alimentos perecederos la frescura se constituye en una característica muy importante para los proveedores de alimentos, y es un criterio de aceptación al

momento de elegir una fruta o vegetal. Es por esto que los consumidores seleccionan en primer lugar los productos más frescos.

La definición de frescura se ha discutido por varios autores y ésta involucra dos principales componentes (1) propiedades sensoriales entre ellas firmeza, que es una característica de textura, presencia de colores brillantes, ausencia de defectos visuales, olores indeseables; (2) tiempo, ejemplo recientemente cosechada o troceada (Sandrine & Peneau, 2008).

El modelo cinético es el método más común para la determinación de la vida de anaquel de un producto (Taoukis & Labuzza, 1989), y los cambios que tiene el mismo en su frescura. De otro lado la calidad aceptable de un producto es definida como la calidad que es mayor al punto máximo de rechazo por parte del consumidor (Van & Phan, 2008); debido a esto, se han desarrollado técnicas para determinar las propiedades físicas como la firmeza, que establecen la calidad sensorial de un producto (González, Caez, Moreno, Rodriguez, & Sotelo, 2011), y otras propiedades como la humedad y la acidez. Con base en lo descrito anteriormente para los alimentos perecederos, la calidad del producto puede describirse desde el punto de vista de dinámica de sistemas en un concepto de vida útil remanente (100%- calidad perdida).

Un vegetal fresco de buena calidad presenta apariencia fresca, firmeza aceptable, buen sabor y olor, seguridad microbiológica y vida útil suficiente que le permita ser sometido a un sistema de distribución apropiado para el mismo (Martin-Belloso & Rojas-Grau, 2005). La vida de anaquel de este tipo de productos está limitada por la naturaleza perecedera del mismo, los distintos tratamientos al que se somete el producto influyen significativamente en los diferentes mecanismos de alteración a provocar cambios físicos y fisiológicos (Salinas, González, Pirovani, & Ulin, 2007). Los principales síntomas de deterioro son cambios en firmeza (por pérdida de turgencia), en el color (por oscurecimiento enzimático en la superficie) y rápido desarrollo microbiano (Gorni, 2001).

Entre los cambios intrínsecos que tiene un producto perecedero se encuentran los fisicoquímicos, sensoriales y microbiológicos.

#### 4.2.2.1 Cambios Físicoquímicos.

Los cambios físicoquímicos en el producto son principalmente, variación de acidez y pH, así como el oscurecimiento enzimático y cambios resultantes de la tasa respiratoria del vegetal.

En cuanto a las propiedades físicoquímicas de acidez y pH en la cebolla larga, su importancia se da no solo por el efecto que estas pudieran tener en el sabor del producto o en su comportamiento dentro del cuerpo humano, si no por su influencia en el deterioro del mismo debido al crecimiento microbiano.

La acidez en la cebolla como en otros alimentos, se deriva básicamente de los ácidos orgánicos e inorgánicos que pueden estar presentes. Sin embargo el factor de importancia en el crecimiento de los organismos es el pH más que la acidez; por lo cual es necesario distinguir entre ambos conceptos.

La acidez está relacionada con los grupos carboxílicos y las hidrogenaciones presentes y normalmente se determina por titulación con un álcali fuerte como NaOH en un potenciómetro. Entre los ácidos más frecuentes en los alimentos que proporcionan acidez están: los ácidos cítricos, láctico, málico, tartárico. El pH en cambio mide la presencia de hidrogenaciones radicales libres de hidrogeno (H+) en el producto.

$$pH = -\log (H+)$$

Los ácidos débiles que se encuentran presentes en los alimentos contribuyen a la acidez, pero afectan poco el pH. La mayoría de los alimentos, presentan pH entre 2-7. Los microorganismos presentan valores de pH máximos y mínimos de crecimiento por debajo de los cuales no se desarrollan. Las bacterias crecen mejor en alimentos con pH cercanos a la neutralidad 6-7, mientras que los mohos y levaduras soportan pH menores (4,5-6). Este efecto del pH en los microorganismos es usado para controlar su crecimiento en los alimentos. (Barreriro & Sandoval, 2006).

Como lo menciona (Batista, 2007) con el proceso de madurez de las hortalizas estas pierden rápidamente la acidez, pero en algunos casos hay un pequeño aumento cuando se presenta la maduración. Por este fenómeno la acidez puede ser utilizada, junto con los

sólidos solubles como punto de referencia de grado de madurez de una hortaliza (Chitarra & Chitarra, 2005).

Los cambios fisicoquímicos que sufren los vegetales frescos, entre ellos la cebolla (*allium fistulosum*), van a determinar la calidad del producto después de su cosecha, pero también es importante analizar otro tipo de cambios que experimenta el vegetal y que son importantes para el consumidor.

#### **4.2.2.2 Cambios físicos que son percibidos sensorialmente.**

Las características sensoriales determinan la decisión de compra de un producto por parte del consumidor (Salinas, González, Pirovani, & Ulin, 2007), los atributos sensoriales están dados por el aroma, sabor, olor y apariencia, por tal razón deben tenerse en cuenta cuando se determina la vida de anaquel de un producto perecedero (Beaulie & Baldwin, 2001). El color y la uniformidad son características importantes para determinar la calidad de un vegetal y se utiliza como índice de frescura, palatabilidad y valor nutricional del producto ya que se relaciona con la intensidad del sabor (Salinas, González, Pirovani, & Ulin, 2007).

La calidad aceptable de un producto es definida como la calidad que es mayor al punto máximo de rechazo por parte del consumidor, (Van & Phan, 2008). Debido a esto, se han desarrollado técnicas para determinar las propiedades físicas como la firmeza, que establecen la calidad sensorial de un producto y la humedad.

Textura se determina en muchas formas (nitidez, dureza, harinosidad, firmeza, entre otros (Harker, Stec, Hallet, & Bennett, 1997) y el consumidor tiene una expectativa de que los procesos que ha sufrido un producto no interfieran con lo que él espera del mismo. Existen varios aspectos de la textura que se pueden cuantificar, en particular los relacionados con las propiedades mecánicas. Para el consumidor, hay dos factores que son importantes en la sensación que tiene en la boca cuando consume frutas o vegetales: firmeza y jugosidad (Toivonen & Burmmell, 2007).

La firmeza de los vegetales está determinada por la turgencia del tejido, asociada al contenido de agua, así como la actividad de distintas enzimas que producen cambios en los componentes de la pared celular del producto, lo cual se manifiesta como

ablandamiento del vegetal (Mercado-Silva & Aquino-Bolaños, 2005). Así mismo, se determina en gran parte por la anatomía física del tejido, particularmente el tamaño y forma de las células, el espesor y resistencia de la pared celular, y la medida de adhesión célula a célula, junto con el estado de turgencia. Muchos de estos factores están relacionados entre sí.

De la misma forma que la firmeza, la humedad en el producto es un factor que brinda al consumidor la sensación de frescura de una hortaliza, por esta razón; la pérdida de humedad en la cebolla y su correspondiente marchitamiento, es uno de los cambios que se observa sensorialmente como disminución de calidad. Puesto que estas tienen un 80-95% de agua y pierden humedad rápidamente. Una pérdida de humedad del 3-6% es suficiente para provocar un marcado deterioro de la calidad de productos hortícolas entre ellos la cebolla. Por esta razón es importante determinar la pérdida de humedad que sufre el producto durante su almacenamiento en condiciones ambientales y a causa de los procesos de empaque y transporte.

#### **4.2.2.3 Cambios microbiológicos.**

Adicional a los cambios en firmeza, los vegetales frescos tienen un deterioro microbiano más acelerado que el de productos con tecnologías de procesamiento mayores (Johnson, 2005). La carga microbiana inicial de estos productos depende de la materia prima, las prácticas agrícolas, las condiciones de la recolección y el procesamiento. Existe una relación directa entre la presencia de grandes poblaciones de microorganismos y la calidad de vegetales frescos, entre ellos la cebolla larga, estudios en estos productos han revelado que los factores que influyen en el crecimiento microbiano son (Zabory, 1999):

- Daños en los tejidos que deterioran el producto rápidamente y ofrecen un mayor sustrato para el crecimiento microbiano.
- La temperatura de almacenamiento controla el crecimiento microbiano cuando ésta es inferior a 5°C.
- La presencia de humedad libre en los fluidos celulares y la superficie reducen la vida útil del producto.

Entre los microorganismos que atacan a los vegetales frescos se encuentran:

- a) **Coliformes totales.** Pertenecen a la familia Enterobacteria y se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, en un periodo de 48 horas y con una temperatura de incubación de 30-37°C. Su presencia en alimentos representa mala calidad higiénica en el proceso, falta de higiene de los manipuladores o recontaminación después del proceso y son indicadores de la presencia de microorganismos potencialmente patógenos.
- b) **Mesófilos aeróbios.** En el recuento de mesófilos aerobios se estima la flora total, pero sin especificar tipología. El conteo de estos microorganismos tiene gran importancia en análisis de calidad de productos por los siguientes aspectos: procedimientos de limpieza y desinfección; determinación de temperaturas aplicadas en los procesos; origen de la contaminación durante los procesos de elaboración de alimentos; condiciones óptimas de almacenamiento y transporte; información acerca de la vida útil de los alimentos.
- c) **Hongos y Levaduras.** La presencia de hongos y levaduras, viene dada no solo por su alta capacidad de deterioro, pérdida del valor nutricional y las propiedades organolépticas, sino por su potencial para producir una gran variedad de micotoxinas a las que el hombre tiene susceptibilidad, así como su capacidad para provocar infecciones e, incluso, reacciones alérgicas en personas hipersensibles a los antígenos fúngicos (Pascual Anderson, 2000).

#### 4.2.3. Influencia de factores externos en la calidad del producto

Uno de los puntos críticos en el deterioro del producto son los daños producidos por prácticas inapropiadas de manipulación, las cuales son acumulativas durante sus etapas de pos cosecha (Granados & Guzman, 2003). Estudios locales muestran que la técnica de empaque de los gajos en ruedas, que actualmente se usa para el transporte entre la finca y la ciudad, produce una pérdida del 25%, según el estudio el deterioro no se presentó por las condiciones ambientales del transporte sino por cortes y doblamientos (Medina &

Villamizar, Evaluación de pérdidas en la poscosecha de la cebolla junca (*Allium Fistulosum*)., 2004).

Sumado a los malos procesos de manipulación se observa en la región una problemática social, que teniendo como única fuente de ingreso del municipio de Aquitania la cadena de Cebolla, conlleva condiciones laborales desfavorables por la falta de estabilidad y seguridad social, en las cuales predomina el trabajo a destajo haciendo que el cultivador deba terminar rápidamente su trabajo para ir a buscar el trabajo del día siguiente. Todo esto hace que al no tener un sentido de apropiación, el campesino piense en terminar rápidamente su jornada laboral descuidando la calidad del producto (Sotelo, González, Moreno, & Agudelo, 2011)

La cebolla larga se encuentra en crecimiento activo en el momento de su recolección, llevándola a tener una tasa metabólica alta y escasas reservas alimenticias; adicionalmente, durante el acondicionamiento existen procesos que contribuyen a incrementar la tasa respiratoria y por ende a disminuir la vida útil del producto, dentro de estas actividades se encuentra el corte de raíces, extremo de las hojas y eliminación de calcetas. Por estas razones es necesario tener condiciones de manipulación mínimas, entornos óptimos de humedad relativa, temperatura y atmosfera, empaques adecuados y transporte bajo condiciones higiénicas (Corpoica, 2001).

Los procesos de cosecha y pos cosecha de cebolla que se realizan actualmente se hacen de forma manual sin tener en cuenta condiciones apropiadas para disminuir pérdidas en el producto por mala manipulación debida a los procesos de empaque y transporte (Medina & Villamizar, Evaluación de pérdidas en la poscosecha de la cebolla junca (*Allium Fistulosum*)., 2004). El deterioro del producto se observa en ramas y hojas partidas producto de los procesos que son realizados por campesinos de la región (Corpoica, 2001).

Para obtener una cebolla de buena calidad se requiere técnicas que reduzcan la presencia de microorganismos deteriorativos y patógenos; la combinación de buenas prácticas Agrícolas y de manufactura, transporte y almacenamiento en refrigeración y tecnología de empaques se aplican para mantener la calidad al reducir el riesgo microbiológico y un método de descontaminación que pueda reducir la carga microbiana es útil para la extensión de vida útil siempre y cuando no afecte la calidad sensorial (Gómez-López, 2009).

#### 4.2.4 La cebolla como un sistemas biológico.

Para conocer la composición de un alimento, un análisis clásico suministra la simple suma aritmética de sus componentes principales; pero fuera de este examen del alimento desde un punto de vista estático, se debe tener en cuenta también aspectos dinámicos dado que todo alimento está constituido por un sistema biológico, proveniente en este caso de un organismo vegetal que después de su cosecha se convierte en alimento. Este sistema biológico es de composición compleja con un gran número de componentes, de naturaleza variada y está formado por células que se encuentran en equilibrio dinámico por acción de las enzimas y otros principios activos.

Por la naturaleza de los alimentos como sistemas biológicos y fisicoquímicos activos su calidad es un estado dinámico continuo hacia menores niveles, por lo tanto cada alimento tiene un tiempo finito de existencia en el que mantendrá su calidad, a esto se le define como vida de anaquel (Labuza, 1985).

Los sistemas biológicos como lo son los de los vegetales frescos, entre ellos la cebolla (*allium fistulosum*), son un tipo particular dentro de los sistemas físicos generales, por tanto este sistema debe estar regido por las leyes generales de la física y su comportamiento se debe poder interpretar mediante el uso de estas leyes, aunque aplicadas teniendo en cuenta las condiciones específicas que conforman el comportamiento de los seres vivos y la pérdida de calidad de un producto perecedero.

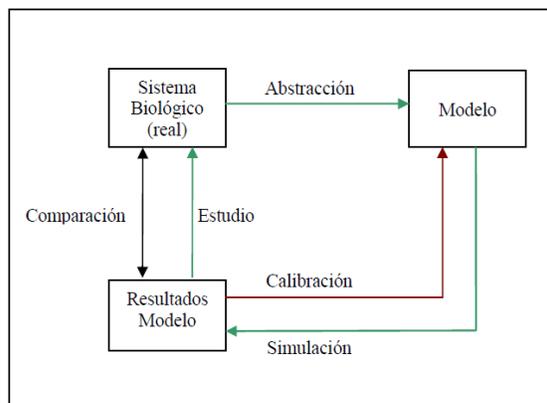
Debido a la complejidad de los sistemas biológicos se ha hecho necesaria la utilización de una variedad de metodologías y aproximaciones para entender la realidad de sus relaciones, y la modelación es una de estas. El nivel de conocimiento que se tenga del sistema, así como el objetivo al que se desee llegar son factores claves a la hora de elegir la herramienta de modelación apropiada. Para el caso de este estudio se decidió realizar la modelación de la calidad de la cebolla (*allium fistulosum*) con dinámica de sistemas.

#### 4.2.4. La Dinámica de Sistemas como herramienta descriptiva del cambio la calidad de la cebolla.

La realización de un modelo en Dinámica de Sistemas para describir la pérdida de calidad en la cebolla, está fundamentado en las relaciones existentes en ambos sentidos (realimentación) entre algunas de las variables del sistema, el efecto de las variables no controlables (pH, acidez, firmeza, humedad, mohos y levaduras, coliformes totales y mesófilos aerobios) sobre el sistema (cebolla) y la existencia de demoras estructurales representadas en los intervalos de tiempo que transcurren entre la disminución o aumento de una variable y la respuesta de ésta en la calidad del producto.

La utilidad del modelo que se va a desarrollar con el sistema, depende de la finalidad o del propósito para el cual fue formulado. En el caso de los modelos biológicos, son más valorados cuando además de proporcionar una explicación de la estructura u organización de un sistema, permite la posibilidad de establecer predicciones (aunque éstas sean cualitativas) que más tarde puedan ser contrastadas de modo experimental u observacional (Lahoz-Beltrá, 2004).

**Figura 2.** Diagrama para la construcción de un modelo representativo de un sistema biológico real.



Fuente: Joaquín Goñi, Juan Martín García. 2006. Dinámica de Sistemas Biológicos: modelando complejidad.

La Figura 2 muestra las fases que sigue la elaboración de un modelo general para un sistema biológico. En la primera se realiza un estudio profundo del sistema, mediante este

se seleccionan las variables más importantes, las relaciones, y también los comportamientos esperados. Posteriormente se realiza el modelo, para finalizar con el planteamiento de simulaciones sobre el modelo. Si los resultados no son satisfactorios (porque no corresponden con la realidad o lo esperado), es necesario volver a analizar el sistema biológico real y plantear las relaciones faltantes o relevantes (Goñi & García, 2006).

