

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES  
CARRERA DE INFORMÁTICA



**TESIS DE GRADO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INFORMÁTICA  
MENCIÓN INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

**“SISTEMA DE SIMULACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA  
POLILLA DE PAPA SOBRE LOS CULTIVOS DE PAPA  
(S.S.I.C.P.)”**

**Postulante** : Univ. Jacqueline Juana Reyes Ortiz Flores

**Tutor** : Lic. Mario Claudio Loayza Molina M. Sc.

**Revisor** : Lic. Freddy Miguel Toledo Paz

LA PAZ – BOLIVIA

2007

*A mis padres Armando y Juana, quienes siempre se esforzaron para que alcance mis metas trazadas, acompañaron mis desvelos, me brindaron aliento y confianza y sobretodo, nunca permitieron que me dé por vencida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por estar siempre conmigo y permitir que cumpla con una más de mis metas.*

*A mis padres Armando y Juana por el simple hecho de estar a mí lado, apoyándome incondicionalmente.*

*Al Lic. Mario Loayza, tutor de la materia, por el seguimiento, observaciones y sugerencias hechas durante la elaboración de la tesis.*

*Al Lic. Freddy Miguel Toledo, por los valiosos aportes, sugerencias y conocimientos entregados en el desarrollo de esta tesis.*

*A mis amigos y hermanos Edwin, Milton y Yhovanna que siempre me apoyaron con su amistad sincera, quienes con sus palabras me alentaron para no rendirme en mi esfuerzo.*

*A todos las personas de que alguna u otra manera preguntaron como va la tesis y tuvieron palabras de ánimo y confianza, permitiendo que esta tesis llegara a buen fin. A todos ellos y los que pueda omitir sin querer mis agradecimientos por hacer de la universidad un desafío inolvidable y muy enriquecedor.*

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>		<b>Pág.</b>
1.1	Antecedentes.....	3
1.2	Planteamiento del Problema.....	5
	1.2.1 Planteamiento del problema.....	5
	1.2.2 Formulación del problema.....	6
	1.2.3 Sistematización del problema.....	6
1.3	Objetivos de la investigación.....	6
	1.3.1 Objetivo General.....	6
	1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
	1.3.3 Alcances.....	7
	1.3.4 Limites.....	7
1.4	Justificaciones.....	7
	1.4.1. Teórica.....	7
	1.4.2 Metodológica.....	7
	1.4.3 Práctica.....	8
	1.4.3.1 Científica.....	8
	1.4.3.2 Económico.....	8
	1.4.3.3 Social.....	8
1.5	Marco de referencia de la investigación.....	8
	1.5.1 Marco Teórico.....	8
	1.5.2 Marco Conceptual.....	9
1.6	Formulación de la Hipótesis.....	11
1.7	Aspectos Metodológicos.....	11
	1.7.1 Tipos de estudio.....	11
	1.7.2 Método de investigación.....	12
	1.7.3 Fuentes y técnicas para la recolección de información.....	13
	1.7.3.1 Fuentes Secundarias.....	13
1.8	Tabla de contenido de la tesis.....	13
1.9	Cronograma de trabajo.....	14
1.10	Presupuesto estimado.....	15

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1	Importancia de la papa.....	17
2.2	Aspectos generales de la papa.....	18
2.2.1	Condiciones de los factores de producción en Bolivia.. ..	18
2.2.2	Semilla.....	20
2.2.3	Condiciones de los factores de la demanda.....	20
2.2.4	Aspectos morfológicos.....	21
2.2.5	Requerimientos edafoclimáticos.....	22
2.2.6	Etapas Fenológicas De la papa.....	23
2.2.7	Ciclo Vegetativo.....	24
2.3	Polilla de papa.....	24
2.3.1	Hospederos.....	25
2.3.2	Especies.....	25
2.3.3	Distribución.....	25
2.3.4	Clasificación Taxonómica.....	26
2.3.5	Biología.....	26
2.3.6	Ciclo Biológico.....	27
2.3.7	Fluctuación poblacional.....	29
2.3.8	Daño.....	29
2.3.9	Proceso De Infestación.....	30
2.3.10	Clases De Infestación.....	30
2.3.10.1	Incidencia en el Follaje.....	30
2.3.10.2	Incidencia en tubérculos en campo.....	31
2.3.10.3	Incidencia en tubérculos en almacén.....	32
2.3.11	Factores influyentes en el efecto de la polilla de papa.....	32
2.4	Manejo integrado de plagas.....	36
2.5	Metodología Utilizada.....	37
2.5.1	Enfoque de sistemas.....	37
2.5.2	Sistema.....	37
2.5.3	Modelo.....	37
2.5.3.1	Clasificación de los modelos.....	38
2.5.3.2	Propiedades de los modelos.....	39
2.5.4	Simulación.....	40
2.5.4.1	Proceso de desarrollo de un modelo de simulación.....	40

2.5.5 Metodología sistémica.....	43
2.5.6 Dinámica de Sistemas.....	43
2.5.6.1 Estructura y comportamiento elemental en dinámica de sistemas.....	43
2.5.7 Generación de números pseudoaleatorios.....	45
2.5.7.1 Métodos de generación de números pseudoaleatorios.....	45
2.5.7.2 Validación de los números pseudoaleatorios generados.....	46
2.5.8 Método de la transformada inversa para distribuciones continuas.....	46
2.5.9 Prueba de los promedios.....	47

### **CAPÍTULO 3. MÉTODOS E INSTRUMENTOS**

3.1 Conceptualización.....	50
3.2 Diagrama Causal.....	51
3.3 Código de variables.....	55
3.4 Diagrama de Forrester.....	58
3.5 Formulación del sistema de ecuaciones.....	60
3.5.1 Ecuaciones de nivel.....	60
3.5.2 Ecuaciones de flujo.....	61
3.5.3 Ecuaciones auxiliares.....	61
3.5.4 Porcentaje de Incidencia de la polilla de papa.....	62
3.5.5 Ecuación que determina la incidencia económica.....	63
3.6 Modelo matemático.....	64
3.6.1 Descripción.....	64
3.6.2 El modelo de Malthus.....	65
3.6.2.1 Tasa de crecimiento.....	65
3.6.3 Modelo exponencial del crecimiento poblacional.....	66
3.6.4 Transformada inversa: distribución exponencial.....	67
3.7 Descripción del comportamiento del sistema de simulación.....	67
3.8 Pruebas y análisis de los resultados.....	69

### **CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1 Conclusiones.....	73
-----------------------	----

**REFERENCIAS**

**ANEXOS**

- ANEXO A Puntos críticos para la planeación estratégica del sector papero
- ANEXO B Márgenes de comercialización.
- ANEXO C Bolivia: rendimiento agrícola y variación por cultivos según campañas agrícolas 2003/2004 y 2004/2005
- ANEXO D La Paz: producción agrícola, variación y estructura por cultivos según campañas agrícolas 2003/2004 y 2004/2005.
- ANEXO E Valor alimenticio de alimentos que se producen en el altiplano boliviano.
- ANEXO F Presentación de Pantallas

**DOCUMENTACIÓN**



## ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 1.1	Contenido de la tesis.....	14
Cuadro 1.2	Presupuesto estimado.....	15
Cuadro 2.1	Ciclo de vida de la polilla de la papa, <i>Phthorimaea operculella</i> , a nivel de laboratorio.....	28
Cuadro 2.2	Ciclo de vida de <i>P. operculella</i> bajo temperatura promedio de 12 a 13°C.....	33
Cuadro 2.3	Mortalidad promedio de <i>P. operculella</i> para cuatro temperaturas....	33
Cuadro 2.4	Porcentaje de mortalidad, duración promedio del desarrollo de larva a adulto de <i>P. operculella</i> para cuatro temperaturas.....	34
Cuadro 2.5	Efecto de cinco temperaturas sobre el consumo foliar de las larvas de <i>P. operculella</i> .....	34
Cuadro 2.6	Porcentaje de daño de la polilla en tubérculos de papa bajo tres modalidades de frecuencia de riego.....	35
Cuadro 2.7	Porcentaje de daño de la polilla en tubérculos de papa bajo tres porcentajes de humedad y temperaturas.....	35
Cuadro 2.8	Porcentaje de daño de la polilla en tubérculos de papa bajo tres modalidades de altura de aporque.....	36
Cuadro 2.9	Símbolos del diagrama de Forrester.....	44
Cuadro 3.1	Cuadro de códigos y variables generales.....	55
Cuadro 3.2	Cuadro de códigos y variables – Incidencia en Follaje.....	56
Cuadro 3.3	Cuadro de códigos y variables – Incidencia en Campo.....	56
Cuadro 3.4	Cuadro de códigos y variables – Incidencia en Almacén.....	57
Cuadro 3.5	Escala de intensidad de daño.....	63
Cuadro 3.6	Comparación de resultados obtenidos – Follaje.....	69
Cuadro 3.7	Comparación de resultados obtenidos – Campo.....	70
Cuadro 3.8	Comparación de resultados obtenidos – Campo (altura de aporque).....	71
Cuadro 3.9	Comparación de resultados obtenidos – Almacén.....	72



## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Factores que intervienen en la producción del cultivo.....	12
Figura 1.2	Cronograma de trabajo.....	14
Figura 2.1	Mapa de las zonas productoras de papa en Bolivia.....	19
Figura 2.2	Fases de desarrollo de la planta de papa.....	24
Figura 2.3	Ciclo biológico de la Polilla de Papa.....	28
Figura 2.4	Concepto de un modelo.....	38
Figura 2.5	Siete pasos para el desarrollo de estudios de simulación.....	42
Figura 2.6	Método gráfico de la transformada inversa, distribuciones continuas.....	47
Figura 3.1	Diagrama causal de la incidencia en Follaje.....	52
Figura 3.2	Diagrama causal de la incidencia en los tubérculos en campo.....	53
Figura 3.3	Diagrama causal de la incidencia en los tubérculos en almacén.....	54
Figura 3.4	Diagrama de Forrester – Incidencia en Follaje.....	58
Figura 3.5	Diagrama de Forrester – Incidencia en tubérculos en campo.....	59
Figura 3.6	Diagrama de Forrester – Incidencia en tubérculos en almacén.....	59

## ÍNDICE DE PANTALLAS

1	Principal - S.S.I.C.P.....	68
2	Incidencia en tubérculos en campo.....	68
3	Gráfica - Incidencia en campo.....	69
4	Porcentaje de incidencia.....	69

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se ha elaborado con el fin de brindar una herramienta de investigación y apoyo a la toma de decisiones en el manejo y el control de la plaga de la Polilla de la papa sobre los cultivos de papa, destinada a especialistas, organizaciones propios del área de agronomía y agricultura que realizan el análisis de infestación de la plaga.

La papa es uno de los cultivos andinos más importantes por su contribución nutricional y económica, en nuestro país esta estrechamente relacionado con la población de menores ingresos, la cual no se ha desarrollado con visión competitiva, es por eso que es uno de los productos con un potencial alto de contribuir a mejorar la calidad de vida de los productores campesinos donde se busca incrementar los rendimientos agrícolas, disminuir las pérdidas económicas por concepto de enfermedades, plagas e impactos de pesticidas. La *Phthorimaea operculella* es considerada como una de las principales plagas, por ser una de las especies de mayor distribución a nivel mundial, las larvas que constituyen la única etapa dañina del ciclo de vida del insecto dañan los brotes de la planta, barrenan el tallo, minan las hojas y atacan los tubérculos tanto en campo como en almacén.

Para la modelación se lleva a cabo el análisis, con información recogida, de los elementos que intervienen en la incidencia de la plaga, se completa con la dinámica de sistemas que nos permite identificar las variables más relevantes que intervienen en nuestro sistema, mediante el diagrama causal y diagrama de Forrester, para luego plasmarlas en ecuaciones de nivel, flujo y auxiliares que interaccionan entre sí, las cuales permiten desarrollar la simulación del modelo. Al final se encuentran las fuentes de información necesarias que fundamentan el marco teórico para la ejecución del proyecto.

**Palabras Clave:** Modelo, simulación, dinámica de sistemas y *Phthorimaea operculella*.



# CAPÍTULO 1

## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

*Comprender lo que ocurre a nuestro alrededor es equivalente a construir modelos y confrontarlos con las observaciones, esta declaración es real para un físico o un químico, pero va más allá de la física y la química. A cada momento nuestro sistema sensitivo examina los alrededores, el cerebro registra y compara las observaciones con respecto a imágenes ya formadas y eventualmente alcanza una conclusión preliminar. (Nicolis, 1989)*

La papa es un cultivo básico y uno de los alimentos más importantes en la dieta del habitante boliviano. Para más de 200,000 familias de pequeños agricultores que constituyen entre el 30 al 40% del total de campesinos del país, la papa constituye la principal fuente de alimentación e ingresos, en su gran mayoría, los agricultores son de bajos recursos económicos y la superficie que utilizan no es mayor de una hectárea. Pero este recurso no es la principal fuente de energía para su supervivencia, es también, el inicio de una próxima producción al utilizarse como semilla. De esta manera, la producción de papa tiene gran dependencia de la calidad del denominado tubérculo-semilla. Esta calidad muchas veces se ve restringida por causa del ataque de plagas durante su almacenamiento.

En países desarrollados las plagas son controladas con relativa facilidad mediante el empleo de fungicidas, pero en Bolivia como en otros países en desarrollo el alto costo de los fungicidas limita su utilización, esto es agravado por el desconocimiento de estrategias de su aplicación y su uso racional. El mal uso de los pesticidas puede provocar que los insectos y enfermedades se hagan más resistentes, esto ocurre cuando se utiliza un mismo plaguicida.

Entre los insectos más dañinos en el altiplano, que disminuye la calidad y producción de la papa, se considera al pequeño lepidóptero Polilla de Papa (*Phtorimaea operculella*), peligroso por el ataque en campo y también en almacén, además de desmejorar su calidad como semilla causa fuertes pérdidas que pueden llegar a la totalidad de producción del área cultivada, e

incluso, con niveles bajos de infección, la cosecha puede resultar no apta para el almacenamiento.

Considerándose la importancia que tiene el ataque de esta plaga en los cultivos de papa, se pretende presentar un sistema de simulación para determinar los efectos socio-económicos que la plaga tiene sobre los cultivos de papa.

### 1.1. ANTECEDENTES

En Bolivia, la diversidad genética de papa es tan alta en nuestro país, que dentro de un Ayllu se puede encontrar hasta 70 variedades de papas entre amargas, semi amargas y dulces, lo que asegura la alimentación de las familias campesinas. El consumo de Bolivia es de más o menos 120 kilos de papa per cápita anual. Bolivia es un país netamente papero, a pesar de que tiene los rendimientos por hectárea promedio más bajo del mundo.

En América Latina existen centros de investigación para el estudio y mejoramiento genético de la papa. Entre los más importantes están:

- *Proyecto “PAPA ANDINA”*: Papa Andina es una iniciativa regional que opera en Bolivia, Ecuador y Perú, y que promueve procesos de innovaciones comerciales, tecnológicas e institucionales en el sector papero de los Andes, para asistir a mejorar la situación de pobreza de los productores y su articulación con las cadenas productivas, captando sus demandas a través de una red interactiva de socios públicos y privados. Los socios estratégicos de Papa Andina son: la Fundación PROINPA en Bolivia, el Programa Nacional de la Papa FORTIPAPA en Ecuador, y diversos socios institucionales que canalizan su participación a través del proyecto INCOPA en el Perú.
- *Fundación Para La Promoción E Investigación De Productos Andinos (PROINPA)*: Ubicado en Cochabamba – Bolivia, se inicia con la misión de responder a la demanda de tecnología de las cadenas agroalimentarias de productos andinos y contribuir a la seguridad alimentaria del país. Tiene como prioridades el desarrollo equitativo y la conservación del medio ambiente, enfocando la coordinación y el fomento de alianzas estratégicas con otras entidades.

- *Centro Internacional de la Papa (C.I.P.)*: Ubicado en las cercanías de Lima, Perú. Entre sus principales actividades se encuentran: el uso de la semilla botánica que se puede sembrar directamente en almácigos para su trasplante posterior, investigaciones sobre el control de enfermedades y plagas que atacan a la papa, mejores métodos de almacenamiento, y adiestramiento de técnicos de diversos países.
- *Proyecto INCOPIA*: Este proyecto es ejecutado por el CIP pone énfasis en los agricultores con recursos limitados. El proyecto busca mejorar la competitividad de la cadena de la papa, aprovechando nuevas oportunidades de mercado, coordina acciones con diferentes socios institucionales y del sector privado vinculados a la innovación tecnológica y el desarrollo.
- *Programa Nacional de Raíces y Tubérculos (PNRT-Papa)*: ubicado en Ecuador, refuerza la investigación y producción de la semilla de papa.

