

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE INGENIERIA

EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO  
DE UNA EMPRESA DE ALIMENTOS BALANCEADOS

Tesis  
Que como parte de los requisitos para obtener grado de  
Maestro en Ingeniería de Calidad

Presenta

Rosa María Mariscal Moreno

Querétaro, Febrero 2010



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería de la Calidad

EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE  
UNA EMPRESA DE ALIMENTOS BALANCEADOS

**TESIS**

Como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ingeniería de la Calidad

**Presenta**

Ing. Rosa María Mariscal Moreno

**Dirigido por**

Dr. Eduardo Betanzo Quezada

**SINODALES**

Dr. Eduardo Betanzo Quezada  
Presidente

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza  
Secretario

Dr. Miguel Galván Ruiz  
Vocal

Ms Guillermo Hiyane Nashiro  
Suplente

MI. Martha Patricia Magaña Murguía  
Suplente

Nombre y firma  
Director de la Facultad

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Nombre y Firma  
Director de Investigación y Posgrado  
Dr. Irineo Torres Pacheco

Centro Universitario  
Querétaro, Qro  
Febrero 2012  
México

## RESUMEN

La situación global actual y la competencia en las empresas aumentan la necesidad de usar herramientas que permitan hacer más eficiente las operaciones de las empresas, a fin de lograr tener ventaja con respecto a su competencia. Una herramienta que ha demostrado ser útil para incrementar la competitividad, es la evaluación de la confiabilidad de la cadena de suministro, la cual permite evaluar cuales son los riesgos a los cuales se enfrenta la empresa de forma cotidiana, así como el impacto que estos riesgos están teniendo en la cadena de suministro. Esta evaluación es importante, ya que el ambiente en el que las empresas se desarrollan es volátil y está expuesto a este tipo de riesgos frecuentemente. Sin embargo no solo es importante conocer los factores sino realizar un plan que permita mitigar su impacto en el desempeño global de la empresa. En el presente trabajo se evaluó la confiabilidad de la cadena de suministro de una empresa de alimentos balanceados para consumo de animales. En el cual se logró identificar riesgos que tiene la cadena de suministro y el impacto que tienen a fin de evaluar cuales con los más importantes. Una vez identificados los riesgos más importantes, se realizó una evaluación que permitió incluir los factores de riesgo en un modelo que provee de resultados analíticos que pueden ser usados para tomar decisiones y encontrar la mejor opción para aumentar la eficiencia de la cadena de suministro.

**Palabras clave:** Confiabilidad, cadena de suministro, calidad, factor de riesgo.

## **SUMMARY**

Currently there is a global and competitive situation in companies. This situation is increasing the necessity of the companies to use tools who let's make processes more proficiency. A tool which has demonstrated is useful to increment the company competitiveness is management of the supply chain reliability. This tool let's evaluate the different risks that the supply chain is having day by day, and evaluate the impact of those factors. This evaluation is important because the actual environment for companies is volatile and the companies are exposure to this risk frequently. However the importance of indentify the factors are because those factors can be mitigated. In this work was evaluated a feed mill supply chain. And the principal factors were identified. This identification let evaluate the most important factors. Then a simulation was run to develop a model which let provides analytical results to be used by decision makers, but also allows decision makers to use their own judgment to select the best option for overall profitability.

**Keywords:** Reliability, supply chain, quality, risk factor

## INDICE

	<b>Página</b>
RESUMEN .....	i
SUMMARY.....	ii
INDICE .....	iii
INDICE DE FIGURAS .....	iv
INDICE DE CUADROS .....	v
I. ANTECEDENTES .....	1
II. JUSTIFICACIÓN .....	3
III. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	5
IV. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	6
CAPÍTULO 1 FUNDAMENTACION TEÓRICA... ..	7
1.1 Cadena de suministro .....	8
1.2 Riesgo en la cadena de suministro.....	9
1.3 Evaluación Matemática de la confiabilidad.....	12
1.4 Calidad en la cadena de suministro .....	13
1.5 Confiabilidad de la cadena de suministro .....	15
1.6 Modelos de la cadena de suministro.....	16
1.7 Simulación.....	18
1.8 Mediciones de desempeño.....	20
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA.....	22
2.1 Reconstrucción de los procesos de gestión de la cadena de suministro. .....	23
2.2 Elaboración de instrumentos metodológicos.....	27
2.3 Ponderación de los factores de riesgo.....	37
2.4 Modelo matemático para la evaluación de confiabilidad.....	38
2.5 Simulación.....	40
2.4 Verificación y validación.....	41

CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
3.1 Resultados de las fichas de evaluación en la empresa estudiada.....	42
3.2 Modelo matemático.....	53
3.3 Simulación.....	55
3.5 Discusión.....	57
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y PROPUESTAS.....	59
4.1 Conclusiones.....	59
4.2 Propuestas para el modelo de simulación.....	61
4.3 Propuestas para mitigar los factores de riesgo.....	62
4.3.1 Riesgo de que la materia prima no llegue a producción a tiempo por cuestiones de descarga.....	62
4.3.2 Riesgo a contaminación del alimento por mal almacenamiento .....	64
4.3.3 Riesgo de deterioro por condiciones ambientales.....	66
4.3.4 Riesgo por falta de electricidad.....	66
4.3.5 Riesgo a que el alimento sea rechazado por falta de espacio.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	Fuentes de incertidumbre dentro de la cadena de suministro	10
<b>2</b>	Factores que intervienen en la cadena de suministro	18
<b>3</b>	Riesgos seleccionados listados alfabéticamente	48
<b>4</b>	Resultados normalizados	49
<b>5</b>	Factores seleccionados de los valores normalizados	50
<b>6</b>	Factores seleccionados	52
<b>7</b>	Entradas del modelo	56
<b>8</b>	Formato de recolección de datos para la simulación	61

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Flujos en la cadena de suministro	9
2	Indicadores de confiabilidad de la cadena de suministro	16
3	Diagrama de flujo de la metodología	23
4	Organigrama de la empresa en estudio	24
5	Diagrama de la cadena de suministro	25
6	Grafica de resultados frecuencia- impacto	47
7	Histograma de impacto por frecuencia	51
8	Simulación de la confiabilidad del sistema	55



## I. ANTECEDENTES

La situación de la economía global ha llevado a que las empresas busquen ventajas sobre sus competidores, se han propuesto diversas herramientas, algunas de estas herramientas están encaminadas a disminuir la incertidumbre asociadas a la cadena de suministro.

La integración de la cadena de suministro se considera de importancia estratégica así como de importancia operativa (Lambert et al., 1998; Frohlich y Westbrook, 2001).

En este sentido, la confiabilidad se está convirtiendo en un factor importante para poder competir en la industria. Junto a este factor, existen otras prioridades competitivas relacionadas con la mejora de los plazos de entrega, la reducción de inventarios, el aumento de la productividad, la mejora de la calidad de la producción y la disminución de los costes operativos (James-Moore y Gibbons, 1997; Smith y Tranfield, 2005.)

En los últimos años se ha incrementado el estudio de la confiabilidad en la ingeniería y gestión. Sin embargo estos estudios rara vez se enfocan al área de cadena de suministro. Hasta ahora no hay una definición general de la confiabilidad de la cadena de suministro (SCR, Supply Chain Reliability). La confiabilidad permite dar una ventaja competitiva a la cadena de suministro al hacer la cadena más adaptable a los cambios. Chistopher y Lee , (2004) sostienen que las cadenas de suministro están afectadas por diversos factores incluyendo los cambios en las estrategias de negocios e indican que es más fácil mitigar los riesgos cuando existe mayor información.

Existen diversos riesgos que afectan la cadena de suministro incluyendo los desastres naturales, cambios sociales, terrorismo, etc. Por ejemplo a mediados de

los 90's una severa recesión económica en Honduras impacto fuertemente en la industria local de plátanos, obteniéndose precios altos en todo el mundo. Más tarde en 1998 un huracán categoría 5 dañó nuevamente la industria después de las inundaciones que dejaron como resultado daños por tres billones de dólares. (Encyclopedia of the Nations, 2008)

Sin embargo pese a que estos riesgos han afectado las cadenas de suministro en varias ocasiones, el estudio de riesgos en la cadena de suministros agroalimentaria es aún escaso.

## II. JUSTIFICACIÓN

La industria fabricante de alimentos balanceados de México, se ubica como la quinta en importancia a nivel mundial y la tercera a América, con una producción en 2009 del orden de 27.3 millones de toneladas SAGARPA, 2010.

Dada la complejidad de las cadenas de suministro de las industrias de alimentos balanceados es común que sus actividades no se realicen de manera eficaz lo que compromete a los agentes a proporcionar de manera continua y unificada los medios necesarios que permitan generar propuestas de mejoramiento, capaces de fomentar la productividad de la cadena como mecanismo principal de su competitividad.

La importancia de la gestión de la cadena de suministro (SCM) ha sido especialmente evidente desde principios de los 90, aunque el concepto data de principios de los 80. (Oliver y Webber, 1982) Las empresas son conscientes de que a medida que avanza el tiempo cada cliente individual cobra más importancia y que para satisfacerlo no basta con que una de las empresas que colabora en el desarrollo del producto lo haga bien; un producto será de buena calidad, será competitivo, solo si ha pasado por un proceso de sin interrupciones y sin situaciones no planeadas a lo largo de toda la cadena de suministro (Sánchez, 2008.).

La cadena de abastecimiento se entiende como la red y estructura, física, virtual y relacional, en la que se desarrollan todas las prácticas comerciales, entre proveedores, productores, distribuidores y consumidores (Johnson et al, 1999.)

Por ello que es importante que los riesgos potenciales a lo largo de la cadena de suministro, sean conocidos para que de esta manera se puedan tomar acciones preventivas que impidan que afecten al producto final. Una herramienta

que ha demostrado ser útil en la detección de fallas es la aplicación de la teoría de la confiabilidad.

Así se dice que la confiabilidad es la probabilidad de que una unidad de producto se desempeñe satisfactoriamente cumpliendo con su función durante un periodo de tiempo diseñado y bajo condiciones previamente especificadas (Blanchard, 1986).

### **III. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Las cadenas de suministro son susceptibles de ser afectadas por una amplia variedad de riesgos, los cuales repercuten de manera negativa impactando severamente el mercado, la reputación de marca y el valor para los accionistas de la empresa, pues no se tomaron en cuenta durante la planeación de la cadena de suministro, actualmente México continua siendo una opción rentable para las compañías, sin embargo es evidente que el costo de las cadenas de suministro está incrementando debido a los riesgos que se tienen a través de la cadena de suministro. (Cornish, 2010) Es importante que se puedan conocer cuáles son los riesgos a los cuales la cadena de suministros está sujeta a fin de poder mitigar los efectos y poder cumplir con las especificaciones del producto final, en tiempo y cualidades del mismo, haciendo la cadena de suministro más competitiva.

## **IV. HIPOTESIS Y OBJETIVOS**

### **Hipótesis.**

La cadena de suministro puede ser medida en términos de su confiabilidad, para detectar aquellos riesgos que interrumpen su adecuado funcionamiento, generando pérdida de la competitividad de la empresa.

### **Objetivos**

#### ***General.***

Evaluar la confiabilidad de la cadena de suministro de una empresa de alimentos balanceados para aves ubicada en el estado de Querétaro.

#### ***Específicos***

1. Analizar la estructura de cadena de suministro de la empresa en estudio.
2. Desarrollar de un modelo matemático que permita evaluar los riesgos dentro de la cadena de suministro.
3. Evaluar y cuantificar el riesgo dentro de la cadena de suministro.
4. Simulación de la cadena de suministro para validar y verificar el modelo obtenido.

## **CAPITULO 1. FUNDAMENTACION TEÓRICA**

Todas las compañías, de una u otra forma, intentan mejorar sus procesos. Muchas de ellas lo hacen con el fin de reducir costos, otras para mejorar la calidad. Muchas de estas compañías se certificaron siguiendo ciertos estándares de calidad (ISO 9000, criterios de Baldrige, Six Sigma, etc.). Las empresas con mejores resultados utilizaron la calidad para la reducción de costos a medida que hacia mejor las cosas.

Luego vino la reingeniería de procesos de negocios, donde las operaciones de las compañías disminuyeron su tamaño al descubrir y eliminar todas las etapas que no agregaban valor al negocio. Lo que las compañías aprendieron fue a desafiar el status quo por formas innovadoras de hacer mejor las cosas.

Luego se descubrió la cadena de suministros y se notó la presencia de un proceso paraguas bajo el cual las mejores características de los esfuerzos previos de mejora continua podían unirse al enfoque del procesamiento “desde principio a fin”, lo que resulta en una mejor satisfacción del cliente (Peña y Solís, 2006.)

Los procesos se encuentran anidados dentro de otros procesos a lo largo de la cadena de suministro de una organización. “La cadena de suministro de una empresa (conocida a veces como cadena de abastecimiento o como la cadena de valor), es un conjunto de eslabones, conectados unos con otros, que conectan entre sí a los proveedores de materiales y servicios, que abarcan la transformación de materias primas en productos y servicios y la entrega de éstos a los clientes de una empresa. Una decisión clave es la selección de las partes de la cadena que están destinadas al suministro interno, y la mejor forma de llevar a cabo estos procesos” (Krajewski y Ritzman, 2000).

La integración de la cadena de suministro es un concepto amplio que abarca diversos aspectos tales como: asociación, colaboración, cooperación, interacción y coordinación entre los agentes de la cadena (Akkermans et al., 1999; Ellinger et al., 2000; Frohlich y Westbrook, 2001; Pagell, 2004).

## **1.1 Cadena de suministro**

Logística y cadena de suministros es un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor.

La cadena de suministros (SC<sup>1</sup> por sus siglas en inglés) abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes desde la etapa de materia prima (extracción) hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados. Los materiales y la información fluyen en sentido ascendente y descendente en la cadena de suministros.

Así mismo la administración de la cadena de suministros (SCM<sup>2</sup> por sus siglas en inglés) es la integración de estas actividades mediante el mejoramiento de las relaciones de la cadena de suministro para alcanzar una ventaja competitiva sustentable (Ballou, 2004).

Chopra y Meidl, (2004) listaron cinco etapas involucradas en la cadena de suministro:

---

<sup>1</sup> Supply Chain

<sup>2</sup> Supply Chain management.



1. Clientes
2. Proveedores
3. Distribuidores
4. Productores
5. Proveedores de materias primas /componentes.

De acuerdo con Johansson, (2002) una de las percepciones más comunes de las cadenas de suministro es: “Un sistema que se constituye de partes que incluyen los proveedores, las instalaciones de producción, los centros de distribución y los clientes unidos mediante una retroalimentación de materiales e información.