Con un modelo se pretende describir determinado fenómeno o proceso, en este caso se realizó una descripción de la pérdida de calidad de cebolla que ha sido empacada y transportada con respecto a la cosechada. Por esta razón recoge solo los aspectos que en opinión de quién elabora el modelo resulten relevantes para la construcción del sistema (Aracil & Gordillo, 1997) y los que presentan variación significativa para poder ser incluidos como variables a tener en cuenta. En todo proceso de modelado se pueden distinguir los siguientes aspectos:

- Una problemática concreta con relación al sistema. Un modelo nunca puede pretender agotar la realidad del sistema, sino que solo atiende a determinados aspectos suscitados por un problema concreto.
- La experiencia previa relativa a otros sistemas análogos al sistema de estudio. Esta puede ser propia o ajena y construir un cuerpo de doctrina organizado o ser simplemente un conjunto de opiniones.

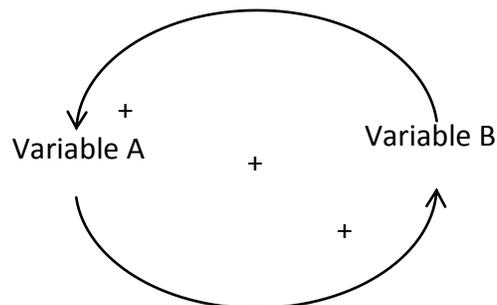
El objetivo básico de la Dinámica de Sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema. Esto implica aumentar el conocimiento sobre el papel de cada elemento del sistema y ver como diferentes acciones efectuadas sobre partes del sistema acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas en el mismo (García, 2006).

La Dinámica de Sistemas es una metodología usada para la construcción de modelos de simulación para el estudio de sistemas, cuyo objetivo es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema. Lo que lleva a aumentar el conocimiento sobre el papel de cada elemento del sistema, y ver como diferentes acciones efectuadas sobre cada uno de sus elementos, incrementan o disminuyen las tendencias de comportamiento implícitas en este (Martín, 2011).

Jay Forrester, Ingeniero de Sistemas de Massachusetts Institute of Technology - MIT, considerado el padre de la Dinámica de Sistemas, con el fin de buscar una aproximación al conocimiento de una situación real compleja propuso conocer la estructura del sistema y las normas que rigen las decisiones que se van a tomar (Caez G. , 2008). Así mismo, estableció un paralelismo entre un sistema hidrodinámico, constituido por niveles intercomunicados por canales con o sin retardos, variando mediante flujos su nivel, con la influencia de fenómenos exógenos, y los sistemas dinámicos o en evolución. La dinámica de Sistemas al no estar restringida a sistemas lineales, permite la simulación eficaz de sistemas reales con el empleo de un computador (Forrester, 1981).

Una de las características principales de la Dinámica de Sistemas es la existencias de ciclos de retro alimentación en los cuales se especifican las interacciones entre los diferentes elementos del modelo para organizar la información y simularlo por computador. Los efectos se manifiestan primero en alguna parte o variable del sistema donde son fácilmente identificables, cuando algún efecto en la acción vuelve a afectar al actor o variable inicial de alguna forma, en este caso existe una retroalimentación (Schaffernicht, 2006).

**Figura 3.** Diagrama causal ciclo de realimentación (retroalimentación)



Estas interacciones son importantes en el sistema cebolla ya que algunas de sus variables se relacionan entre sí y producen efectos sobre el comportamiento de otras, que influyen directamente sobre el sistema disminuyendo la calidad del producto. Un programa de cómputo ejecuta los papeles de los elementos del sistema en el mundo real. La simulación resultante revela implicaciones del comportamiento del sistema representado por el modelo (Lagarda L. , 2010)

Uno de los aspectos importante es la causalidad y polaridad, esto implica que el sistema dinámico es uno en el cual “las cosas” cambian en el tiempo: cambian de lugar, de forma, de estructura. Al hablar de “las cosas”, se hace uso de variables: se fija en un determinado aspecto –relevante para un propósito determinado– y se busca describir el valor que un objeto de observación presenta para determinada variable. En algunos casos se puede especificar escalas de valores ordinales, en otros casos escalas cardinales.

Otro factor tenido en cuenta en el modelado de la calidad de la cebolla por medio de dinámica de sistemas, es el hecho que este es un producto vegetal y se ve afectada por factores exógenos y endógenos que tienden a variar su calidad óptima, mínima o máxima. El control de los factores determinantes del deterioro de la calidad inicial se puede comprender por medio de observar el sistema con un proceso de retroalimentación negativa. Disminuir los flujos de este proceso garantiza la preservación de la calidad inicial de estos productos (Caez G. , 2008).

Antes de iniciar el modelado en dinámica de sistemas es importante tener en cuenta que dichos modelos no predictivos, no pretenden hallar valores exactos sino comparativos, es decir, han de permitir comparar diferentes políticas alternativas en base al escenario al que conducen. Sin embargo, estos modelos pueden ser criticados por:

- No siempre los resultados de los modelos pueden ser comparable con los datos reales.
- Las relaciones funcionales recogen ideas y criterios que no cuentan siempre con el apoyo de la teoría, de la evidencia o de la experiencia.
- Los resultados son sensibles a variaciones de algunas entradas y parámetros.
- Muchos modelos presentan un carácter determinista, en el sentido de no incluir la posible reacción ante la previsión de cambios futuros (Garcia, 2006)

Realizar un modelo en dinámica de sistemas para describir la variación de la calidad de la cebolla es coherente con el planteamiento del proyecto, ya que dicho comportamiento está influenciado por diferentes variables que pueden estar relacionadas entre sí, y puede presentar comportamientos diversos, e influencias diferentes en variables intrínsecas, dependiendo de las condiciones externas (cosecha, empaque y transporte).

## 5 METODOLOGÍA

La metodología que se siguió para el modelado y simulación del sistema del deterioro de cebolla larga se basa en los procedimientos descritos por Sterman (2000) y Aracil (1983, Tesis doctoral) para la modelación de sistemas complejos y aplicados por Caez (2008) en la modelación del deterioro de una bebida funcional.

Los pasos de la metodología son los siguientes:

### 5.1 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA Y ANÁLISIS COMPARATIVO

En esta etapa se delimita el sistema a modelar, el horizonte de tiempo y se determinan las variables claves en términos de su comportamiento dentro del sistema.

El proceso comienza por definir y establecer los límites del sistema de acuerdo con la pregunta específica para la cual se está buscando respuesta.

En esta fase se debe hacer una pregunta pertinente, que el modelo ayude a responder (Schaffernicht, 2006), especificar claramente el problema, realizando una observación del comportamiento del sistema a fin de poder identificar los elementos fundamentales que lo componen y que son de interés para el estudio en concreto del mismo. Si no es importante la pregunta que se plantea, tampoco lo será la respuesta.

Sterman (Sterman, 2000) recomienda tener en cuenta las siguientes preguntas a la hora de modelar:

- ¿Cuál es el propósito del modelo?
- ¿Cuál es la frontera?
- ¿Están los ítems importantes siendo tratados de manera endógena?
- ¿Qué variable importante ha sido asumida como exógena o excluida?
- ¿Se han excluido variables por falta de datos “duros”?
- ¿Cuál es el horizonte de tiempo relevante?

- ¿El modelo contiene las entidades que pueden cambiar de manera significativa en este periodo?
- ¿Es el nivel de agregación coherente con el propósito?

Para realizar la delimitación del sistema respondiendo a las preguntada que se realizan en esta etapa, se empezó por observar el tratamiento actual que se le da a la cebolla larga en su cosecha en el municipio de Aquitania, así como los procesos de post cosecha como son: empaque y transporte, de esta manera se identificó las condiciones actuales del sistema a analizar.

A continuación se establecieron las variables clave, cuya variación a lo largo del tiempo en magnitudes influyen en el comportamiento del sistema, y ayudan a definir los límites del mismo así como la estructura de realimentación que rige su dinámica.

#### **5.1.1 Identificación del entorno del cultivo de cebolla.**

La selección del lugar geográfico del cual partió el presente estudio, estuvo ligada a dos factores: 1) por tratarse este proyecto de una extensión del proyecto “*Diseño de un Sistema de Valorización de Cebolla Junca*” en el cual, el lugar a analizar era el municipio de Aquitania Boyacá, y 2) por ser este municipio el que produce el 75,29% de la cebolla en Colombia.

En Aquitania se realizaron visitas, que iniciaron a las 8 am y finalizaron a las 12 del día. En el mes de agosto de 2010 y en el mes de noviembre del mismo año, con el fin de determinar mediante observación las condiciones actuales de cosecha y post cosecha que tiene el producto, verificar el entorno del cultivo, observar los procesos actuales que se le realizan al producto e identificar los sitios donde se tomarían las muestras para el presente trabajo.

Tomando como punto de partida el estudio de Medina (Medina & Villamizar, Evaluación de pérdidas en la poscosecha de la cebolla junca (*Allium Fistulosum*), 2004), referente a las pérdidas de la calidad de un producto desde la materia, se determinaron las condiciones de entorno que podrían afectar el producto para realizar mediciones en cada uno de estos puntos como son: Cebolla cosechada, cebolla empacada (el empaque

analizado es el de ruedas de cebolla de 50 Kg atadas con una cabuya de fique) y cebolla transportada.

### 5.1.2 Toma de muestras.

Las muestras fueron recolectadas en los cultivos de Aquitania de acuerdo con las condiciones establecidas en las fincas y por los operarios encargados de esta labor:

- a) Las muestras fueron cosechadas por los campesinos de cada finca
- b) La cosecha se hace de forma manual tomando la cebolla de la parte baja de las hojas.
- c) En la recolección se arranca solo la mitad de la cebolla en tierra la otra parte continua en el cultivo para que se regenere.
- d) La cebolla que se ha sacado de la tierra se dispone en montones para posteriormente ser empacada.

La toma de muestras para la cebolla cosechada se realizó tomando gajos de producto de diferentes lugares de cada uno de los montones previamente cosechados.

El empaque de la cebolla se realizó de acuerdo a las condiciones actuales y generalizadas para este proceso que son:

- a) Poner una capa de varios gajos de cebolla
- b) Doblar algunos gajos de cebolla para ponerlos en la mitad de lo que va a ser la rueda
- c) Terminar de formar la rueda de cebolla poniendo gajos
- d) Poner en el exterior de la rueda unos gajos seleccionados por sus mejores condiciones visuales que han sido previamente pelados
- e) Amarrar la rueda de 50 Kg con cabuya.

La toma de muestras de la cebolla empacada se realizó tomando gajos de diferentes lugares de la rueda previamente amarrada y de varias ruedas.

Para la conservación y transporte de las muestras desde Aquitania hasta el lugar de análisis se tuvo las siguientes precauciones:

- a) Refrigeración en neveras de icopor que permitieron transportar el producto sin producir quiebres.
- b) Transporte desde el sitio de muestreo hasta el laboratorio en una camioneta con buenas condiciones asépticas
- c) Las muestras de las dos fincas fueron tratadas posterior a su recolección en las mismas condiciones de los literales a) y b).

En el caso de la cebolla transportada se identificaron en cultivo los camiones que transportaban las ruedas de cebolla con el producto que iba a ser tomado como muestra, este producto provenía del mismo lugar de cosecha de las muestras tomadas para las condiciones de cosecha y transporte.

El transporte se realizó con los camiones que se usan habitualmente y el producto fue tratado de acuerdo con lo usual, como es:

- a) Cargue del producto en camiones de 5 Ton de capacidad
- b) El producto previamente empacado en ruedas de 50 Kg, es puesto directamente sobre el piso del camión y es llenado el camión completamente.
- c) Tiempo de transporte aproximado de 6-7 horas

Para la toma de muestras de la cebolla transportada se esperaron los camiones a la entrada de Corabastos entre 9 y 11 p.m, allí se retiraron las ruedas de cebolla y se tomaron muestras de diferentes lugares de las mismas.

El transporte del producto desde Corabastos hasta el laboratorio se realizó en iguales condiciones a las del producto cosechado y empacado que fue recolectado en Aquitania.

### **5.1.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos**

Para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al producto se tuvo en cuenta el siguiente diseño:

Condiciones de estudio: Tres:

- Cebolla cosechada sin empacar
- Cebolla empacada
- Cebolla que ha sido transportada

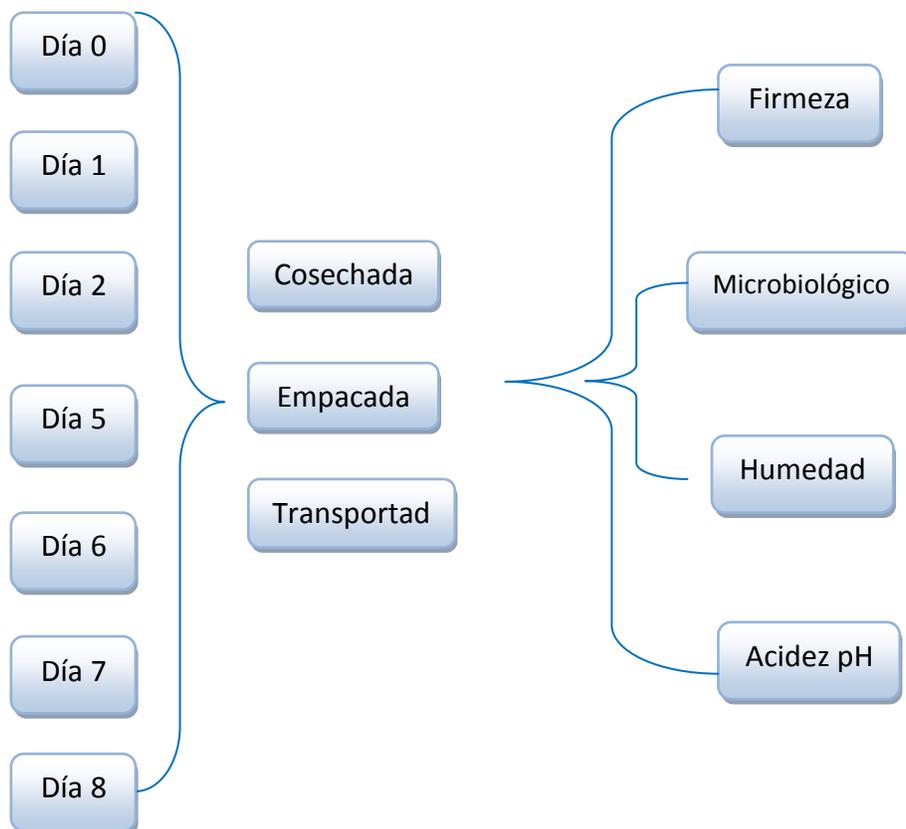
Variables de respuesta:

A cada condición de estudio se le evaluaron siete variables de respuesta cada una por triplicado:

- Humedad
- Acidez
- pH
- Firmeza (Fuerza de compresión)
- Mohos y levaduras
- Mesófilos aerobios
- Coliformes totales

Adicionalmente las mediciones fueron realizadas durante un periodo de tiempo de 8 días para medir el deterioro que sufre el producto a través del tiempo de almacenamiento. Este diseño se muestra en la Figura 4.

**Figura 4** Diseño experimental para mediciones fisicoquímicas y microbiológicas de la cebolla larga



Condiciones que se tuvieron en cuenta a la hora de realizar las mediciones:

Temperaturas de estudio: Ambiente (16 °C)

Tiempo de estudio: 8 días

Todas las muestras fueron mantenidas en las mismas condiciones de temperatura y humedad durante los días de muestreo.

#### 5.1.4 Métodos de composición general.

A partir de las muestras tomadas y almacenadas en el laboratorio se realizaron los diferentes análisis fisicoquímicos y microbiológicos, de cada una de las condiciones a analizar; se tomaron gajos de cebolla aleatorios para realizar las mediciones previamente establecidas como son:

#### **5.1.4.1 Perfil de textura TPA.**

Para este análisis se usó elseudotallo de la cebolla, cortándole aproximadamente 4 cm de la unión del mismo con las hojas y retirando toda la parte del tallo. Se realizó con el objetivo de medir fuerza de compresión de las muestras.

Se midió por test de compresión en un texturómetro TA-XT2 de Stable Microsystems. La sonda utilizada es P/6 Cilindro de Aluminio diámetro 6 mm.

#### **5.1.4.2 Deshidratación de tejido mediante prueba de humedad por gravimetría.**

Para determinar el contenido de humedad, se usó el método de secado en estufa planteado por la AOAC No 20.013 de 1980, el cual consiste en pesar  $5.000 \pm 0.100$  g de muestra, y luego colocarla en la estufa durante 24 horas a una temperatura de  $70^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Las muestras secas se llevaron a un desecador durante una hora para finalmente ser pesadas.

#### **5.1.4.3 Determinación de acidez y pH.**

El pH en cada uno de los productos se determinó de acuerdo con el método descrito por Benjakul (Benjakul, Visessanguan, & Leelapongwattana, 2003). Las muestras se homogenizaron usando un ultraturrax, utilizando cinco volúmenes de agua destilada con respecto al peso de la muestra (p/v), el pH y acidez se determinaron utilizando un potenciómetro Metler Toledo.