La papa es susceptible a varias enfermedades como el tizón tardío, racha o mildium de la papa, destruye las hojas y el tubérculo en la última fase de su crecimiento, el tizón temprano, la *fusariosis*, que provoca que la piel de la papa, una vez recolectada, se arrugue. La sarna negra y común y el marchitamiento.

A su vez, la atacan varias especies de insectos y ácaros:

La polilla de la papa, *Phthorimaea operculella*.

El gorgojo de la papa, *Phyrdenus muriceus*;

El escarabajo de la papa.

Las lagartas cortadoras, *Agrotis ypsilon* y *Peridroma saucia*;

La pulgilla, *Epitrix fasciata* y los pulgones.

El gusano alambre, *Conoderus* spp.

La mosca minadora, *Liriomyza huidobrensis*.

Una de las plagas más importantes es la polilla de la papa que produce grandes pérdidas durante el almacenamiento. La situación se agrava más aun si se tiene en cuenta que el 97.5% de los agricultores producen su propia semilla por lo menos dos años. Para disminuir el daño

ocasionado por la polilla de la papa, 52.5% de los agricultores realizan aplicación de insecticidas químicos (Folidol, Malathion, DDT, Phostoxin), en condiciones altamente riesgosas para la salud, debido a que no utilizan protección durante la aplicación, considerando que almacenan los tubérculos-semillas en sus viviendas y quedan directa o indirectamente expuestos a la acción de los insecticidas, 47.5% o aplican algún método de control tradicional como el uso de ceniza o plantas repelentes con baja eficiencia de control (Mamani, Pereira, Gonzalez, Botello & Gandarillas, 1997).

El control de la polilla de la papa se efectúa casi exclusivamente con insecticidas, los cuales además de ser tóxicos y costosos, ocasionan resistencia de la plaga, destrucción de enemigos naturales y aparición de nuevas plagas. Frente a estas inconveniencias se necesita de otras alternativas de control, como el control biológico, uso de plantas repelentes, feromonas sexuales, y prácticas culturales cuyo objetivo fundamental es reducir el número de aplicaciones o evitar el uso de insecticidas y bajar los costos de producción.

Un modelo de simulación puede servir como una herramienta de apoyo e investigación, beneficiando de esta manera a especialistas, organizaciones propios del área de agronomía y agricultura que realizan análisis de infestación de la plaga y plantean controles para prevenir el daño que ocasiona, permitiéndoles reemplazar el método de prueba, experimentos de campo y laboratorio, ofreciendo la posibilidad de disminuir el tiempo, esfuerzo y cantidad de recursos que se emplean para investigar los efectos de la plaga sobre los cultivos que ataca para una oportuna toma de decisiones.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La polilla de la papa es una especie que ha adquirido mucha importancia en los últimos años debido a su rápida dispersión, la falta de conocimiento existente sobre la plaga, puede resultar a ser uno de los principales factores limitantes de la producción de papa. Si no es controlado las pérdidas pueden llegar al 100%, e incluso, con niveles bajos de infección, la cosecha puede resultar no apta para el almacenamiento.

El alto costo de los funguicidas, su mala aplicación, la demora en el análisis del grado de infestación que produce la polilla de papa, evitan que se tenga un control temprano y adecuado

donde se invierte mucho con respecto al factor económico y tiempo en el análisis de infestación de los cultivos por los expertos humanos antes de aplicar el control de la plaga.

### **1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Pregunta:

*¿Es posible simular el comportamiento y los efectos de las plagas sobre los cultivos de papa?*

### **1.2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

Desagregación de la pregunta principal:

- ¿Será posible implementar un modelo que permita visualizar de que forma afecta la polilla de papa sobre los cultivos de papa?
- ¿Que impacto económico tiene el efecto del ataque de las plagas sobre los cultivos?
- ¿Qué impacto tendría el desarrollar un modelo de simulación para determinar los efectos de las plagas?
- ¿Será posible utilizar herramientas de última generación para implementar el modelo?

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un sistema de simulación que determine la incidencia socioeconómica de la polilla de papa sobre los cultivos de papa.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Implementar un sistema que permita visualizar el efecto de la polilla de papa sobre las áreas de cultivo de papa, en base al crecimiento poblacional de la plaga.
- Aplicar un modelo matemático que determine la pérdida económica ocasionada por la infestación de la polilla de papa.
- Brindar una herramienta que coadyuve a las proyecciones del investigador a minimizar los márgenes de error.
- Utilizar herramientas de última generación para la implementación del proyecto.



### **1.3.3 ALCANCES**

- Mejorar las herramientas de proyección del cultivo de la papa.
- Brindar una mejor herramienta al investigador para mejores proyecciones en el cultivo de papa.
- Se pretende que el S.S.I.C.P. mejore las condiciones socio-económicas en el departamento y a nivel nacional y coadyuvar a la toma de decisiones para campañas de prevención.
- Implementar una herramienta que permita visualizar el daño que ocasiona la plaga sobre la producción.

### **1.3.4 LIMITES**

- Para el presente trabajo se estudia a una de las plagas que tiene mayor grado de infestación en la papa, que es la polilla de papa (*P. operculella*).
- Se utilizará datos históricos y muestras tomadas por expertos en el área de agronomía.
- No se desarrollará algún tipo de control biológico de la plaga: Polilla de Papa.
- La implementación del sistema será realizada a nivel de prototipo.

## **1.4 JUSTIFICACIONES**

### **1.4.1 TEÓRICA**

Se pretende brindar una herramienta que beneficie a los investigadores, especialistas, organizaciones que plantean realizan estrategias y controles para prevenir el daño que produce la plaga, siendo los beneficiarios los agricultores, productores de papa, teniendo un adecuado control de plaga, disminuyendo los daños y costos que ocasiona esta plaga sobre los cultivos afectados.

### **1.4.2 METODOLÓGICA**

Los modelos de simulación cumplen un papel importante en la evaluación biológica y economía de los sistemas de producción agrícola, permitiendo tener un marco de referencia de la información recolectada que es utilizada para identificar carencias de conocimiento y establecer prioridades en la investigación. La dinámica de sistemas es una metodología

desarrollada para resolver problemas concretos, combina la teoría, métodos y la filosofía para analizar el comportamiento de los sistemas.

### **1.4.3 PRÁCTICA**

#### **1.4.3.1 Científica:**

El presente trabajo brinda un modelo matemático, el cual describe la incidencia de la polilla de papa sobre los cultivos de papa que ataca, de tal forma que sirva para apoyar al investigador.

#### **1.4.3.2 Económica:**

Considerando que el cultivo de papa representa una importante fuente de alimentación e ingresos, se observa una gran pérdida económica para el agricultor por el ataque de la polilla de papa, que disminuye la calidad de la producción, el presente trabajo se justifica pues el resultado es un modelo que ayuda en la toma de decisiones reduciendo tiempo y costo.

#### **1.4.3.3 Social:**

El cultivo de papa es factor importante en la economía de muchas regiones del país donde el control de plagas y enfermedades implica aumento de producción, mejoramiento en la calidad de la papa y el incremento de las ganancias.

## **1.5 MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 MARCO TEÓRICO**

La ingeniería de sistemas aplicada, utiliza tres formas complementarias de construcción de modelos:

- *Verbal*: descripciones escritas o expresiones orales del fenómeno en cuestión.
- *Gráfica*: diagramas que proporciona un nexo de unión entre los modelos matemáticos y verbales.
- *Matemáticas*: son “simbólicos”, ya que para describir un sistema emplean normalmente notaciones matemáticas en forma de ecuaciones; son precisos, concisos y manejables.

En el modelo de simulación de la incidencia de la plaga sobre los cultivos de papa se analizará a través de la dinámica de sistemas, para construir un modelo que permita predecir el grado de

infestación de la plaga sobre los cultivos, en base al crecimiento poblacional de la plaga para modelarlo en el diagrama causal, luego definir el diagrama de Forrester y formular el sistema de ecuaciones reconocibles posteriormente por la herramienta informática.

Las técnicas estadísticas serán utilizadas como herramienta para el desarrollo del trabajo, estas técnicas consisten en agrupar los hechos sociales y económicos en forma numérica y gráfica, los compara con el objeto de indagar la causa de sus variaciones y el principio o ley que los rige.

Por otra parte la *Phthorimaea operculella* es una de las plagas más ampliamente distribuidas y está adaptada a climas cálidos y secos. Se la encuentra afectando a muchas plantas solanáceas, entre las cuales está la papa, berenjena, tomate, pepino dulce, tabaco y muchas malezas de la misma familia. Las larvas de la polilla se alimentan de tallos, hojas, brotes y tubérculos, causando un daño directo a los tejidos provocando debilitamiento y quiebre de tallos, muerte de centros de crecimiento y depreciación de los tubérculos afectados. Esta plaga prospera con temperaturas de 28°C y 68% H.R. Temperaturas inferiores a 10°C se detiene el desarrollo de la polilla. ([www.todopapa.com.ar](http://www.todopapa.com.ar))

La polilla de papa ataca a diferentes especies de papas las cuales son cultivadas en climas cálidos y secos en Bolivia, de las cuales las mas conocidas y consumidas son la variedad Desiree cultivada en la comunidad de Tukma Baja, provincia Mizque, distante a 142 km. de la ciudad de Cochabamba y “Ajahuri” cultivada en Machacamarca, Provincia Aroma, en la ciudad de La Paz datos obtenidos del Instituto nacional de Estadística (I.N.E.).

### 1.5.2 MARCO CONCEPTUAL

**Adaptación** Consiste en el desarrollo de ciertas características especiales, que permiten al animal o vegetal reaccionar de una manera más eficaz para la especie, antes de las variaciones del medio ambiente.

**Aporque** Es la acumulación de tierra hacia el cuello de la planta, para dar cobertura a los tubérculos.

**Ciclo de vida del insecto** Hay dos tipos de ciclos de vida en insectos. Algunos tienen tres fases: huevo – ninfa – adulto. Otros (por ejemplo, avispas y moscas) tienen cuatro fases: huevo – larva – pupa – adulto.

**Control Biológico** Es la acción de parásitos, parasitoides, depredadores y patógenos sobre la población de un organismo para mantenerla en densidades más bajas de las que ocurrirían en su ausencia. También es el uso de un organismo para matar o controlar a otro.

**Diagrama Causal** Es una formalización de la descripción del sistema, donde cada elemento tienen nombre propio, destacándose las interrelaciones entre los elementos y sus correspondiente signo. Con el establecimiento del diagrama causal, los elementos pasan a denominarse magnitudes (Variables y parámetros) (Martinez, 1986).

**Diagrama de Forrester** Es la disposición de símbolos en el papel, constituidos por depósitos intercomunicados por canales con ó sin retardo, variando mediante flujos de nivel o fenómenos exógenos. Todos estos elementos tienen su correspondiente símbolo propio de la dinámica de sistemas.

**Dinámica de Sistemas** Es una metodología de uso generalizado para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier clase de sistemas y su comportamiento a través del tiempo con tal de que tenga características de existencias de retardos y bucles de retroalimentación (Martínez & Requema, 1988).

**Especie** La unidad básica de clasificación en biología.

**Estadio** Intervalo de tiempo entre dos mudas sucesivas en los insectos inmaduros.

**Huésped** El alimento de un parásito o un parasitoide. Plantas y animales pueden ser huéspedes de otras especies que se alimentan de ellos.

**Infestar** Invasión de plantas silvestres, animales salvajes o insectos en los cultivos.

**Insecto** Un animal pequeño con tres pares de piernas articuladas.

**Larva** Una de las fases en el ciclo de vida de la mayoría de los insectos, como avispas y moscas. Es la primera forma en que aparecen los animales que sufren metamorfosis, después de salir del huevo y antes de su primera transformación.

Las de muchos insectos se conocen vulgarmente con el nombre de gusanos. Las larvas del insecto no tienen alas, las larvas del insecto se alimenta, crecen y mudan varias veces.

- Modelo** Un modelo es una sustitución real, que nos permitirá simular o estudiar los comportamientos diferentes a supuestos de partida distintos (escenarios) y además esta simulación no es destructiva del sistema [Thomas].
- Parásito** Organismo (animal o vegetal) que crece y vive a expensas de otro, Los parásitos pueden ser obligados o facultativos, los primeros solo pueden vivir sobre los huéspedes adecuados, mientras que los segundos pueden vivir descomponiendo a expensas de sustancias orgánicas.
- Plaga** Cantidad en demasía de cualquier animal o planta perjudicial, generalmente se consideran a los insectos y hongos dañinos como plagas o azote de la agricultura.
- Prototipo** Producto de software que sólo esta disponible a un grupo de especialistas.
- Simulación** Es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con el mismo con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o de evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un criterio o conjunto de ellos, para el funcionamiento del sistema (Shannon, Long & Buckles, 1981).

## 1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El Sistema de Simulación de la Incidencia de la Polilla Sobre los cultivos de Papa (SSICP) determina el grado de incidencia de la polilla de papa sobre los cultivos afectados.

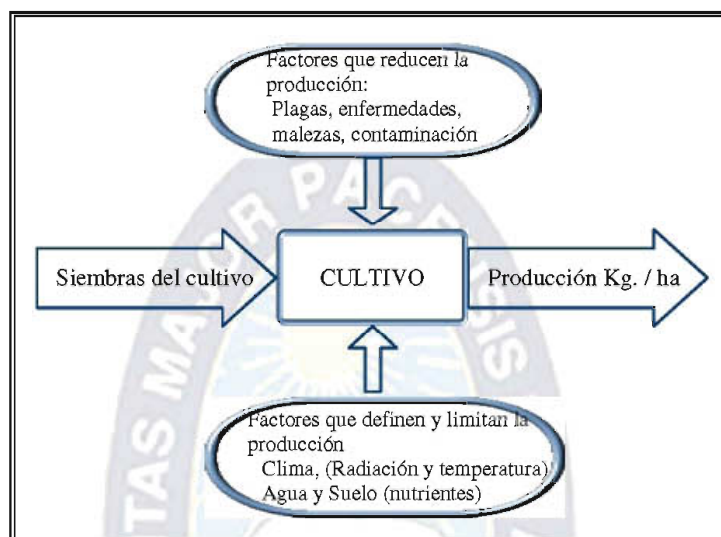
## 1.7 ASPECTOS METODOLÓGICOS

### 1.7.1 TIPOS DE ESTUDIO

Tomando en cuenta los objetivos y la hipótesis se considera un estudio exploratorio que permite familiarizarse con el fenómeno que se investiga, descriptivo que identifica niveles de investigación estableciendo conocimientos concretos y asociación entre variables. Además del estudio explicativo orientado a la comprobación de la hipótesis planteada.

Se deduce que los elementos fundamentales del sistema son:

- Cultivo de papa
- Polilla de papa



**Fig. 1.1** Factores que intervienen en la producción del cultivo

**Fuente:** Lovenstein, et. al. (1992)

El proceso del cultivo es sensible al comportamiento del clima disponibilidad de agua y propiedades físico-químicas del suelo, otros factores importantes que reducen la producción son las plagas y enfermedades.

### 1.7.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

A cada momento nuestro sistema sensitivo examina los alrededores, el cerebro registra y compara las observaciones con respecto a imágenes ya formadas y eventualmente alcanza una conclusión preliminar.

Los cultivos de papa se desarrollan en diferentes ambientes, en los cuales el proceso de infestación de la plaga varia de acuerdo a parámetros influyentes como los factores climáticos, como la temperatura, riego de cultivo y humedad.

Se pretende la predicción del grado de infestación que la polilla de papa ocasiona sobre los cultivos y la pérdida económica que la infestación representa, en base al crecimiento poblacional de la plaga. Además de reconocer las etapas del ciclo vegetativo de la papa y la relación que tiene este con la infestación, pueden distinguirse tres ataques: infestación en el follaje, infestación de tubérculos y la infestación en el almacén.

### **1.7.3 FUENTES Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

#### **1.7.3.1 FUENTES SECUNDARIAS**

La técnica de recolección consiste en registrar o tomar apuntes de manera ordenada y selectiva del contenido de una información impresa o actualizada, para esta finalidad se recurre al empleo de fichas, éstas, se utilizarán como herramienta de investigación.