Es comúnmente aceptado que hay tres flujos principales: el flujo de materiales, el flujo de información y el flujo de dinero. La figura 1 ilustra los flujos que tienen la cadena de suministro

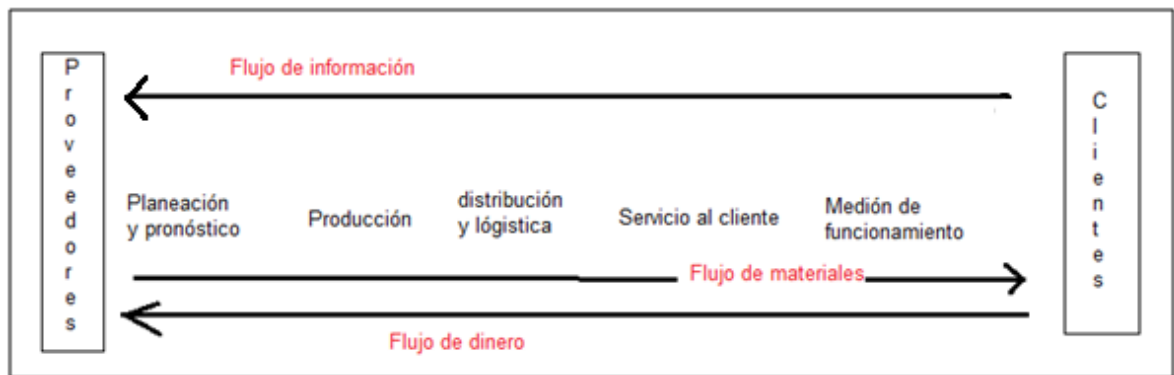


Figura 1. Flujos en la cadena de suministro (Spekman et al, 1998).

## 1.2 Riesgo en la cadena de suministro.

La gestión de riesgos implica la identificación de los riesgos operacionales y el desarrollo de procedimientos que mitiguen el impacto para mantener el

desempeño operacional. Rice y Caniato, (2003) reportaron que varias firmas han desarrollado varios programas de evaluación de riesgo para:

- 1) Identificar los diferentes tipos de riesgo
- 2) Estimar la probabilidad de los trastornos con mayor ocurrencia.
- 3) Evaluar las pérdidas potenciales.
- 4) Identificar las estrategias para reducir el riesgo

La lista de los posibles factores inciertos en los diferentes niveles de la cadena de suministro según Landeghen y Vanmaele, (2002), se muestra en el siguiente Cuadro 1.

Cuadro 1. Fuentes de incertidumbre dentro de la cadena de suministro.

Fuentes de incertidumbre	Nivel de planeación de la cadena de suministro		
	Operacional	Táctica	Estratégica
Tipo de cambio	Alta	Medio	-
Tiempo para surtir	Baja	Alta	Baja
Calidad del proveedor	Medio	Baja	-
Rendimiento de producción	Medio	Medio	-
Tiempo de transportación	Medio	Medio	Baja
Costos estocásticos	Baja	Alta	Medio
Política ambiental	-	-	Medio
Regulaciones de los clientes	Baja	Medio	Alta
Capacidad disponible	Medio	Medio	Baja
Capacidad subcontratada	Alta	Medio	-
Demora de información	Alta	Medio	-
Demandas estocásticas	Baja	Alta	Medio
Fluctuación de precios	Baja	Alta	Baja

Landerghen y Vanmaele, 2002

En el cuadro 1 se observan diferentes riesgos, dentro de los cuales algunos se refieren a riesgos externos, como son: el tipo de cambio, el tiempo de surtir, la calidad del proveedor, la política ambiental, las regulaciones de los clientes, y las

fluctuaciones de precios. Estos riesgos son aquellos que no pueden ser controlados dentro de la empresa. Sin embargo hay riesgos internos que si pueden ser controlados por la empresa, como son: el rendimiento de la producción, la capacidad disponible, los costos estocásticos, la capacidad subcontratada y la demora de información.

El riesgo en la cadena de suministro implica la probabilidad de que ocurra un incidente que tenga efectos económicos negativos en la empresa. Ejemplos de fuentes de riesgo pudieran ser (no son los únicos) (Steven et al, 2009):

- 1) Naturales.- Causados por la naturaleza; huracanes, granizo, tormentas, fuego y tornados
- 2) Cambios en la demanda.- Cuando la demanda del cliente excede la capacidad disponible.
- 3) Problemas del proveedor.- Cuando el proveedor tiene cualquier problema que le evita cumplir con los requerimientos del cliente.
- 4) Humanos. Ocasionados por algún accidente.
- 5) Información y tecnología.
- 6) Financiero
- 7) Legal / Regulatorio.

En la evaluación de la confiabilidad tres conceptos son fundamentales:

- a) Probabilidad: es usualmente una expresión cuantitativa que representa una fracción o porcentaje que interpreta el número de veces que ocurre un evento dividido entre el número de sucesos totales.
- b) Desarrollo satisfactorio. Indica el criterio de qué tan satisfecho fue el proceso. Una combinación de factores cuantitativos y cualitativos definen la función con la cual el sistema o producto cumple con las especificaciones requeridas.

- c) Condiciones específicas de operación. Condiciones bajo las cuales se espera que el producto opere, estas condiciones incluye; ambiente, ubicación, temperatura, etc. (Blanchard , 1986).

### 1.3 Evaluación Matemática de la confiabilidad.

Las matemáticas proveen de un amplio rango de métodos para evaluar la confiabilidad de los sistemas.

Dentro del estudio de la confiabilidad de la cadena de suministro, la confiabilidad se define como la probabilidad de que un sistema no fallará en un momento T:

$$R(t) = \Pr(T \geq t) = \int_t^{\infty} f(u)du = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

$R(t)$ = Confiabilidad

T= tiempo de falla.

t=tiempo

$\lambda$  = es la tasa de riesgo del elemento

Del mismo modo a partir de una distribución de probabilidad conocida (Exponencial) es posible definir una falla como:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

MTTF= Tiempo medio a la falla

Las anteriores ecuaciones son usadas generalmente para describir la confiabilidad de un componente (en la mayoría de los casos un equipo mecánico o eléctrico). Sin embargo las cadenas de suministro requieren de un enfoque definido, basado en el funcionamiento de una red.

#### **1.4 Calidad en la cadena de suministro**

Los rápidos avances en tecnología y el alto desarrollo de productos sofisticados, la competencia global y el aumento de las expectativas han ocasionado nuevas presiones en la industria manufacturera para producir productos de alta calidad. (Meeker y Escobar 1998).

De acuerdo con Sánchez (2008) se resume al concepto de calidad como: “Alcanzar los objetivos empresariales del negocio, diseñando, fabricando, entregando y manteniendo, con rentabilidad significativa, productos y servicios que satisfagan las necesidades del cliente”. Así mismo Sánchez (2008) también incluye el concepto de calidad en los siguientes rubros de la cadena de suministro:

- Calidad en los procedimientos del proveedor. Medida de eficiencia de los procedimientos del proveedor para asegurar si ese género tiene la calidad correcta y se entrega en el lugar adecuado.
- Calidad de contratos realizados con los proveedores: Es una medida de la fiabilidad de los procesos de selección de la empresa. Este rubro se calcula midiendo en un periodo definido: el número de

contratos negociados y que cumplen con todos los requerimientos del negocio en términos de calidad, entrega, flexibilidad y costes y el número total de contratos procesados.

- Calidad del transporte: Es una medida de la conformidad con la compañía de transportes, la calidad del embalado y la vulnerabilidad de los productos transportados. También está relacionada con los robos.
- Fiabilidad de plan de ventas. Es una medida de la calidad de la información de las previsiones de venta, un aspecto de la estabilidad de la demanda.
- Calidad relacionada con las expediciones. La medida se realiza en valor absoluto y su medida se hace en relación al número de envíos, número de líneas de pedido, número de pedidos o la cantidad actual entregada.

La adopción de la implementación de los principios de calidad puede mejorar y manejar los cambios en funciones internas y externas. La cadena de suministros es usualmente vista como un camino para mejorar el rendimiento competitivo mediante la combinación de funciones internas de una compañía vinculadas con operaciones externas de proveedores, clientes y otros miembros de la cadena de suministro Tutuncu y Kucukusta, (2008). Esto puede llevar a cambiar la estructura tradicional de la organización. La integración de los principios de calidad permite ampliar la perspectiva de la relación de costos y competitividad para enfocarse a tener mayor cooperación entre miembros de la cadena de suministro (Flynn y Flynn 2005).

La gestión de calidad tiene un rol significativo en el fortalecimiento de la competitividad organizacional y juntos tienen un mismo objetivo que es la satisfacción del cliente (Gunasekaran y McGaughey, 2003).

### **1.5 Confiabilidad de la cadena de suministro**

La confiabilidad de una cadena de suministro es una característica compleja que incluye una operación correcta, durabilidad, recuperabilidad, y el mantenimiento del proceso y se usa para la prevención de posibles fallas en la cadena de suministro.

Literatura reciente ha identificado diferentes métodos de refuerzo para mitigar el impacto de la incertidumbre y asegurar la confiabilidad de la cadena de suministro (Ivanov y Sokolov, 2010).

La confiabilidad de la cadena de suministros está evaluada a partir de tres factores específicos de acuerdo al modelo de operaciones de referencia de la cadena de suministros SCOR por sus siglas en inglés (Supply Chain Operations Reference) el cual es un modelo del consejo de la cadena de suministro (Supply Chain Council) SCC por sus siglas en inglés, que son: entrega, el sobre pedido y el cumplimiento de la orden. Sin embargo esta visión está incompleta, en la figura 3. podemos observar un árbol de confiabilidad que involucra un mayor número de factores (Ivanov y Sokolov, 2010).

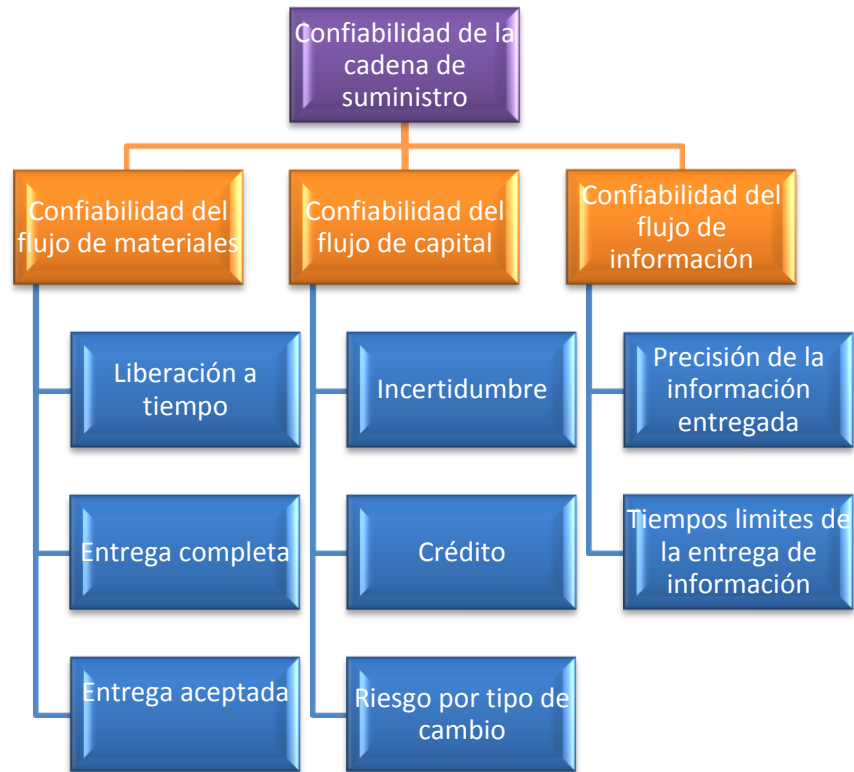


Figura 2 Indicadores de confiabilidad de la cadena de suministro. (Ivanov y Sokolov, 2010)

## 1.6 Modelos de cadena de suministro

Una cadena de suministros consiste en todas las partes involucradas, directa o indirectamente en cumplir los requerimientos del cliente (Chopra y Meindl, 2004). Es una parte de la compañía, en constante evolución que juega un rol crítico en la rentabilidad de un producto dentro de una compañía.

El interés en los problemas de las cadenas de suministro comenzó en la segunda guerra mundial cuando se realizaron estudios que evaluaban la transportación, horarios y problemas de colocación.



En 1959 Hassmann desarrolló un modelo para la adquisición de materiales, producción y distribución, con el objetivo de optimizar el nivel de inventarios y seleccionar la ubicación de inventarios. Sin embargo hasta mediados de los 90's algunos modelos de cadena de suministro se concentraron en sub-problemas solos, como la planeación de inventarios o la coordinación de vendedor-comprador. Estudios posteriores tuvieron como objetivo combinar estos sub-problemas para hacer modelos más completos y reales (Gokhan, 2001).

Para precisar el concepto de modelo, Overbeck (2009) señala que debe contener las siguientes características:

- Tener un adecuado grado de abstracción. Significa que no deben ser muy específicos. Deben ser aplicables a diferentes problemas y no deben ser generales.
- Deben ser robustos, tomando en cuenta los cambios de los ambientes reales para poder ser adaptables.
- Deben ser adaptables a requerimientos específicos. Esto incluye la posibilidad de agregar más factores al modelo.
- Deben de ser consistentes.

Se asume que construir un modelo completo de la cadena de suministro para evaluar la cadena de suministro. Cuando se considera una cadena de suministro completa, no es sencillo describir su confiabilidad. De acuerdo con Miao et al, (2009). La confiabilidad de la cadena de suministro se puede dividir en seis niveles.

1. Ideal.- Alta confiabilidad y perfecta habilidad operacional.
2. Superior.- Alta confiabilidad, manteniendo bien las principales operaciones.
3. Satisfactoria.- Con algunos inconvenientes que surgieron en la cadena de suministro, pero la capacidad operativa no es afectada.

4. Inferior.- La capacidad operativa se ve afectada.
5. Crisis. Los mayores inconvenientes surgen de la cadena de suministro.
6. La interrupción. La cadena de suministro ha perdido su capacidad operativa.

Los factores que influyen en la cadena de suministro dependen de varios indicadores Jarzemskis, (2007) y estos indicadores son difíciles de comparar uno por uno. Para atacar este problema Miao et al, (2009) propusieron la clasificación mostrada en el cuadro 2.

Cuadro 2. Factores que intervienen en la cadena de suministro

<b>Factor</b>	<b>Ideal</b>	<b>Superior</b>	<b>Satisfactoria</b>	<b>Inferior</b>	<b>Mala</b>
<b>Logística</b>					
<b>Capital</b>					
<b>Información</b>					
<b>Comportamiento</b>					
<b>Medio ambiente</b>					

Elaboración propia en base a Miao et al 2009.

Esta clasificación abarca los posibles factores involucrados, tanto interno como externos.

## **1.7 Simulación**

Simulación es el proceso de construir un modelo matemático o lógico de un sistema o un problema o experimentar con el modelo a fin de obtener respuestas para permitir la solución del problema.