#### **5.1.4.4 Análisis Microbiológico.**

A cada muestra se les realizó recuento de:

Mohos y levaduras. NTC 4132.

Coliformes totales . NTC 4458

Mesofilos Aerobios. NTC 4519

## 5.2 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DINÁMICA

En esta segunda fase se elabora una hipótesis dinámica o causal, lo cual implicó definir las influencias que se producen entre los elementos que integran el sistema. El resultado de esta fase fue el establecimiento del Diagrama Causal que muestra las relaciones básicas en forma de bucles de realimentación junto con los potenciales retardos.

En la determinación de estas causalidades se tuvo en cuenta el análisis estadístico realizado a los resultados de las mediciones de las variables del sistema con el fin de establecer la influencia que tienen cada una de ellas en el deterioro del producto. Resultados que fueron obtenidos experimentalmente.

### 5.2.1 Análisis estadístico.

Se realizó un análisis de regresión polinomial de orden dos que evaluó el efecto lineal y cuadrático de las variables: Mohos y levaduras, mesófilos, coliformes totales, pH, humedad, acidez y firmeza; en el tiempo.

Los conteos de microorganismos fueron transformados a su logaritmo y como identificación de datos atípicos se utilizaron las estadísticas de residuales estudentizados y DFBeta, para así eliminar estos datos del análisis.

Dado el hecho que la “Calidad Total” de la cebolla no se puede medir directamente, se optó por considerar la medición de la calidad como la aproximación de los modelos a los datos obtenidos, la estadística utilizada para tal fin fue el R<sup>2</sup> o coeficiente de determinación. El cual fue estandarizado para conseguir incorporarlo en el modelo de Dinámica de Sistemas. En los casos donde el análisis de regresión polinomial no fue significativo, la variable fue retirada del análisis.

### 5.2.2 Establecimiento del Diagrama Causal.

Con base en el análisis de resultados de las mediciones y de la estadística se definieron las condiciones de entorno que presentan mayor influencia en el deterioro de la cebolla en las etapas de cosecha, empaque y transporte. Se considera un fenómeno dinámico en el

que cambian las tasas de calidad de la cebolla a una velocidad cambiante en función de la cinética de cada fenómeno (Caez G. , 2008).

Se determinaron correlaciones directas frente a los cambios en las mediciones de factores fisicoquímicos, microbiológicos y físicos realizadas al producto y sus interrelaciones, así como las realimentaciones en el sistema.

De estos análisis se derivaron los diagramas causales para cada una de las etapas del análisis realizado al deterioro del producto.

### 5.3 FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

El proceso de modelado consiste en el conjunto de operaciones mediante el cual, tras un oportuno estudio y análisis que se realizó del comportamiento de las variables que influyen en la calidad del producto, se construye el modelo del aspecto de la realidad que se está estudiando en el sistema “**Calidad de cebolla larga**”. Es importante anotar que este sistema se limita al análisis del producto antes de ingresar a cualquier proceso de tratamiento postcosecha en planta de procesamiento.

En el primer paso de esta etapa se realiza la representación Forrester de la hipótesis dinámica formulada anteriormente mediante los diagramas causales, identificando variables de nivel, auxiliares, tasas y flujos de información, con el fin de ser llevado a un software de simulación.

El segundo paso consiste en la parametrización del modelo de acuerdo a los datos experimentales y los resultados estadísticos obtenidos y establecimiento de las relaciones matemáticas entre las variables que afectan el deterioro del producto en cada una de las etapas analizadas.

Para la realización del modelo en un programa de cómputo se usó Vensim, en el cual fueron reproducidos los diagramas de Forrester planteados.

#### **5.4 SIMULACIÓN DEL MODELO Y EVALUACIÓN DEL MODELO**

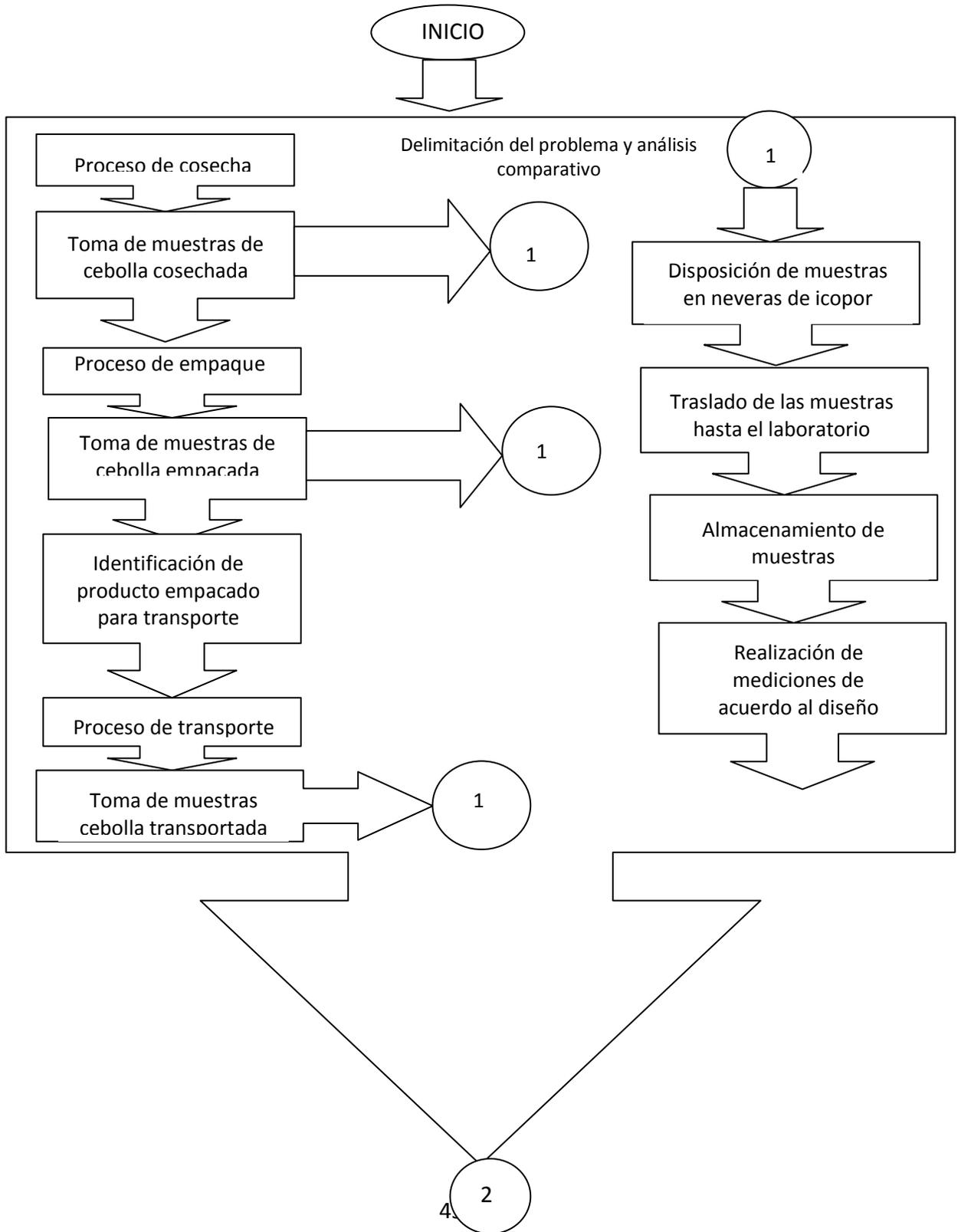
En la simulación y validación; se somete el modelo a una serie de ensayos y análisis para evaluar su validez y calidad, verificando que el modelo formulado y programado en Vensim reproduzca el comportamiento del sistema real describiendo la cinética de deterioro de la cebolla en cada una de las etapas del proceso, y comprobando que esta cinética se encuentre acorde con los resultados obtenidos experimentalmente y sea coherente con los procesos analizados

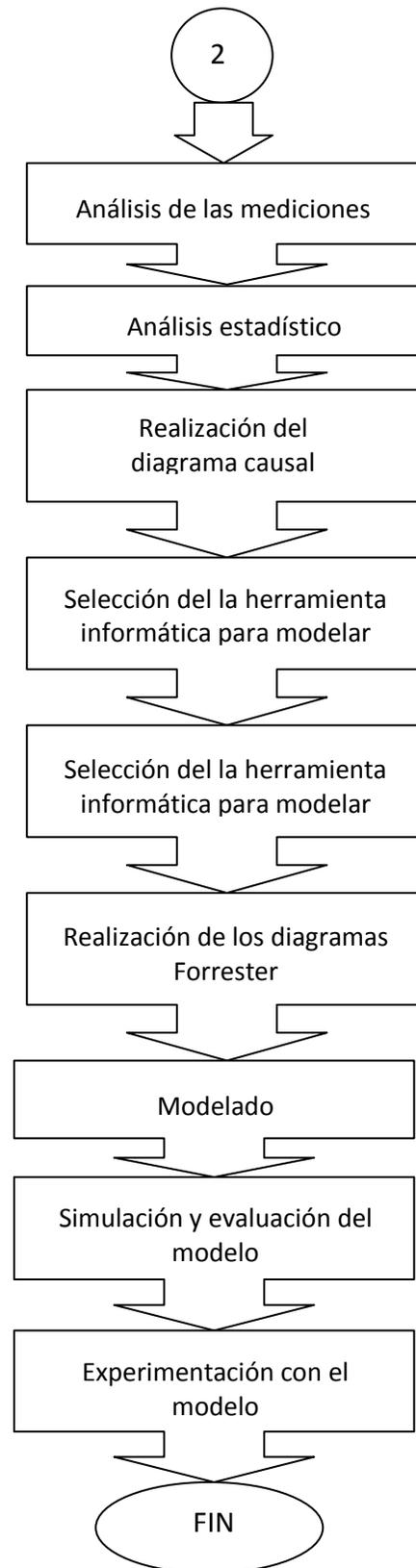
#### **5.5 EXPERIMENTACIÓN CON EL MODELO**

En esta etapa se establecieron dos escenarios para evaluar el efecto de las variables microbiológicas en la calidad remanente de la cebolla cosechada y empacada, estos escenarios fueron los de mediciones microbiológicas realizadas a un producto lavado, para determinar el cambio en la calidad del producto con este proceso. El otro escenario obtenido con la experimentación.

Para el proceso de transporte se evalúa el posible efecto de la forma de transporte en la variable firmeza y consecuentemente en la calidad remanente de la cebolla, al tener unas mediciones de esta variable en un producto limpio y sin deterioro por transporte. Todo con el fin de determinar la variación que tiene este proceso en la calidad total del producto, que es reflejado en el cambio de la firmeza del mismo.

5.6 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA





## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA Y ANALISIS COMPARATIVO

El problema de estudio es el cambio en la calidad de la cebolla larga a partir de los procesos de empaque y transporte que se usan actualmente en el municipio de Aquitania hasta Corabastos, de acuerdo a como fue planteado en la sección 1 “Problema de investigación”.

El propósito del modelo se fundamenta en describir el comportamiento de pérdida de calidad de la cebolla en cada una de las etapas: cosecha, empaque y transporte por medio de mediciones fisicoquímicas y microbiológicas realizadas al producto.

#### 6.1.1 Identificación del entorno de cultivo y la cosecha de cebolla

En el entorno del cultivo de la cebolla se analizaron los aspectos actuales de la cosecha, el empaque, el transporte, el almacenamiento y manipulación.

##### 6.1.1.1 La cosecha

En las visitas a los cultivos de cebolla en Aquitania se observó el manejo actual que se le está dando al producto tanto en cosecha como en post cosecha, se consultó a cultivadores y comercializadores de cebolla. La figura 6 muestra una de las plantaciones de cebolla que se encuentra en terreno plano del municipio cerca al casco urbano del mismo, las cuales tienen un promedio de  $\frac{1}{2}$  ha por cultivador. La cosecha y empaque inicia a las 4:00 de la mañana y termina a las 12 del medio día aproximadamente, para ser transportada por un tiempo de 6-8 horas hasta la central de abastos de Bogotá Corabastos.

**Figura 5.** Sembrado de Cebolla en Aquitania



Fuente: Autor

De igual forma se observó durante las visitas que se utiliza *gallinaza* sin tratamiento como abono, lo cual es causa de un deterioro continuo en el suelo por su elevado contenido de Nitrógeno, adicionalmente, es un material que promueve la alta contaminación microbiana de la cebolla larga en la cosecha.

La figura 6 evidencia el mal manejo que recibe la cebolla en la recolección, lo cual hace que se fracturen y maltraten un número significativo de tallos y hojas promoviendo el deterioro microbiano posterior, y aumentando las pérdidas del producto. Se observa en campo que los esquejes de los cuales procederá la cebolla están siendo pisados y presentan daño mecánico lo cual contribuye a elevar las pérdidas de producto.

**Figura 6** Proceso de cosecha



Fuente: Autor

La práctica de recolección en la cual se deja grandes cantidades de tierra y abono (*gallinaza*) en el producto, genera el ambiente propicio para que durante el transporte y almacenamiento aumente la carga microbiana y que en los posteriores procesos de lavado no se logre una disminución significativa de la misma. Adicionalmente, se está llevando en el transporte a la ciudad parte del material que posteriormente podría ser usado en el sembrado, y que bajo las condiciones actuales aumentan la generación de basura en las centrales de abasto (Sotelo, González, Moreno, & Agudelo, 2011).

#### 6.1.1.2 El empaque (post-cosecha)

Actualmente, el producto que es llevado a las centrales mayoristas se empaqueta en rollos de 25 y 50 Kg los cuales son armados dejando la cebolla sucia y con mayor deterioro en el medio del rollo, y aumentando este deterioro físico al doblar el producto para que el atado tome la forma deseada. Después de haber acomodado el centro del rollo se continúa el proceso dejando cebollas extendidas sobre este, para finalmente, poner en el exterior del atado de cebollas de la mejor calidad que han sido peladas. El rollo es amarrado con cabuya ocasionando el rompimiento del producto exterior, el cual se encontraba en las mejores condiciones, producto que al ser desempacado queda en pérdida. Un caso similar ocurre con el producto al interior del atado al cual se le doblaron las hojas, aunque este no tuvo un deterioro tan drástico en el tallo. En la figura 7 se observa el proceso de empaque que tiene la cebolla y del cual se parte para hacer este análisis.

**Figura 7.** Proceso de empaque



### 6.1.1.3. El Transporte

El uso de camiones en condiciones higiénicas inapropiadas para el transporte de alimentos genera contaminación en el producto, y ésta es mayor cuando los vehículos han sido usados previamente para el transporte de ganado o gallinaza y no han sido lavados (situación que es común en los lugares desde donde se transporta la cebolla en ruedas).

También disminuye la calidad del producto la forma en que se organiza al interior del vehículo de carga, pues al no existir canastillas que soporten el peso del producto, este recae directamente sobre el mismo, y la cebolla que se encuentra en la parte baja del camión sufre daño por compresión cambiando su forma cilíndrica por lo cual pierde posibilidades de venta (Corpoica, 2001). Esta es una etapa de gran importancia que normalmente no se tiene en cuenta, presentando fallas como focos de contaminación, exposición a altas temperaturas o lluvia, lo cual favorece la deshidratación y el amurallamiento de las hojas o el desarrollo de hongos (Corpoica, 2001).



**Figura 8.** Situación actual de transporte

Adicional al daño del producto por compresión, se suma el daño por vibración al circular por vías en mal estado lo cual produce un rozamiento entre cebollas y de estas contra el empaque, abrasión que produce rupturas en células de la epidermis (Corpoica, 2001). Como se observa en la figura 8, también se produce un daño por impacto en el cargue y descargue del producto al ser manipulado bruscamente y pisado ocasionando daños y cortes que aceleran el proceso de deterioro.

#### 6.1.1.4. Almacenamiento y manipulación en post-cosecha

El producto se almacena en bodegas que no cumplen con las condiciones de almacenamiento para alimentos, como es pisos en material poco sanitario, paredes con ladrillos a la vista, presencia de humedad, poca ventilación, poca luz y lámparas sin recubrimiento.

**Figura 9.** Almacenamiento y tratamiento de pelado de cebolla



Como se observa en la figura 9, se realiza un proceso de pelado manual a una parte de producto, el cual tiene como destino venta en almacenes de cadena y empaque en malla. Este proceso se realiza retirando la capa externa de la cebolla con un paño de tela que es reutilizado hasta que queda completamente cubierto de suciedad, generando contaminación entre un tallo de cebolla y otro. También se observó el uso de cuchillos viejos y oxidados para el proceso de eliminación de la raíz.

#### 6.1.2 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de deterioro de cebolla larga

Los recuentos realizados a la cebolla de Aquitania, muestran que durante el tiempo de almacenamiento de la misma existe un deterioro normal de un producto fresco perecedero.