Algunas de las fuentes para la investigación son los centros de investigación para el estudio y mejoramiento genético de la papa. Entre los mas importantes mencionar al *Proyecto “PAPA ANDINA”*, que opera en Bolivia, Ecuador y Perú, Los socios estratégicos de Papa Andina son: la Fundación para la Promoción E Investigación De Productos Andinos PROINPA en Bolivia, FORTIPAPA, Programa Nacional de Raíces y Tubérculos (PNRT-Papa) en Ecuador, y diversos socios institucionales que canalizan su participación a través del proyecto INCOPA en el Perú, además del Centro Internacional de la Papa (C.I.P.).

Paginas de Internet y bibliografía relacionadas con el tema de la plaga de la polilla de papa y con los modelos de simulación y dinámica de sistemas.

### **1.8 TABLA DE CONTENIDO DE LA TESIS**

La estructura investigativa consta de cuatro capítulos.

Cuadro 1.1 Contenido de la tesis

CAPÍTULO	
1	<b>INTRODUCCIÓN:</b> Este primer capítulo muestra un panorama general de la situación actual del trabajo de investigación, los objetivos, la hipótesis a demostrar así como las justificaciones.
2	<b>MARCO TEÓRICO:</b> Dedicado al fundamento teórico, se analiza la biología y ecología de la plaga, los factores que influyen o condicionan estas variaciones.
3	<b>MÉTODOS E INSTRUMENTOS:</b> El tercer capítulo describe la simulación dinámica, identificando parámetros poblacionales y a través de los diagramas causal y Forrester.
4	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:</b> En este capítulo se da a conocer las conclusiones y recomendaciones a las que se arribo con el presente trabajo.

Fuente: Elaboración propia

### 1.9 CRONOGRAMA DE TRABAJO

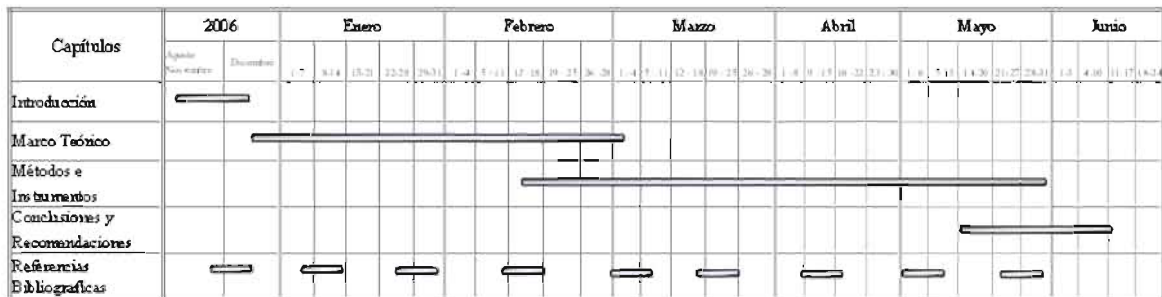


Fig. 1.2 Cronograma de trabajo

Fuente: Elaboración Propia



## 1.10 PRESUPUESTO ESTIMADO

El presupuesto estimado para la elaboración de la tesis se da a detalle en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1.2** Presupuesto estimado

Detalle	Costo (Bs.)
Material de Escritorio	100
Equipo	280
Impresora	320
Tinta y Cardrige para impresora	190
Investigación en el área	850
Desarrollo del prototipo	30
Certificados	431
Otros	800
Total	3001

Fuente: Elaboración Propia



## CAPÍTULO 2

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

*Un concepto amplio indica que el manejo integrado de plagas es la selección, integración e implementación de tácticas de control de plagas basadas en consecuencias económicas, ecológicas y sociológicas predecibles (Battreel, 1979).*

Las plagas deben considerarse como parte del ecosistema agrícola y participantes de su dinámica, en la actualidad hay una fuerte tendencia para incluir el manejo de plagas, enfermedades y malezas en lo que podría llamarse, protección integrada de los cultivos. Cualquier disminución en la cosecha constituye una pérdida verdadera; pero es necesario conocer o estimar el efecto real que una población de insectos tiene en reducir la cosecha.

Las poblaciones de insectos son dinámicas debido a que los constantes cambios que se producen en el ambiente (clima, crecimiento del cultivo, acción de enemigos naturales, etc.) determinan su incremento o decrecimiento. No podrían tomarse decisiones razonables si no se sabe qué es lo que está ocurriendo en el campo en cuanto a la presencia y abundancia de insectos dañinos y benéficos y la magnitud de los daños que se van produciendo.

La dinámica de poblaciones incluye taxonomía, biología y comportamiento de la plaga (subsistemas); en el contexto fonológicos del cultivar (otro más), junto con los métodos de muestreo para determinar la distribución espacial, temporal y estadística de la plaga (otros subsistemas), su dispersión y migración, forman otros subsistemas básicos.

#### 2.1 IMPORTANCIA DE LA PAPA

La papa es el cuarto cultivo alimenticio en orden de importancia a nivel mundial, después del trigo, arroz y el maíz, su aporte calórico a la dieta humana es fundamental en los cinco continentes. Considerando los sistemas actuales de producción y sus proyecciones, se establece que la papa continuará jugando un rol importante y decisivo en la economía y los

sistemas agro alimentarios de la población humana y animal en los países, pues contribuye a la alimentación y nutrición de aproximadamente 2 billones de personas en el mundo.

Entre los cultivos andinos, la papa es de lejos el más importante por su contribución económica, nutricional y de generación de empleo, es uno de los cultivos que más productores aglutina. En Bolivia se cultiva papa en 7 de los 9 departamentos del país, contribuye a la economía generando empleo, alimento relativamente barato para la población, abarcando la mayor superficie de cultivos: sub trópico, valles y altiplano.

El cultivo está estrechamente relacionado con la población de menores ingresos y ha sido investigado y promovido por varias instituciones públicas y privadas en el país, por muchos años el cultivo se ha constituido en un medio para intentar mejorar las condiciones de vida las comunidades campesinas, principalmente del área andina donde se concentra el 81% de las unidades productivas (Crespo, 2004).

## **2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA PAPA**

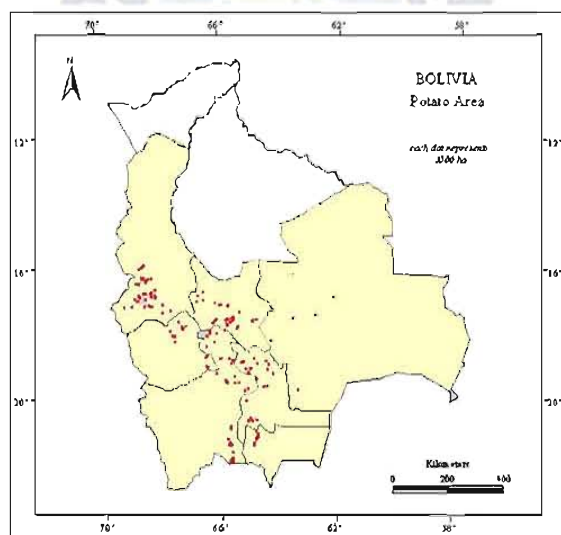
La producción tradicional de papa en Bolivia, no se ha desarrollado definitivamente con visión competitiva, simplemente ha sido desarrollada para cubrir a nivel de “sobrevivencia”, las necesidades de este alimento en los mercados locales y nacionales. La producción de papa en Bolivia está destinada esencialmente al mercado interno donde existen pocas exigencias de calidad, de hecho, la mayoría de los consumidores miden la calidad del alimento sólo por el tamaño, son muy pocos los consumidores que aprecian la calidad por su variedad, textura, color, forma y sabor. La inexistencia de una industria pujante y competitiva dificulta el desarrollo del subsector. Sobre todo en términos de posicionar la papa nativa y mejorada en el mercado domestico.

### **2.2.1 CONDICIONES DE LOS FACTORES DE PRODUCCIÓN EN BOLIVIA**

En Bolivia existen más de 230 variedades de papa. Sin embargo, 14 son las de mayor consumo en el mercado. Las variedades de mayor consumo en la actualidad son la Huaycha, Imilla Blanca, Ajahuiri, Pinta Boca, Sami Imilla, Robusta Negra, Runa Blanca y Desiree (holandesa). En las zonas bajas y sub andinas predomina variedades “mejoradas” provenientes

de las estaciones experimentales que funcionaban durante la década de los noventa, de las 14 variedades más frecuentes en el mercado, 60% son papas mejoradas.

La papa en Bolivia, se cultiva en diferentes pisos ecológicos, desde los 400 msnm hasta los 4500 msnm. Asimismo, por su constante demanda en el mercado se cultiva en distintas épocas del año. En el altiplano, se siembra después de las heladas y primeras lluvias, es decir, desde agosto pudiendo prolongar la siembra hasta fines de noviembre en caso de sequía. En los valles, la siembra se realiza, por lo general, de manera temprana a partir de julio. En los llanos se siembra al finalizar la época de lluvias, es decir a partir de marzo. En las zonas bajas templadas y calurosas el ciclo vegetativo de la papa es de aproximadamente 90 días, mientras que en las zonas altas y frías oscila entre 120 y 180 días.



**Fig. 2.1** Mapa de las zonas productoras de papa en Bolivia

**Fuente:** Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Altiplano [FTDA-Altiplano]

Entre las zonas productoras se destacan las circundantes al Lago Titicaca, los valles altos de Cochabamba y las comunidades campesinas a lo largo de los valles de Araca y Ayopaya. En el sur se destacan las pampas de Lequezana en el departamento de Potosí. Una de las zonas de mayor producción y rendimiento se encuentra en los valles mesotérmicos de Santa Cruz. Asimismo, en los últimos años se ha expandido el cultivo a las tierras bajas, lugar que se caracteriza por el predominio de cultivos industriales.

Un tercio de las unidades productivas del área rural de Bolivia producen entre 700 y 900 mil TM al año. Después del autoconsumo, el almacenamiento de semilla y las pérdidas post cosecha, los productores y comercializadores logran introducir aproximadamente 450 mil TM de papa fresca al mercado. En el proceso se estima una importación (no registrada) de 45 mil TM de papa proveniente de la Argentina y, sobre todo, del Perú. (Crespo, 2004, citado en FTDA-Altiplano, s.f.)

### **2.2.2 SEMILLA**

Cada año agrícola, los productores de papa requieren alrededor de 260 mil toneladas de semillas para cultivar una superficie aproximada de 130 mil hectáreas del tubérculo, en toda la zona andina y la sub andina que comprende extensas regiones de los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Santa Cruz.

Si bien existe demanda de semilla certificada y/o mejorada, es decir que no tienen enfermedades, no están mezcladas con otras variedades, tienen alta germinación y genéticamente son puras, la utilización y compra de ésta no es frecuente, por los limitados recursos de los agricultores. No obstante, se han desarrollado proyectos exitosos de producción de semilla mejorada en varias regiones, como es el caso del departamento de Cochabamba donde la producción de semilla certificada se desarrolla desde hace más de 20 años. Asimismo, por lo general, el productor de papa utiliza muy poca tecnología para el control de enfermedades y plagas, a pesar de los daños económicos registrados, por otra parte la presencia de condiciones ambientales adversas como heladas y sequías, sumados al ataque de plagas, son factores que limitan la producción y productividad del cultivo de papa, repercutiendo en ellos la escasa disponibilidad de semilla de alta calidad.

### **2.2.3 CONDICIONES DE LOS FACTORES DE LA DEMANDA**

Varios estudios muestran que el 83% de los habitantes en Bolivia consumen frecuentemente papa como alimento. En el área rural el consumo per capita puede oscilar entre 90 y 150 kilos dependiendo de las alternativas de acceso a otros alimentos, cercanía de los mercados y capacidad de compra de los consumidores (Crespo, 2004).

Los márgenes de comercialización estudiados, apuntan a que el productor se lleva un 10% de margen, el intermediario se lleva el 33%, el mayorista el 16% y el minorista el 5%. Quiere

decir que los mayores márgenes se encuentran en la intermediación y el mayoreo. Por otro lado la variación de precios depende de la variedad y tamaño. El precio de la papa se define de acuerdo a los períodos en que se comercializa, los precios más altos se registran a partir de noviembre y los más bajos se dan después de la gran cosecha a fines de marzo, por lo general, se sostiene que la producción de papa en Bolivia es para el autoconsumo y luego para el mercado (fdta-altiplano, s.f.).

#### 2.2.4 ASPECTOS MORFOLÓGICOS

Pertenece a la familia de las solanáceas, cuyo nombre científico es *Solanum Tuberosum*. Es una planta herbácea, vivaz, dicotiledónea, provista de un sistema aéreo y otro subterráneo de naturaleza rizomatosa<sup>1</sup> del cual se originan los tubérculos. Está constituida por las siguientes partes:

**Raíces:** Son fibrosas, muy ramificadas, finas y largas. La mayor parte se encuentra en los primeros 40 centímetros del suelo.

**Tallo:** Es aéreo, grueso, fuerte y anguloso, siendo al principio erguido y con el tiempo se van extendiendo hacia el suelo, siendo su altura variable entre 40 y 80 cm, por lo general de color verdes o rojo púrpura.

**Estolones:** Son tallos laterales que crecen horizontalmente por debajo del suelo y partir de yemas de la parte subterránea de los tallos. Los estolones largos son comunes en las papas silvestres, y el mejoramiento de la papa tiene como una de las metas obtener estolones cortos.

**Rizomas:** Son tallos subterráneos de los que surgen las raíces adventicias. Los rizomas producen unos hinchamientos denominados tubérculos, siendo éstos ovales o redondeados.

**Brotos:** Crecen de las yemas que se encuentran en los ojos del tubérculo, los brotes pueden ser blancos, parcialmente coloreados, cuando se exponen indirectamente a la luz, se tornan verdes.

**Hojas:** Son compuestas, es decir, tienen un raquis<sup>2</sup> central y varios folíolos. Las hojas están compuestas por pequeños pelos de diversas tipos los cuales también se encuentran presentes en las demás partes de la planta, las hojas que se originan en los tallos subterráneos son pequeñas en forma de escamas y de sus yemas axilares emergen los estolones.

---

<sup>1</sup> Rizoma: Tallo subterráneo de curso horizontal semejante a una raíz verdadera.

<sup>2</sup> Raquis: Raspa (eje común de las flores frutos y hojas de una espiga o un racimo)

**Flores:** Son pentámeras de colores diversos tienen estilo y estigma simple y óvulo bilocular. La polinización es cruzada por el viento y los insectos, aunque también se realiza el auto polinización en forma natural.

**Tubérculos:** Comienzan a formarse a partir de los estolones, cuando la planta comienza la floración, esto ocurre entre los 35 a 45 días después de la siembra, los tubérculos están formados a los 60 días, desarrollándose hasta cuando la planta alcanza su madurez fisiológica: 90 días para variedades precoces; 110 a 120 días para variedades de ciclo intermedio y más de 120 para variedades tardías. Éste, al desarrollarse y ser cosechado, presenta yemas que, después de un período de reposo, brotan para producir nuevas plantas.

**Frutos:** Son redondos, suaves, con un diámetro de aproximadamente 2 cm. Las semillas del fruto son pequeñas y aplastadas. Tienen dos lóculos<sup>3</sup> y 200- 300 semillas, pero debido a factores de esterilidad pueden formar frutos sin semilla.

### 2.2.5 REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

**Temperatura:** Se trata de una planta de clima templado-frío, siendo las temperaturas más favorables para su cultivo las que están en torno a 13 y 18°C. Al efectuar la plantación la temperatura del suelo debe ser superior a los 7°C, con unas temperaturas nocturnas relativamente frescas, con el frío excesivo los tubérculos quedan pequeños y sin desarrollar, el daño por congelamiento se puede iniciar a -8°C.

**Heladas:** Es un cultivo bastante sensible a las heladas tardías, ya que produce un retraso y disminución de la producción. Si la temperatura es de 0°C la planta se hiela, acaba muriendo aunque puede llegar a rebrotar, los tubérculos sufren el riesgo de helarse en el momento en que las temperaturas sean inferiores a -2°C.

**Humedad:** La humedad relativa moderada es un factor muy importante para el éxito del cultivo. La humedad excesiva en el momento de la germinación del tubérculo y en el periodo desde la aparición de las flores hasta a la maduración del tubérculo resulta nociva, favorece al desarrollo de enfermedades y ataque de plagas.

---

<sup>3</sup> Lóculo: Celdilla o compartimiento en el que se albergan las semillas del fruto.



**Suelo:** Es una planta poco exigente a las condiciones edáficas, sólo le afectan los terrenos compactados y pedregosos, ya que los órganos subterráneos no pueden desarrollarse libremente al encontrar un obstáculo mecánico en el suelo.