Un modelo es una abstracción o representación del sistema real, idea u objeto. Los modelos pueden ser según Evans y Olson (1998):

- Determinísticos o probabilísticos. En un modelo determinísticos todos los datos son conocidos o se asume que son conocidos con certeza. En un modelo probabilístico los datos son descritos por distribuciones de probabilidad.
- Discretos o continuos. Se refieren a variables cuyos valores cambian a través del tiempo. Por ejemplo en un proceso químico las variables como temperatura, presión pueden cambiar a través del tiempo.

Simulación, programación estocástica, Proceso de decisión de Markov y la teoría de conjuntos difusos pueden ser usadas como metodologías para factores de riesgo que son de naturaleza estocásticos (Claypool, 2011). Siendo un proceso estocástico un conjunto de variables aleatorias que dependen de un parámetro o argumento (Pérez y Correa 2007). La programación estocástica y el proceso de decisión de Markov generan modelos muy elegantes pero rigurosos, pero estos métodos analíticos generalmente tienen más restricciones que se asumen o fuentes de variación como la demanda. La teoría de conjuntos difusos es una buena metodología para la modelación de parámetros inciertos, pero la mayor desventaja es que puede aumentar el tamaño de la programación entera mixta una vez que los factores se hacen difusos y se suman (Claypool 2011).

La simulación de eventos discretos no es rigurosamente una metodología de modelación. Primero este permite usar el análisis de varios escenarios simultáneamente. El usuario puede estudiar los efectos del tiempo que le tomará a un proveedor surtir un pedido, la demanda estocástica, y la fluctuación de valores en el precio todo al mismo tiempo, en comparación con el análisis de sensibilidad en una Programación entera mixta que requiere que cada efecto sea estudiado individualmente. La segunda simulación es más flexible de manera que

la toma de decisiones puede después agregar factores de riesgo, tantos como sea necesario para el modelo (Claypool, 2011).

El procedimiento para realizar la simulación según Chang y Makatsoris (2001) es el siguiente:

1. Reconocimiento del estado actual de la cadena de suministro.
2. Diseño del escenario que se desea obtener.
3. Colección de datos
4. Medición de el desempeño
5. Definir el objetivo para cada medida de desempeño

### **1.8 Mediciones de desempeño.**

El elemento final de los modelos de simulación implica la especificación y medición del desempeño de la cadena de suministro. Como menciona Scheffe (2005) el desempeño de la cadena de suministro afecta a la empresa en alguno o más de las siguientes tres formas:

- Financiera: Estos son efectos que primariamente afectan el costo del manejo de la cadena de suministros. Su rendimiento se mide en términos de costos.
- Estratégica: En esta categoría se encuentran los efectos que influyen en la capacidad de las empresas para lograr sus objetivos. Los impactos estratégicos son más difíciles de evaluar. Sin embargo usualmente se toman como indicadores los tiempos de entrega, costo, calidad y flexibilidad.
- Operacional: Estos son los efectos en las operaciones que ocurren como resultado de problemas operativos en la cadena de suministro. Las

mediciones en este rubro se dan en base a plazo de ejecución/ tiempo de flujo (promedio o varianza), porcentaje de órdenes a tiempo, etc.

La cadena de suministro es clave en los procesos de manufactura y puede contribuir a mejorar o disminuir tanto la competitividad de la empresa como la calidad del producto. En el siguiente capítulo se describe la metodología propuesta para desarrollar el presente trabajo a fin de conocer los riesgos que afectan el estado actual de la cadena de suministro así como realizar una medición de la confiabilidad de la misma.

## CAPITULO 2. METODOLOGÍA

La metodología que se propone consta de cuatro fases de trabajo que son: recopilación de datos, análisis de la confiabilidad de la cadena de suministro, simulación y la verificación y validación del método (Evans y Olson 1998). En la figura 4 se resume el proceso a seguir tomando como base las cuatro fases que proponen Evans y Olson (1998).



Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología. Elaboración propia en base a Evans y Olson 1998.

Para establecer el modelo de confiabilidad de la cadena de suministro es necesario conocer su historia operativa, se plantea realizar una lista de los riesgos relevantes y los futuros riesgos de cada arco de la cadena de suministros de una planta procesadora de alimentos balanceados, tomando en cuenta los registros históricos a los que se ha enfrentado la empresa. Además como estos datos incluyen tanto riesgos internos como externos, algunos datos se obtendrán de forma externa, como los desastres naturales.

## **2.1 Reconstrucción de los procesos de gestión de la cadena de suministro**

La empresa en estudio es de capital extranjero, brinda empleo a más de 24 500 personas alrededor del mundo y procesa casi 3.2 billones de libras de pollo al año. Se encuentra dividida en cuatro unidades de negocio, las cuales son: incubadoras, plantas de alimento, granjas y rastros. Para el presente estudio se limitó al análisis de una sola unidad de negocio que es la de planta de alimentos. En nuestro país la empresa tiene cuatro plantas de alimentos situadas en los estados de: Querétaro, San Luis Potosí y Coahuila. Al ser procesadora alimentos balanceados para consumo animal forma parte de la agroindustria de México. La agroindustria se considera según Lauschner (1975) como toda actividad que implique procesamiento, beneficio o transformación de productos generados por los sectores agrícolas pecuarios, pesqueros y forestales.

Para poder comprender de mejor manera la forma en que opera la empresa a continuación se presenta el organigrama de las plantas de alimentos balanceados.

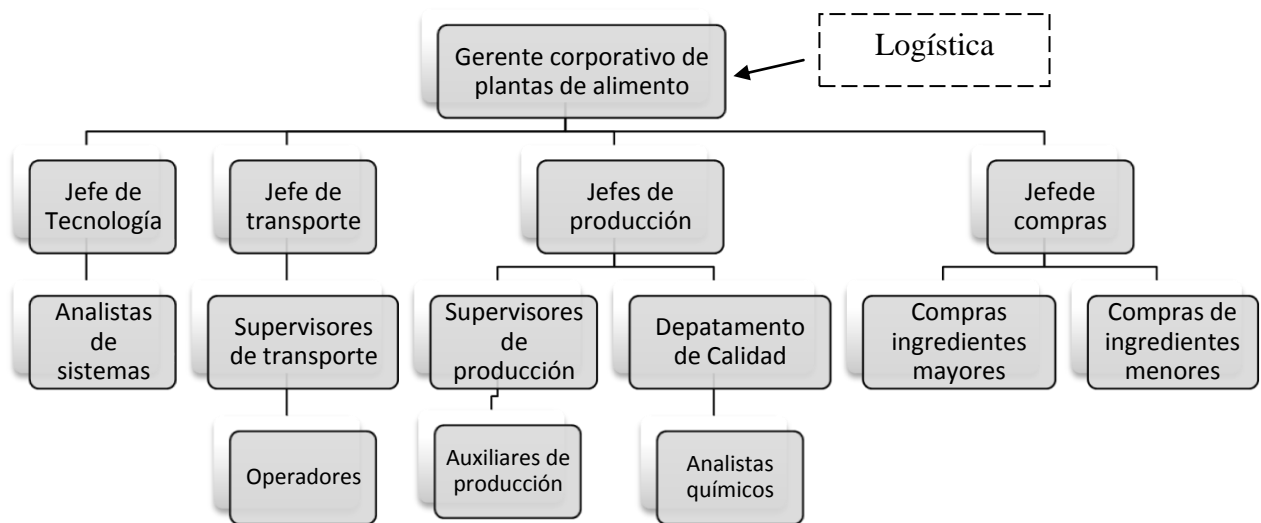


Figura 4. Organigrama de la empresa en estudio. Elaboración propia.

Como el organigrama indica, existe un gerente corporativo para las plantas de alimentos que coordina la producción de las cuatro plantas; al tener una visión global del sistema puede generar decisiones de donde es mejor elaborar algún alimento, o donde es mejor usar alguna materia prima. Así mismo dentro de sus funciones se encuentra el mantener las cuatro plantas trabajando a su capacidad, sin contratiempos. Este gerente a su vez tiene a su cargo 4 jefes de producción, los cuales cada uno se hace cargo de una planta, ellos son los encargados de supervisar que la producción diaria se cumpla y en caso de haber contratiempos, ellos deben solucionarlos. De igual manera son ellos los que a partir de los pedidos que tienen generan las solicitudes de compra de ingredientes. El Jefe de Tecnología es el encargado de verificar que en las cuatro plantas los sistemas computacionales funcionen adecuadamente. El Jefe de Transporte se encarga de coordinar que el alimento llegue a las plantas en forma y tiempo adecuado, tomando en cuenta los pedidos generados por las granjas. El Jefe de Compras es el encargado de verificar que las plantas se encuentren con las cantidades



suficientes de los ingredientes que se requieren en la planta y satisfacer las demandas de ingredientes que los jefes de planta solicitaron, así mismo prospechan nuevos proveedores y nuevas materias primas.

Se realizó una reunión con los encargados de cada área involucrada en la cadena de suministro, así mismo se llevó a cabo una entrevista con cada persona a cargo del área a fin de recibir retroalimentación por parte del experto de cada área y conocer cuáles son los riesgos a los cuales está expuesto cada nodo.

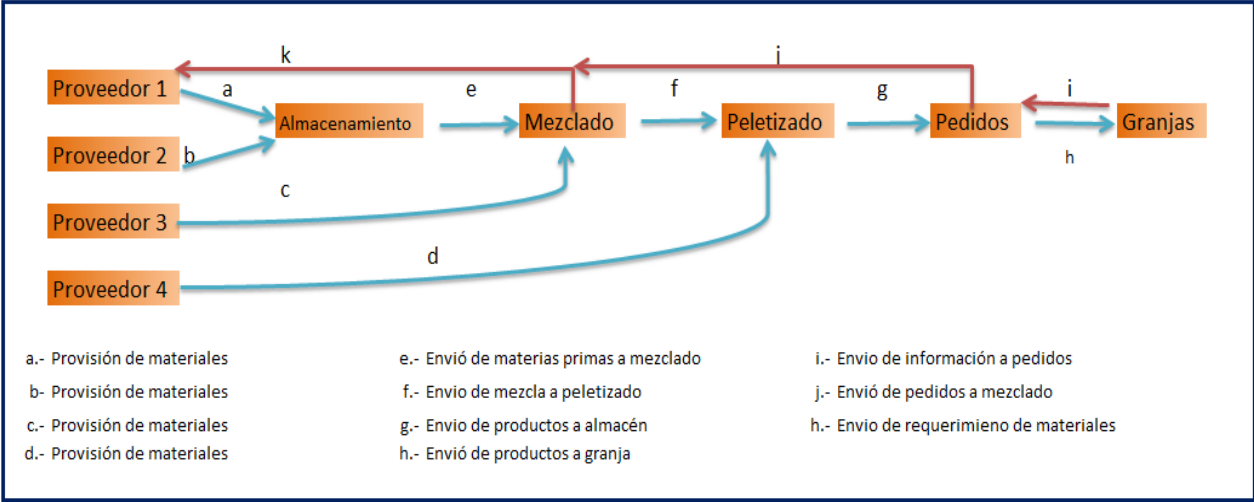


Figura 5. Diagrama de la cadena de suministro. Elaboración propia en base a la figura 1.

Como se muestra en la figura 5, la cadena de suministro de la empresa está conformada por 11 arcos. Los arcos a, b, c y d están relacionados con el suministro de ingredientes a los diversos procesos, ya que algunos de los ingredientes se envían directo a almacén, otros se envían a mezclado y otros se envían directamente a peletizado. En el arco e los ingredientes almacenados pasan al proceso de mezclado, una vez formada la mezcla se pasa a peletizado para posteriormente pasar a almacenamiento y ser enviado a las granjas. Las granjas a su vez envían sus solicitudes a pedidos, los cuales envían la información

necesaria a mezclado y a los proveedores para hacer la requisición de productos y materias primas.

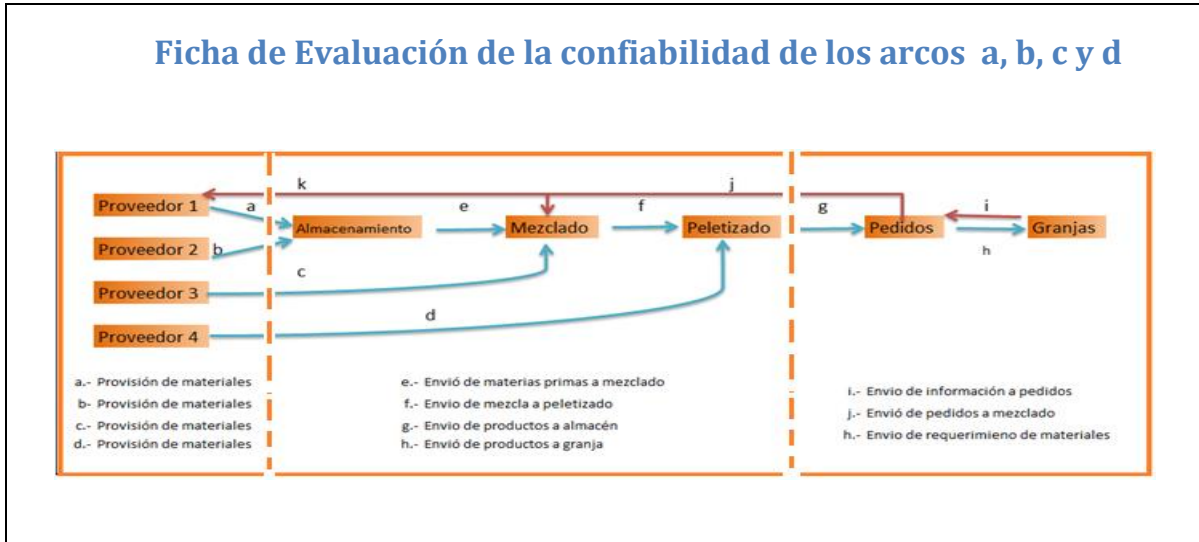
Después de analizar cómo está compuesta la actual cadena de suministro se procedió a elaborar una ficha de evaluación que involucra todos los factores que históricamente han demostrado influencia en la ruptura de la cadena de suministro. De acuerdo a la naturaleza del problema en cuestión es necesario realizar preguntas cerradas, sin embargo se utilizaron espacios de observaciones y comentarios a fin de permitir aportaciones. Además se usó una escala métrica de cuatro niveles: bajo, mediano, alto y muy alto, lo que nos permitirá posteriormente evaluar cuantitativamente los resultados (Claypool, 2011). Se evaluaron dos criterios que fueron: la frecuencia de ocurrencia y el impacto en la cadena de suministro, debido a que algunos factores tienen alto impacto, pero baja frecuencia de ocurrencia, y por el contrario, existen otros que tienen bajo impacto, pero la frecuencia es muy alta.

En las fichas elaboradas se incluyó una clave para cada riesgo a fin de tener una nomenclatura que permita incluir los riesgos en una ecuación.

A continuación se muestran las fichas elaboradas, donde en base al área el que están enfocados fueron clasificadas, cada arco describe la operación logística entre pares de nodos.