En las tablas 1, 2 y 3 se presentan los resultados de las cuantificaciones fisicoquímicas y microbiológicas realizadas durante el tiempo de almacenamiento a los tratamientos cebolla cosechada, empacada y transportada.

**Tabla 1.** Variación de las características microbiológicas y fisicoquímicas a través del tiempo de almacenamiento para la cebolla cosechada

VARIABLE MEDIDA		DÍA						
		0	1	2	5	6	7	8
HUMEDAD (%)	Promedio	92.04%	92.19%	92.11%	92.34%	92.51%	92.31%	92.14%
	Desv est	0.0061	0.0057	0.0057	0.0048	0.0057	0.0078	0.0088
ACIDEZ (% Acido cítrico)	Promedio	n.d	0.0882	0.1124	0.1119	0.1008	0.0775	0.0875
	Desv est		0.0149	0.0246	0.0279	0.0405	0.0128	0.0319
pH	Promedio	n.d	6.026	6.02	5.988	5.9625	6.014	6.164
	Desv est	n.d	0.1686	0.1321	0.1983	0.0718	0.3301	0.2627
FIRMEZA (F max. N)	Promedio	35.3751	42.4583	35.6412	37.2960	35.7579	33.0388	36.6812
	Desv est	5.2303	5.4778	2.7095	6.7001	3.2827	5.0918	5.2863
MOHOS Y LEV (UFC/gr)	Promedio	6.0E+06	7.2E+06	1.1E+07	2.6E+07	6.9E+06	2.2E+07	1.4E+08
	Desv est	6.1E+06	4.9E+06	1.2E+07	3.2E+07	9.2E+06	4.1E+07	1.9E+08
MESOFILOS (UFC/gr)	Promedio	1.0E+06	1.0E+06	2.7E+06	2.8E+06	3.4E+05	1.7E+06	1.8E+05
	Desv est	1.0E+06	6.3E+05	2.4E+06	2.3E+06	4.3E+05	3.8E+06	3.8E+05
COLIFORMES (UFC/gr)	Promedio	2.6E+05	5.2E+05	4.4E+05	5.0E+05	1.1E+05	8.1E+05	1.5E+05
	Desv est	4.3E+05	3.8E+05	1.3E+05	7.7E+05	1.2E+05	1.8E+06	3.4E+05

n.d. No datos

**Tabla 2.** Variación de las características microbiológicas y fisicoquímicas a través del tiempo de almacenamiento para la cebolla Empacada

VARIABLE MEDIDA		DÍA						
		0	1	2	5	6	7	8
HUMEDAD (%)	Promedio	92.37%	92.12%	91.51%	92.01%	92.31%	92.26%	92.23%
	Desv est	0.0082	0.0115	0.0061	0.0012	0.0037	0.0053	0.0086
ACIDEZ (% Acido cítrico)	Promedio	n.d	0.0981	0.1081	0.1054	0.0866	0.0824	0.0855
	Desv est	n.d	0.0151	0.0172	0.0392	0.0117	0.0159	0.0135
pH	Promedio	n.d	6.1100	5.9560	6.1467	6.1467	6.3383	6.0380
	Desv est	n.d	0.1478	0.0876	0.0880	0.2508	0.2296	0.2081
FIRMEZA (F max. N)	Promedio	30.2152	36.8434	35.8658	36.4810	34.9169	35.6651	36.6769
	Desv est	9.3314	3.5204	5.0086	7.7037	4.5795	11.1325	6.1238
MOHOS Y	Promedio	5.8E+06	6.3E+06	1.3E+07	3.1E+06	1.1E+07	1.3E+07	8.3E+06

LEV (UFC/gr)	Desv est	4.3E+06	3.8E+06	9.8E+06	2.4E+06	1.4E+07	2.0E+07	5.5E+06
MESOFILOS (UFC/gr)	Promedio	8.6E+05	8.4E+05	1.9E+06	5.0E+05	3.1E+05	7.9E+05	9.0E+03
	Desv est	5.9E+05	8.3E+05	1.9E+06	5.4E+05	3.0E+05	1.8E+06	0.0E+00
COLIFORMES (UFC/gr)	Promedio	1.7E+05	3.8E+05	3.6E+05	3.4E+05	1.1E+05	3.0E+05	9.0E+03
	Desv est	1.2E+05	4.2E+05	2.4E+05	8.1E+05	1.8E+05	5.9E+05	0.0E+00

n.d. No datos

**Tabla 3.** Variación de las características microbiológicas y fisicoquímicas a través del tiempo de almacenamiento para la cebolla Transportada

VARIABLE MEDIDA		DÍA						
		0	1	2	5	6	7	8
HUMEDAD (%)	Promedio	92.77%	92.95%	92.34%	92.74%	93.70%	92.75%	92.58%
	Desv est	0.0059	0.0113	0.0035	0.0070	0.0034	0.0105	0.0082
ACIDEZ (% Acido cítrico)	Promedio	n.d	0.1049	0.1021	0.1041	0.1084	0.0904	0.0936
	Desv est	n.d	0.0246	0.0227	0.0309	0.0232	0.0124	0.0143
pH	Promedio	n.d	6.1300	5.9780	6.0417	5.9850	6.2500	6.1760
	Desv est	n.d	0.2644	0.1959	0.0826	0.1890	0.1652	0.1488
FIRMEZA (F max. N)	Promedio	35.2359	34.5623	38.0305	34.9945	38.4412	36.3860	30.6443
	Desv est	6.8163	5.2875	4.6759	5.2304	7.5570	6.7480	5.5106
MOHOS Y LEV (UFC/gr)	Promedio	2.0E+07	1.5E+07	1.0E+08	8.4E+07	1.5E+07	2.5E+07	7.8E+07
	Desv est	2.0E+07	2.2E+07	1.3E+08	1.3E+08	1.3E+07	3.8E+07	9.0E+07
MESOFILOS (UFC/gr)	Promedio	8.0E+06	1.3E+06	1.3E+07	3.2E+07	1.9E+05	1.8E+06	2.0E+05
	Desv est	8.9E+06	1.4E+06	1.0E+07	7.3E+07	1.7E+05	3.8E+06	2.9E+05
COLIFORMES (UFC/gr)	Promedio	1.4E+06	4.3E+05	7.3E+06	2.9E+07	1.4E+05	1.1E+06	2.3E+04
	Desv est	1.6E+06	4.7E+05	1.1E+07	7.1E+07	1.6E+05	2.4E+06	2.1E+04

n.d. No datos

Los datos muestran que en el día 5 los parámetros medidos disminuyen respecto a la calidad inicial, estas observaciones hacen parte de los resultados obtenidos en el proyecto “Diseño de un sistema de valorización de cebolla junca” cod 2333.

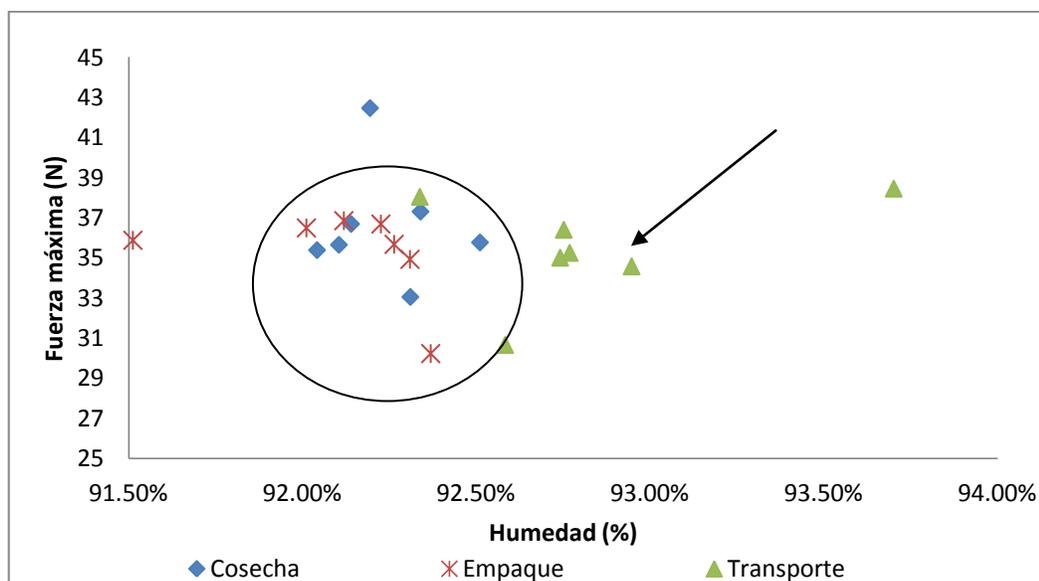
**Tabla 4.** Vida útil de vegetales frescos

PRODUCTO	CONDICIONES OPTIMAS DE ALMACENAMIENTO			TASA RESPIRATORIA A DIFERENTES TEMPERATURAS (mg CO <sub>2</sub> / Kg*h)		
	VIDA ÚTIL (días)	TEMPERATUR A °C	H. RELATIVA (%)	0°C	5°C	10°C
Cebolla	7	0	95-100	16	19	31
Lechuga	14	1-2	98-100	23	30	39
Repollo	90	0	98-100	5	11	18
Brócoli	10	0	95-100	21	34	81

Fuente: Informe técnico final. Diseño de un sistema de valorización de cebolla junca

Siendo la firmeza de los vegetales uno de los atributos más fácilmente identificables por los consumidores, y que representa un elemento de placer, un rápido descenso en la fuerza acompañado por una rápida propagación de la fractura del producto, es indicativo de la pérdida de calidad y de estabilidad los productos (Costa, et al., 2011). Por tanto, esos cambios en firmeza originados por cambios en la estructura del tejido también se pueden medir y relacionarse con cambios en la humedad del producto como se observa en las figura 10.

**Figura 10.** Variación de la Firmeza en función de la humedad en el producto



En vegetales frescos el atributo de firmeza, puede ser expresado mecánicamente como una propiedad textural y depende de la estructura celular que tenga el producto. Un rápido descenso en la fuerza, acompañado por una rápida propagación de la fractura, es indicativo de la pérdida de calidad y de la estabilidad de los materiales biológicos, normalmente estos atributos representan elementos sensitivos de placer al consumidor (Costa & Cappellin, 2011).

En la figura 10, se puede observar que la relación cambios de humedad-firmeza, es evidente para el estado transporte (marcados con una flecha); la zona que se ha señalado en el círculo, muestra los valores para los cuales no se evidencia cambios significativos para esta relación. En este caso de cebolla transportada, el primer descenso en firmeza se presenta desde el día 1, esto debido al daño que sufre el producto por fricción, golpes y ablandamiento durante el transporte.

Las observaciones están acordes con lo descrito por Gorñy 2001, quien menciona que los principales síntomas de deterioro en un vegetal fresco son cambios en firmeza debidos a la pérdida de humedad, y rápido desarrollo microbiano como el observado en las tablas 1, 2 y 3.

Los resultados obtenidos para la cebolla cosechada solo evidencian este tratamiento, mientras que los tratamientos de empaque y transporte son acumulativos, porque la cebolla empacada tuvo que haber sido previamente cosechada, y la cebolla transportada sufrió los procesos de cosecha y empaque hasta llegar al centro de acopio donde fue recolectada la muestra.

En cuanto a los parámetros microbiológicos medidos para determinar su variación y con este, un indicador del deterioro de la cebolla los resultados encuentran en las tablas 1, 2 y 3. En estas se observa que en la cebolla transportada que mayor recuento en hongos sucede en el día 2 de almacenamiento, mientras que la cebolla cosechada llega hasta el día 5. Adicionalmente, el 80 % de las mediciones de hongos, de mesófilos y de coliformes fueron mayores para la cebolla transportada que para la cosechada y la empacada. Estos resultados están acordes al estudio de Corpoica 2001, en el cual enfatizan que los daños que sufre el producto durante el transporte pueden aumentar la cantidad de hongos en el mismo.

Según estos resultados, los daños que sufre el producto durante la etapa de transporte en los cuales quedan expuestas las células de los mismos a causa de las particiones, favorecen el crecimiento microbiano en las muestras.

### **6.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DINÁMICA**

#### **6.3.1 Análisis estadístico y del comportamiento del producto en cosecha empaque y transporte**

Diversos estudios realizados en cebolla larga (cultivada en Aquitania) han propuesto que el actual sistema de empaque y transporte produce pérdidas en el producto, como el que inicio Medina (Medina-Díaz, 1988) en el cual se evaluó el porcentaje de pérdida de calidad de la cebolla desde la cosecha en las fincas, posterior al empaque y el manejo del transporte usando los métodos tradicionales y unos mejorados. Y los realizados posteriormente por (Collazos, 1999), y (Corpoica, 2001), entre otros, los cuales han evidenciado los problemas actuales que presenta el producto. Las mediciones en la pérdida de calidad de estos estudios se basan en lo establecido en la Norma NTC 1222, en la cual solo se fijan parámetros de calidad física de la cebolla, y han propuesto métodos de empaque como cajas o canastillas horizontales para empacar el producto.

Estudios posteriores como el de (Zuñiga, 2009) quien menciona la necesidad de cambiar el actual sistema de ruedas de 45-50 Kg o de 25 Kg (Pony), por una canastilla ergonómica de acomodación vertical con capacidad de 23-25 Kg que permite un mejor manejo al operario de la cebolla, evitando sobre esfuerzo por malas posturas al recoger el producto del piso, adicionalmente sugiere que este método de empaque podría mejorar la calidad del producto ya que no se encuentra descubierto.

En otros estudios se han hecho mediciones físicas a la cebolla y de esta manera han determinado el deterioro de la misma, pero no se hacen mediciones del deterioro fisicoquímico y microbiológico que sufre el producto durante el tiempo de almacenamiento después de haber sufrido los procesos de empaque y transporte.

Los resultados obtenidos del presente estudio evidencian una disminución en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del producto a través del tiempo y daño del mismo en el proceso de transporte, en donde desde el día 0 (cero), las mediciones fisicoquímicas son elevadas y presentan variaciones estadísticamente poco significativas. Con el fin de determinar el comportamiento que tienen las variables durante el tiempo de almacenamiento en cada tratamiento estudiado sobre la cebolla larga (cosecha, empaque transporte), se realizó un análisis estadístico de regresión polinomial de orden dos, que evaluó tanto el efecto lineal como el cuadrático de las variables en el tiempo. El resumen de dicho análisis se presenta en las tablas 5, 6 y 7.

**Tabla 5.** Resultado de Regresión polinomial cebolla Cosechada

Variable		Parámetro estimado	Error estándar	t	R2 Ajustado
Mohos y levaduras	Intercepto	17.10718	0.43036	<.0001	0.5555
	Linealidad	1.68025	0.31869	<.0001	
	cuadrática	-0.17508	0.04049	0.0002	
Coliformes totales	Intercepto	14.27473	0.64359	<.0001	0.1767
	Linealidad	1.38431	0.4766	0.007	
	cuadrática	-0.17768	0.06055	0.0065	
Mesofilos	Intercepto	14.67671	0.53652	<.0001	0.5504
	Linealidad	2.46629	0.39731	<.0001	
	cuadrática	-0.31879	0.05048	<.0001	
pH	Intercepto	6.15978	0.07508	<.0001	0.1047
	Linealidad	-0.12472	0.0556	0.0327	
	cuadrática	0.01666	0.00706	0.0253	
Acidez	Intercepto	0.10373	0.00948	<.0001	0.2213
	Linealidad	0.01148	1.63	0.1129	
	cuadrática	-0.00199	0.0008918	0.0332	
Humedad	Intercepto	0.92137	0.00207	<.0001	-0.0201
	Linealidad	0.00011697	0.00153	0.9396	
	cuadrática	0.00003712	0.0001944	0.8499	
Firmeza	Intercepto	38.65707	2.04676	<.0001	0.0334
	Linealidad	-0.22006	1.51568	0.8856	
	cuadrática	-0.04867	0.19256	0.8022	

De acuerdo al análisis estadístico para la cebolla cosechada, presentado en la tabla 5, se observa que hay una variación en el tiempo y comportamiento cuadrático para las variables: Mohos y levaduras, coliformes totales, mesofilos, pH y acidez, ya que presentan valores de “t” menores a 0,05, lo que lleva a encontrar valores máximos en el tiempo para cada una de ellas.

En cuanto a la humedad y la firmeza no presenta efecto significativamente variable en el tiempo, debido a que el producto no ha sufrido daño físico que deteriore su capa exterior y haga que tenga una disminución acelerada de humedad, o ablandamiento extremo de los tejidos logrando una pérdida de firmeza durante el tiempo (figura 7).