La humedad del suelo debe ser suficiente; aunque resiste la aridez, en los terrenos secos, el número de tubérculos aumenta, pero su tamaño se reduce considerablemente, los terrenos con excesiva humedad, afectan a los tubérculos ya que se hacen demasiado acuosos, poco ricos en fécula y poco sabrosos y conservables. Prefiere los suelos ligeros o semiligeros, silíceo-arcillosos, ricos en humus y con un subsuelo profundo, es considerada como una planta tolerante a la salinidad.

**Luz:** La luz tiene una incidencia directa sobre el fotoperíodo, ya que induce la tuberización. Los fotoperíodos cortos son más favorables a la tuberización y los largos inducen el crecimiento. Además de influir sobre el rendimiento final de la cosecha. La intensidad luminosa influye sobre la actividad fotosintética, favorece la floración y fructificación.

#### **2.2.6 ETAPAS FENOLÓGICAS DE LA PAPA**

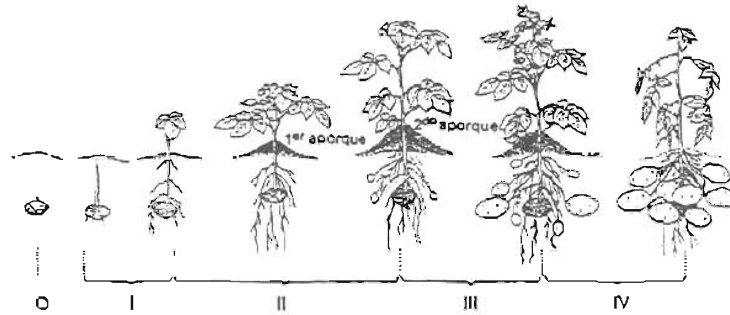
Se puede distinguir cuatro fases o etapas en el desarrollo de la planta de papa que tienen relaciones especiales con la presencia de las plagas y los daños que ellas producen.

**Fase de Emergencia:** Período entre la siembra y la aparición de los brotes en el surco.

**Fase Vegetativa:** Período entre la emergencia y la iniciación de la tuberización.

**Fase de Tuberización:** Período entre la iniciación de la tuberización y el máximo desarrollo del follaje. Se considera que para muchas variedades este período coincide con el inicio y la finalización de la floración. Esta relación no está bien establecida para los cultivares andinos.

**Fase de Madurez:** Período entre el máximo desarrollo del follaje y la senescencia total.



**Figura 2.2:** Fases de desarrollo de la planta de papa: O – Siembra, I – Emergencia, II – Desarrollo vegetativo, III – Tuberización, IV – Madurez – Senescencia

**Fuente:** El Manejo Integrado De Plagas (s.f.)

### 2.2.7 CICLO VEGETATIVO

Este comprende de tres a cuatro meses las variedades tempranas, cuatro a cinco meses las variedades intermedias y cinco a seis meses variedades tardías.

### 2.3 POLILLA DE PAPA

Entre las principales plagas que afectan la producción de tubérculos semilla se encuentra a la polilla de la papa (PTM)<sup>4</sup>, debido a las características de su rápida capacidad reproductiva, la variedad de plantas hospedantes cultivadas y silvestres, así como las condiciones climáticas cálidas y frías propician las altas poblaciones que reducen la capacidad fotosintética de las plantas, disminuyen la calidad, el peso del producto cosechado y prácticamente los elimina como tubérculo-semilla.

Es la plaga más severa que afecta al cultivo de papa en Bolivia, ocasionando elevadas pérdidas durante los períodos de cultivo y almacenamiento. Sin control, las pérdidas de esta plaga pueden llegar a más de 50% durante la fase de campo, y hasta a 80% durante la fase de almacenamiento. El empleo de pesticidas para proteger el cultivo aumenta significativamente los costos de producción en los países andinos. Más aún, la aplicación de plaguicidas presenta riesgos tangibles para la salud humana, contribuye a la contaminación ambiental y origina a menudo plagas secundarias ante la eliminación de enemigos naturales. Además, la mayoría de

<sup>4</sup> Polilla de la Papa o PTM es abreviada por su nombre en Ingles - Potato Tuber Moth

agricultores de la región andina carece del conocimiento y equipos necesarios para obtener buenos resultados mediante el uso de plaguicidas químicos.

### 2.3.1 HOSPEDEROS

Plantas solanáceas como la papa, tabaco, tomate, pepino dulce, berenjena, remolacha y varios géneros de malezas de la misma familia, plantas silvestres como hierbamora y tomate silvestre.

### 2.3.2 ESPECIES

Palacios (1997) señala que el término polilla agrupa a tres especies de Lepidoptera de la familia Gelechiidae:

- *Phthorimaea operculella* (Zeller)
- *Tecia solanivora* (Povolny)
- *Symmetrischema tangolias* (Gyen)

### 2.3.3 DISTRIBUCIÓN

*Phthorimaea operculella*, es la especie de mayor distribución a nivel mundial; se le encuentra en todas las zonas de América, Europa, África, Asia y Australia donde se siembra papa, en áreas con alturas hasta 2.000 msnm.

*T. solanivora* es originaria de Guatemala; se le encuentra en Centroamérica, Venezuela, Colombia y Ecuador desde los 2,000 a 3,400 msnm.

*S. tangolias* es una especie típica del área andina y se le encuentra en Perú, Bolivia y Colombia, desde los 2.000 a 3500 msnm.

De este grupo, *P. operculella*, Zeller destaca por los daños severos que ocasiona tanto en campo como almacén mucho más cuando no se realiza control alguno o el control es deficiente y la amplia distribución alcanzada. Es por eso que el presente trabajo considera y se enfoca en esta plaga.

### 2.3.4 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

La posición taxonómica de la polilla de la papa es la siguiente:

Reino	Animal
Phylum	Arthropoda
Superclase	Hexapoda
Clase	Insecta
Orden	Lepidoptera
Suborden	Ditrysia
Superfamilia	Gelechioidea
Familia	Gelechiidae
Genero	<i>Phthorimaea</i>
Especie	<i>operculella</i> . Zeller (1873)
Nombres comunes	Polilla de papa Palomilla de papa Gusano minador de las hojas y Tubérculos T'uta (expresión aymara- quechua)

### 2.2.5 BIOLOGÍA

Según Palacios (1997), las polillas pasan por cuatro estados de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto. Anualmente pueden desarrollarse de 2 a 12 generaciones, dependiendo de la temperatura y del hospedante, donde las fases del insecto son afectadas por la temperatura en forma inversa. De manera general, la duración del ciclo total de huevo hasta adulto en condiciones cálidas, es de 22 a 36 días.

**Huevo:** Los huevos son puestos por el adulto, de forma individual como en grupo, en el envés de las hojas, tallos, axilas de las hojas, yemas o retoños o sobre los tubérculos expuestos en la tierra y en el almacén, en superficies que presenten depresiones (Salas, 1992). Los huevecillos son de forma elíptica, la superficie es lisa, presentan un color blanco aperlado cuando están

reci3n ovipositados, torn3ndose amarillos y luego negros antes de la eclosi3n<sup>5</sup>. Miden aproximadamente un promedio de 0.5 mm de longitud y 0.37 mm de ancho en la parte media, tardan en eclosionar entre 4 y 5 d3as.

**Larva:** Constituye la 3nica etapa da3ina del ciclo de vida del insecto (Lopez-Avila, 1988). Las larvas reci3n nacidas miden aproximadamente 1mm; al terminar su 3ltimo estadio aproximadamente 11.6 mm de longitud, y 2.47 mm de ancho, la larva pasa por 4 estadios durante 9 a 33 d3as. Es de color blanco - verdoso p3lido con manchas rosadas sobre el dorso y al eclosionar la cabeza es de color marr3n oscuro, antes de empupar, abandona el tub3rculo, hila un capullo de seda de color gris3ceo, que son cubiertos con tierra y restos de plantas, dentro del cual se transforma en pupa (Chura, 1992 & Zenner, 1986).

**Pupa:** Seg3n Chura (1992), las pupas son de color marr3n claro, los machos miden aproximadamente 8.69 mm de largo 2.21 mm de ancho y las hembras 9.01 mm de longitud y 2.85 mm de ancho. Forman una cubierta de seda con part3culas de suelo; se pueden desarrollar en el suelo, hojas viejas y secas de la planta, en cajas, huecos del almac3n, sacos, desperdicios y sobre o dentro de los tub3rculos.

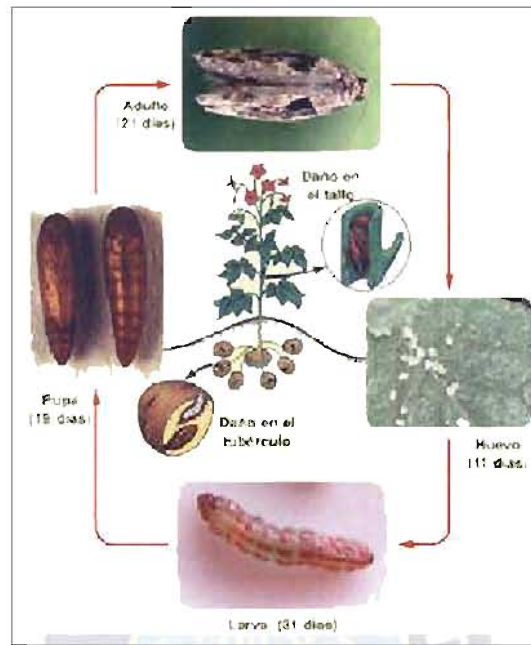
**Adulto:** El adulto es una peque3a polilla de color pajizo, el cuerpo mide aproximadamente 9.86 mm y la envergadura alar es de 14.3 a 17.8 mm; Es de color caf3-gris3ceo y en las alas traseras presenta un fleco de pelos largos y una mancha en el dorso en forma de "X". Una hembra oviposita de 100 a 130 huevos durante su vida, en la cual pone huevecillos durante 18 d3as, con un promedio de 6.7 huevos por d3a.

### 2.3.6 CICLO BIOL3GICO

Los ciclos de vida de la polilla son relativamente cortos por lo que se presentan varias generaciones en el campo y en los almacenes. En este 3ltimo caso la magnitud del da3o se incrementa r3pidamente con el tiempo de almacenamiento.

---

<sup>5</sup> Eclosi3n: Abrirse un capullo o una cris3lida



**Figura 2.3:** Ciclo biológico de la Polilla de Papa  
**Fuente:** Borea & Bejarano (s.f.)

El ciclo de vida de *Phthorimaea operculella* en condiciones de laboratorio (temperatura promedio de 24.75°C), fue de 54.75 días (Chura, 1992). El Cuadro 2.1 muestra un resumen del ciclo biológico de la polilla.

**Cuadro 2.1** Ciclo de vida de la polilla de la papa, *Phthorimaea operculella*, a nivel de laboratorio.

Estado	Rango (días)	Duración (días)
Huevo	3 – 7	5
Larva	16 – 33	20.5
Pupa	3 – 11	7
Adulto Macho	19 – 23	21
Adulto Hembra	19 – 26	22.5
Promedio Total	41 - 67	54.2

**Fuente:** Evaluación de diferentes formas de control para la polilla de papa (s.f.)

### **2.3.7 FLUCTUACIÓN POBLACIONAL**

En las zonas donde se siembra papa una vez al año, la población de polilla se hace evidente durante la primera etapa del cultivo, alcanza las picas más altas cuando el cultivo está en tuberización y posteriormente desciende en ausencia del cultivo. En almacén, la población más alta se presenta a finales del periodo de almacenamiento y las poblaciones más bajas durante el resto del año.

En aquellas zonas donde se siembra papa toda el año, las poblaciones de polillas presentan varios picas poblacionales, los cuales están generalmente relacionados con el período de madurez del cultivo y las épocas de almacenamiento.

### **2.3.8 DAÑO**

La P. operculella se destaca de las demás plagas por su forma de daño, ataca a la parte aérea de la planta (barrena brotes y tallos y mina hojas) y también a los tubérculos (en condiciones de campo y almacén), la fase de vida dañina es la larva, que ataca la papa tanto durante el cultivo, como durante el almacenamiento.

En relación a la parte aérea de la planta, la larva produce un daño característico en las hojas, pecíolos, tallos, brotes La larva rompe la epidermis y penetra dentro de la hoja de la cual se alimenta, este daño se manifiesta en un especie manchas irregulares de color marrón paja y transparentes o minas, dentro de las cuales pueden observarse fácilmente las larvas y sus excrementos, al colocar las hojas a trasluz, una sola larva se desarrolla dentro de la mina hasta completar su desarrollo, la mina se agranda en la medida que progresa el desarrollo y la alimentación de la larva (CIP, 1983 & Salas, 1992), causando un daño directo a los tejidos provocando debilitamiento y quiebre de tallos y muerte de centros de crecimiento.

A nivel de tubérculos, la larva, o perfora alimentándose de la parte interna, dejando en la parte exterior restos de color negruzco, lo cual es característico del daño, destruyendo así su valor comercial (Valencia, 1986), las larvas perforan túneles dentro de los cuales quedan los excrementos del insecto, los tubérculos perforados suelen ser atacados por hongos y bacteria que aceleran su descomposición. En todo caso los tubérculos atacados, suelen quedar inadecuados para el consumo humano (Cisneros, 1988).

Raman (1980), señala que, con frecuencia se observa un excremento característico cerca de los ojos o yemas de la papa, el cual permite distinguir entre los daños causados por la larva de la polilla de la papa y los daños causados por otros insectos. El daño larval, ocasiona pérdidas tanto en peso como en calidad de los tubérculos.

### **2.3.9 PROCESO DE INFESTACIÓN**

Cisneros (1988), menciona que la infestación inicial en el campo, es realizada por los adultos provenientes de otros cultivos de papa, tubérculos infestados almacenados, ó de otras plantas hospederas. Aparentemente no existe lugar preferido de oviposición, los huevos son depositados sobre el follaje, brotes, superficie del suelo, desechos, rastrojos o tubérculos expuestos; si el suelo presenta rajaduras, las polillas suelen penetrar en ellas para ovipositar sobre los tubérculos.

Después de 5 a 15 días de incubación emergen las larvitas y se introducen en la parte aérea de la planta, las larvas perforan el terminal de la planta o penetran al tejido de las hojas actuando como minadoras de hojas o en los tubérculos, se introducen al suelo por las ranuras que forma la papa a medida que crece, para luego perforar el tubérculo donde permanecen alimentándose por 11 a 40 días y donde pasan por 4 a 5 estadios larvales, al completar su desarrollo, salen del órgano infestado a la parte aérea de la planta. Una vez en el suelo, la larva construye su cocón a capullo con hilos de seda que ella misma produce y con las partículas de tierra y arena que se adhieren al capullo, dentro del capullo se convierte en pupa y permanece en este estado de 6 a 26 días, al cabo de los cuales emergen los adultos.

### **2.3.10 CLASES DE INFESTACIÓN**

Puede distinguirse tres clases de incidencia de la *P. operculella*, según las etapas fonológicas o fases de desarrollo de la papa, estas son:

#### **2.3.10.1 INCIDENCIA EN EL FOLLAJE**

Las plantas de papa tienen cierta capacidad para soportar o recuperarse del daño causado por los insectos en el follaje. Las plantas suelen tolerar bien el ataque de patógenos del suelo y de algunos insectos cuyos daños se ven superados por el rápido crecimiento de la planta, experimentalmente se ha determinado que la planta de papa puede tolerar la destrucción semanal de cerca del 30% de sus hojas durante todo su período de desarrollo sin que sus



rendimientos sean afectados significativamente (Wellik et. al., 1981). El corte total de un tallo, por los insectos, es compensado con el desarrollo de nuevos brotes del mismo tubérculo, pues la destrucción de un brote suele estimular el desarrollo de los otros.

Durante la fase vegetativa, es decir antes que comience el desarrollo de los tubérculos, las plantas de papa tienen la mayor capacidad para soportar y recuperarse de los daños (Dripps & Smilowitz, 1989). Daños severos, de 50 a 100% del follaje en las dos primeras semanas hacen que la planta tome algún tiempo para recuperar el follaje perdido. En este caso el efecto consiste en la demora del inicio de la tuberización y, consecuentemente, en un retraso de la cosecha, pero no necesariamente se produce una disminución de los rendimientos.

El período más sensible al daño foliar es la fase de tuberización que en algunas variedades suele coincidir con el período de floración. Parece que en esta fase la planta pierde la capacidad para recuperar el follaje destruido. Como quiera que la tolerancia de la planta está relacionada con su recuperación vegetativa, parece ser que las variedades tardías (que tienen un crecimiento más prolongado) resultan más tolerantes al daño foliar que las variedades precoces, caracterizadas por un crecimiento foliar más restringido.