## 2.2 Elaboración de instrumentos metodológicos.

Ficha para los arcos a, b, c y d



Clave	Arcos: a, b, c, d	FRECUENCIA				IMPACTO			
	Riesgos	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
A1	Riesgo en que por cuestiones de Calidad la materia prima sea rechazada								
A2	Riesgo de que por contaminación la materia prima se rechazada								
A3	Riesgo de que la materia prima no llegue a producción a tiempo por cuestiones de descarga								
A4	Riesgo de que el ingrediente no llegue a tiempo por problemas de seguridad en el transporte								
A5	Riesgo de que la materia prima llegue incompleta								
A6	Riesgo de que un proveedor no sea capaz de entregar un ingrediente en un periodo de tiempo. (entregas extraordinarias, con poco tiempo de pedido)								
A7	Riesgo de que la materia prima no llegue a tiempo por problemas de transporte								
A8	Riesgo de que por cuestiones de documentación la materia prima sea rechazada								

Con respecto a la evaluación del riesgo identificado como A1, este se refiere a que la calidad de las materias primas que llega a la planta se analiza para que corresponda a los valores especificados en las normas internas de la empresa. Estas normas están apegadas a los contratos realizados con los proveedores y a las Normas Oficiales Mexicanas.

Respecto al factor de riesgo A2, se busca conocer como impactan las formas más comunes de contaminación de las materias primas como son por: material extraño (basura, metales) y microorganismos.

En referencia al factor A3, este problema se atribuye a la falta de planeación en el área de descarga ya que en ocasiones llegan varios proveedores a la misma hora. También por el retraso que se genera cuando los proveedores llegan en el cambio de turno.

Para el factor A4 se considera inseguridad en el transporte los robos que sufren los transportistas y accidentes.

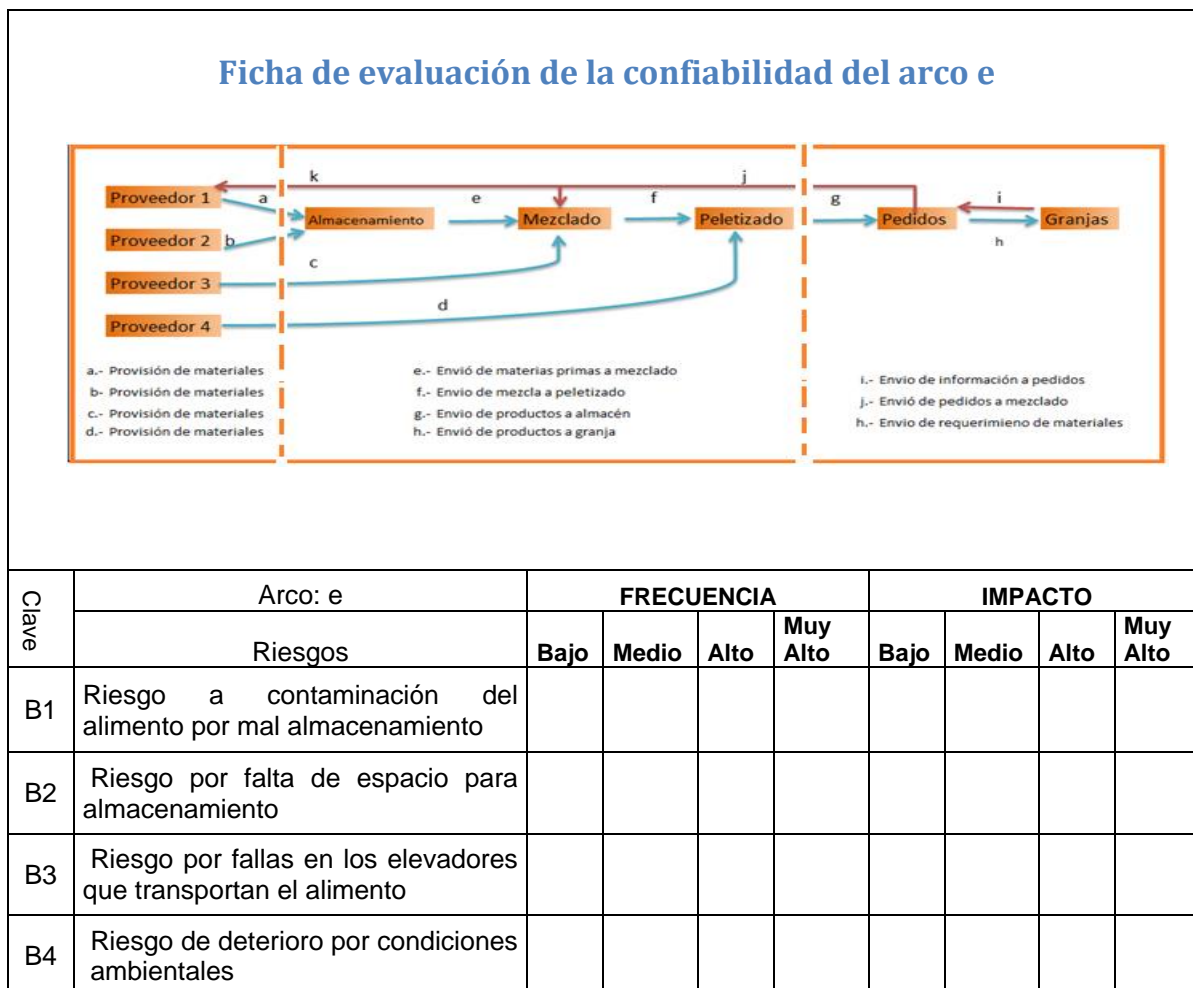
El riesgo A5 está asociado a que la materia prima llega en ocasiones incompleta debido a mermas, pesado inadecuado, robos en tránsito, fugas en el transporte por mal mantenimiento, etc.

El factor de riesgo A6 se presenta cuando el proveedor no puede enviar el ingrediente por falta de material en almacén o cuando se abasto requiere de una solicitud del ingrediente con ciertos días de anticipación y la solicitud del ingrediente se envió después.

En el riesgo A7 se consideran problemas en el transporte: falta de oferta del transporte, falta de equipo especializado, falta de anticipación para solicitar el servicio, fallas mecánicas en el transporte, etc.

Finalmente el riesgo A8 se refiere a que hay materias primas que se rechazan por que cuando llegan los transportistas no llevan consigo o el proveedor no envió anteriormente la factura, la ficha de especificaciones, la hoja de seguridad, etc.

## Ficha para el arco e



Respecto al riesgo B1 de contaminación de la cual hace referencia en la ficha anterior, esta contaminación se presenta debido a falta de limpieza de las bodegas de almacenamiento o por alta humedad en la bodega.

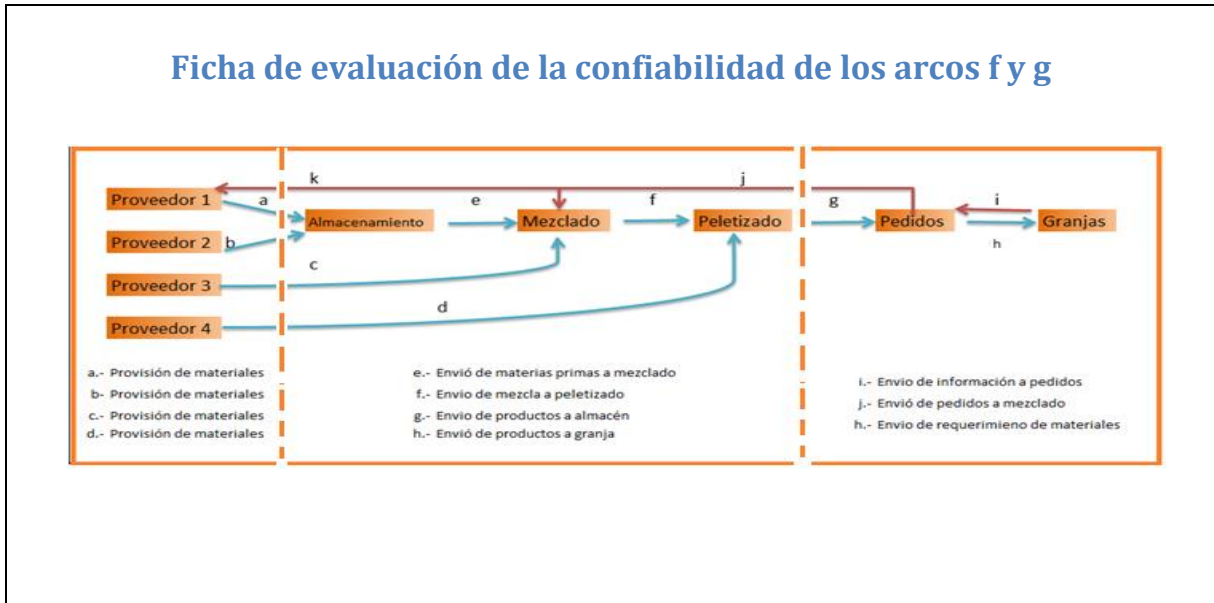
Ahora bien en el riesgo B2 el área de almacén no está provista para almacenar grandes cantidades de materia prima, debido a que esto genera un estancamiento de los recursos financieros, sin embargo hay épocas del año en que se aprovechan del precio de algunas materias primas o bien debido a que alguna materia prima aumenta considerablemente de precio se reformulan los

alimentos para que esta materia prima no se consuma en igual cantidad y así el alimento continúe con un precio competitivo, sin embargo al disminuir el uso de una materia prima, aumenta la demanda de otra, situación que desbalancea los inventarios y las bodegas.

El riesgo B3 se refiere al momento en que algún equipo tiene fallas debido a problemas mecánicos que surjan, o debido al deterioro que con el tiempo los equipos tienen.

Finalmente el riesgo B4 está relacionado al el deterioro que sufren las materias primas por condiciones ambientales como: humedad, cambios de temperatura, aireación, etc.

Ficha para los arcos f y g



Arcos f y g		FRECUENCIA				IMPACTO			
Clave	Riesgos	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
C1	Riesgo ocasionado por fallas en una máquina o equipo.								
C2	Riesgo por fallas en las básculas								
C3	Riesgo de que los ingredientes no estén disponibles en la línea de producción cuando se necesitan.								
C4	Riesgo por falta de personal, ya sea administrativo, operativo, de mantenimiento, etc.								
C5	Riesgo por falta de electricidad								
C6	Riesgo por falta de capacidad de la planta								
C7	Riesgo por fallas en la caldera								

En esta ficha de evaluación el primer factor C1 evalúa como afecta el que los equipos presenten fallas. Pese a que los equipos tienen un calendario de mantenimiento, los equipos tienen descomposturas que afectan los tiempos de

producción, con la posibilidad de incluso parar la producción en el caso de algunos ya que algunos equipos son insustituibles en el proceso.

Respecto a los problemas de pesado evaluados por el factor C2 este se originan por mala calibración de las básculas, estas pueden generar problemas de calidad en el producto final, debido a que si una báscula mal calibrada en lugar de pesar 5000 Kg de aceite, pesa 5099 Kg, puede impactar en la cantidad de grasa del alimento de manera que este no cubra con las características de calidad.

En esta misma ficha se denota el riesgo C3 de que algún ingrediente no llegue a la línea de producción en el momento en que se requiere, esto se debe generalmente a problemas con los transportadores o bien que el sistema computacional de producción no envíe la señal a los transportadores.

Otro factor de riesgo se presenta cuando hace falta personal, generando retraso en la producción siendo este el factor C4, un ejemplo claro es cuando la persona encargada de prender la caldera no llega a tiempo, cuando llegan la demás gente de producción, no puedan iniciar la producción pues la caldera no está trabajando.

También el factor C5 que es la falta de electricidad detiene la producción, pues las plantas no están equipadas con equipos generadores de electricidad.

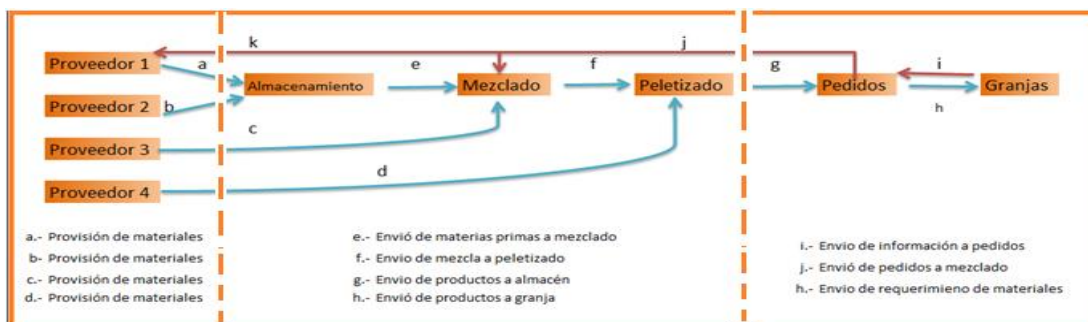
La falta de capacidad de la planta es evaluada por el factor C6 el cual mide si es posible para la planta generar la cantidad de alimento, pues por ejemplo en una de las plantas debido a la maquinaria se puede realizar grandes lotes de un alimento, sin embargo cuando la demanda de alimentos se compone de varios alimentos en cantidades menores a la cantidad máxima de producción no permite hacer más eficiente la producción.

Finalmente la caldera es como mencionaba anteriormente un factor importante en la producción, pues sin el vapor que esta genera, no se puede realizar la producción este riesgo está evaluado por el factor C7.



## Ficha para el arco h

### Ficha de evaluación de la confiabilidad del arco h



Clave	Arco h	FRECUENCIA				IMPACTO			
	Riesgos	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
D1	Riesgo a que problemas de comunicación no lleguen a tiempo los alimentos								
D2	Riesgo a que el alimento sufra contaminación en el transporte								
D3	Riesgo a que por ineficiencia de transporte el alimento no llegue a tiempo								
D4	Riesgo a que el alimento sea rechazado por falta de espacio								

En esta ficha h, el factor D1 que se evalúa busca conocer cómo puede impactar la comunicación en la interrupción de la cadena de suministro pues problemas de comunicación como no enviar los pedidos a tiempo puede generar que los pedidos no lleguen en la fecha para la cual fueron requeridos.