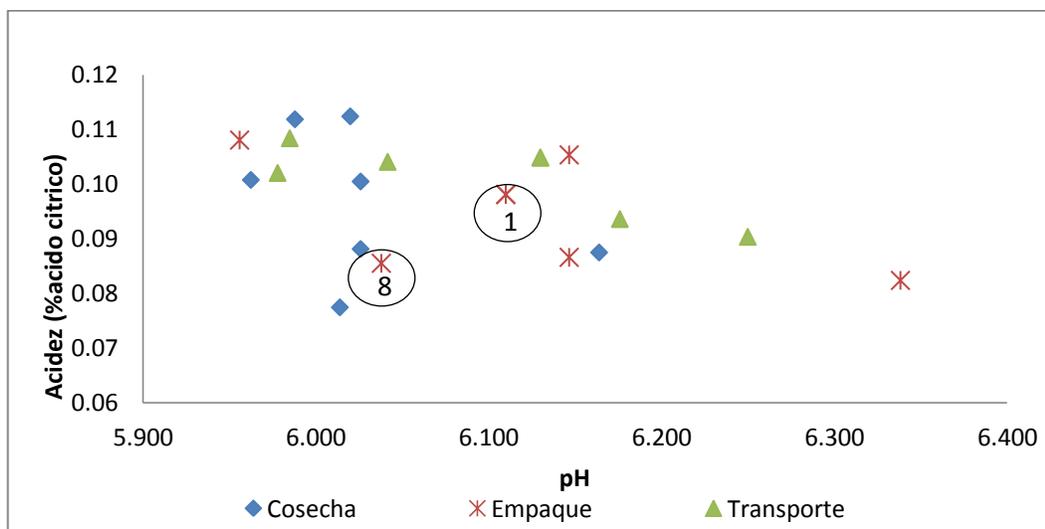
**Tabla 6.** Resultado de Regresión polinomial cebolla Empacada

Variable		Parámetro estimado	Error estándar	t	R2 Ajustado
Mohos y levaduras	Intercepto	17.57542	0.60966	<.0001	0.293
	Linealidad	1.14787	0.47205	0.0241	
	cuadrática	-0.11367	0.05941	0.0694	
Coliformes totales	Intercepto	14.13719	0.77703	<.0001	0.0045
	Linealidad	0.87209	0.60165	0.162	
	cuadrática	-0.10689	0.07572	0.1727	
Mesofilos	Intercepto	15.17511	0.70941	<.0001	0.3627
	Linealidad	1.82822	0.54929	0.0032	
	cuadrática	-0.25298	0.06913	0.0015	
pH	Intercepto	6.06455	0.08468	<.0001	0.1758
	Linealidad	0.00403	0.06557	0.9516	
	cuadrática	0.0038	0.00825	0.6497	
Acidez	Intercepto	0.09124	0.00913	<.0001	0.2237
	Linealidad	0.01417	0.00707	0.058	
	cuadrática	-0.00213	0.00088962	0.0262	
Humedad	Intercepto	0.92489	0.00326	<.0001	0.1048
	Linealidad	-0.00495	0.00252	0.0631	
	cuadrática	0.00066823	0.00031741	0.0475	
Firmeza	Intercepto	35.88541	3.26855	<.0001	-0.084
	Linealidad	-0.45457	2.53081	0.8592	
	cuadrática	0.02892	0.31853	0.9285	

Por el contrario, para la cebolla empacada (tabla 6) no se observa una tendencia cuadrática ni lineal en las variable coliformes totales ni hongos y levaduras, manteniendo el producto un conteo con variaciones poco significativas estadísticamente durante el tiempo de evaluación. En este caso la variable humedad presenta una curva polinomial descendente durante el periodo que se evaluó el producto, debido a que el proceso de empaque causa daño en la capa externa de la cebolla llevándola a tener variación durante el tiempo de almacenamiento (Medina R. V., 2004).

El comportamiento del pH y la acidez del producto durante el tiempo de almacenamiento se observan en la figura 11.

Figura 11. Variación de la acidez en función del pH



Durante el tiempo de análisis de la cebolla cosechada, empacada y transportada la variación de pH y acidez presentó un comportamiento poco variable, ya que permaneció del primer día PH=5.9 a 6.1 (rango de los tres tratamientos) al día 8 con un pH=5.9 a 6.1 (rango de los tres tratamientos) aunque como lo demostró el análisis estadístico, para el caso de la cebolla cosechada se observa comportamiento polinomial. Una disminución en el pH favorece el surgimiento de la coloración morada en la cebolla, como lo demuestran los estudios realizados por (Dong Y., 2010) esta coloración se presenta únicamente en pH 5, y que al aumentar el pH hasta 7 se puede prevenir el cambio de color, por otro lado, pH neutros promueven el deterioro microbiano.

El comportamiento de la acidez (figura 11) presenta una curva polinomial en los procesos de cosecha y empaque, sin embargo, se mantiene sin cambios estadísticamente significativos durante el tiempo de evaluación para el producto que fue transportado. El proceso de transporte causa un daño severo en la cebolla (Puerto, 2004) llevándola a una pérdida inicial de frescura en sus propiedades microbiológicas y fisicoquímicas como la firmeza (Sandrine P. , 2008), ya que durante este proceso se aumenta la tasa respiratoria del producto. Estas condiciones llevan a que desde el día cero de análisis la cebolla presente unas mediciones significativamente poco variables, hasta el día final del análisis como se observa en la tabla 8. Donde también se observan todos los resultados del análisis estadístico realizado a la cebolla transportada, y se evidencia que la firmeza es la única variable con tendencia de cambio en el tiempo.

**Tabla 7.** Resultado de Regresión polinomial cebolla Transportada

Variable		Parámetro estimado	Error estándar	t	R2 Ajustado
Mohos y levaduras	Intercepto	18.44354	0.58451	<.0001	0.2979
	Linealidad	0.47708	0.45297	0.3004	
	cuadrática	-0.01155	0.05789	0.8431	
Coliformes totales	Intercepto	15.64514	0.64766	<.0001	-0.0112
	Linealidad	0.39405	0.5019	0.4383	
	cuadrática	-0.0631	0.06415	0.3329	
Mesofilos	Intercepto	17.09294	0.70787	<.0001	0.0269
	Linealidad	0.47158	0.54856	0.3966	
	cuadrática	-0.08106	0.07011	0.2564	
pH	Intercepto	6.24177	0.08173	<.0001	0.0324
	Linealidad	-0.10934	0.06334	0.0942	
	cuadrática	0.01304	0.00809	0.1174	
Acidez	Intercepto	0.09819	0.00692	<.0001	-0.0638
	Linealidad	0.00065538	0.00537	0.9036	
	cuadrática	-0.00009261	0.00068576	0.8935	
Humedad	Intercepto	0.92721	0.00284	<.0001	-0.0374
	Linealidad	0.00058962	0.0022	0.7902	
	cuadrática	-0.00002172	0.00028086	0.9388	
Firmeza	Intercepto	33.90415	2.08173	<.0001	0.1009
	Linealidad	3.52918	1.61323	0.0364	
	cuadrática	-0.48294	0.20618	0.0258	

Los resultados de las mediciones fisicoquímicas y microbiológicas del comportamiento de la cebolla a través del tiempo por sí solos no están presentando el comportamiento general del sistema (deterioro de cebolla larga), y los resultados estadísticos de las variables con comportamientos significativamente variables a través del tiempo de análisis, tampoco ofrecen en sí solos una aproximación al comportamiento de la calidad total del producto. Por esto se buscó integrar todos los resultados con una herramienta que permita aproximar al comportamiento general del producto, y se plantea validar cambios por medio de un modelo en dinámica de sistemas.

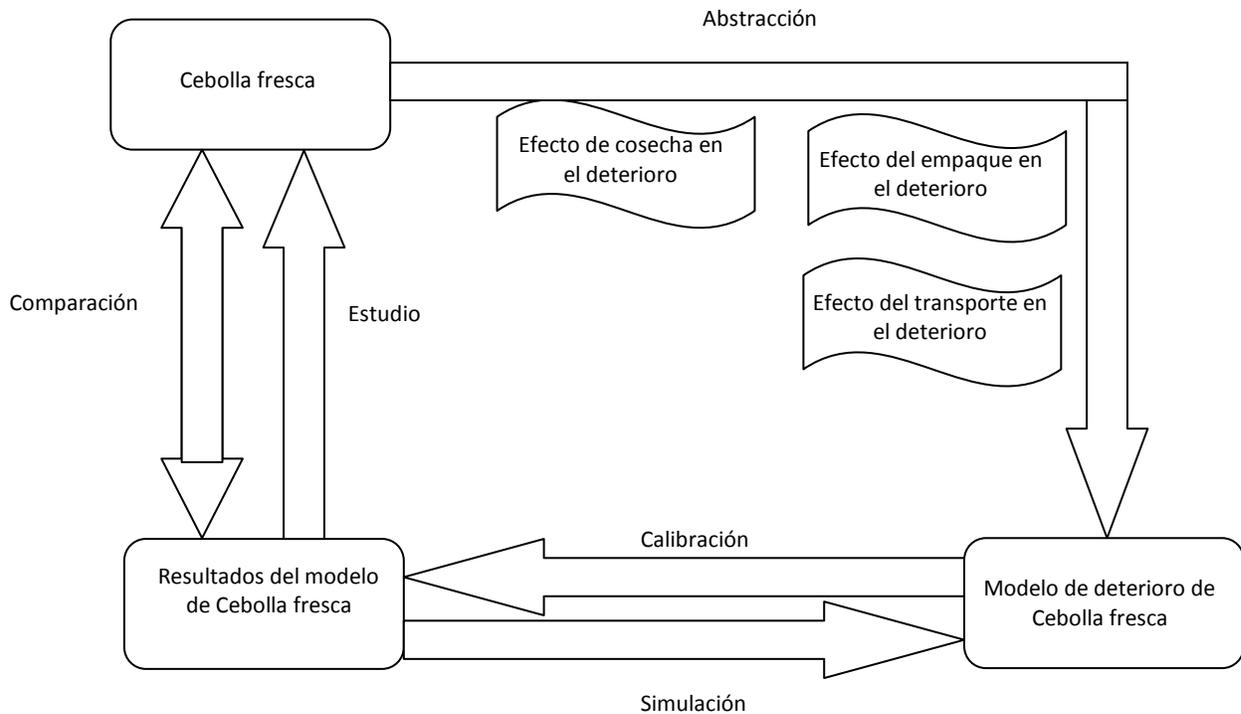
### **6.3.2 Construcción del modelo para la pérdida de calidad de cebolla**

Para la descripción de la pérdida de calidad de cebolla, con un modelo en Dinámica de Sistemas se emplearon los resultados obtenidos en las mediciones de las variables fisicoquímicas y microbiológicas del producto a través del tiempo.

Usando como base el diagrama para la construcción de modelos biológicos planteado por Gorñi, se realizó el diagrama específico para modelar el deterioro de cebolla larga en función del tiempo de almacenamiento, y teniendo en cuenta los tres tratamientos acumulativos a los que se sometió el producto.

La figura 12 evidencia este ciclo, en el cual se observa que continuamente es necesario revisar que el modelo corresponda a la realidad de los sucesos y los cambios en el comportamiento del producto. Después de tener planteado el modelo con base en los factores que influyen sobre el deterioro de la cebolla se hace la programación del mismo y se revisan los resultados comparándoles con los obtenidos experimentalmente.

Figura 12. Diagrama general de modelado en cebolla



Adaptado de: Joaquín Goñi, Juan Martín García. Dinámica de Sistemas Biológicos: modelando complejidad

Generalmente la calidad aceptable de un producto perecedero depende de tres factores, el producto (características intrínsecas de mismo), el uso (características extrínsecas) y la situación del mercado (preferencias del consumidor). Por tanto, es difícil definir qué es la calidad y la forma de controlarla. La descomposición de estos factores en la calidad lleva a una distinción entre la calidad asignada y la aceptabilidad de un producto. La calidad asignada es la noción de calidad que un consumidor tiene de un producto y los resultados de la evaluación de ese producto con respecto a sus criterios. Cambios en la asignación de la calidad pueden ser simulados con cambios en calidad en el modelo, que consisten en modelos separados para la asignación de la calidad, para el comportamiento del producto, y para el medio ambiente producto (Sloof, 2004).

Para el caso de estudio en cebolla se tuvieron en cuenta dos de los tres factores, los cuales son: el producto y el uso (condiciones de cosecha, empaque y transporte), ya que el tercer factor no hace parte del alcance del proyecto.

La asignación de la calidad en un producto es una evaluación del estado del mismo en algún punto del tiempo, y el estado del producto es determinado únicamente por las propiedades intrínsecas del mismo con algunas influencias de las condiciones ambientales. Estos tres factores dan lugar a la compleja conducta de la calidad observada en la distribución de post-cosecha de productos perecederos.

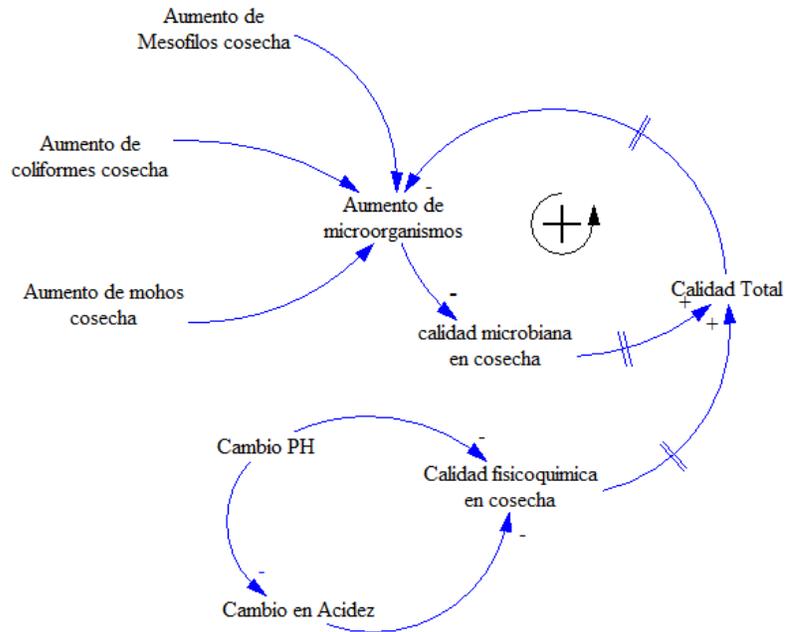
Llevando el comportamiento de la cebolla a la perspectiva de Dinámica de Sistemas se partió de los planteamientos realizados por Caez 2008, los cuales sugieren que un producto que inicia con una calidad determinada tiende a deteriorarse y la velocidad de las reacciones y procesos involucrados pueden generar la aceleración de estos últimos.

#### **6.3.2.1 Establecimiento del diagrama causal para el deterioro de cebolla larga**

Partiendo de la caracterización del sistema realizada anteriormente y de las variables que fueron elegidas como relevantes para describir el comportamiento de la calidad de la cebolla se construyeron los diagramas causales con el fin de dilucidar las relaciones entre las variables. Se modelaron por aparte el deterioro del producto cosechado, empacado y transportado, ya que (como se dijo anteriormente) estos deterioros son acumulativos y el deterioro en cada una de estas etapas está afectado por variables diferentes. Para la realización de los modelos en cada etapa se tuvieron en cuenta subsistemas diferentes, y estos fueron determinados con base a los resultados estadísticos en los cuales determinaron las variables que tienen cambios significativos a través del tiempo para el producto.

El siguiente diagrama explica la relación de las variables que afectan la calidad de la cebolla en cosecha:

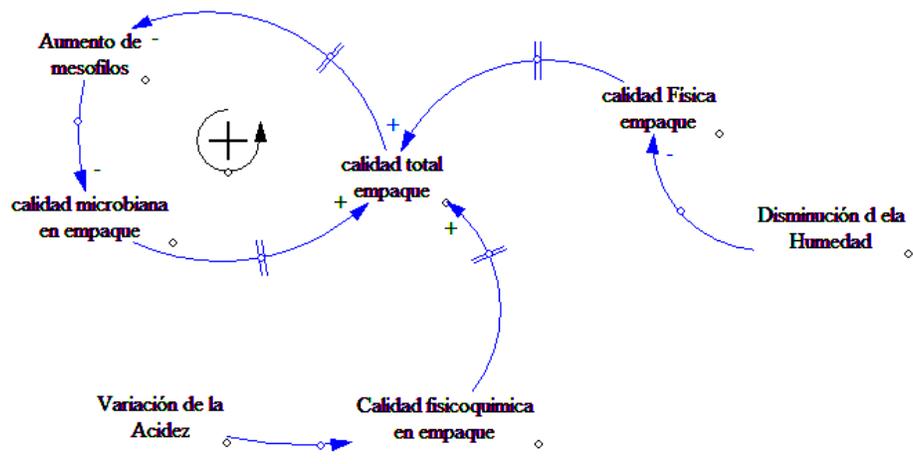
Figura 14. Diagrama causal pérdida de calidad de cebolla en cosecha



En el diagrama causal de la figura 14 se puede observar un ciclo de realimentación positivo ya que a medida que la calidad microbiana aumenta, la calidad total de la cebolla crece y entre mayor sea la calidad total de la cebolla, menor va a ser el crecimiento de microorganismos (que en el proceso de cosecha son: Mohos, mesófilos y coliformes), finalmente, a mayor crecimiento de microorganismos menor calidad microbiana. Se puede observar también que el nivel de acidez está influenciado por los cambios en el pH y ambos afectan la calidad fisicoquímica de la cosecha.