Durante la fase de madurez, la importancia del follaje en el rendimiento va declinando hasta que se produce la senescencia total y la planta se torna amarilla. La pérdida del follaje tiene poco o ningún efecto sobre los rendimientos.

#### **2.3.10.2 INCIDENCIA EN TUBÉRCULOS EN CAMPO**

Los daños a los tubérculos son directos pues afectan la parte de la planta que constituye la cosecha. La infestación de los tubérculos se inicia durante el período de crecimiento de la papa, en la cosecha, los tubérculos no siempre muestran signos de daño, pero pueden hospedar huevos y larvas en fase de desarrollo. Es muy difícil sino imposible, las evaluaciones periódicas ("monitoreo") de las poblaciones de insectos que están infestando los tubérculos, tampoco se pueden tomar medidas curativas pues el tubérculo dañado no se recupera.

Los tratamientos al suelo, a diferencia de los tratamientos foliares, son básicamente preventivos y las oportunidades para ejecutarlos un tanto restringidas. Se suele aprovechar el período de siembra, y el primer y segundo aporque. En plantas desarrolladas se dificultan las

aplicaciones al cuello de la planta. Estas limitaciones no existen cuando los tratamientos van orientados a destruir la población de insectos adultos que se alimentan del follaje.

En el campo los adultos son activos en el crepúsculo y por la noche; durante el día se ocultan esconden bajo los desechos, terrones de suelo o bajo las hojas de las plantas, entre el follaje o descansan en el suelo siendo difíciles de detectar, las poblaciones de la polilla se incrementan al inicio de la tuberización, luego se mantienen o declinan ligeramente para después aumentar en tres o cinco semanas antes de la cosecha; siendo éste último periodo el momento crítico para el control.

### **2.3.10.3 INCIDENCIA EN TUBÉRCULOS DE ALMACÉN**

La infestación en almacén, puede provenir de diferentes fuentes. Una de ellas es que después de la cosecha, los tubérculos infestados son transportados a lugares de almacenamiento, si las condiciones de higiene no son adecuadas, numerosas pupas pueden quedar en los resquicios y otras partes del almacén, de donde emergen los adultos que depositan sus huevos en los tubérculos almacenados. Si los almacenes no están bien cerrados, (ventanas, puertas y paredes) adultos de diversa procedencia pueden ingresar a los almacenes, las larvas de almacenes fuertemente infestados pueden trasladarse a otros, una fuente importante de infestación, son los tubérculos que vienen infestados desde el campo y que contienen larvas o huevos de la polilla. En la oscuridad del almacén, las polillas se mantienen continuamente activas.

### **2.3.11 FACTORES INFLUYENTES EN EL EFECTO DE LA POLILLA DE PAPA**

Las condiciones naturales que favorecen la incidencia de la plaga en el campo son: temperaturas relativamente altas, ausencia de lluvia, riegos deficientes, que dejan grietas en el suelo y aporques insuficientes que no cubren bien los tubérculos en el campo.

**Temperatura:** El ciclo de vida de la polilla de papa está fuertemente determinado por la temperatura. En zonas más frías, la polilla está considerada principalmente como una plaga de almacén.

P. operculella se desarrolla bien entre los 13°C y 35°C. A los 14°C su ciclo de vida dura 92 días, a 25°C dura 27 días y a 35°C dura 16.6 días. En las zonas altas con temperatura promedio de 12 a 13°C, el ciclo biológico se da como muestra el siguiente cuadro.

**Cuadro 2.2** Ciclo de vida de *P. operculella* bajo temperatura promedio de 12 a 13°C

Estado	Duración (días)
Incubación - Huevo	21
Desarrollo - Larva	71
Desarrollo - Pupa	36
Sobrevivencia - Adultos	21
<b>Total</b>	<b>54.2</b>

**Fuente:** Evaluación de diferentes formas de control (s.f.)

Una temperatura promedio diario de >20 °C es ideal para el desarrollo de *P. operculella*, en ausencia de almacenes refrigerados, el daño a las papas puede ser total en un lapso de 2 a 4 meses, si es que no se cuenta con las medidas de control adecuadas. La influencia de la temperatura en el ciclo de vida es mostrada en los siguientes cuadros:

**Cuadro 2.3** Mortalidad promedio de *P. operculella* para cuatro temperaturas.

Temperatura °C	Número de huevos	Número de larvas emergidas	Porcentaje Mortalidad
30	500	392	21.6
25	500	351	29.8
20	500	374	25.2
15	500	323	35.4

**Fuente:** Gamboa & Notz (1990)

**Cuadro 2.4** Porcentaje de mortalidad, duración promedio del desarrollo de larva a adulto de *P. operculella* para cuatro temperaturas.

Temperatura °C	Número larvas	Número adultos	Porcentaje mortalidad
30	351	169	51.85
25	340	141	58.33
20	343	98	71.40
15	261	19	92.70

**Fuente:** Gamboa & Notz (1990)

La infestación en el follaje puede ser estimada de acuerdo a la cantidad de larvas emergidas, de acuerdo a la proporción de infección de la larva puede incrementar el área de consumo foliar que depende de la temperatura.

**Cuadro 2.5** Efecto de cinco temperaturas sobre el consumo foliar de las larvas de *P. operculella*.

Consumo foliar/ larva	14.7°C	20.0°C	25.0°C	30.2°C	34.5°C
Periodo bajo consumo (días)	29	10	5	4	3
Máximo consumo por día (cm <sup>2</sup> )	0.609	0.996	1.575	2.003	1.663
Periodo de alimentación (días)	62	35	19	17	10
Consumo foliar total (cm <sup>2</sup> )	8.89	7.51	8.08	6.39	5.37

**Fuente:** Fernández S. (1996)

**Riego:** El ataque de la *P. operculella* es ligera en la época lluviosa pero muy dañina en el periodo seco. La aplicación adecuada y oportuna del riego disminuye la compactación del suelo y su agrietamiento, lo que reduce la exposición de los tubérculos a un posible ataque de la polilla. En general, los riegos deben ser más frecuentes en suelos de textura gruesa.

**Cuadro 2.6** Porcentaje de daño de la polilla en tubérculos de papa bajo tres modalidades de frecuencia de riego.

Frecuencia de Riego	Porcentaje de Daño
Cada 5 días	6.64 <sup>a*</sup>
Cada 6 días	10.33 <sup>b</sup>
Cada 8 días	15.37 <sup>c</sup>

\* Valores seguidos de la misma letra no difieren significativamente según la prueba de Newman - Keuls 5%

**Fuente:** Fernández S. (1996)

**Humedad:** La humedad excesiva favorece a ataque de plagas. La humedad relativa moderada es un factor muy importante para el éxito del cultivo. Los terrenos con excesiva humedad, afectan a los tubérculos ya que se hacen demasiado acuosos, poco ricos en fécula y poco sabrosos y conservables. Por otra parte, la humedad alta en almacén con una temperatura baja son un medio para reducir la infestación de la polilla.

**Cuadro 2.7** Porcentaje de daño de la polilla en tubérculos de papa bajo tres porcentajes de humedad y temperaturas

Humedad (%)	Porcentaje de Daño	Temperatura °C	Porcentaje de Daño
<= 60	0.01639	< 25	0.08
60 – 85	0.1041	12 - 25	0.03
> 85	0.00653	<= 11	0.005

**Fuente:** Fernández S. (1996)

**Aporque:** La altura de aporque, contribuye a disminuir el daño ocasionado por la polilla, la altura recomendada es de 20 – 35 cm, a mayor altura de aporque menor será el ataque de la polilla. Con el que se construye una barrera más para el desplazamiento de las larvas recién emergidas a los tubérculos en formación.

**Cuadro 2.8** Porcentaje de daño de la polilla en tubérculos de papa bajo tres modalidades de altura de aporque

Altura de Aporque	Porcentaje de Daño
20 - 25	15.34**
25 - 30	11.04b
> 30	6.98c

\* Valores seguidos de la misma letra no difieren significativamente según la prueba de Newman - Keuls 5%

**Fuente:** Fernández S. (1996)

## 2.4 MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

El Manejo Integrado de Plagas (MIP), es un sistema orientado a mantener a una población plaga de un cultivo por debajo de los niveles que causan perjuicio económico utilizando preferentemente los factores naturales adversos al desarrollo de las plagas, que da como resultado la prevención, represión o la exclusión de una plaga.. El MIP es por lo tanto, el control de plagas de un futuro aún lejano. Entre los tipos de control se tiene:

**Control Cultural:** Es de naturaleza preventiva antes que curativa, tiene un efecto extendido en el tiempo e implica muy poco o ningún aumento en los costos normales de producción, siendo en muchos casos una táctica de procesos múltiples. Este control puede darse en la preparación de suelos, siembra, riego, eliminación de plantas de cosechas anteriores, aporque, corte de follaje, cosecha, recolección de residuos de cosecha y la rotación con otros cultivos.

**Control Químico:** El empleo de pesticidas, es el método más común que se emplea para proteger los tubérculos-semilla, deben ser aplicados correctamente y utilizados sólo cuando los umbrales económicos de la plaga lo indiquen. Estudios realizados demuestran que la inversión en pesticidas para controlar plagas supera el costo de otros insumos incluyendo a la semilla.

**Control Biológico:** Agente biológico, que llega a controlar la plaga hasta en un 100%, estos agentes pueden ser virus, o parasitoides, como el *Copidosoma koehleri* es una microavispa la cual parasita los huevos de la polilla.

**Control Etológico:** Este control utiliza feromonas que son atrayentes sexuales, ayuda la disminución de la población de machos a través de el diseño de distintas trampas colocadas n el campo o almacén.

**Luz Difusa:** Los tubérculos almacenados en la oscuridad producen brotes largos y débiles que se desprenden fácilmente al movilizar la semilla, son más sensibles a las pudriciones y al ataque de las enfermedades del suelo, es por eso que el almacenamiento con luz difusa, o sea en un almacén con entrada de luz natural o artificial en forma indirecta, es más adecuado ya que los brotes producidos son cortos, fuertes, verdes y resistentes al desprendimiento y disminuye el ataque de enfermedades e insectos.

## **2.5 METODOLOGÍA UTILIZADA**

La humanidad ha intentado adivinar el futuro, queriendo conocer que pasará cuando suceda un determinado hecho histórico. Sobre bases ciertas, la simulación ofrece esa predicción del futuro, condicionada a supuestos previos.

### **2.5.1 ENFOQUE DE SISTEMAS**

Es un punto de vista, una forma de pensar, que en la confrontación de una situación problemática, busca no ser reduccionista, es decir visualizar la situación desde un punto en donde se consideren todos los elementos que intervienen en un problema.

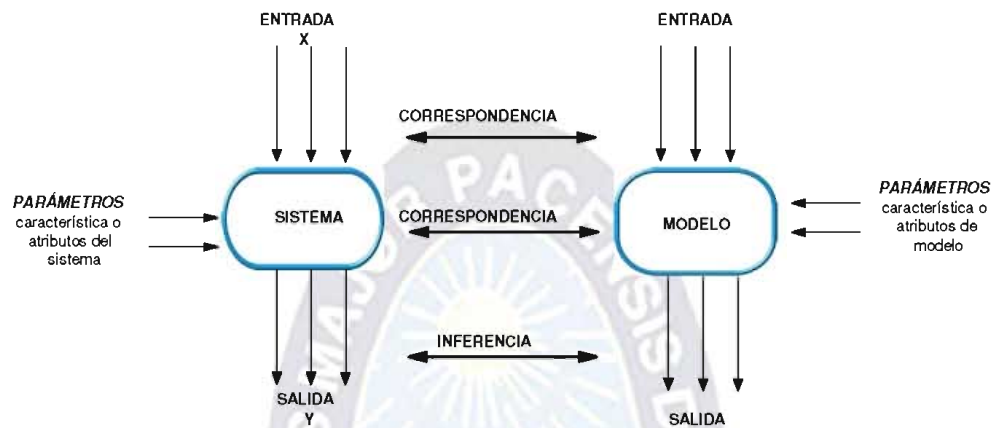
### **2.5.2 SISTEMA**

Pueden darse varias definiciones de sistema pero se puede resumir como una unidad cuyos elementos interaccionan juntos, ya que continuamente se afectan unos a otros, de modo que operan hacia una meta común. Es algo que se percibe como una identidad que lo distingue de lo que la rodea, y que es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes (Aracil & Gordillo, 1997).

### **2.5.3 MODELO**

Es una representación de la realidad, es un esquema teórico, habitualmente matemático, que representa el comportamiento y la evolución de un sistema definido mediante una serie de parámetros, funciones y supuestos, muestra las relaciones entre causa y efecto, el equilibrio entre objetivos y restricciones. Problemas que no se pueden resolver por medio de soluciones

directas debido a su magnitud, complejidad o estructura, a menudo se pueden manejar buscando una solución aproximada por medio de modelos de simulación, ya que un modelo no puede representar todos los aspectos de la realidad porque es únicamente una aproximación del objeto real o situación.



**Fig. 2.4** Concepto de un modelo

Ref. Torres (s.f.)

### 2.5.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS

Existen múltiples tipos de modelos para representar la realidad. Algunos de ellos son:

**Físicos:** Son aquellos en que la realidad es representada por algo tangible, construido en escala o que por lo menos se comporta en forma análoga a esa realidad (maquetas, prototipos, modelos analógicos, etc.).

**Esquemáticos:** abarcan dibujos, mapas y diagramas.

**Analíticos:** La realidad se representa por fórmulas matemáticas. Estudiar el sistema consiste en operar con esas fórmulas matemáticas (resolución de ecuaciones).

**Matemáticos:** Representan la realidad en forma abstracta de muy diversas maneras.

**Numéricos:** Se tiene el comportamiento numérico de las variables intervinientes. No se obtiene ninguna solución analítica.

**Estáticos:** Representan sistemas cuyo estado es invariable a través del tiempo.



**Dinámicos:** Representan sistemas cuyo estado varía con el tiempo.

**Determinísticos:** Ni las variables endógenas y exógenas se pueden tomar como datos al azar, todas las entidades establecen relaciones matemáticas o lógicas constantes.

**Estocásticos:** Cuando por lo menos una variable es tomada como un dato al azar las relaciones entre variables se toman por medio de funciones probabilísticas, sirven por lo general para realizar grandes series de muestreos.

**Continuos:** Representan sistemas cuyos cambios de estado son graduales. Las variables de estado cambian continuamente en el tiempo, los modelos de simulación continua involucran ecuaciones diferenciales que determinan las relaciones de las tasas de cambios de las variables de estado en el tiempo.

**Discretos:** Representan sistemas cuyos cambios de estado son de a saltos. Las variables varían en forma discontinua, e decir que cambian instantáneamente en instante de tiempo separados.

#### 2.5.3.2 PROPIEDADES DE LOS MODELOS

Un modelo de simulación que se constituye a su vez en un sistema debe estar integrado y construido sobre la base de cuatro elementos que son:

**Componentes:** Son las partes de un conjunto que forman el sistema.

**Variables:** Son aquellos valores que cambian dentro de la simulación y forman parte de funciones del modelo o de una función objetivo. Pueden ser de dos tipos:

- **Exógenas:** Variables independientes o variables de entrada del sistema, son originadas por causas externas al sistema.
- **Endógenas:** Son producidas dentro del sistema que resultan de causas internas, las cuales pueden ser:
  - i. Estado: Muestran las condiciones iniciales del sistema
  - ii. Salida: Son aquellas variables que resultan del sistema

**Parámetros:** Son cantidades a las cuales se les asignan valores, una vez establecidos los parámetros, son constantes y no varían dentro de la simulación.

**Relaciones funcionales:** Describen a las variables y parámetros de tal manera que muestran su comportamiento dentro de un componente o entre componentes de un sistema. Las relaciones funcionales pueden ser de tipo determinístico o estocástico.

- Determinísticas: Son definiciones que relacionan ciertas variables o parámetros, donde una salida del proceso es singularmente determinada por una entrada dada.
- Estocásticas: El proceso tiene una salida indefinida para una entrada determinada.

Restricciones: Estas son limitaciones impuestas a valores de las variables las cuales pueden ser de dos formas:

- Autoimpuestas: asignadas por el mismo operador.
- Impuestas: cuando son asignadas manualmente por el mismo sistema.

**Funciones De Objetivo:** Son las metas del sistema o el como evaluar al sistema, es una medida de eficiencia del sistema.

#### **2.5.4 SIMULACIÓN**

Simulación es el desarrollo de un modelo lógico matemático de un sistema, de tal forma que se tiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo (Banks, 1998).