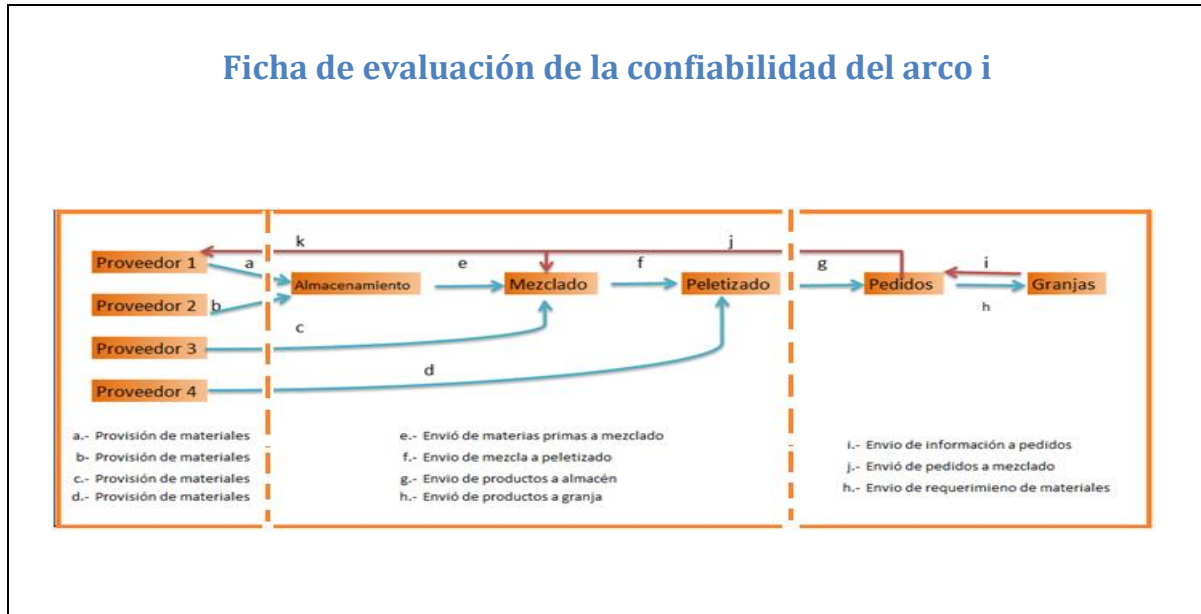
Así mismo el riesgo D2 se genera debido a que el alimento puede sufrir contaminación en el transporte por que cuando los transportes no se limpian antes de cambiar de un alimento a otro, pueden contaminar algún alimento al mezclarse

con otro alimento. Esta contaminación podría no ser impactante, sin embargo se convierte en grave cuando el alimento llevaba por ejemplo medicamento que pueda afectar a la parvada que debía consumir un alimento sin medicamento.

El riesgo D4 se refiere a cuando el alimento no llega a tiempo. Este factor afecta el proceso porque acuerdo a la edad de la parvada el encargado de cada granja debe hacer su solicitud del alimento que se va a necesitar y en qué fecha. Sin embargo si esa solicitud se hace a destiempo o se le pone una fecha equivocada, entonces el alimento puede no llegar a tiempo.

Finalmente y ligado al punto anterior en el factor D5 si la parvada tuvo algunos problemas de salud que derivo en alta mortalidad o bien si la parvada no consumió la cantidad de alimento que se había programado, al llegar el alimento de la nueva etapa puede haber todavía restos del alimento anterior. Esto generaría un retraso ya que en este caso el silo se tendría que vaciar antes de poner el nuevo alimento para evitar contaminación.

Ficha para el arco i.



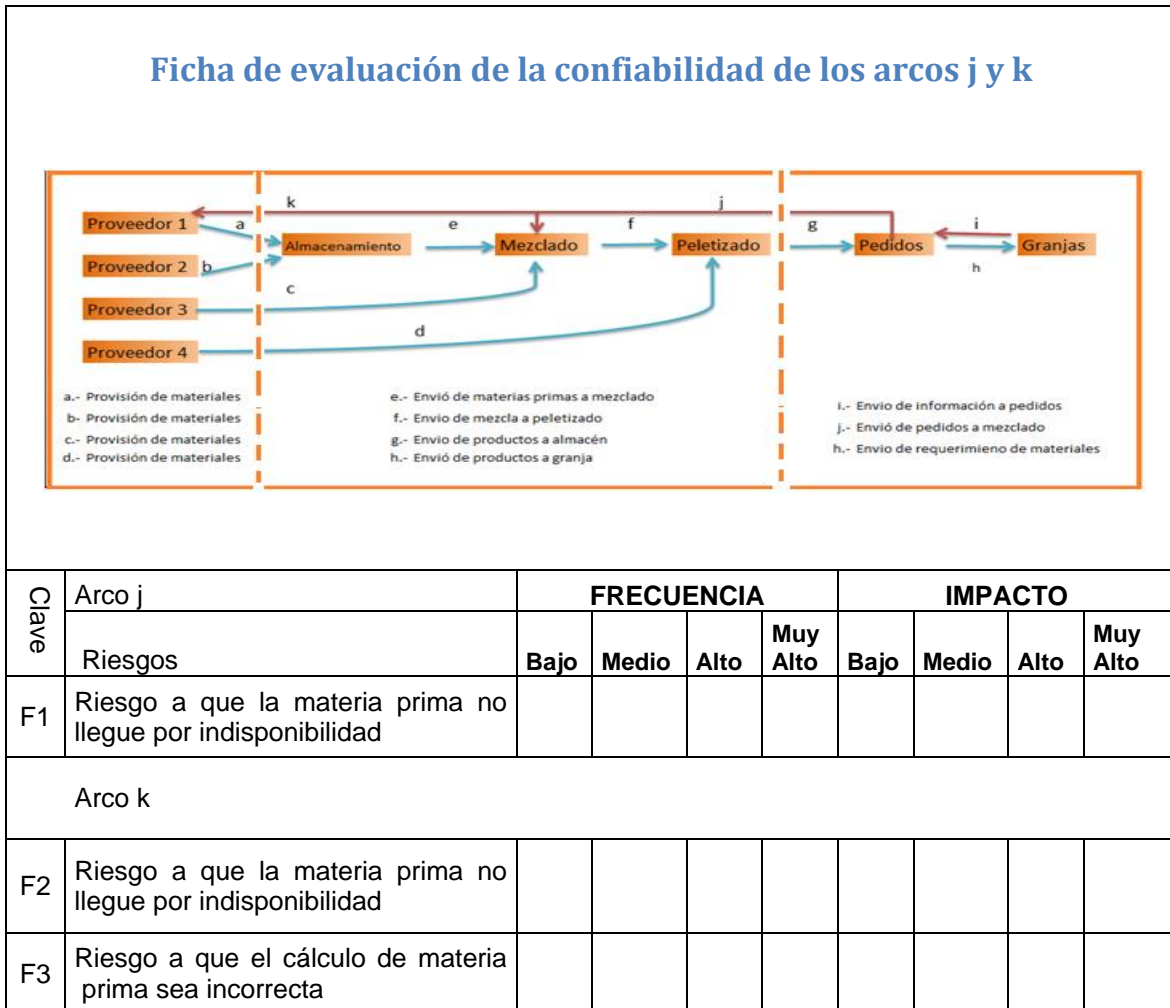
Clave	Arco i	FRECUENCIA				IMPACTO			
	Riesgos	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
E1	Riesgo a que la gente que envía los pedidos cometa un error de captura								
E2	Riesgo a que los pedidos sean mal calculados								
E3	Riesgo a que los sistemas computacionales fallen								

En esta penúltima ficha se evalúa en el factor E1 el impacto y frecuencia de que algún pedido sea generado y contenga algún error de captura, como puede ser que la fecha de entrega sea errónea, que la cantidad de alimento no sea la correcta, que se envíe a un número de granja diferente, etc.

. Con respecto al factor E2 se refiere a los pedidos, estos deben ser calculados de acuerdo a la cantidad de aves que tienen las granjas por lo que si se toman en cuenta más o menos aves cuando se calcula la cantidad de alimento que se requiere, obviamente la cantidad de alimento llegará incorrecta, lo que generaría una merma o que el alimento no sea suficiente para las aves.

También en esta ficha con el factor E3 se evalúa como afecta el que los sistemas computacionales fallen debido a algún virus, a incompatibilidad con algún equipo, etc.

Ficha para los arcos j y k



De acuerdo al pronóstico de cuanto alimento se va a necesitar la semana siguiente, se calcula también la cantidad de materia prima que el departamento de producción va a requerir por lo que si este cálculo no se realiza correctamente

entonces la materia prima no va a estar disponible cuando se requiera o bien llegue incompleta o llegue de más siendo este riesgo evaluado con el factor F1.

El factor F2 se refiere a la misma evaluación que el factor F1 solo que evaluado en otra parte de la cadena de suministro.

Una vez que las fichas de evaluación fueron enviados a cada persona responsable del área. Se les pidió a las personas que enviaran las respuestas a través de correo electrónico.

Como ya se mencionó anteriormente, se realizará una simulación y la modelación pretende tener una representación lo más cercana posible a la realidad, por lo que la colección de datos en forma cuidadosa es una parte importante del trabajo para poder tener el modelo más realista como sea posible para que el problema pueda ser resuelto de forma eficiente. Los factores seleccionados deben ser representativos para el modelo y tener contribuciones significantes.

### **2.3 Ponderación de los factores de riesgo.**

Después de la recolección de los datos es importante seleccionar cuales son los factores que más influyen en la cadena de suministro. A fin de hacer una selección y poder incluir en el modelo solo los factores críticos. En las fichas de evaluación se mide tanto impacto como frecuencia. El producto de estos dos factores estima la forma en la que el factor afecta la cadena de suministro. Se realiza la multiplicación de los valores de frecuencia e impacto ya que en conjunto identifican los factores críticos pues si solo se evaluara la frecuencia habría factores que se considerarían como críticos pero que sin embargo su impacto es bajo o por el contrario se podría considerar un factor como crítico porque su impacto es alto, pero se presenta cada 5 años por ejemplo. Es por ello que al

multiplicar estos valores se obtiene un valor significativo de cuáles son los factores críticos.

$$\text{Ponderación del factor} = \text{Impacto} * \text{Frecuencia}$$

Esta ponderación es útil para poder determinar cuánto está afectando cada riesgo y así identificar los factores con mayor importancia. Claypool (2011) utilizó este tipo de ponderación para evaluar los factores críticos en su trabajo titulado “Evaluación y mitigación de riesgos en el diseño de una cadena de suministro” ya que la escala en la que se evaluaron los factores no es cuantitativa, y mediante esta ponderación se obtienen valores numéricos que permiten el posterior análisis de los datos.

Las personas que evaluaron los factores de riesgo determinaron el impacto del factor de riesgo, y la frecuencia, usando cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto. Se asumió que la escala es lineal, dando un valor de 1 a bajo, 2 a medio, 3 a alto y 4 para muy alto.

## 2.4 Modelo matemático para la evaluación de confiabilidad

De acuerdo a los factores identificados que conforman la cadena de suministro, se considera que la confiabilidad global de la cadena es una sumatoria del riesgo que aporta cada factor. Quedando las siguientes ecuaciones:

Para los arcos a, b, c y d

$$R(abcd) = \frac{\sum_{i=1}^{n=16} A1 + \sum_{i=1}^{n=16} A2 + \sum_{i=1}^{n=16} A3 + \sum_{i=1}^{n=16} A4 + \sum_{i=1}^{n=16} A5 + \sum_{i=1}^{n=16} A6 + \sum_{i=1}^{n=16} A7 + \sum_{i=1}^{n=16} A8}{\# \text{ Total de factores} * 16} \dots (3)$$

R(abcd) = confiabilidad para los nodos abcd

Para el arco e

$$R(e) = \frac{\sum_{i=1}^{n=16} B1 + \sum_{i=1}^{n=16} B2 + \sum_{i=1}^{n=16} B3 + \sum_{i=1}^{n=16} B4}{\# \text{ Total de factores} * 16} \dots\dots\dots (4)$$

Para los arcos f y g

$$R(fyg) = \frac{\sum_{i=1}^{n=16} C1 + \sum_{i=1}^{n=16} C2 + \sum_{i=1}^{n=16} C3 + \sum_{i=1}^{n=16} C4 + \sum_{i=1}^{n=16} C5 + \sum_{i=1}^{n=16} C6 + \sum_{i=1}^{n=16} C7}{\# \text{ Total de factores} * 16} \dots\dots\dots (5)$$

Para el arco h

$$R(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n=16} D1 + \sum_{i=1}^{n=16} D2 + \sum_{i=1}^{n=16} D3 + \sum_{i=1}^{n=16} D4}{\# \text{ Total de factores} * 16} \dots\dots\dots (6)$$

Para el arco i

$$R(i) = \frac{\sum_{i=1}^{n=16} E1 + \sum_{i=1}^{n=16} E2 + \sum_{i=1}^{n=16} E3}{\# \text{ Total de factores} * 16} \dots\dots\dots (7)$$

Para los arcos j y k

$$R(jyk) = \frac{\sum_{i=1}^{n=16} F1 + \sum_{i=1}^{n=16} F2 + \sum_{i=1}^{n=16} F3}{\# \text{ Total de factores} * 16} \dots\dots\dots(8)$$

Finalmente confiabilidad global de la cadena se obtiene:

$$R = 1 - (R(abcd) + R(e) + R(fyg) + R(h) + R(i) + R(jyk)) \dots\dots\dots(9)$$

## 2.5 Simulación

Una vez que los factores de riesgo fueron seleccionados se necesita evaluar cómo pueden estos factores ser integrados a una simulación de manera que se pueda evaluar cómo se desempeñará la cadena de suministro bajo ciertas condiciones.

Es necesario realizar un diseño del escenario que se desea obtener, es decir las condiciones óptimas en las que se esperaría que trabajara la cadena de suministro, para este escenario óptimo es necesario conocer las condiciones óptimas en las que trabajaría cada nodo de la cadena de suministro en estudio. Es decir se necesita realizar la recolección de datos de:

- Cantidad de alimento producido en una unidad de tiempo.
- Cantidad necesaria de cada ingrediente que conforma el alimento.
- Tiempos de producción.
- Conocer la cantidad de subcomponentes necesarios para la producción del alimento.
- Definir si la capacidad está disponible.
- Costos de transporte.

Una vez que se llevo a cabo este procedimiento es necesario evaluar el software que permitirá hacer la simulación. Actualmente existen diferentes softwares que permiten realizar esta simulación como son: Arena, Promodel, Crystal Ball, etc. Sin embargo debido a que se pudo adquirir una versión estudiantil del software Arena, será este el que se usará en el presente trabajo.



## **2.6 Verificación y validación**

Al construir un modelo, se busca que sea una representación válida de la realidad. Para validar la simulación, es necesario realizar varias corridas en la simulación a fin de verificar que hay relación entre lo que predice el sistema y lo que ocurre en el sistema real. Para la verificación y validación son necesarios nuevamente datos históricos que permitan reconstruir cómo se comporta el sistema y comprobar la salida del modelo.