Para el proceso de empaque se realizó el siguiente diagrama causal:

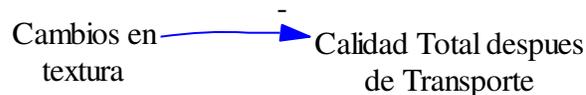
Figura 15. Diagrama causal pérdida de calidad de cebolla empacada



En el proceso de empaque se observa un ciclo de realimentación positivo igual al que se presenta en cosecha, pero en el proceso de empaque la calidad microbiana solo está influenciada por el aumento de mesófilos. También, que la calidad fisicoquímica que afecta la calidad total de la cebolla, está influenciada por la variación de la acidez y por la disminución de la humedad.

Para el proceso de transporte se encontró que en la calidad de la cebolla solo influye significativamente la firmeza del producto, por lo que solo se encontró la siguiente relación causal:

Figura 16 Diagrama causal pérdida de calidad de cebolla empacada

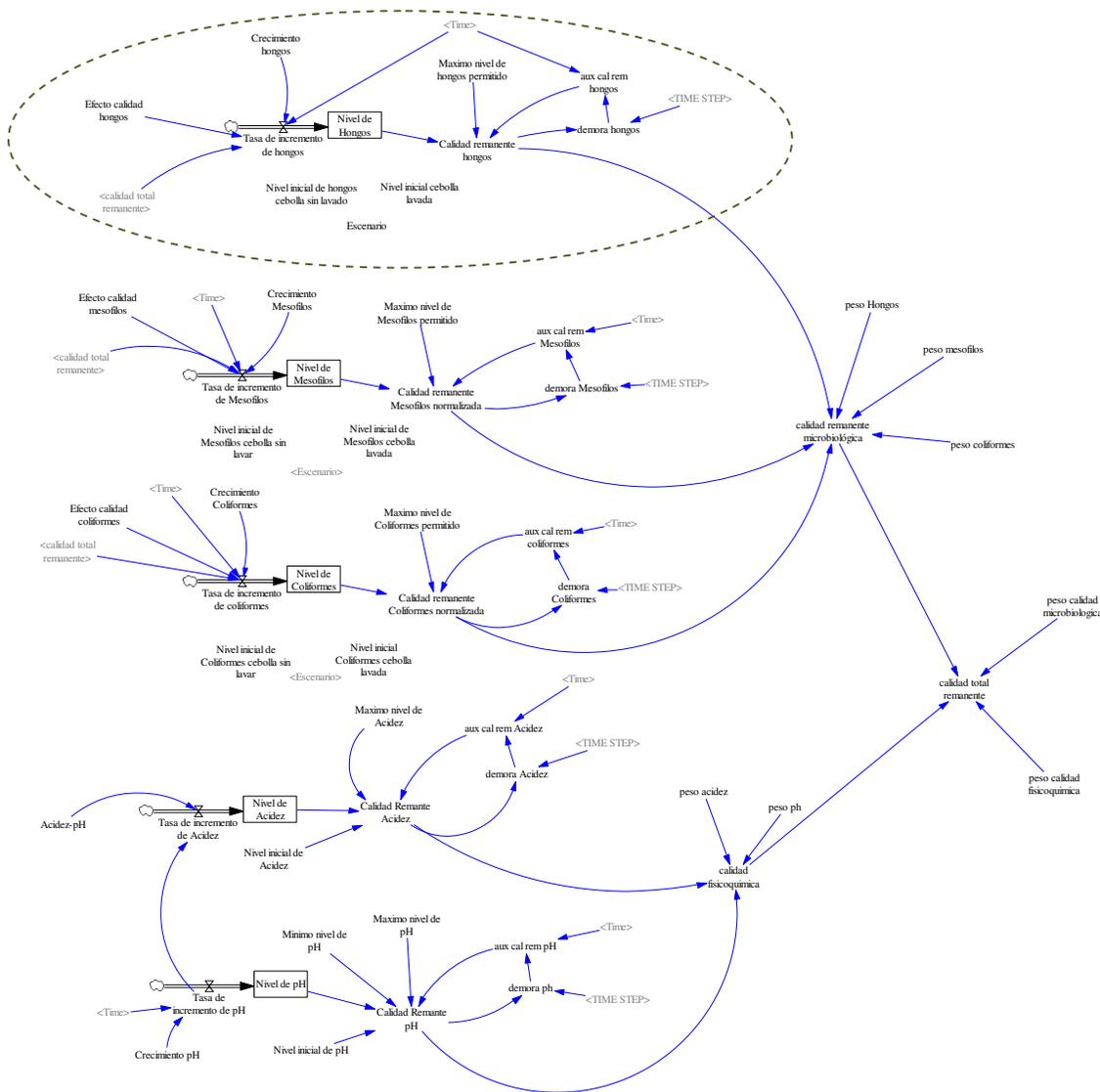


### 6.4 FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Partiendo de los diagramas causales anteriores se elaboraron los diagramas Forrester con el objetivo de construir un modelo dinámico que describa el comportamiento de la calidad de la cebolla cosechada, empacada y transportada.

A continuación se muestra el Diagrama Forrester construido para la cebolla cosechada:

Figura 17. Diagrama de Forrester cebolla cosechada





$$\begin{aligned} \text{Nivel de microorganismo}_k &= \\ \text{Nivel de microorganismo}_j + \text{tasa incrementomicro}_{jk} * dt & \quad (1) \end{aligned}$$

La tasa de incremento de microorganismos se define como la velocidad a la cual aumentan o disminuyen los microorganismos en la cebolla. Para representar esta relación se utiliza una variables auxiliar tipo lookup que contiene los deltas de crecimiento en función del tiempo para cada microorganismo, obtenidos a partir de los datos experimentales denominada “crecimiento microorganismo”. Esta tasa de crecimiento también se encuentra influenciada por la calidad total de la cebolla, a través de otra variable auxiliar tipo lookup que actúa como multiplicador de la velocidad de crecimiento de los microorganismos dependiendo de la calidad total remanente de la cebolla, denominada “efecto calidad microorganismos” como se muestra en la ecuación (2).

$$\text{Tasa incrementomicro}_{jk} = \{\text{efectocalidadmicro} = f(\text{calidadtotal})\} * \{\text{crecimentomicro} = f(\text{tiempo})\} \quad (2)$$

La anterior ecuación se utiliza para los niveles de cada uno de los tres microorganismos que influyen en la calidad de la cebolla cosechada.

La calidad remanente de cada microorganismo depende del nivel máximo y mínimo permitido de cada uno de ellos, de la cantidad inicial de microorganismos (valores expresados en variables auxiliares) y del nivel de los mismos en cada instante de tiempo, como lo muestra la ecuación (3).

$$\begin{aligned} \text{CalRemMicro} &= \\ \text{si } \{\text{Nivel de microorganismo}_j > \text{Nivel máximo permitido}\} & \text{ entonces } \{0\} \text{ sino } \left\{ 1 - \left( \frac{\text{Nivel de microorganismo}_j}{\text{Nivel máximo permitido}} \right) \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

Finalmente la calidad remanente microbiológica (4) se expresa como la suma ponderada de las calidades de cada uno de los microorganismos, los factores de peso “Ki” fueron determinados mediante el análisis estadístico de los datos experimentales, utilizando los coeficientes de determinación de las regresiones “R2”.

$$\text{CalRemMicrobiológica} = \sum_{i=0}^3 \text{CalRemMicro}_i * K_i \quad (4)$$

La calidad remanente fisicoquímica se halla de la misma forma, expresada como la suma ponderada de las calidades remanentes de la variable acidez y pH (5)

$CalRemFisicoquímica = calidad\ rem\ pH * peso\ ph\ calidad + rem\ acidez * peso\ acidez$  (5)

La calidad remanente de pH se expresa como lo muestra (6)

$CalRempH = si \{ Nivel\ de\ pH_j > Nivel\ máximo\ pH : or : h < Nivel\ mínimo\ pH \} entonces \{ 0 \} sino \{ 1 - \frac{(Nivel\ inicial\ de\ pH - Nivel\ de\ pH)}{(Nivel\ inicial\ de\ pH - Mínimo\ nivel\ de\ pH)} \}$  (6)

La calidad remanente de acidez se expresa como lo muestra (7).

$CalRemAcidez = si \{ Nivel\ de\ acidez_j > Máximo\ nivel\ acidez \} entonces \{ 0 \} sino \{ 1 - \frac{(Nivel\ de\ Acidez_j - Nivel\ inicial\ de\ Acidez)}{(Máximo\ nivel\ Acidez - Nivel\ inicial\ de\ Acidez)} \}$  (7)

El nivel de pH varía en el tiempo en función de la tasa de cambio de pH como lo muestra la ecuación (8)

$Nivel\ de\ pH_k = Nivel\ de\ pH_j + tasa\ cambio\ pH_{jk} * dt$  (8)

Donde la tasa de cambio de pH se expresa como lo muestra (9)

$Tasa\ cambio\ pH_{jk} = \{ crecimiento\ pH = f(tiempo) \}$  (9)

La variable "crecimiento pH" es una variable auxiliar tipo lookup que contiene los deltas de crecimiento en función del tiempo para el pH, obtenidos de forma experimental.

El nivel de acidez varía en el tiempo en función de la tasa incremento acidez como lo muestra la ecuación (10)

$Nivel\ de\ acidez_k = Nivel\ de\ acidez_j + tasa\ incremento\ acidez_{jk} * dt$  (10)

La influencia de la variable pH sobre la acidez se presenta en la tasa de incremento acidez como se muestra en (10)

$$Tasa\ incremento\ acidez_{jk} = \{Acidez - pH = f(Tasa\ de\ cambio\ de\ pH_{jk})\}$$

La variables “Acidez- pH” es una variable auxiliar tipo lookup que varía en función de la “tasa de cambio de pH”

Los diagramas de forrester para cebolla empacada y transportada se muestran en las figuras 19 y 20, cuyas ecuaciones son similares a las presentadas anteriormente.

Figura 19. Diagrama de Forrester cebolla empacada

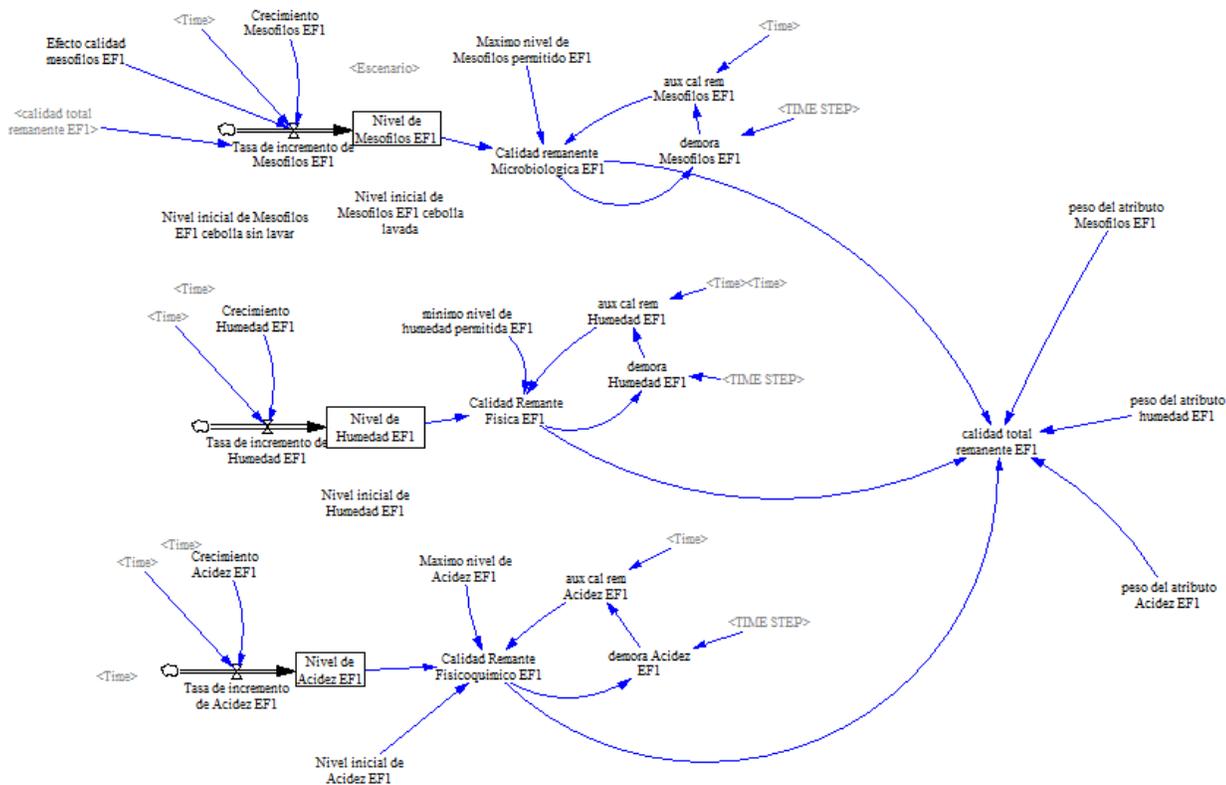
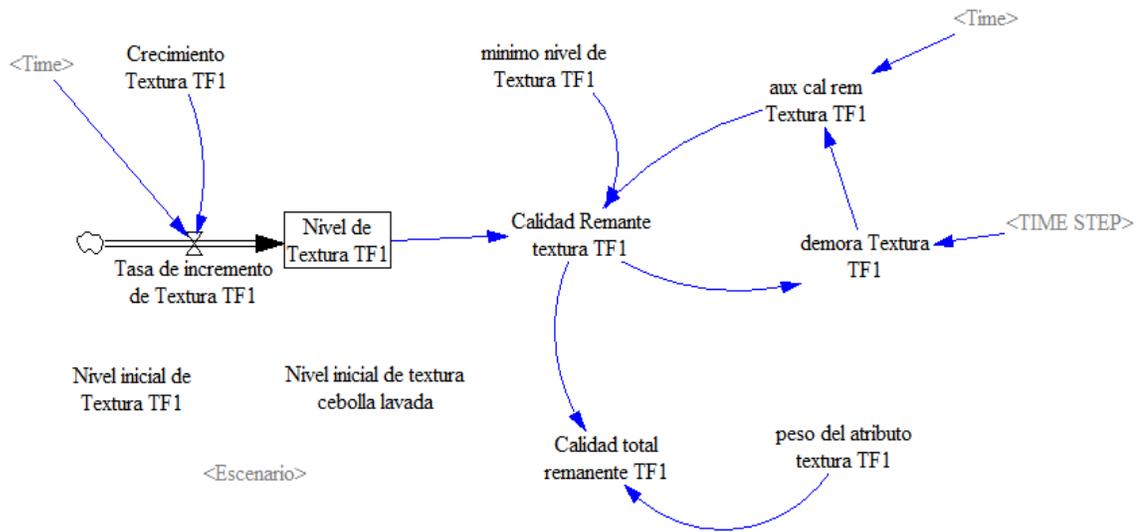


Figura 20. Diagrama de Forrester cebolla transportada



Al tener los diagramas de Forrester que describen el cambio en la calidad de la cebolla en cada una de las etapas analizadas, se realizó una parametrización del modelo de acuerdo a los datos experimentales y los resultados estadísticos obtenidos.

Las relaciones matemáticas utilizadas para el modelo de calidad remanente de la cebolla empacada y el modelo de calidad de la cebolla transportada son las mismas, se diferencia en que las variables que afectan la calidad son diferentes y los factores de peso son diferentes, estos valores se presentan en la tabla 8.