El concepto de simulación está íntimamente ligado al de modelo que es el núcleo de cualquier simulación. Una simulación es la ejecución (habitualmente computerizada) de un modelo que reproduce el comportamiento de un sistema sometido a unas condiciones predeterminadas, posiblemente cambiantes en el tiempo, el objetivo es averiguar que pasaría en el sistema si acontecieran determinadas hipótesis.

A través de la simulación puede predecirse el desempeño de un cultivo en medios donde nunca ha sido sembrado, con la recolección de información específica del lugar (Catacora, 1996).

##### **2.5.4.1 PROCESO DE DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN**

Se ha escrito mucho acerca de los pasos necesarios para realizar un estudio de simulación. Sin embargo, la mayoría de los autores opinan que los pasos necesarios para llevar a cabo un experimento de simulación son (Coss, 2000, p. 12):

**Definición del sistema:** Cada estudio debe comenzar con una descripción del problema o del sistema, debe identificarse correctamente el objetivo de las variables de decisión, las restricciones, la medida de efectividad y las variables no controlables, su comportamiento estadístico para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener del estudio.

**Formulación del modelo:** Consiste en generar un código lógico-matemático que defina en forma exacta las interacciones entre las variables, las relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa al modelo; debe ser una definición sencilla pero completa del sistema.

**Preparación de datos:** Identificación de los datos que el modelo requiere y reducción de estos a una forma adecuada con claridad y exactitud.

**Implementación del modelo:** Consiste en generar las instrucciones o código computacional necesario para lograr que el modelo ya definido pueda ser ejecutado en algún tipo de computadora. La duración de este proceso está directamente relacionada con la selección del lenguaje, es importante utilizar el lenguaje que mejor se adecúe a las necesidades de simulación que se requieran.

**Validación:** Es el proceso que tiene como objetivo determinar la habilidad que tiene un modelo para representar la realidad, está se lleva a cabo mediante la comparación estadística entre los resultados del modelo y los resultados reales. A través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo o en los datos.

**Experimentación:** En este paso se determinan las diversas alternativas que pueden ser evaluadas, seleccionando las variables de entrada y sus diferentes niveles con la finalidad de optimizar las variables de respuesta del sistema real. Consiste en generar los datos deseados y en realizar análisis de sensibilidad de los índices requeridos.

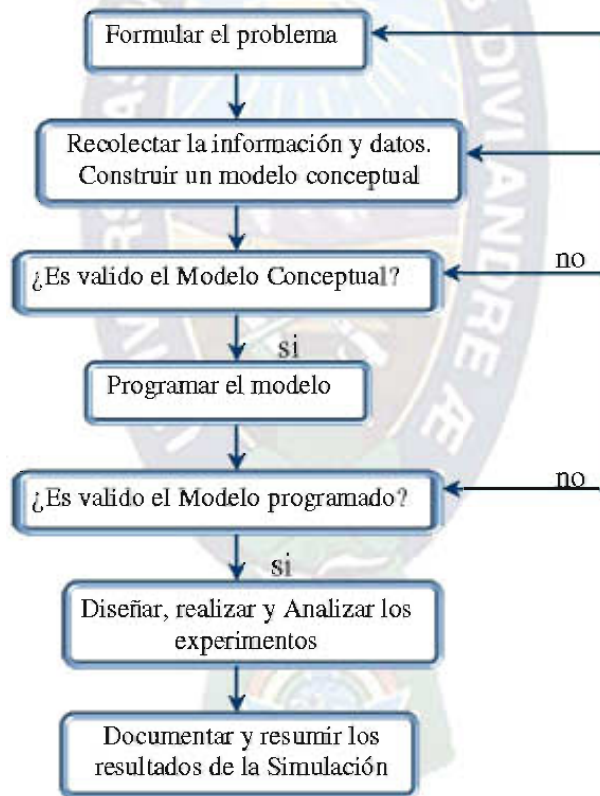
**Interpretación:** Se interpreta los resultados que arroja la simulación y en base a esto se toma una decisión.

**Implantación:** Una vez seleccionada la mejor alternativa, es importante llevarla a la práctica; teniendo cuidado con las diferencias que pueda haber con respecto a los resultados simulados, ya que estos últimos se obtienen, si bien de un modelo representativo, a partir de suposiciones.

**Documentación:** Son requeridos dos tipos de documentación, la primera se refiere a la documentación de tipo técnico y la segunda se refiere al manual de usuario, con el cual se facilita la interacción y el uso del modelo desarrollado.

La consideración de las etapas, fases, procesos y tareas concretas durante la consecución de un trabajo de simulación constituye el primer eslabón para poder lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos con calidad, rapidez y ahorro de costes.

En la Figura 2.5 se muestra el esquema metodológico denominado “Metodología de Siete Pasos para Realizar un Estudio de Simulación con Éxito”, realizado por DoD Modeling & Simulation VV&A1.



**Figura 2.5** Siete Pasos para el desarrollo de estudios de Simulación

**Fuente:** A Practitioner’s Perspective on Simulation Validation, DoD Modeling & Simulation VV&A.

### **2.5.5 METODOLOGÍA SISTÉMICA**

Para el estudio de los sistemas en general se ha desarrollado lo que se conoce como metodología sistémica, o conjunto de métodos mediante los cuales abordar los problemas en los que la presencia de sistemas es dominante. En realidad, la metodología sistémica pretende aportar instrumentos con los que estudiar aquellos problemas que resultan de las interacciones que se producen en el seno de un sistema, y no de disfunciones de las partes consideradas aisladamente.

### **2.5.6 DINÁMICA DE SISTEMAS**

La metodología Sistémica, es una metodología para la construcción de modelos de simulación para sistemas complejos, como los que son estudiados por las ciencias sociales, la economía o la ecología, ideada para resolver problemas concretos, desarrollada por Jay W. Forrester. Al hablar de dinámica de un sistema nos referimos a que las distintas variables que podemos asociar a sus partes sufren cambios a lo largo del tiempo, como consecuencia de las interacciones que se producen en ellas. Su comportamiento vendrá dado por el conjunto de trayectorias de todas las variables, que suministra algo así como una narración de lo acaecido en el sistema.

En Dinámica de Sistemas la simulación permite obtener trayectorias para las variables incluidas en cualquier modelo mediante la aplicación de técnicas de integración numérica. Sin embargo, estas trayectorias nunca se interpretan como predicciones, sino como proyecciones o tendencias.

#### **2.5.6.1 ESTRUCTURA Y COMPORTAMIENTO ELEMENTAL EN DINÁMICA DE SISTEMAS**

Presenta un lenguaje sistémico que aporta los elementos básicos para una descripción esquemática de un sistema. De acuerdo con esta descripción, un sistema se reduce a una serie de elementos entre los que se producen influencias, la descripción se traduce en un grafo.


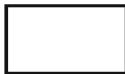


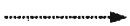
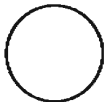

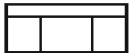
**Diagrama Causal:** La descripción mínima de un sistema viene dada por la especificación de las distintas partes que lo forman y las relaciones que se establecen por las influencias de dichas partes, obteniendo un diagrama de influencias. En el diagrama se indican los elementos

más importantes que intervienen en el proceso, estos elementos básicos del proceso están unidos entre sí mediante flechas que indican las influencias que se establecen entre ellos.

**Diagrama de Forrester:** Entre los distintos elementos que aparecen en los nodos de un diagrama de influencias, algunos representan variaciones con respecto al tiempo de otras magnitudes consideradas en ese mismo diagrama.

Los diagramas de Forrester son una formalización mayor de los diagramas causales, Forrester realizó una simbología para la comprensión de las variables que integran el sistema y se describe en el cuadro 2.9.

**Cuadro 2.9** Símbolos del diagrama de Forrester

Símbolos	Descripción
	Nube: representa una fuente, puede interpretarse como un estado que no tiene interés y es prácticamente inagotable
	Nivel: Representa la acumulación de un flujo (variable de estado).
	Flujo: Variación de un estado; cambio en el estado del sistema.
	Canal de material: canal de transmisión o mecanismo de transmisión de magnitud física que se conserva
	Canal de información: Canal de transmisión de una cierta información que genera los flujos, transmite en lugar de transportar, que no es necesario que se conserve.
	Variable auxiliar: Son los que ayudan a explicar los valores de los flujos y niveles, pueden estar referidas a un periodo o a un instante de tiempo. Pueden tener una evolución independiente al sistema.
	Constante: un elemento del modelo que no cambia de valor
	.Retardo: un elemento que simula retrasos en la transmisión de información o de material



Variable exógena: variable cuya evolución es independiente de las del resto del sistema. Representa una acción del medio sobre el sistema

---

Fuente: Elaboración Propia

**Modelo Matemático:** Una vez realizada la construcción de los diagramas de Forrester el siguiente paso es que a dicho diagrama se asocian las ecuaciones funcionales del modelo.

En general, a los parámetros hay que darles un valor numérico para que el modelo se refiera a una situación concreta. Una de las dos formas es que se atiende al significado concreto de esos parámetros, y se dispone de información numérica suficiente para conocer sus valores, esta información será suministrada por los correspondientes especialistas. O bien, en los casos en los que no se disponga de información sobre los valores de los parámetros, pero sin embargo se disponga de datos con relación a la evolución de las magnitudes significativas del sistema en un periodo de tiempo determinado, se pueden emplear técnicas de ajuste de parámetros. Estas técnicas consisten, esencialmente, en determinar los valores numéricos de los parámetros que minimizan algún índice que mida la discrepancia entre los datos históricos de evolución del proceso y los generados por el sistema dinámico.

### **2.5.7 GENERACIÓN DE NÚMEROS PSEUDOALEATORIOS**

Pueden ser con distribución:

- Empírica Discreta (Monte Carlo)
- Empírica Continua (Interpolación)
- Teórica Discreta: Poisson
- Teórica Continua: Uniforme, Exponencial, Normal.

#### **2.5.7.1 MÉTODOS DE GENERACIÓN DE NÚMEROS PSEUDOALEATORIOS**

Se necesita en primer lugar un procedimiento que genere valores aleatorios uniformemente distribuidos entre 0 y 1. Realmente, los números generados no son números aleatorios, sino pseudoaleatorios pues no son debidos realmente al azar, sino que proceden de cálculos

matemáticos que tratan de imitar dicho azar. La elección del método adecuado se puede basar en una serie de factores como: exactitud, velocidad, espacio y simplicidad.

La mayoría de las técnicas utilizadas para la generación se pueden agrupar en:

- Método de la transformada inversa
- Método de aceptación-rechazo
- Método de composición
- Método de convolución

#### **2.5.7.2 VALIDACIÓN DE LOS NÚMEROS PSEUDOALEATORIOS GENERADOS**

Una vez que se han generado los valores pseudoaleatorios según la distribución uniforme se debe comprobar que efectivamente están uniformemente distribuidos, lo que significa que son uniformes e independientes.

Los pruebas más usuales son la prueba de promedios, frecuencias, prueba de la distancia, de series, Kolmogorov - Smirnov, del poker y prueba de las corridas (Coss, 2000, pp. 31-48).

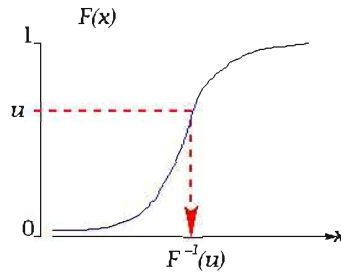
#### **2.5.8 MÉTODO DE LA TRANSFORMADA INVERSA PARA DISTRIBUCIONES CONTÍNUAS**

Esta técnica se utiliza para generar variables con distribución empírica discreta (Montecarlo) y continua (Interpolación).

Este método se utiliza cuando se desea simular variables de tipo continuo como exponencial, Weibull, uniforme general, etc. Utiliza la distribución acumulada  $F(x)$  de la distribución de probabilidad que se va a simular mediante integración ya que el rango de  $F(x)$  se encuentra en el intervalo 0 a 1, puede generarse un número aleatorio para determinar el valor de la variable aleatoria.

La figura 2.6 muestra en forma gráfica la metodología para una función cualquiera  $f(x)$  continua:





**Fig. 2.6** Método gráfico de la transformada inversa, distribuciones continuas

**Fuente:** Devroye, (s.f.).

Sea  $F(z)$ ,  $a \leq z \leq b$  una función de distribución cuya función de distribución inversa es:

$$F^{-1}(u) = \inf \{z \in [a,b]: F(z) \geq u, 0 \leq u \leq 1\}$$

Sea  $U$  una variable aleatoria de  $\mathcal{U}(0, 1)$  se verifica que  $Z = F^{-1}(U)$  tiene la función de distribución  $F$ .

La prueba se sigue de la observación de que:

$$pr(Z \leq z) = pr[F^{-1}(U) \leq z] = pr[U \leq F(z)] = F(z)$$

Por definición:

$$0 \leq F(x) \leq 1 \quad \text{y} \quad 0 \leq R \leq 1$$

Entonces la siguiente relación es válida:

$$\forall F(x) = R \Rightarrow x = F^{-1}(R)$$

### 2.5.9 PRUEBA DE LOS PROMEDIOS

Consiste en verificar que los números generados provienen de un universo uniforme con media de 0.5 es decir que tengan una media estadísticamente igual, está puede ser planteada de la siguiente manera:

$$H_0: \mu = 1/2 \quad \text{y} \quad H_1: \mu \neq 1/2$$

El planteamiento de la hipótesis nula ( $H_0$ ) siempre contiene un signo de igualdad con respecto al valor especificado del parámetro.

La hipótesis alternativa ( $H_1$ ) es cualquier hipótesis que difiera de la hipótesis nula. El planteamiento de la hipótesis alternativa nunca contiene un signo de igualdad con respecto al valor especificado del parámetro.

La distribución de muestreo de la estadística de prueba se divide en dos regiones, una región de rechazo (conocida como región crítica) y una región de no rechazo (aceptación). Si la estadística de prueba cae dentro de la región de aceptación, no se puede rechazar la hipótesis nula.





## CAPÍTULO 3

## CAPÍTULO 3

### MÉTODOS E INSTRUMENTOS

*El hombre en su afán por estudiar el ambiente, por entender todo lo que sucede a su alrededor y la interacción entre él y su entorno; ha creado varias ciencias para estudiar la interrelación tierra–mundo (Lovelock, 1979).*

Los modelos de simulación cumplen un papel importante en la evaluación biológica de los sistemas de producción agrícola, en la práctica, los modelos son utilizados para evaluar el impacto potencial de nuevas tecnologías y practicas de manejo.

Las plantas, las plagas, los insectos benéficos, las condiciones climáticas, las condiciones del suelo, y las prácticas culturales, incluyendo la aplicación de pesticidas son los principales componentes del agro-ecosistema. Es necesario conocer o estimar el efecto real que esa población de insectos tiene en reducir la cosecha, cualquier disminución en la cosecha constituye una pérdida verdadera. Pero cuando se define el nivel de daño económico se incluye un factor adicional que es el costo de la medida de control de la plaga.

La incidencia de *P. operculella* sobre los cultivos de papa fue analizado utilizando la metodología de dinámica de sistemas, esta metodología presenta una mayor flexibilidad para el análisis conjunto de distintos parámetros, junto con una mayor simplicidad en su aplicación.

#### 3.1 CONCEPTUALIZACIÓN

Para la obtención del modelo y su posterior simulación se identifica los elementos relevantes del sistema.

**Componentes:** Los componentes del sistema son el cultivo de papa y la Polilla de papa (*P. operculella*, Zeller).

**Variabes:** Los elementos que son empleados para relacionar los componentes entre sí se dan de la siguiente manera:

Las variables exógenas están dadas por la temperatura, humedad, frecuencia de riego y altura de aporque.

En las variables de entrada se tiene, la duración de cada uno de los estados de desarrollo del ciclo de vida del insecto, tasas de mortalidad, área de consumo foliar, follaje, cantidad de tubérculos susceptibles iniciales, cantidad de larvas provenientes de otro campo.

### **3.2 DIAGRAMA CAUSAL**

Entre los elementos que se incluyen en esta formalización grafica están los relacionados con la estructura de la población y su dinámica, desde la oviposición hasta la formación de la polilla adulta, en los tres casos de ataque considerando la temperatura, altura de aporque, riego y humedad.

Se presenta tres diagramas relacionas con las clases de infestación realizadas por el insecto, que son la incidencia en follaje, en los tubérculos en campo y los que se encuentran el almacén.