## **CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **3.1 Resultados de las fichas de evaluación en la empresa estudiada.**

De las fichas de evaluación enviadas, se recibieron resultados de todas las áreas, y cada persona encargada de un área evaluó el riesgo utilizando la escala bajo, medio, alto y muy alto, de acuerdo a su experiencia. De los resultados obtenidos, estos fueron vaciados en las fichas de respuesta, donde los resultados fueron convertidos a valores numéricos utilizando la escala mencionada en la metodología (1= bajo, 2 = medio, 3= alto y 4= muy alto) para así poder evaluar numéricamente la confiabilidad de la cadena de suministro en estudio. Adicionalmente, a estas fichas también se les añadió una columna para colocar la ponderación del resultado, tal y como se observa en las siguientes fichas:

Respuestas de la ficha de los arcos a, b, c y d

Clave	Arcos: a, b, c ,d Riesgo	FRECUENCIA				IMPACTO				Ponderación
		Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	
A1	Riesgo en que por cuestiones de Calidad la materia prima sea rechazada		2				3		6	
A2	Riesgo de que por contaminación la materia prima se rechazada		2				3		6	
A3	Riesgo de que la materia prima no llegue a producción a tiempo por cuestiones de descarga			3			3		9	
A4	Riesgo de que el ingrediente no llegue a tiempo por problemas de seguridad en el transporte		2				3		6	
A5	Riesgo de que la materia prima llegue incompleta			3		2			6	
A6	Riesgo de que un proveedor no sea capaz de entregar un ingrediente en un periodo de tiempo. (entregas extraordinarias, con poco tiempo de pedido)	1					3		3	
A7	Riesgo de que la materia prima no llegue a tiempo por problemas de transporte		2				3		6	
A8	Riesgo de que por cuestiones de documentación la materia prima sea rechazada	1						4	4	

Resultados para la ficha del arco e

Clave	Arco e	FRECUENCIA				IMPACTO				Ponderación
		Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	
B1	Riesgo a contaminación del alimento por mal almacenamiento		2						4	8
B2	Riesgo por falta de espacio para almacenamiento		2					3		6
B3	Riesgo por fallas en los elevadores que transportan el alimento	1				1				1
B4	Riesgo de deterioro por condiciones ambientales		2						4	8

Resultados de la ficha de los arcos f y g

Clave	Arcos f y g	FRECUENCIA				IMPACTO				Ponderación
		Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	
C1	Riesgo ocasionado por fallas en una máquina o equipo.			3			2			6
C2	Riesgo por fallas en las básculas	1							4	4
C3	Riesgo de que los ingredientes no estén disponibles en la línea de producción cuando se necesitan.	1						3		3
C4	Riesgo por falta de personal, ya sea administrativo, operativo, de mantenimiento, etc.		2					3		6
C5	Riesgo por falta de electricidad			3				3		9
C6	Riesgo por falta de capacidad de la planta		2					3		6
C7	Riesgo por fallas en la caldera	1							4	4

Resultados de la ficha del arco h

Clave	Riesgos	FRECUENCIA				IMPACTO				Ponderación
	Arco h	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	
D1	Riesgo a que problemas de comunicación no lleguen a tiempo los alimentos	1						3		3
D2	Riesgo a que el alimento sufra contaminación en el transporte		2					3		6
D3	Riesgo a que por ineficiencia de transporte el alimento no llegue a tiempo		2					3		6
D4	Riesgo a que el alimento sea rechazado por falta de espacio			3				3		9

Resultados de la ficha del arco i

Clave	Arco i	FRECUENCIA				IMPACTO				Ponderación
	Riesgos	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	
E1	Riesgo a que la gente que envía los pedidos cometa un error de captura	1						3		3
E2	Riesgo a que los pedidos sean mal calculados	1							4	4
E3	Riesgo a que los sistemas computacionales fallen			3			2			6

## Resultados de la ficha de los arcos j y k

Clave	Riesgos	FRECUENCIA				IMPACTO				Ponderación
	ARCO: j	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	
F1	Riesgo a que la materia prima no llegue por indisponibilidad	1							4	4

ARCO k										
F2	Riesgo a que la materia prima no llegue por indisponibilidad	1							4	4
F3	Riesgo a que el cálculo de materia prima sea incorrecta			2				3		9

De los resultados obtenidos se graficaron en la siguiente figura 6. Al ser 29 factores hay varios que se superponen en este gráfico, sin embargo los factores que se encuentran dentro del recuadro son los factores seleccionados, ya que son los que mayor riesgo están aportando a la cadena de suministro y se detallan en el listado posterior al gráfico.

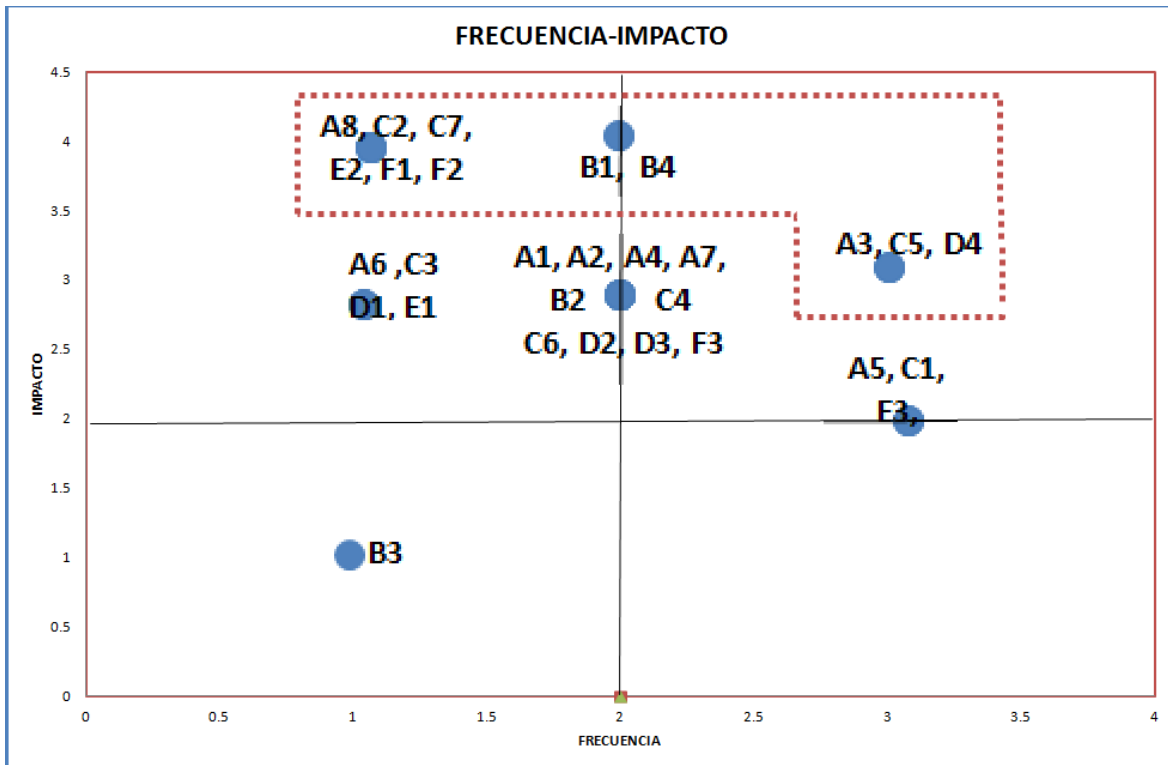


Figura 6. Gráfica de resultados frecuencia- impacto

De los resultados obtenidos se identificaron los que afectan más la cadena de suministro de acuerdo con la gráfica anterior los factores que se seleccionaron son los que contienen la combinación más alta de frecuencia- impacto. Siendo así los factores seleccionados son aquellos que tienen frecuencia media e impacto muy alto, los que tienen frecuencia alta e impacto alto y los que no tienen alta frecuencia pero que si tienen alto impacto, ya que aunque no se presenten muchas veces al año, cuando se presentan ocasionan altas pérdidas en la competitividad de la empresa. Los factores que corresponden a estas categorías están en un recuadro en la gráfica de la figura 6, siendo los 11 los factores siguientes mostrados en el cuadro 3:

Cuadro 3. Riesgos seleccionados listados alfabéticamente.

Clave del riesgo	Descripción
A3	Riesgo de que la materia prima no llegue a producción a tiempo por cuestiones de descarga
A8	Riesgo de que por cuestiones de documentación la materia prima sea rechazada
B1	Riesgo a contaminación del alimento por mal almacenamiento
B4	Riesgo de deterioro por condiciones ambientales
C2	Riesgo por fallas en la báscula
C5	Riesgo por falta de electricidad
C7	Riesgo por fallas en la caldera
D4	Riesgo a que el alimento sea rechazado por falta de espacio
E2	Riesgo a que los pedidos sean mal calculados
F1	Riesgo a que la materia prima no llegue por indisponibilidad
F2	Riesgo a que la materia prima no llegue por indisponibilidad

Elaboración propia

Una vez realizada esta evaluación los valores ponderados fueron normalizados, para obtener valores consistentes de acuerdo con Nevado (2010) este proceso es necesario para evitar la redundancia de datos, las inconsistencias, las ambigüedades y proteger la integridad de los datos. Para normalizar los datos se dividieron los valores totales = Impacto x frecuencia por un factor de 1.68 este factor de normalización se obtuvo dividiendo el promedio total del impacto 3.13 entre el promedio total de la frecuencia 1.86. Mediante esta normalización podemos hacer una lista con los factores de mayor valor los cuales están mostrados en el cuadro 4.

$$\text{Valor normalizado} = \frac{\text{Promedio total del impacto}}{\text{promedio total de la frecuencia}} * vpf^3 \quad \dots\dots(10)$$

<sup>3</sup> vpf= Valor ponderado del factor



$$\text{Valor normalizado} = \frac{3.13}{1.86} * vpf \text{ factor} = 1.68 * vpf \quad \dots(11)$$

Cuadro 4. Resultados normalizados

	Valor ponderado	Valor normalizado
A1	6	10.08
A2	6	10.08
A3	9	15.12
A4	6	10.08
A5	6	10.08
A6	3	5.04
A7	6	10.08
A8	4	6.72
B1	8	13.44
B2	6	10.08
B3	1	1.68
B4	8	13.44
C1	6	10.08
C2	4	6.72
C3	3	5.04
C4	6	10.08
C5	9	15.12
C6	6	10.08
C7	4	6.72
D1	3	5.04
D2	8	13.44
D3	6	10.08
D4	9	15.12
E1	3	5.04
E2	4	6.72
E3	6	10.08
F1	4	6.72
F2	4	6.72
F3	9	15.12

Elaboración propia

De los factores normalizados, se seleccionaron los que tienen los valores más altos. Los valores normalizados que se obtuvieron se pueden agrupar en 6 categorías. Como se muestra en la figura 7. De estas categorías se seleccionaron las 2 con mayor valor que son 13.44 y 15.12. Sin embargo debido al impacto que tienen los factores que se presentan no muy frecuentemente pero que cuando se presentan se presentan con alto impacto, también se seleccionó la categoría referente al valor 6.72.

Cuadro 5. Factores seleccionados de los valores normalizados

Riesgo	Valor ponderado	Valor normalizado	Descripción
A3	9	15.12	Riesgo de que la materia prima no llegue a producción a tiempo por cuestiones de descarga.
A8	4	6.72	Riesgo de que por cuestiones de documentación la materia prima sea rechazada.
B1	8	13.44	Riesgo a contaminación del alimento por mal almacenamiento.
B4	8	13.44	Riesgo de deterioro por condiciones ambientales.
C2	4	6.72	Riesgo por fallas en la báscula.
C5	9	15.12	Riesgo por falta de electricidad.
C7	4	6.72	Riesgo por fallas en la caldera.
D4	9	15.12	Riesgo a que el alimento sea rechazado por falta de espacio.
E2	4	6.72	Riesgo a que los pedidos sean mal calculados.
F1	4	6.72	Riesgo a que la materia prima no llegue por indisponibilidad.
F2	4	6.72	Riesgo a que la materia prima no llegue por indisponibilidad.

Elaboración propia

Después de realizar esta normalización se observa que son los mismos factores los que continúan aportando mayor riesgo a la cadena de suministro que los que se habían seleccionado. Sin embargo con esta normalización también podemos obtener el siguiente histograma que se muestra en la figura 7.

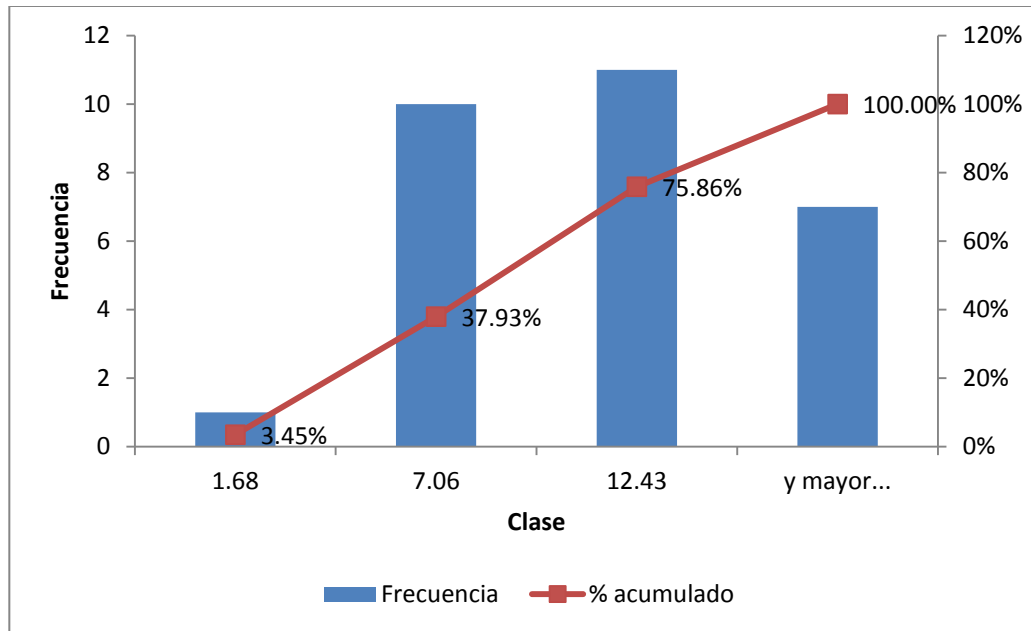


Figura 7. Histograma de Impacto por frecuencia.

De acuerdo a los valores normalizados se realizó una categorización donde la categoría 1.68 corresponde a los factores de bajo riesgo, la categoría de 7.06 corresponde a los factores con riesgo medio, la categoría de 12.43 corresponde a los factores con riesgo alto y finalmente los factores con valor mayor a 12.43 corresponden a riesgo muy alto.

En el histograma de la figura 7 se observa cómo el 75.86 % son menores o iguales a 12.43. Por lo que los valores de mayores a 12.43 que se seleccionaron como críticos corresponden al 24.14% del total de los datos. De esta manera podemos mencionar que hasta el momento la cadena de suministro trabaja con un 75.86% de confiabilidad parcial, se considera como una confiabilidad parcial por que en esta evaluación los factores se categorizan y no se evalúan numéricamente como en el modelo matemático. Sin embargo el 24.14% restante está generando pérdidas monetarias a la empresa y el objetivo de emplear técnicas de confiabilidad es disminuir ese riesgo y aumentar la confiabilidad de la cadena de suministro. Esta evaluación nos permite visualizar la confiabilidad de la

cadena de suministro tomando en cuenta los factores críticos, sin embargo mediante esta evaluación no se están tomando en cuenta cómo afectan los valores no críticos. Por ello posteriormente se realiza una evaluación que si cuantifica como decrece el valor de la confiabilidad de la cadena de suministro al adicionar estos factores.