**Tabla 8.** Parametrización de los factores de peso en la calidad total remanente

Proceso	Variable	Peso de variable en el componente	Componente	Peso del componente en la calidad total
Cosecha	Mohos	0,433104631	Comp. Microbiológico	0,797339301
	Coliformes	0,137767036		
	Mesófilos	0,429128333		
	pH	0,321165644	Comp. Físicoquímico	0,202660699
	Acidez	0,678834356		
Empaque	Mesófilos	1	Comp. Microbiológico	0,524739583
	Acidez	1	Comp. Físicoquímico	0,323640046
	Humedad	1	Comp. Físico	0,15162037
Transporte	Firmeza			1

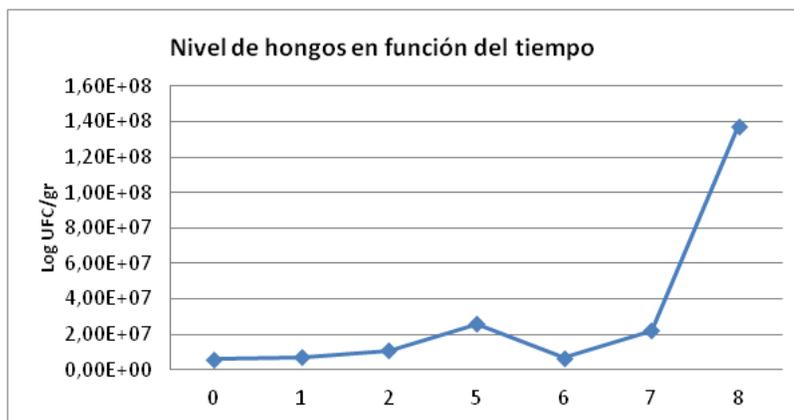
Los valores usados como en el modelo fueron determinados utilizando los R<sup>2</sup> o coeficientes de determinación de las regresiones realizadas a los datos obtenidos experimentalmente, siendo posteriormente estandarizados para incorporarlos en el modelo de Dinámica de Sistemas. Se optó por este método porque es una aproximación al comportamiento real y medido que está teniendo cada una de las variables del producto a través del tiempo. Los resultados de los R<sup>2</sup> se presentaron en las tablas 5, 6 y 7. El valor del peso del componente en la calidad total de la cebolla transportada es 1, porque la pérdida de calidad en esta etapa solo se ve influenciada por la variable firmeza.

## 6.5 SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MODELO

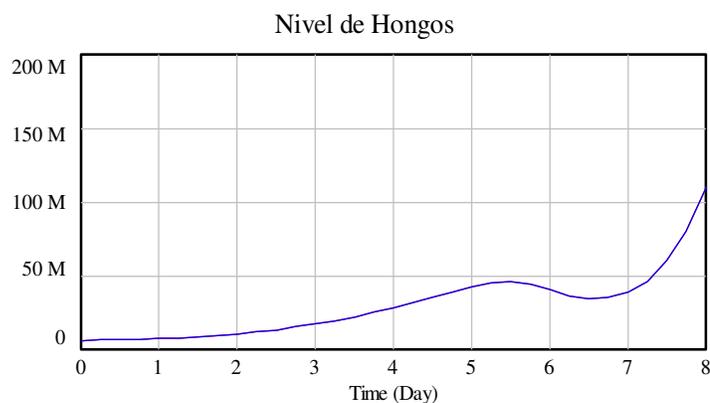
Después de parametrizar el modelo con los datos obtenidos experimentalmente, se simuló y se comparó el comportamiento de las variables “nivel de hongos”, nivel de mesófilos”, “nivel de coliformes”, “nivel de pH”, “nivel de acidez”, “nivel de humedad” y “nivel de firmeza” con el fin de validar que el modelo describiera el comportamiento de las variables experimentales.

Se realizaron gráficas comparativas para todas las variables, a continuación se muestra la gráfica obtenida experimentalmente para el nivel de hongos en función del tiempo y la grafica obtenida mediante el modelo de simulación.

**Figura 21.** Datos experimentales Nivel de hongos en función del tiempo de almacenamiento



**Figura 22.** Modelo de simulación Nivel de hongos en el tiempo

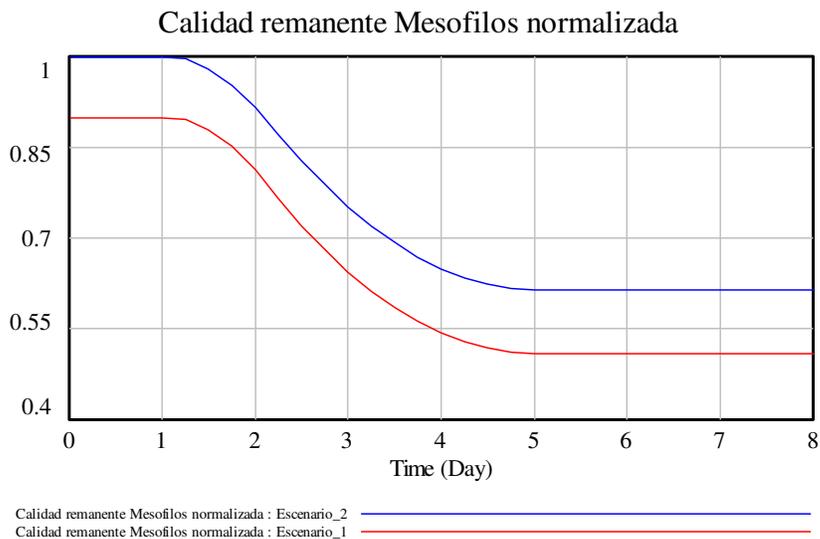


Luego de validar el comportamiento de las variables se simulo el modelo bajo dos escenarios: El primer escenario utilizando los valores iniciales de microorganismos en la cebolla sin tratamiento y un segundo escenario utilizando los valores iniciales de los microorganismos encontrados en la cebolla después de realizar un proceso de lavado.

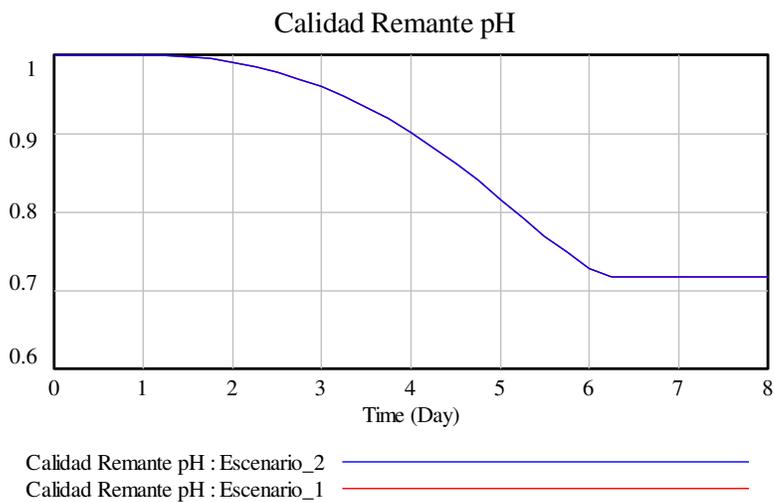
### 6.5.1 Resultados cebolla cosechada

Las figuras 23 y 24, son un ejemplo del comportamiento en calidad que tiene cada una de las variables analizadas, y muestran la disminución de la calidad en mesófilos y pH.

**Figura 23.** Comportamiento de la Calidad en Mesófilos



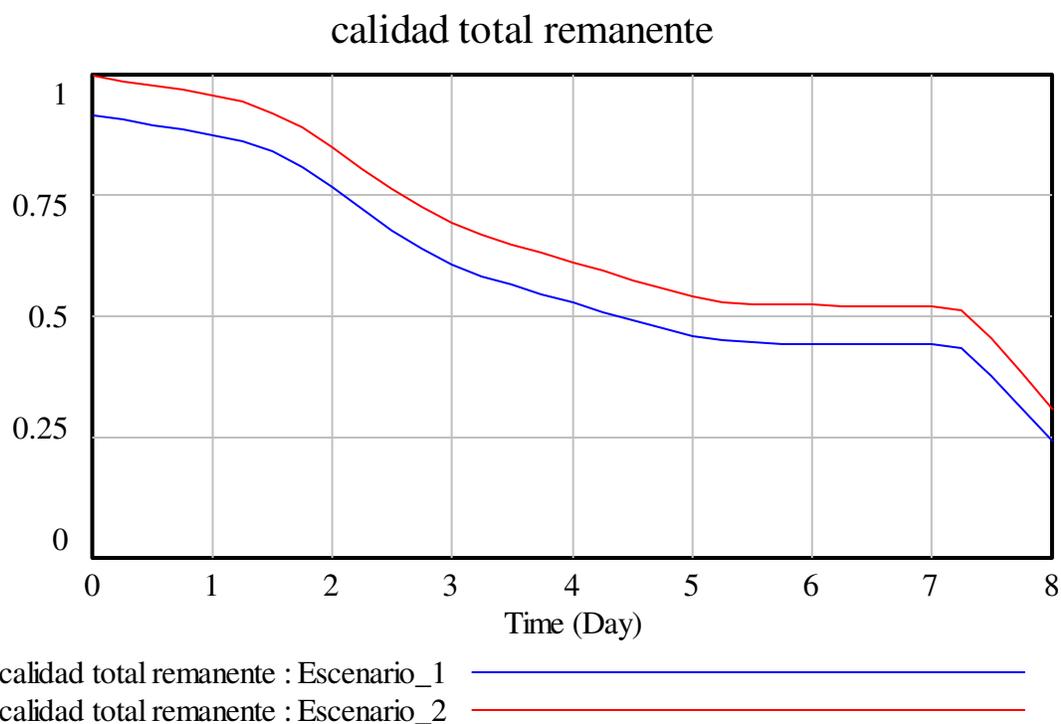
**Figura 24.** Comportamiento de la calidad en pH



La calidad remanente total afectada por las variables analizadas en cebolla cosechada en el día 8 en el escenario 1 (cebolla sin tratamiento) fue del 24.01% mientras que en el escenario 2 (cebolla lavada) fue del 30.71%. Lo que da una diferencia de un 6,7%, teniendo en cuenta que tanto en el escenario 1 como en el escenario 2 la calidad fisicoquímica no cambia. El producto llega al 40% de calidad en el día 7 para el escenario 1 (valores experimentales) y le toma 7 ½ días llegar a esta calidad en el escenario 2.

La figura 25 muestra la calidad remanente total para la cebolla cosechada.

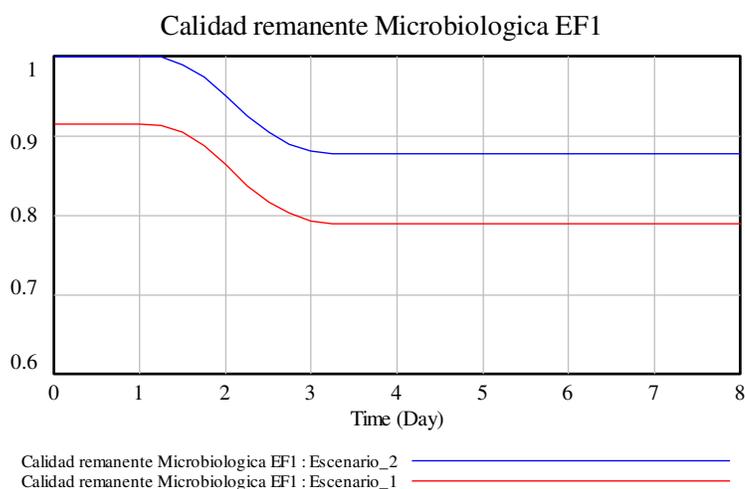
Figura 25. Calidad Total Remanente cebolla cosechada



### 6.5.2 Resultados cebolla empacada

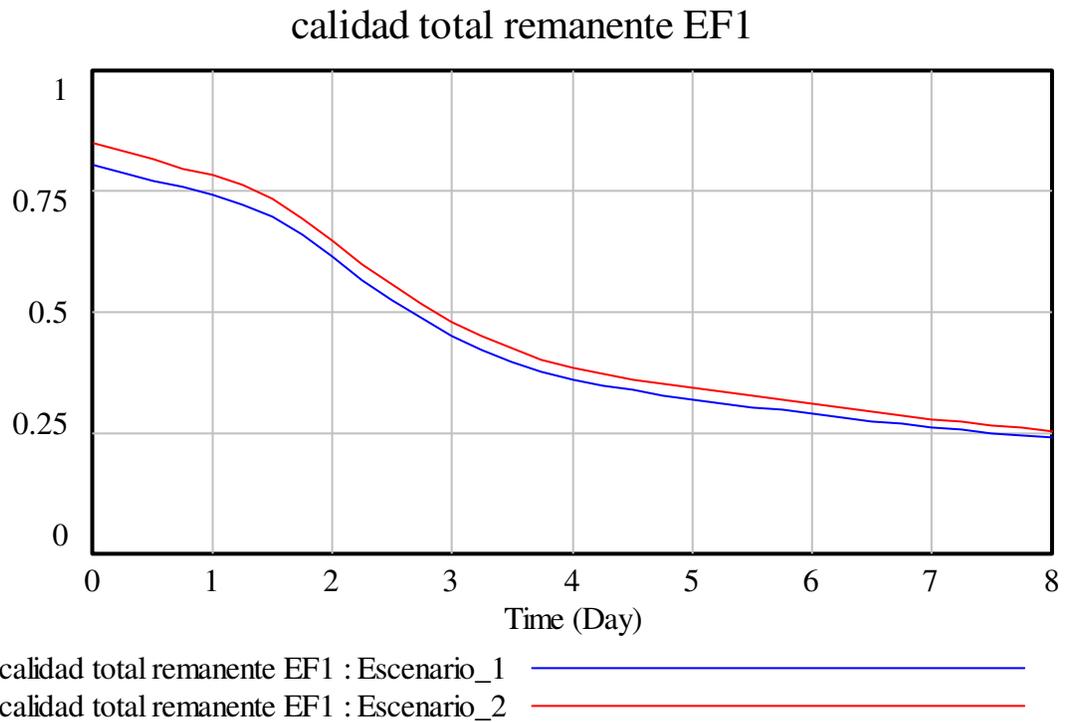
La calidad remanente microbiológica para la cebolla empacada llega hasta un 78% en el día 3 para el escenario 1 y permanece constante, debido a que en este punto el nivel de mesófilos comienza a disminuir. En el escenario 2 la calidad remanente microbiológica llega hasta un 87% en el día 3 donde permanece constante. Ver figura 26.

**Figura 26.** Calidad remanente microbiológica (mesófilos) en empaque



Por otro lado la calidad física (que depende de la variable humedad) llega a cero también en el día 3 y la calidad fisicoquímica (que depende de la acidez) llega a un 25,41 de calidad remanente en el día 4. Dando como resultado una calidad remanente total en la cebolla empacada de 23,9% en el día 8 para el escenario 1 y de 25,54 % en el día 8 para el escenario 2. Ver figura 26.

Figura 27. Calidad remanente microbiológica (mesófilos) en empaque

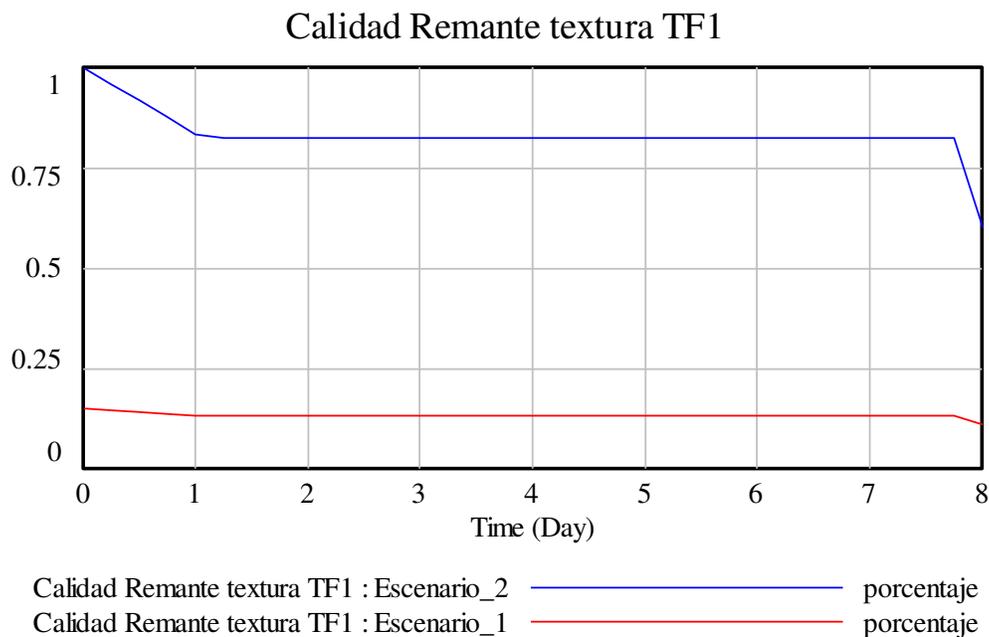


En la cebolla empacada disminuye la calidad inicial del producto de 15 puntos porcentuales respecto la calidad del producto cosechado, adicionalmente el deterioro final de la cebolla se observa un día antes.

### 6.5.3 Resultados cebolla transportada

La calidad de la cebolla transportada según el análisis estadístico solo es afectada significativamente por la variable firmeza, dando como resultado una calidad remanente total en el día 8 de 10,74% en el escenario 1 y de 60.11% para el día 8 en el escenario 2, como lo muestra la figura 28.