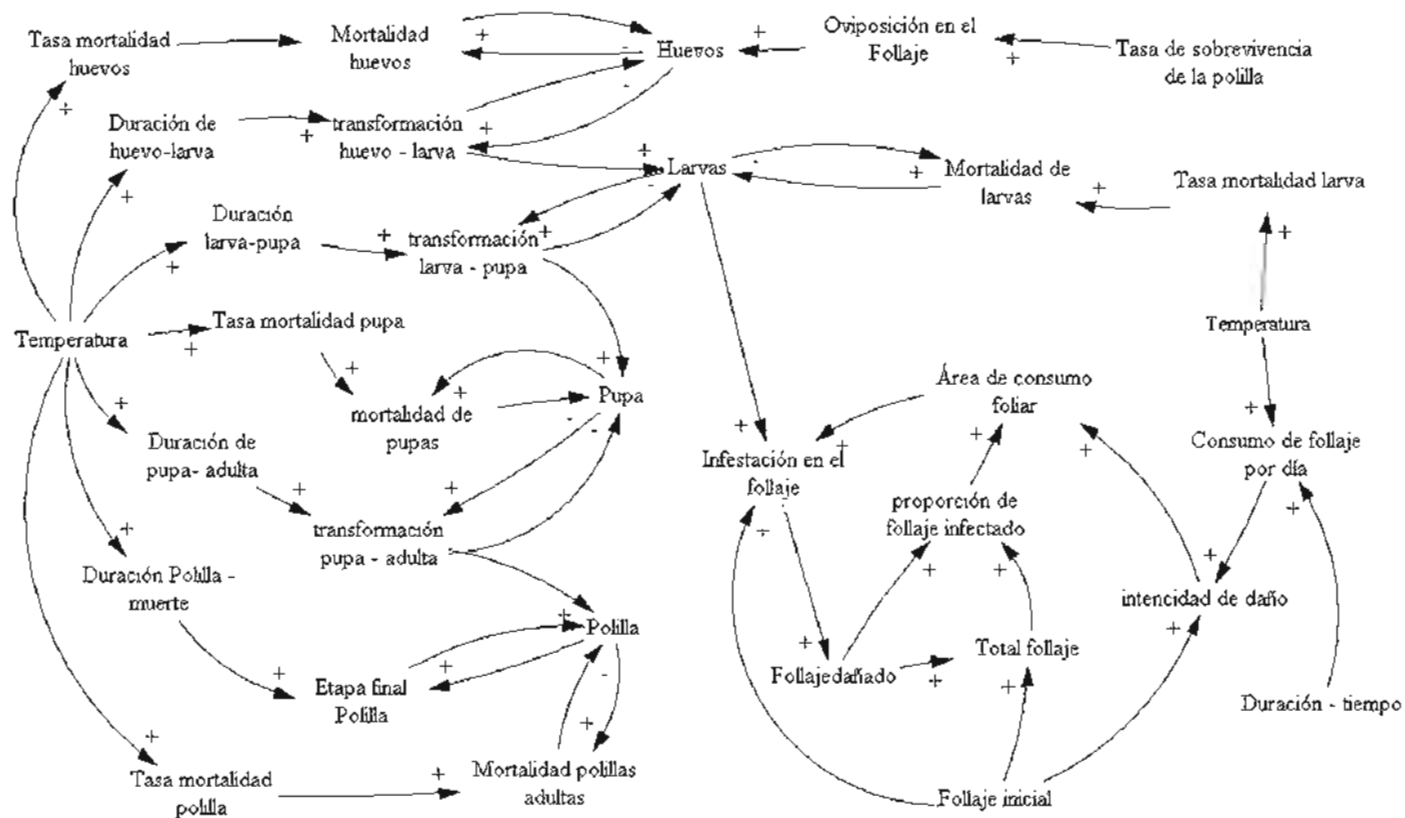


Fig. 3.1 Diagrama causal de la incidencia en Follaje

Fuente: Elaboración propia

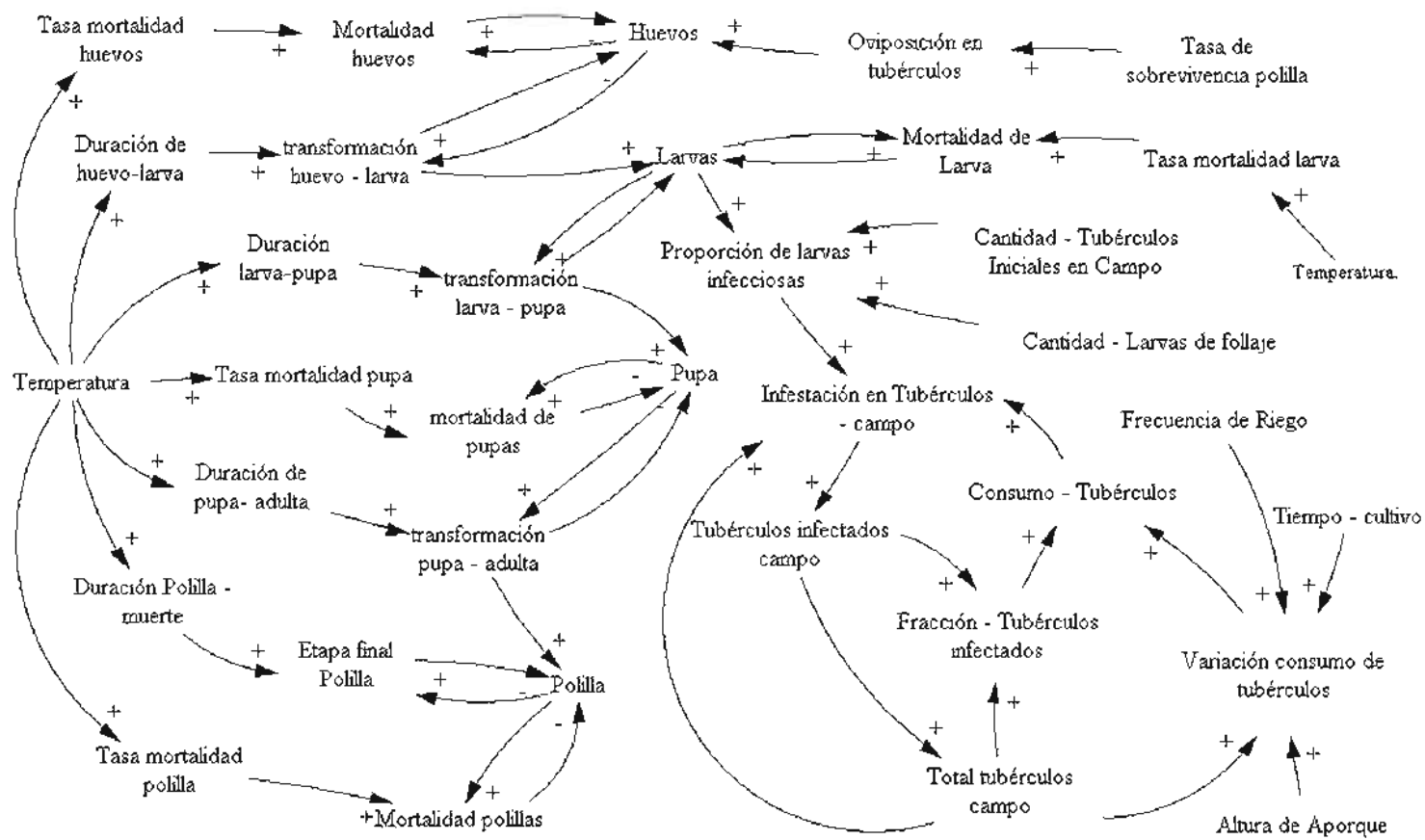


Fig. 3.2 Diagrama causal de la incidencia en los tubérculos en campo

Fuente: Elaboración propia

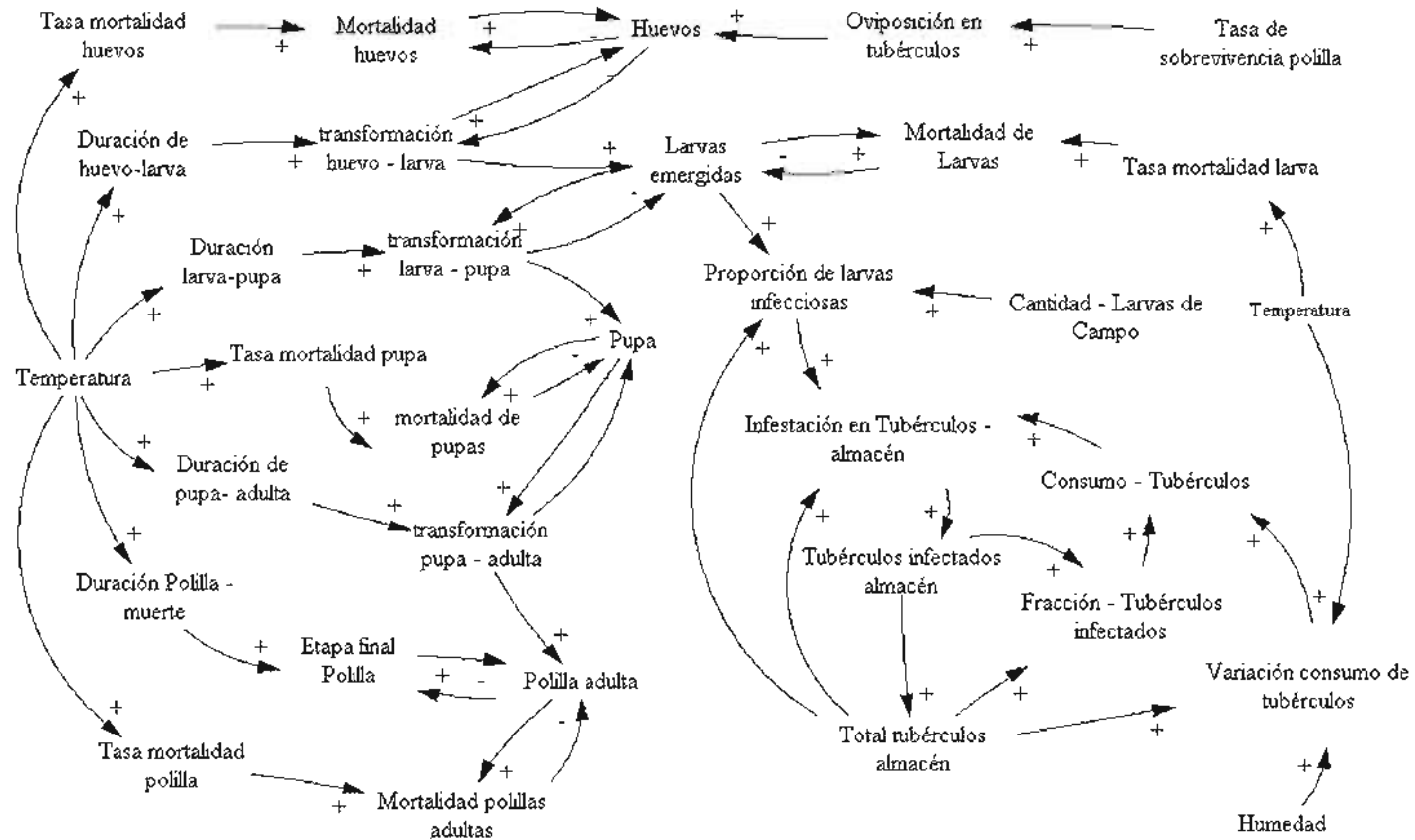


Fig. 3.3 Diagrama causal de la incidencia en los tubérculos en almacén

Fuente: Elaboración propia



### 3.3 CÓDIGO DE VARIABLES

Las variables encontradas dentro del sistema son detalladas en los siguientes cuadros de códigos y variables siendo el resultado de los elementos y factores.

**Cuadro 3.1** Cuadro de códigos y variables generales

N°	Clase	Símbolo	Definición	Unidad	Observación
1	Nivel	H	Huevo de la polilla de papa	Unidad	
2	Nivel	L	Larva emergida	Unidad	
3	Nivel	P	Pupa	Unidad	
4	Nivel	PA	Polilla Adulta	Unidad	
5	Flujo	EHL	Etapas de cambio de huevo a larva	Huevos / día	
6	Flujo	ELP	Etapas de cambio de larva a pupa	Larvas / día	
7	Flujo	EPA	Etapas de cambio de pupa a adulto	Pupas / día	
8	Flujo	FCP	Fin de Ciclo biológico de la polilla	Polilla / día	
9	Flujo	MH	Mortalidad – Huevo	Larvas / día	Cuadro 2.3
10	Flujo	ML	Mortalidad – Larva	Larvas / día	Cuadro 2.3
11	Flujo	MP	Mortalidad – Pupa	Larvas / día	Cuadro 2.4
12	Flujo	MPA	Mortalidad – Polilla Adulta	Larvas / día	Cuadro 2.4
13	Flujo	OT	Oviposición en Tubérculos	Huevos / día	
14	Exógena	TEM	Temperatura	°C	
15	Auxiliar	DHL	Duración de Huevo – Larva	Días	
16	Auxiliar	DLP	Duración de Larva – Pupa	Días	
17	Auxiliar	DPA	Duración de Pupa – Adulto	Días	
18	Auxiliar	DPM	Duración de Polilla Adulta – Muerte	Días	
20	Tasa	TMH	Tasa de Mortalidad – Huevo	1 / día	
21	Tasa	TML	Tasa de Mortalidad – Larva	1 / día	
22	Tasa	TMP	Tasa de Mortalidad – Pupa	1 / día	
23	Tasa	TMPA	Tasa de Mortalidad - Polilla Adulta	1 / día	

24	Tasa	TSP	Tasa de Supervivencia – P. Adulta	1 / día
----	------	-----	-----------------------------------	---------

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 3.2** Cuadro de códigos y variables – Incidencia en Follaje

Nº	Clase	Símbolo	Definición	Unidad	Observación
1	Nivel	FI	Follaje infectado	m <sup>2</sup>	
2	Nivel	FS	Follaje susceptible	m <sup>2</sup>	
5	Flujo	CF	Consumo Foliar	m <sup>2</sup> / día	Cuadro 2.5
6	Auxiliar	ACF	Área de consumo foliar	m <sup>2</sup> / día	
7	Auxiliar	CFD	Consumo foliar por día	1 / día	
8	Auxiliar	FFI	Fracción de follaje Infectado	Kg.	
9	Auxiliar	FIS	Follaje inicial susceptible	m <sup>2</sup>	
10	Auxiliar	CFI	Cantidad de Follaje Inicial	m <sup>2</sup>	
11	Auxiliar	PIL	Proporción Infecciosa de la larva	m <sup>2</sup> / día	
12	Auxiliar	PLI	Proporción de larvas infecciosas	Unidad	
13	Auxiliar	TF	Total follaje	m <sup>2</sup>	

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 3.3** Cuadro de códigos y variables – Incidencia en Campo

Nº	Clase	Símbolo	Definición	Unidad	Observación
1	Nivel	TIC	Tubérculos Infectados – Campo	Kg. / Ha.	
2	Nivel	TSC	Tubérculos Susceptibles – Campo	Kg. / Ha.	
5	Flujo	ITC	Infestación en tubérculos – Campo	(Kg./Ha)/día	
6	Exógena	AA	Altura de Aporque	cm.	Cuadro 2.8
7	Exógena	FR	Frecuencia de Riego	días	Cuadro 2.6
8	Exógena	TC	Tiempo de Cosecha	días	
9	Auxiliar	CLF	Cantidad de Larvas Provenientes de Follaje	Unidad	
10	Auxiliar	CTC	Consumo de Tubérculos en Campo	Kg./ ha /día	
11	Auxiliar	FTC	Fracción de Tubérculos Infectados en Campo	Kg.	