Finalmente en el cuadro 6 se muestran los factores que fueron identificados por las personas que evaluaron los factores de riesgo, esta lista de factores indica su definición y clasificación.

Cuadro 6. Factores seleccionados

Código	Descripción	Nombre	Interna	Externa
A3	Riesgo de que la materia prima no llegue a producción a tiempo por cuestiones de descarga	Riesgo de capacidad	✓	
A8	Riesgo de que por cuestiones de documentación la materia prima sea rechazada	Requerimientos regulatorios		✓
B1	Riesgo a contaminación del alimento por mal almacenamiento	Problemas de calidad	✓	
B4	Riesgo de deterioro por condiciones ambientales	Problemas de calidad		✓
C1	Riesgo por fallas en las básculas	Riesgo técnico	✓	
C5	Riesgo por falta de electricidad	Riesgo por tercero		✓
C7	Riesgo por fallas en la caldera	Riesgo técnico	✓	
D4	Riesgo a que el alimento sea rechazado por falta de espacio	Riesgo de capacidad	✓	
E2	Riesgo a que los pedidos sean mal calculados	Riesgo por pronóstico	✓	
F1	Riesgo a que la materia prima no llegue por indisponibilidad	Confiabilidad del proveedor		✓
F3	Riesgo a que el cálculo de materia prima sea incorrecto.	Gestión de inventario	✓	

Elaboración propia

Este cuadro fue realizado tomando en cuenta la clasificación que realizó Claypool, 2011 de los factores encontrados en la literatura.

Los factores mencionados anteriormente pueden ser incluidos al modelo englobándolos en las categorías siguientes:

1. Riesgo de capacidad
2. Problemas de Calidad
3. Riesgo por tercero
4. Riesgo por gestión de inventarios
5. Requerimientos regulatorios
6. Confiabilidad del proveedor
7. Riesgo Técnico.

### 3.2 Modelo matemático

De acuerdo con las ecuaciones mencionadas en la sección de metodología y ya teniendo la evaluación de los nodos podemos obtener la siguiente evaluación:

Para los arcos a, b, c y d

$$R(abcd) = \frac{6 + 6 + 9 + 6 + 6 + 3 + 6 + 4}{29 * 16} = \frac{46}{464} = 0.0991$$

Para el arco e

$$R(e) = \frac{8 + 6 + 1 + 8}{29 * 16} = \frac{23}{464} = 0.0496$$

Para los arcos f y g

$$R(f y g) = \frac{6 + 4 + 3 + 6 + 9 + 6 + 4}{29 * 16} = \frac{38}{464} = 0.0819$$

Para el arco h

$$R(h) = \frac{3 + 6 + 6 + 9}{29 * 16} = \frac{24}{464} = 0.0517$$

Para el arco i

$$R(i) = \frac{3 + 4 + 6}{29 * 16} = \frac{13}{464} = 0.0280$$

Para los arcos j y k

$$R(j \text{ y } K) = \frac{4 + 4 + 9}{29 * 16} = \frac{17}{464} = 0.0366$$

Finalmente confiabilidad global de la cadena se obtiene:

$$R = 1 - (R(ABCD) + R(E) + R(FYG) + R(H) + R(I) + R(JYK))$$

$$R = 1 - (0.0991 + 0.0496 + 0.0819 + 0.0517 + 0.028 + 0.0366)$$

$$R = 1 - 0.3469$$

$$R = 0.6531 = 65.31\%$$

La confiabilidad de la cadena de suministro de la empresa en estudio es del 65.31%. Este valor es bajo, tomando en cuenta que a mayor confiabilidad hay menos costos asociados a la cadena de suministro. Desafortunadamente y debido a que no hay en la empresa estudios previos las pérdidas monetarias que se asocian a los riesgos presentados en la cadena de suministro no se han cuantificado. Sin embargo es inminente que ese valor de confiabilidad es sujeto a

poder aumentarse a fin de realizar ahorros y aumento en la calidad del producto. A partir de este trabajo se han identificado los factores de riesgo y más adelante se proponen acciones correctivas y preventivas.

### 3.3. Simulación

De acuerdo con Klimov y Merkuryev 2008 la cadena de suministro se considera como un sistema no reparable. Por lo que solo contiene dos estados que son: el sistema está funcionando en el tiempo  $t$  o el sistema no está funcionando en el tiempo  $t$ .

El proceso de simulación se puede resumir de acuerdo a la siguiente figura:

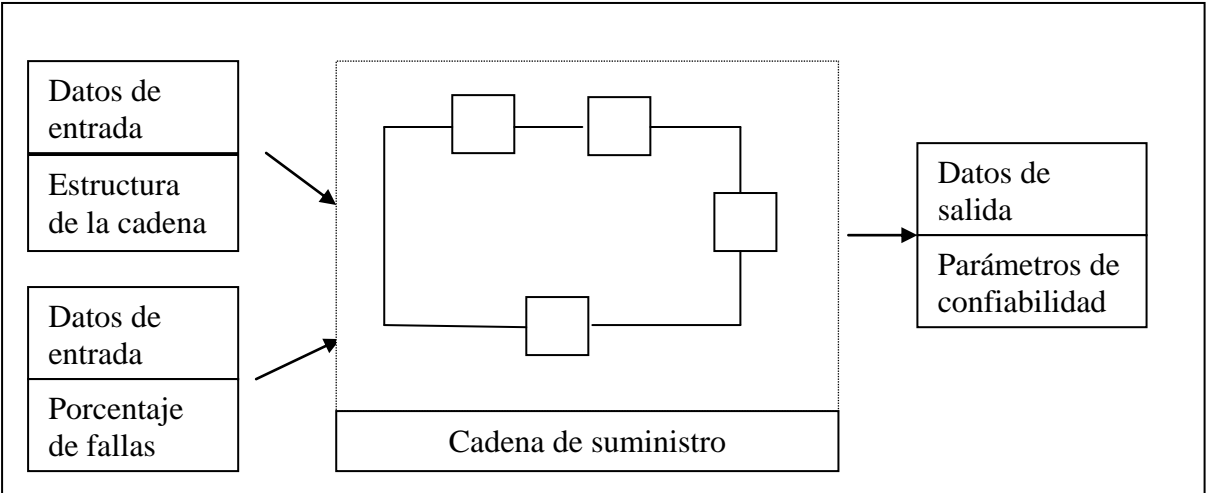


Figura 8. Simulación de la confiabilidad del sistema. Klimov y Merkuryev (2008)

Para realizar la simulación de la cadena de suministro es necesario tener datos de los tiempos a los cuales la cadena de suministro se interrumpe así como el arco que afecta. Estos datos no están disponibles en la empresa ya que no se han cuantificado. Estos datos deben ser históricos y representativos. Se propone tener al menos un año de historial para esta empresa, ya que en los datos recabados

hasta el momento se ha constatado que los tiempos de falla pueden variar de mes a mes de acuerdo a los proveedores disponibles ya que algunos proveedores entregan sus productos en ciertas épocas del año y no entregan en otras épocas del año. Así mismo el suministro de luz se interrumpe más en época de lluvias etc.

De manera que esta simulación obtendrá la probabilidad de que la cadena de suministro en estudio no sea interrumpida en un periodo de 365 días.

Una vez que estos datos sean recabados se puede realizar un modelo de simulación. Estos datos son alimentados en Excel desde donde son leídos. A continuación en el cuadro 7. Se muestran los datos a alimentarse al modelo:

Cuadro 7. Entradas del modelo

Categoría	Entrada
<b>Centros de distribución</b>	Distribución de demanda. Número de semanas de inventario de producto final.
<b>Clientes</b>	Porcentajes de ventas Tiempos de tolerancia
<b>Plantas</b>	Tiempo de producción por producto. Capacidad máxima de producción. Número de semanas de inventarios de materias primas.
<b>Transportación</b>	Tiempo de transporte entre plantas y centros de distribución. Capacidad máxima de envío.
<b>Interrupciones</b>	Frecuencia Duración
<b>Recuperación</b>	Tiempo de recuperación Capacidad disponible después de la interrupción

Una vez que los datos se alimentan se realiza una interface con Arena y se realizan varias corridas de simulación. El modelo proveerá una herramienta que permita mitigar los riesgos. Así como evaluar cómo afectará el que alguno de los riesgos sea modificado.



### 3.5 Discusión

Al inicio, esta investigación se planteo a partir de una crisis que se tuvo en la cadena de suministro por escasas de una materia prima, la cual al no estar disponible generaba una ruptura en la cadena. Buscando en documentación de la empresa se encontró que en años pasados ya se había presentado una situación similar. Sin embargo se consideraba que este factor no había sido tomado en cuenta en la planeación. Por ello se tenía la necesidad de evaluar la confiabilidad de la cadena de suministro a fin de encontrar los factores que la afectan y poder contemplarlos para las siguientes planeaciones, sobre todo las que se realizan al principio de cada año.

Sin embargo del análisis de la cadena de suministro, después de evaluar los factores se encontró que uno de los supuestos no se cumple, pues hay factores que están generando más impacto que los que se estaban considerando en un principio. Ya que el impacto porque no llegue una materia prima es considerable, pero no la frecuencia. Sin embargo hay factores que se estaban ignorando y que si están afectando a la cadena de suministro.

También a partir de esta evaluación se puede notar que la cadena de suministro es más susceptible a interrupciones en los primeros arcos, es decir se puede considerar que la parte de la cadena de suministro con más riesgo se encuentra en los primeros componentes de la red logística.

Por otro lado la confiabilidad de la cadena de suministro en estudio puede ser evaluada de acuerdo con las formulas que se desarrollaron. Actualmente la cadena de suministro tiene una confiabilidad de 65 %. Tomando en cuenta como se está evaluando la confiabilidad de la cadena de suministro es importante hacer notar que para aumentar su confiabilidad se puede realizar mitigando el impacto del factor o bien disminuyendo la frecuencia de los factores.

De acuerdo a la evaluación realizada se encontraron propuestas que pueden ayudar a la empresa a aumentar la confiabilidad de su cadena de suministro.

El método que se llevo a cabo en este trabajo puede ser usado como una herramienta de planeación o una herramienta que permita tomar decisiones. Por ejemplo permite evaluar cómo afecta la confiabilidad de la cadena de suministro el que un proveedor no entregue la mercancía a tiempo o que la frecuencia con que la caldera se averíe.

Es importante señalar que la empresa no había realizado estudios similares a este trabajo por lo que la información que contiene es poca e inconsistente. Sin embargo aun con las limitaciones las mejoras que se pueden aplicar a la empresa permitirán aumentar la confiabilidad de la cadena de suministro y por ende aumentar la calidad de los productos. Ahora bien es importante que la empresa comience a cuantificar como están impactando económicamente los riesgos en la cadena de suministro a la empresa ya que de otra manera no hay una forma de presentar cuantitativamente la mejora a partir de estos cambios.

Considerando los resultados obtenidos se plantea que la empresa pueda cuantificar el tiempo al cual cada arco es interrumpido por algún factor de riesgo, ya que esta cuantificación permitirá que se pueda pronosticar a que tiempo se hallará una interrupción en la cadena de suministro.

Así mismo la cuantificación económica de cómo cada factor afecta a la empresa es también necesaria, porque de esta manera se puede evaluar si los cambios que se están generando en la cadena de suministro son redituables o no. Porque finalmente este parámetro es vital dentro de cualquier organización

## CAPITULO 4 CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

### 4.1 Conclusiones

- De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que es posible medir la cadena de suministros en términos de su confiabilidad. Detectando los riesgos que interrumpen su adecuado funcionamiento.
- La cadena de suministro tiene más factores de riesgo en los primeros arcos.
- Los factores que en un inicio se consideraban que eran los que más riesgo daban a la cadena como los desastres naturales, terrorismo, etc. no aparecen en la lista de factores críticos, debido a que si afectan pero no de forma frecuente.
- Para futuras evaluaciones de los factores, se haría una mejor ponderación si se tuvieran datos históricos del impacto económico que genera cada riesgo.
- El presente estudio permite conocer los factores que impactan negativamente a la cadena de suministro, propiciando una iniciativa que permita mitigar o incluso eliminar en el futuro el impacto de estos factores.
- Los factores de la cadena de suministro tienen impacto en el producto final en términos monetarios y de calidad.
- Se logró obtener un modelo matemático que evalúa el riesgo en cada arco y finalmente la confiabilidad de la cadena de suministro.

- Para aumentar la confiabilidad de la cadena de suministro es necesario mitigar el impacto de los factores o bien disminuir la frecuencia con que ocurre el riesgo.
- El presente estudio es reproducible para otras empresas o para la misma empresa.
- La confiabilidad actual de la cadena de suministro de la empresa en estudio es de 65.31%.
- El presente estudio me permitió conocer los riesgos que no se habían evaluado con anterioridad en la empresa.

## 4.2 Propuesta para el modelo de simulación.

Como se mencionó en la sección de resultados en la parte de simulación es necesario realizar la recolección de datos, para conocer después de cuánto tiempo la cadena de suministro tiene una interrupción. A continuación se muestra el formato a ser utilizado para la recolección de estos datos.

Cuadro 8. Formato de recolección de datos para la simulación

Arco	$\lambda_1 = \text{Tiempo}^{-1}$	$\lambda_2 = \text{Tiempo}^{-1}$	$\lambda_3 = \text{Tiempo}^{-1}$	$\lambda_4 = \text{Tiempo}^{-1}$	$\lambda_5 = \text{Tiempo}^{-1}$
A					
B					
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
J					
K					

Un paso importante en la simulación es la validación, la cual nos permitirá conocer que la simulación este generando datos confiables.

Una vez obtenidos estos datos se puede realizar una simulación a fin de conocer cómo se comporta la cadena de suministro y que sucede variando las condiciones iniciales, a fin de conocer con mayor exactitud cómo afecta el cambio de una variable a la cadena de suministro, de modo que esta sea finalmente una herramienta que sea útil al momento de evaluar alguna nueva condición en la

empresa y permita tomar decisiones con mayor fundamento obteniendo mejores resultados tanto económicos como de calidad del producto .

### **4.3 Propuestas para mitigar los factores de riesgo.**

De acuerdo a la tabla 5 donde se resumen los factores que más afectan a la cadena de suministro de la empresa en estudio, podemos ver que estos se componen de factores internos como factores externos, considerando como un factor externo aquellos que no se pueden modificar a través de la gestión de la empresa. Y como internos aquellos sobre los cuales directivos y funcionarios de la empresa pueden direccionar o ejercer una política concreta.

A continuación se muestra un análisis de cada factor. A fin de poder proponer un plan de mitigación dentro de la empresa.

#### **4.3.1 Riesgo de que la materia prima no llegue a producción a tiempo por cuestiones de descarga.**

Este riesgo se presenta debido a las siguientes circunstancias:

- ✓ El personal de descarga está ocupado con otros proveedores. Esto se debe a que el personal de compras planeo la descarga de varios ingredientes al mismo tiempo
- ✓ El sitio de almacenamiento de la materia prima es insuficiente. Este problema se presenta cuando hay una demanda de producto excedente
- ✓ Materia prima de temporada. Hay algunas materias primas que bajan su costo en cierta temporada del año. Temporada durante la cual se compra más materia prima cuando se sabe que aumentará de costo al terminar la temporada.