**Figura 28.** Calidad remanente total para cebolla Transportada



La descripción de la pérdida de calidad de la cebolla puede también expresarse por medio del análisis de los resultados experimentales, sin embargo no se podría usar las relaciones existentes entre las variables analizadas en la determinación del resultado final de calidad total del producto, aspecto que evidencia la utilidad del modelo. Adicionalmente, con el uso del modelo se puede simular diversos escenarios de comportamiento del sistema, en los cuales no es necesario hacer mediciones en el tiempo de las variables designadas, si no con unos datos en un determinado tiempo se puede llegar a predecir el comportamiento del producto a los largo del periodo de almacenamiento y el día en el cual llega al valor mínimo de calidad que se haya planteado como aceptable.

## 7 CONCLUSIONES

Después de realizar los análisis y estudios planteados para determinar el deterioro de la cebolla se concluye que:

Los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que afectan la calidad de la cebolla objeto de estudio difieren de acuerdo a la etapa que se esté analizando. Se encontró que en la cebolla cosechada los mohos y levaduras tienen una influencia del 34,53%, mientras que en la cebolla empacada son los mesófilos los de mayor influencia con un 52,47%, y en el producto transportado el cambio en la calidad solo depende de las variaciones en firmeza.

Los principales cambios en el deterioro del producto cosechado se presentan en el día 4 (figura 19) de almacenamiento debido a la influencia del componente microbiológico en este proceso. En la cebolla empacada estos cambios se presentan en el día 3 debido a la influencia que presentan los mesófilos en la pérdida de calidad del producto. Para la cebolla transportada se evidencian la disminución de calidad en el día 1, la cual es causada por las variaciones en firmeza que sufre el producto durante su tiempo de almacenamiento.

Los actuales procesos de empaque y transporte de cebolla larga tienen un efecto de disminución en la calidad del producto que ha sido cosechado, el cual pasa de perder el 50% de su calidad en el día 5 para la cebolla cosechada, al día 3 en la cebolla empacada y día 1 en la que fue transportada. Esto comprueba la hipótesis planteada que sugería una influencia en la pérdida de calidad del producto debida a los procesos de empaque y transporte, y es una herramienta para tomar medidas que permitan minimizar las pérdidas de producto en post cosecha.

El uso de dinámica de sistemas para describir el comportamiento de la calidad de cebolla larga en el tiempo de almacenamiento; permitió expresar las relaciones existentes entre las diferentes variables que influyen en la calidad del producto en condiciones de cosecha y empaque, entre las cuales se encuentran: la relación inversa entre pH y acidez, así como el bucle positivo que se presenta entre la calidad total de producto y el crecimiento

microbiano. La realización de este modelo brinda la posibilidad de usarlo en diferentes condiciones, como es el caso de describir el comportamiento en la calidad de cebolla que fue previamente lavada o desinfectada antes de ser traída a Bogotá desde el cultivo.

## 8 RECOMENDACIONES

En la realización de la investigación y análisis del actual sistema de empaque y transporte de cebolla desde Aquitania hasta Corabastos se presentan las siguientes recomendaciones:

Realizar mejoras en el proceso de siembra y cosecha, como las actuales técnicas de abono con el fin de reducir los conteos microbianos iniciales del producto, y de recolección del producto, lo cual permitiría minimizar los daños físicos por la mala manipulación de la cebolla. Podrían realizarse mediciones microbiológicas con el uso de diferentes abonos y su relación costo beneficio.

Explorar la posibilidad de realizar los procesos de acondicionamiento de cebolla directamente en el municipio de cultivo con el fin de minimizar pérdidas en el transporte por la manipulación que tiene actualmente el producto y el transporte de material de desecho. También, con el acondicionamiento en sitio se puede empacar el producto ya limpio en canastas, disminuyendo costos por uso de estos utensilios para transporte de material con residuos.

Los resultados de la investigación permiten planear los tiempos máximos de entrega del producto al consumidor final antes de perder sus parámetros de calidad, de esta forma los comercializadores podrán tomar medidas que minimicen los daños en el producto, entre las cuales pueden encontrarse: la limpieza del producto, la refrigeración, entre otras.

Para futuras investigaciones se abre la posibilidad a explorar modelos de pérdida de calidad de vegetales frescos con límites del sistema más amplios donde se pueda identificar la influencia de otras variables sobre el deterioro del producto.

Con base en los resultados del presente estudio, en investigaciones posteriores se podría realizar las mediciones sobre sistemas alternativos de transporte y empaques que permitan cuantificar las pérdidas en el producto debidas a cada una de ellas, y resulte en la consecución de un método de empaque y transporte apropiado para este producto.

Como futura investigación se plantea la realización de procesos de acondicionamiento del producto directamente en la zona de cosecha para la elaboración de un modelo de pérdida de calidad con estos datos, que pueda comparar los resultados en esas condiciones con los resultados del modelo actual.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aracil, & Gordillo. (1997). Dinamica de Sistemas. Madrid: Alianza.
2. Baez, A., & Diaz, E. (2005). Evaluación de dos sistemas de almacenamiento de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) curada utilizando condiciones de refrigeración y aire ligeramente calentado. Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Agrícola, Bogotá.
3. Barreriro, J., & Sandoval, A. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Miranda- Venezuela: Equinoccio. Universidad Simon Bolivar.
4. Batista, L. (2007). Caracterizacao quimica, fisica e de compostos funcionais em cebolas frescas e minimamente processadas . Brasilia: Universidad de Brasilia.
5. Beaulie, J. C., & Baldwin, E. A. (2001). flavor and aroma of fresh-cut fruits an vegetables. En Lamikanra, Fresh cut fruits and vegetables (pág. 167). Washington: Thecnol and market.
6. Benjakul, S. V. (2003). Purification and characterization of heat-stable alkaline proteinase from bigeye snapper (*Priacanthus macracanthus*) muscle. Comp. Biochem. Physiol.
7. Benjakul, S., Visessanguan, W., & Leelapongwattana, K. (2003). Purification and characterization of heat-stable alkaline proteinase from bigeye snapper(*Priacanthus macracanthus*) muscle. Comp. Biochem. Physiol.
8. Caez, G. (2008). Dinamica de sistemas como herramienta para la modelación de la estabilidad física y la predicción de la vida útil de alimentos. Modelación de los factores fisicoquimicos determinantes de la estabilidad de un producto vegetal funcional Gama-V., 115.
9. Caez, G. G. (2009). Dianmica de sistemas como herramienta para la modelación de la estabilidad de una bebida funcional. En 7 Congreso latinoamericano de dinamica de Sistemas. 7 encuentro colombiano de Dinimica de Sistemas. Santa Marta.
10. Cha H., Y. A. (2008 ). Quality analysis of welsh onion (*Allinum fistulosum* L) as influenced by storage temperature and harvesting periodid, Korean J. Food science technology, 1-7.
11. Chitarra, M., & Chitarra, A. (2005). Pos-colheita de frutas e hotralicas:fisiologia e manuseio. Lavras: UFLA.
12. Collazos F, O. H. (1999). Manejo post-cosecha y comercialización de cebolla de rama. Programa post-cosecha, convenio SENA-Reino Unido.
13. Collazos, F. O. (1999). Manejo post-cosecha y comercialización de cebolla de rama. Programa Post cosecha, convenio SENA- Reino Unido. Bogotá: SENA.
14. CORPOICA. (2001). Evaluación tecnica y económica de las operaciones post-cosecha y la oferta tecnológica de la cebolla de rama, cebolla de bulbo, tomate y otras

- hortalizas en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Bogotá: Ministerio de Agricultura y desarrollo rural.
15. Corpoica. (2001). Informe final. Evaluación técnica y económica de las operaciones postcosecha y la oferta tecnológica para la cebolla de rama (*Allium fistulosum*) y otras hortalizas en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
  16. Costa, F., & Cappellin, L. (2011). Assessment of apple (*Malus × domestica* Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. *Postharvest Biology and Technology*, 21-28.
  17. Costa, F., Capellin, L., Longhi, S., Guerra, W., Magnago, P., Porro, D., . . . Salvi, S. (2011). Assessment of apple (*Malus × domestica* Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. *Postharvest Biology and Technology*(61), 21-28.
  18. DANE. (2001). Primer censo del cultivo de cebolla larga. Bogotá.
  19. Dong Y., W. D. (2010). One new pathway for *Allium fistulosum* discoloration. *Food Chemistry*, 548-553.
  20. Forrester, J. W. (1981). *Dinámica Industrial*. Buenos Aires: Editorial Ateneo.
  21. García. (2006). *Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas*. Barcelona.
  22. Gómez-López, V. R. (2009). Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 17-26.
  23. González, A. L., Caez, G., Moreno, L., Rodríguez, N., & Sotelo, I. (23-26 de Octubre de 2011). ANALISIS COMBINADO ACÚSTICO-MECÁNICO DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE CEBOLLA (*Allium fistulosum*) MÍNIMAMENTE PROCESADA. *Cibia 8*. Lima, Perú.
  24. Goñi, J., & García, J. M. (2006). *Dinámica de Sistemas Biológicos: modelando complejidad. Iniciación a la Investigación*. Revista electrónica. Universidad de Jaen, 1-9.
  25. Goodman, M., Kemeny, J., & Roberts, a. C. (1994). The language of systems thinking: "Links" and "loops.". En P. Senge, *The Fifth Discipline Fieldbook*.
  26. Gorni, J. (2001). Food safety guidelines for the fresh-cut produce industry. En J. Gorni, *International fresh-cut produce association* (4 ed., pág. 216). Arlington.
  27. Granados, A., & Guzman, A. (2003). Plan estratégico de recolección, empaque y distribución de papa y cebolla en el tramo Boyaca-Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de ingeniería. Ingeniería Industrial, Bogotá.
  28. Harker, F., Stec, M., Hallet, I., & Bennett, C. (1997). Texture of parenchymatous plant tissue: a comparison between tensile and other instrumental and sensory measurements of tissue strength and juiciness. *Postharvest Biology and Technology*, 63-72.
  29. Herrera, C., Sanchez, G., & Peña, V. (2006). Avances de resultados de investigación en cebolla de rama en Aquitania, Boyacá. Bogotá: Produmedios.

30. Ibaraki, T. I. (2001). Method of Evaluating Quality of Freshly Cut Welsh Onions. Food Science and Technology Research, 7 (3), 258–261., 7 (3), 258–261 .
31. J, M. (s.f.). <http://www.dinamica-de-sistemas.com/>. Recuperado el 8 de Marzo de 2012
32. James, S. J., James, C., & Evans, J. A. (September de 2006). Modelling of food transportation systems – a review. International Journal of Refrigeration, Volume 29(Issue 6), 947-957.
33. Johnson, L. (2005). A field study of the microbiological quality of fresh produce. Journal of food protection, 1840-1847.
34. Kitinoja, L. K. (2002). [www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae075s/ae075s00.htm#table%20of%20contents%20](http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae075s/ae075s00.htm#table%20of%20contents%20). Recuperado el 25 de Marzo de 2011
35. Klotz K, F. F. (2008). Respiration in postharvest sugarbeet roots is not limited by respiratory capacity or adenylates . Journal of plant physiology , 1500-1510.
36. Kumar, S., & Nigmatulin, A. (2011). A system dynamics analysis of food supply chains- Case study with non-perishable products. Simulation Modelling Practice and Theory, 19, 2151-2168.
37. L., E. A. (2010). <http://jmonzo.net/blogeps/ids1.pdf>. Recuperado el 1 de marzo de 2012
38. Labuza, T. (1985). An integrated approach to food chemistry: Illustrative Cases. En F. OR, Food Chemistry. New York: Marcel Dekker,.
39. Lagarda, L. (2010). <http://jmonzo.net/blogeps/ids1.pdf>. Recuperado el 1 de Marzo de 2012
40. Lagarda, L. (2010). <http://jmonzo.net/blogeps/ids1.pdf>. Recuperado el 1 de Marzo de 2012
41. Lahoz-Beltrá, R. (2004). Bioinformatica, Simulación, vida artificial e inteligencia artificial. Madrid: Díaz de Santos.
42. Martin. (2011). <http://dinamica-de-sistemas.com/index.htm>. Recuperado el 8 de Marzo de 2012
43. Martin-Belloso, O., & Rojas-Grau, M. A. (2005). Factores que afectan la Calidad. En G.-A. G.-N. F, Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados (pág. 558). Hermosillo.
44. Medina R, V. F. (2004). Evaluación de pérdidas en la post-cosecha de la cebolla junca (*allium fistulosum*). Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
45. Medina, R. V. (2004). Evaluación de pérdidas en la poscosecha de la cebolla junca (*Allium Fistulosum*). Inventario de las investigaciones realizadas en poscosecha de productos agrícolas en la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
46. Medina, R., & villamizar, F. (2004). Evaluación de pérdidas en la poscosecha de la cebolla junca (*Allium Fistulosum*). Inventario de las investigaciones realizadas en poscosecha de productos agrícolas en la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

47. Medina-Díaz, O. (1988). Evaluación de pérdidas en la post-cosecha de la cebolla junca. Bogotá.: Universidad Nacional. Ingeniería Agrícola.
48. Mercado-Silva, E., & Aquino-Bolaños, E. N. (2005). Enzimas involucradas en el deterioro. En G. G.-N. Gonzalez-Aguilar, Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados (pág. 558). Hermosillo: Ciad.
49. Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural. (2007). Resolución 224.
50. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2007). Resolución 224 de 2007. por la cual se expide el reglamento técnico No RTC-002 MADR de requisitos mínimos que deben cumplir los empaques de los productos agrícolas para consumo humano que se importen, se produzcan y se comercialicen en el territorio nacional.
51. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Universidad Nacional de Colombia. (2010). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena de hortalizas en Colombia: Salsa de ají. Bogotá.
52. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. CCI. (2008). Oferta Agropecuaria. Encuesta Nacional Agropecuaria. Bogotá.
53. Ordinola, M. (2000). Una aproximación al estudio del mercado de transporte de productos agrícolas. Lima.
54. Pascual Anderson, M. (2000). Microbiología Alimentaria. Metodología Analítica para Alimentos y Bebidas. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
55. Peneau, S., & Brockhott, P. (2007). A comprehensive approach to evaluate the freshness of strawberries and carrots. *postharvest biology and technology*, 20-29.
56. Pinzon, H. (2009). Los cultivos de cebolla y ajo en Colombia: estado del arte y perspectivas. *Revista colombiana de ciencias hortícolas.*, Vol. 3( No.1), 45-55.
57. Puerto, E. V. (2004). Estudio de Parámetros de Deterioración Para Almacenamiento De Cebolla Junca (*Allium Fistulosum*). . Inventario de las investigaciones realizadas en poscosecha de productos agrícolas en la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
58. Salinas, R., González, G., Pirovani, M., & Ulin, F. (2007). Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. (U. J. Tabasco, Ed.) *Universidad y Ciencia*, 183-196.
59. Sandrine, & Peneau. (2008). Sandrine Péneau Freshness of fruits and vegetables: concept and perception. Doctoral Thesis. Dijon, France: Université de Bourgogne.
60. Sandrine, P. (2008). Sandrine Péneau Freshness of fruits and vegetables: concept and perception. Doctoral Thesis. Dijon, France: Université de Bourgogne.
61. Schaffernicht, M. (2006). Indagación de situaciones dinámicas mediante la Dinámica de sistemas. Talca.
62. Senge, P. (1992 ). *Systems Thinking: A language for learning and acting.*, . Framingham.

63. Sloof, M. T. (2004). Concepts for modelling quality of perishable products. En L. Tijkends, Discovering the future: Modelling quality matters.
64. Sotelo, I., González, L., Moreno, L., & Agudelo, M. (2011). Informe técnico Final. Diseño de un sistema de valorización de cebolla junca como hortaliza precortada. Bogotá.
65. Sterman, J. (2000). Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex world. McGraw Hill.
66. Taoukis, P. S., & Labuzza, T. P. (1989). Applicability of time-temperature indicators as shelf-life monitors of food-products. Journal of Food Science, 783-788.
67. Toivonen, P., & Burmmell, D. (2007). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. Postharvest biology and technology, 1-14.
68. Van, T., & Phan. (2008). Prediction Of Change In Quality Of 'Cripps Pink' Apples During Storage. Faculty of Agriculture, Food and Natural Resources, The. Sydney, Australia: University of Sydney.
69. Vergara, C., Amezquita, J., & Maza, F. (2007). Análisis de las Cadenas Productivas Agroindustriales Bajo la Óptica de la Dinámica de Sistemas: Una Aproximación al Caso de las Cadenas Productivas Agroindustriales en el Departamento de Bolívar. Cartagena.
70. Xiaojun, W., & Dong, L. (2012). A dynamic product quality evaluation based pricing model for perishable. Omega(40), 906-917.
71. Zabory, D. (1999). Effects of post-processing handling and packaging on microbial populations. Postharvest biology and technology , 313-321.
72. Zuñiga, A. (2009). Prevención biológica en el manejo poscosecha de cebolla larga. Trabajo de grado Diseño Industrial. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de diseño industrial.