- ✓ Cambio de grano. El alimento producido en la planta está constituido en un 60% aproximadamente por un grano base, que es maíz o sorgo, dependiendo igualmente de la temporada. Al ser este grano el de mayor requerimiento al hacer el cambio entre maíz y sorgo y viceversa se presenta un problema de insuficiencia de espacio. Sin embargo esta situación ya se tiene bien controlada.

En los alimentos balanceados se lleva a cabo un procedimiento de formulación en el cual de acuerdo a los niveles de proteína, grasa, contenido energético y de aminoácidos que contienen los ingredientes (porcentaje calculado de acuerdo al laboratorio de bromatología y ecuaciones que el programa de formulación contiene) se calcula la cantidad de ingrediente que se deben adicionar a la mezcla. De esta manera, cuando un ingrediente no llega a tiempo a la línea de producción, este alimento simplemente no debe ser elaborado, pues no contendrá los nutrientes necesarios para las aves.

Para mitigar este riesgo se propone:

1. Elaborar un calendario de descarga en base a la frecuencia de descarga de cada proveedor y la frecuencia en que se requiere el ingrediente.
2. Evaluar que materias primas son “estacionales” y verificar que se disponga de un espacio para su almacenamiento antes de realizar la compra. Ya que en el proceso de formulación se debe de evaluar si es más competitiva otra materia prima que no requiera un sitio de almacenamiento adicional. Por ejemplo en ciertas ocasiones se ofrece canola, esta materia prima puede representar una ventaja disminuyendo el costo del alimento A. Sin embargo se decide vaciar un silo de salvado de trigo para poder ahí almacenar la canola. Al realizar la reformulación de todos los alimentos se aumenta el costo del alimento B. Y finalmente haciendo un promedio del costo de todos

los alimentos este promedio aumento ya que lo que se ahorro al disminuir el costo del alimento A es menor al aumento que tuvo el costo del alimento B. Por ello se recomienda que al momento de evaluar una nueva materia prima el departamento de formulación evalué los ahorros de forma global.

#### **4.3.2 Riesgo a contaminación del alimento por mal almacenamiento.**

Dentro de la cadena de suministro una vez que el alimento se elaboró este pasa a un silo de almacenamiento para posteriormente ser enviado mediante tolvas a granel hacia las granjas. La contaminación a la que se hace referencia en este caso es cuando:

- ✓ El silo hacia el cual se envía el alimento se encuentra ocupado por otro alimento diferente.
- ✓ Cuando el silo hacia el cual se envía está contaminado por microorganismos patógenos.

El que un alimento se contamine con otro alimento demerita la calidad de este producto ya que como se mencionó anteriormente las aves deben recibir los alimentos con ciertas características nutrimentales de acuerdo con la etapa de desarrollo en la que se encuentra y si se envía un alimento contaminado con otro alimento este podría ser con menos nutrimentos o bien podrían contener algún antibiótico no indicado para la etapa de desarrollo, Así mismo si se contamina con microorganismos patógenos se generarían enfermedades en las aves.

De acuerdo con la NOM -022- ZOO-1995 se considera almacenamiento a la acción de guardar en un área específica tal como bodega o local, materias primas, materiales o productos terminados para su custodia temporal, suministro o venta.



Y menciona que se debe:

1. Las instalaciones deben reunir las características que permitan conservar en óptimas condiciones el almacenamiento de los productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios que se comercializan
2. La superficie del piso debe ser de fácil limpieza y desinfección, con una pendiente que evite el estancamiento de líquidos
3. Las paredes interiores deben ser lisas con una altura mínima de 2.50 m a partir del piso, cubiertas con pintura acrílica o revestidas con material impermeable.
4. Los techos deben ser de material que evite las filtraciones de agua.
5. Todas las áreas deben contar con ventilación adecuada y estar separadas de acuerdo con el producto que se almacene
6. La iluminación debe cumplir con lo establecido en la NOM-025-STPS-1994
7. Los establecimientos deben destinarse exclusivamente para conservar las materias primas, materiales y productos terminados, relacionados con su actividad y contar con anaqueles, gabinetes, mostradores y otros que permitan el almacenamiento y manejo de los productos.
8. El diseño de las áreas debe permitir que las materias primas y productos terminados se mantengan a la temperatura, humedad y otras condiciones necesarias, para conservar la calidad e integridad de los productos.
9. Los productos terminados, materias primas, material de empaque o envase no deben colocarse directamente sobre el piso, por lo que al estibarlos se deben emplear tarimas. Las estibas deben separarse de la pared 30 cm como mínimo para prevenir cargas sobre las mismas y facilitar los recorridos de verificación; no deben obstruir el acceso a botiquines, equipo de seguridad y salidas
10. Los plaguicidas y otras sustancias que por su naturaleza puedan causar riesgo de contaminación de otros, deben etiquetarse informando sobre su

empleo y toxicidad, almacenándose en áreas especiales separadas y restringidas, para ser distribuidos o manipulados por personal competente.

11. Se debe contar con un programa de control de plagas contra insectos y roedores
12. Las empresas que así lo requieran, deben contar con áreas para la recepción y muestreo de materias primas, así como con un cubículo independiente destinado para el pesaje de las mismas
13. Los establecimientos que comercializan productos biológicos, químicos farmacéuticos que así lo requieran, deben contar con cámaras refrigerantes que conserven las temperaturas requeridas para los diferentes productos, con termográficas o sistemas equivalentes de fácil lectura.

De acuerdo con la norma revisada que aplicable al almacenamiento se realizó una auditoria en el almacén de producto terminado y se verificó que el almacén se encuentra en condiciones adecuadas. Sin embargo se propone realizar estas auditorías de manera periódica.

Así mismo no hacer liberación de alimentos hasta que el laboratorio no determine que el alimento se encuentre libre de microorganismos patógenos.

#### **4.3.3 Riesgo de deterioro por condiciones ambientales.**

Este riesgo está relacionado con el factor anterior y las acciones planeadas permiten reducir el deterioro del material por condiciones ambientales.

#### **4.3.4 Riesgo por falta de electricidad.**

Desafortunadamente en las plantas que no se encuentran en el centro de alguna ciudad se presentan fallas eléctricas por corte de electricidad por parte de

la compañía. Estas plantas no cuentan con otras opciones para la generación de energía eléctrica. Se planea hacer una evaluación para realizar la compra de una alternativa que permita generar energía eléctrica cuando se hacen cortes al suministro de energía. Sin embargo hay datos que son necesarios para este cálculo y no se han cuantificado. Por lo que esta evaluación se generará en cuanto se tenga un historial de todos los datos necesarios. Y evaluar si es más rentable comprar una planta generadora de electricidad o cambiar la producción hacia otro turno como se hace actualmente.

#### **4.3.5 Riesgo a que el alimento sea rechazado por falta de espacio.**

Los alimentos se ofrecen en “comederos” donde el ave se acerca a consumir el alimento. De acuerdo a cada etapa de crecimiento se ha calculado la cantidad promedio que cada ave consume. De acuerdo al número de aves que cada caseta contiene se calcula la cantidad de alimento que debe ser enviado. Sin embargo en ocasiones la mortalidad de las aves aumenta o bien el consumo del alimento no fue que se tenía previsto por problemas de salud de las aves. En este caso cuando la tolva llega a la caseta se encuentra con que el lugar donde debe almacenar el alimento se encuentra ocupado. En este caso no se puede vaciar el alimento pues generaría una contaminación que repercutiría negativamente en el crecimiento de las aves o bien podría generar que las aves consumieran algún ingrediente que ya no es necesario en la siguiente etapa de crecimiento lo que genera desviaciones a la calidad del ave por que puede: tener más pigmento, no tener tiempo para desechar algún antibiótico antes de salir al mercado, etc. En este caso es necesario que los encargados de cada granja tengan calendarizado cuando es el cambio de alimentación para cada caseta y tener vacía el silo cuando llegue la tolva y así no generar demora en la transportación del alimento ni generar problemas de calidad en el ave.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akkermans, H.; Bogerd, P. y Vos, B. 1999: "Virtuous and vicious cycles on the road towards international supply chain management", International Journal of Operations and Production Management, Vol. 19, N° 5/6, pp. 565-581.

Ballou, R., H. 2004 Logística Administración de la cadena de suministro Pearson

Blanchard, B.S. 1986 Logistic engineering and management e. Prentice Hall 3rd edition pp 12-14

Chang, Y., y Makatsoris, H. 2001 Supply chain modeling using simulation. I.J of simulation Vol 2 no. 1

Christopher, M., y H. Lee. 2004. Mitigating supply chain risk through improved confidence.

Chopra, S., y M. Sodhi. 2004. Managing risk to avoid supply-chain breakdown. MIT Sloan management review 46 (1): 53–61.

Chopra S. y Meindl P. 2004 Supply Chain management: Strategy, Planning and Operation. Prentice Hall 2nd Ed. New Jersey

Claypool E.G., 2011 Assessing and mitigating risk in a design for supply chain problem. Pittsburgh University

Cornish K., 2010 In Mexico, Supply Chain Risks Increase, Security Costs Climb. Industry Week.

Encyclopedia of the Nation's 2008. Honduras economy. Available at <http://www.nationsencyclopedia.com/Americas/Honduras-ECONOMY.html>

Evans, J.R. y Olson D.L 1998 Introduction to Simulation and risk analysis. Prentice Hall pp. 10-11

Flynn, B.B. y Flynn, E.J. 2005. Synergies between supply chain management and quality management: emerging implications, International Journal of Production Research, 43(16), 3421-3436.

Frohlich, M. and Westbrook, R. 2001. Arcs of Integration: An International Study of Supply Chain Strategies, Journal of Operations Management, 19, 185-200.

Gokhan, M. N. 2007. Development of a simultaneous design for supply chain process for the optimization of the product design and supply chain configuration problem. PhD Dissertation. University of Pittsburgh.

Gunasekaran, A., y McGaughey, R.E. 2003. TQM in supply chain management, *The TQM Magazine*, 15(6), 361-363.

Hanssmann F., 1959. Optimal inventory Location and Control in production and distribution Networks, *Operation Research* Vol. 7, No. 4 pp 483-489

Heizer J, Render B 2001. *Operations Management*. 6<sup>th</sup> Ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Ivanov D., Sokolov B. 2010 *Adaptive Supply Chain management* Springer

James-Moore, S.M. y Gibbons, A. 1997: "Is lean manufacture universally relevant? An investigative methodology", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 17, N° 9, pp. 899-911

Jarzemskis, A. 2007 Reseach on public logistic centre as tool for cooperation. *Transport* 22 (1): 50-54

Johansson, M. 2002 "The impact of supply integration and information flow on supply chain performance", University of Nottingham thesis

Johnson, J.C., Wood, D.F., Wardlow, P.R., Murphy, Jr 1999. *Contemporary Logistics*. Simon and Schuster, New York.

Klimov y Merkurjev 2008 Simulation model for supply chain reliability evaluation *Baltic Journal on sustainability* 300-311

Krajewski, Lee y Ritzman, Larry, 2000. *Administración de Operaciones*. Pearson Educación de México, S.A de C.V. México.

Lambert, D. M., Cooper, M. C. y Pagh, J. D. 1998, "Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities", *International Journal of Logistics Management*, Vol. 9, No. 2, pp. 1-19.

Landeghem, H.; Vanmaele, H. 2002. Robust planning: a new paradigm for demychain planning, *Journal of Operational Management* 20(6): 769–783.

Mejia, Molina y Franco 2007 Metodología alternativa para el tratamiento de problemas de programación entera usando programación no lineal.

Lauscher, R. 1975. *Agroindustria y desarrollo económico*. Tesis de Magister Escolatina. Universidad de Chile.

Meeker, Q. W. y Escobar A. L., 1998 Statistical methods for Reliability Data. Wiley interscience Publication pp-

Miao, X., Yu, B. y Xi, B., 2009 The uncertainty evaluation method of supply chain reliability.

Nevado., M, 2010 Introducción al a base de datos relacionales Ed. Visión Libros Madrid pp. 89

NOM-022-ZOO-1995 Características y especificaciones zoosanitarias para las instalaciones, equipo y operaciones de establecimientos que comercializan productos químicos, farmacéuticos biológicos y alimenticios para su uso en animales o consumo por estos [www.senasica.gob.mx/?doc=512](http://www.senasica.gob.mx/?doc=512). Consultada 01-Nov-2011

Oliver, R. K. y Webber, M. D. 1982, "Supply-chain management: logistics catches up with strategy", In Christopher, M. (1992), Logistics: The strategic issues, Chapman & Hall, London, pp. 63-75.

Overbeck S., 2009 Supply Chain Management – A critical analysis Germany pp 48

Pagell, M. 2004: "Understanding the factors that enable and inhibit the integration of operations, purchasing and logistics", Journal of Operations Management, Vol. 22, N° 5, pp. 459-487.

Pérez R. F. 2007 Introducción a las series de tiempo. Métodos paramétricos Universidad de Medellin pp 14-15

Peña y Solis I., 2006 La evolución de la cadena de suministros. Universidad Técnica de Federico Sta María

Rausand, M.; Hoyland, A. 2004. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications. John Wiley & Sons Ltd.

Rice Jr., Caniato F. 2003 Building a resilient and secure supply network. Supply Management Review Vol 7 pp. 20-30

SAGARPA 2010. La producción de carnes en México, Claridades agropecuarias Noviembre. Secretaría de Agricultura, ganadería desarrollo rural, pesca y alimentación. 207 pp. 28

Sánchez G. 2008. Cuantificación de valor en la cadena de suministro extendida. Del Blanco Editores pp 88- 90

Sanchez, R.V., 2008. Establishing a transport operation focused uncertainty model for the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* Vol. 38 No. 5, pp. 388-411

Sheffe, Y. 2005. *The resilient enterprise*. Cambridge, MA; The MIT Press

Smith, D.J. y Tranfield, D. 2005: "Talented Suppliers Strategic Change and Innovation in the UK Aerospace Industry", *R&D Management*, Vol. 35, N° 1, pp. 37-49.

Spekman, R. E., Kamauff Jr, J. W. and Myhr, N. 1998 "An empirical investigation into supply chain management", *International Journal of Physical & Logistics Management*, Vol.v28 No 8, pp.630-650

Steven et al 2009 *Supply Chain risk A Handbook of assessment, Management and Performance* Springer

Tutuncu, O. y Kucukusta, D. 2008. The role of supply chain management in quality management system for hospitals, *International Journal of Management Perspective*, 1(1), 31-39.

Vidal, C. J., & Goetschalckx, M. 2000. Modeling the effect of uncertainties on global logistics systems. *Journal of Business Logistics*, 21 (1), 95-120.

Winston, W. L., 1994 *Operations Research: Applications and algorithms*, 3<sup>rd</sup> edition Duxbury Press, Belmont CA.