12	Auxiliar	ITC	Infestación de Tubérculos en Campo	Kg./ ha /día
13	Auxiliar	PLC	Proporción de Larvas Infecciosas	Unidad
14	Auxiliar	PTI	Proporción de Tubérculos Infecciosos	Kg./ ha
15	Auxiliar	CIC	Cantidad de Tubérculos Iniciales en Campo	Kg./ ha
16	Auxiliar	TTC	Total de Tubérculos en Campo	Kg./ ha /día
17	Auxiliar	VCC	Variación en Consumo de Tubérculos en Campo	Kg./ ha /día

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 3.4** Cuadro de códigos y variables – Incidencia en Almacén

N <sup>o</sup>	Clase	Símbolo	Definición	Unidad	Observación
1	Nivel	TIA	Tubérculos Infestados – Almacén	Kg. / Ha.	
2	Nivel	TSA	Tubérculos Susceptibles – Almacén	Kg. / Ha.	
4	Flujo	ITA	Infestación en Tubérculos de Almacén	(Kg./Ha)/día	
5	Exogena	HUM	Humedad	Porcentaje	Cuadro 2.7
6	Auxiliar	CLC	Cantidad de Larvas Provenientes de Campo	Unidad	
7	Auxiliar	CTA	Consumo de Tubérculos en Almacén	Kg. / día	
8	Auxiliar	CTI	Cantidad de Tubérculos Iniciales en Almacén	Kg./ ha	
9	Auxiliar	FTA	Fracción de Tubérculos Infecciosos en Almacén	Kg.	
10	Auxiliar	PLA	Proporción de Larvas Infecciosas	Unidad	
11	Auxiliar	PTA	Porción de tubérculos infectados	Kg./ ha	
12	Auxiliar	TTA	Total de tubérculos en almacén	Kg.	
13	Auxiliar	VCT	Variación en Consumo de Tubérculos en Almacén	Kg. /día	

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4 DIAGRAMA DE FORRESTER

Se presenta tres diagramas relacionados con las clases de infestación las cuales son la incidencia en follaje, en los tubérculos de campo y los de almacén.

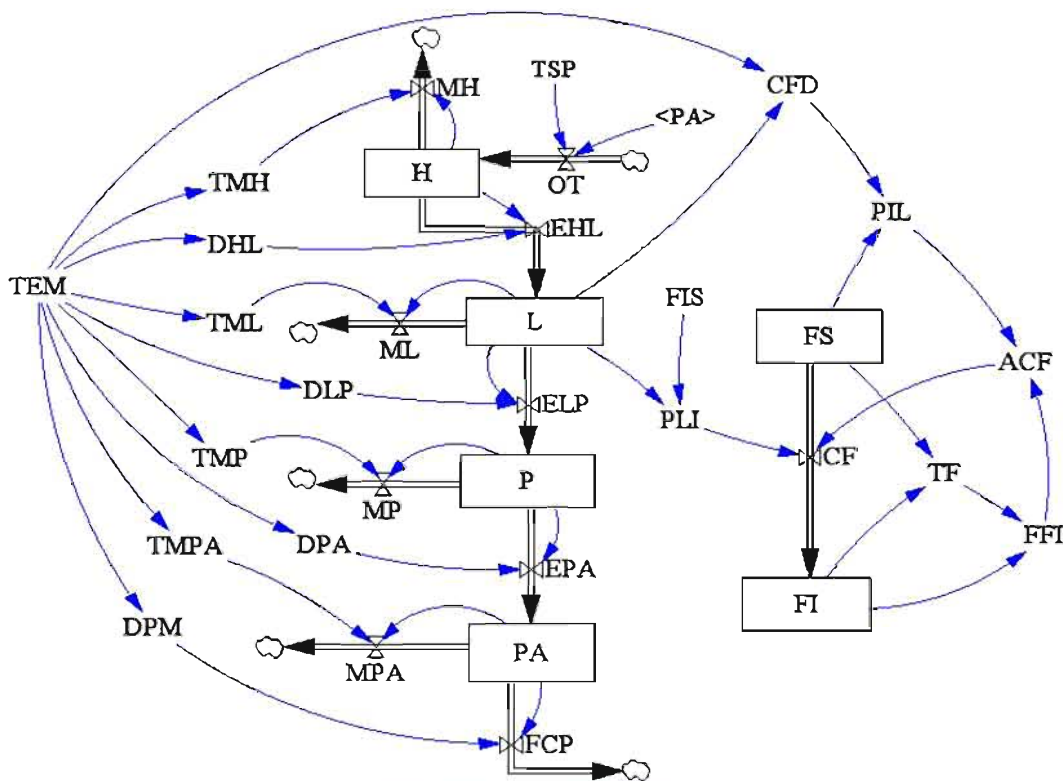


Fig.3.4 Diagrama de Forrester – Incidencia en Follaje

Fuente: Elaboración Propia

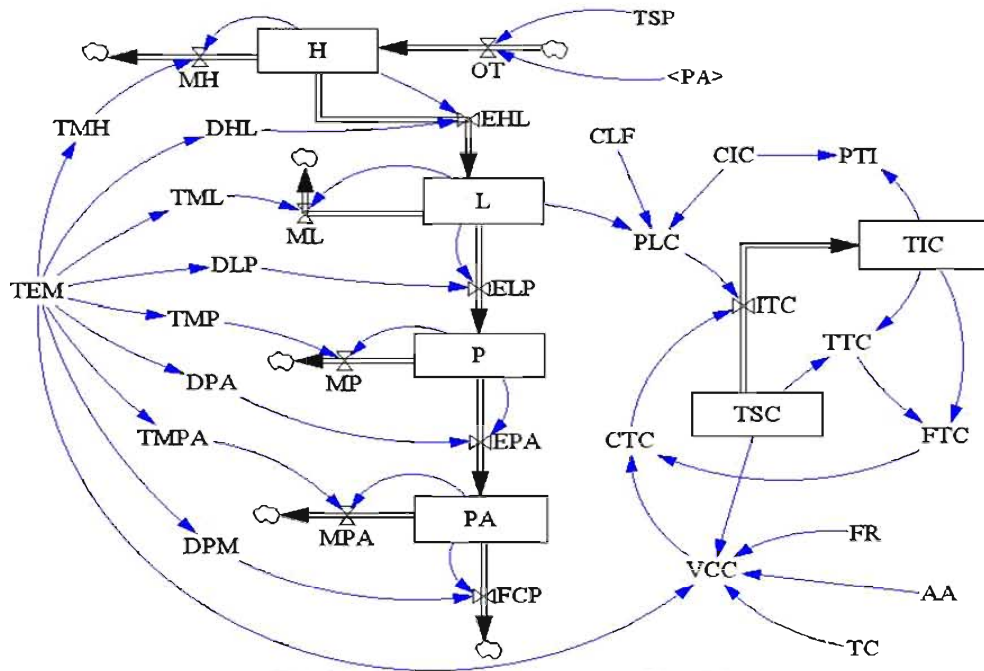


Fig.3.5 Diagrama de Forrester – Incidencia en tubérculos en campo

Fuente: Elaboración Propia

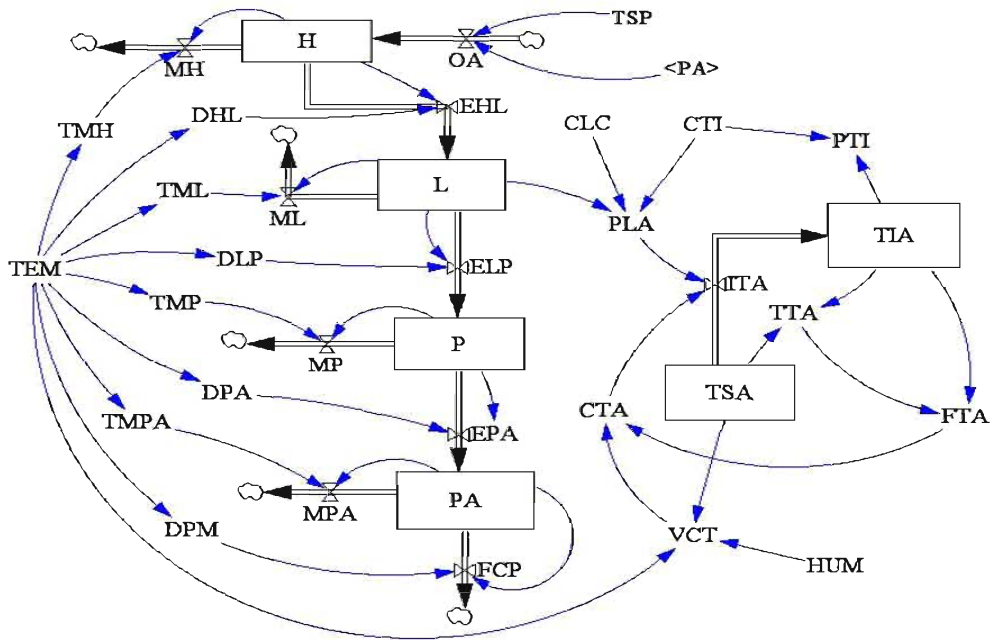


Fig.3.6 Diagrama de Forrester – Incidencia en tubérculos en almacén

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5 FORMULACIÓN DEL SISTEMA DE ECUACIONES

El sistema de ecuaciones que se desarrolla a continuación es el fruto del análisis que proporciona el diagrama de Forrester de la incidencia de la P. Operculella en los cultivos de papa.

#### 3.5.1 ECUACIONES DE NIVEL

Las ecuaciones de nivel son las siguientes:

$$d H / dt = OT - EHL - MH \quad [1]$$

$$d L / dt = EHL - ELP - ML \quad [2]$$

$$d P / dt = ELP - EPA - MP \quad [3]$$

$$d PA / dt = EPA - FCP - MPA \quad [4]$$

$$d FS / dt = - CF \quad [5]$$

$$d FI / dt = CF \quad [6]$$

$$d TSC / dt = - ITC \quad [7]$$

$$d TIC / dt = ITC \quad [8]$$

$$d TSA / dt = - ITA \quad [9]$$

$$d TIA / dt = ITA \quad [10]$$

Derivando se obtiene las ecuaciones como variables de nivel ya que reflejan los cambios en el tiempo:

$$H (t + \Delta t) = H (t) + \Delta t [OT - EHL - MH] \quad [11]$$

$$L (t + \Delta t) = L (t) + \Delta t [EHL - ELP - ML] \quad [12]$$

$$P (t + \Delta t) = P (t) + \Delta t [ELP - EPA - MP] \quad [13]$$

$$PA (t + \Delta t) = PA (t) + \Delta t [EPA - FCP - MPA] \quad [14]$$

$$FS (t + \Delta t) = FS (t) + \Delta t [- CF] \quad [15]$$

$$FI (t + \Delta t) = FI (t) + \Delta t [CF] \quad [16]$$

$$TSC (t + \Delta t) = TSC (t) + \Delta t [- ITC] \quad [17]$$

$$TIC (t + \Delta t) = TIC (t) + \Delta t [ITC] \quad [18]$$

$$TSA (t + \Delta t) = TSA (t) + \Delta t [- ITA] \quad [19]$$

$$TIA (t + \Delta t) = TIA (t) + \Delta t [ITA] \quad [20]$$

### 3.5.2 ECUACIONES DE FLUJO

Las ecuaciones de flujo encontradas en el diagrama de Forrester son las siguientes:

$$CF (t) = ACF (t) * PLI \quad [21]$$

$$EHL (t) = H (t) / DHL (t) \quad [22]$$

$$ELP (t) = L (t) / DLP (t) \quad [23]$$

$$EPA (t) = P(t) / DPA (t) \quad [24]$$

$$FCP (t) = PA (t) / DPM (t) \quad [25]$$

$$ITA (t) = CTA (t) * PLA \quad [26]$$

$$ITC (t) = CTC (t) * PLC \quad [27]$$

$$MH (t) = H (t) * TMH (t) \quad [28]$$

$$ML (t) = L (t) * TML (t) \quad [29]$$

$$MP (t) = P (t) * TMP (t) \quad [30]$$

$$MPA (t) = PA (t) * TMPA (t) \quad [31]$$

$$OT (t) = TSP (t) * PA (t) \quad [32]$$

### 3.5.3 ECUACIONES AUXILIARES

Las ecuaciones auxiliares obtenidas son:

$$ACF (t) = PIL (t) * FFI (t) \quad [33]$$

$$CTA (t) = FTA * VCT (t) \quad [34]$$

$$CTC (t) = FTC * VCC (t) \quad [35]$$

$$FFI (t) = FI / TF \quad [36]$$

$$FTA (t) = TIA / TTA \quad [37]$$

$$FTC (t) = TIC / TTC \quad [38]$$

$$ITA (t) = CTA (t) * PLI (t) \quad [39]$$

$$ITC (t) = CTC (t) * PLI (t) \quad [40]$$

$$PIL (t) = CFD (t) * FS \quad [41]$$

$$PLA (t) = ( CLC + L (t) ) / CTI \quad [42]$$

$$PLC (t) = (CLF+L (t) ) / CIC \quad [43]$$

$$PLI (t) = L (t) / FIS \quad [44]$$

$$PTI = ( TIC * 100 ) / CIC \quad [45]$$

$$TF = FS + FI \quad [46]$$

$$TTC = TSC + TIC \quad [47]$$

### 3.5.4 PORCENTAJE DE INCIDENCIA DE LA POLILLA DE PAPA

El conjunto de ecuaciones que describe el daño ocasionado por la polilla de papa son las siguientes:

Para determinar el porcentaje de daño ocasionado se considera los siguientes datos:: Incidencia, definida como el número de tubérculos infestados expresados en porcentajes del total de tubérculos muestreados

La fórmula para el cálculo del porcentaje de incidencia, es:

$$PI = \frac{\text{Número de tubérculos afectados}}{\text{Número total de tubérculos evaluados}} * 100 \quad [48]$$

Donde:

PI: Porcentaje de Incidencia

La intensidad de daño definida como el área afectada de cada tubérculo expresada en porcentaje total de área. La escala utilizada para su calificación es la propuesta para el centro Internacional de la Papa (CIP), para gusano blanco (*Premnotrypes latithorax*), por la característica de porcentajes puede ser aplicado para otros insectos que causan el daño al interior del tubérculo.



**Cuadro 3.5** Escala de intensidad de daño

Grado		Porcentaje	Porcentaje Intermedio
1	Ataque leve	0 – 25	12.5
2	Ataque moderado	26 – 50	37.5
3	Ataque fuerte	51 – 75	62.5
4	Ataque severo	76 – 100	87.5

**Fuente:** Mamani et. al. (1997).

Cuando la evaluación se realiza tomando datos de severidad, se puede obtener intensidad de daño, expresados en porcentaje, multiplicando el número de observaciones de cada grado de severidad por el porcentaje intermedio del grado, sumando estos productos dividiendo por el número total de observaciones.

Formula para el cálculo de la intensidad de daño:

$$\text{Intensidad de daño} = \frac{(o) * n_1(12.5) + n_2(37.5) + n_3(62.5) + n_4(87.5)}{\text{Número total de tubérculos evaluados}} \quad [49]$$

Las evaluaciones de infestación se efectuaron al inicio, al final de la época de almacenamiento y la intensidad de daño solo al final del mismo.

### 3.5.5 ECUACIÓN QUE DETERMINA LA INCIDENCIA ECONÓMICA

El cálculo de la pérdida económica de la incidencia de la plaga se da de la siguiente manera:

$$\text{Pérdida Económica} = \frac{\text{PI} * \text{PT}}{100} \quad [50]$$

Donde:

PI: Porcentaje de Infestación.

PT: Precio de la Cantidad de Tubérculos (Kg.)

## 3.6 MODELO MATEMÁTICO

### 3.6.1 DESCRIPCIÓN

Los factores responsables de crecimiento o decrecimiento poblacional; es decir, de las fluctuaciones de una población, pueden depender de su densidad (el número de individuos por área, por volumen, o por unidad habitable) o ser independientes de ella; pero primero se debe distinguir entre dos tipos de poblaciones:

**Especies que originan generaciones discretas:** Estas especies se van a reproducir y van a dar origen a una generación y va a existir un intervalo de tiempo entre generaciones. Los individuos reproductores, se reproducen y mueren. Por eso se dice que este tipo de poblaciones se reproduce a saltos.

**Especies que originan generaciones solapadas:** Las generaciones se superponen, los individuos nacen, llegan a una fase adulta, se reproducen, pero siguen viviendo, pudiendo volver a reproducirse. El crecimiento se daría de una manera escalonada.

Para el primer caso se aplican modelos matemáticos discretos, mientras que para el otro caso se utilizan modelos continuos.

Entre los factores independientes (los que manifiestan su efecto en la población independientemente del tamaño de ésta) tenemos el clima y el tiempo (temperatura, humedad, sequía y demás factores abióticos de control natural), los ciclos temporales y los siniestros (incendios, inundaciones, control químico). Estos factores modifican a las poblaciones de cualquier tamaño, sin que el tamaño influya en la probabilidad de aparición del factor.

En general, el crecimiento poblacional depende de la estrategia reproductiva de cada especie en su hábitat. Cuando la especie lo descubre pronto; de reproducirse una y otra vez en él; y de abandonarlo cuando comienza a ser desfavorable, se dice que ese organismo es oportunista estrategia  $r$ , referencia a las especies con una alta tasa de crecimiento. En el lado opuesto están las especies que viven en ambientes duraderos y estables, donde hay una capacidad ambiental de sostenimiento constante ( $r$ ), donde el crecimiento poblacional por especie no rebasa esa constante.

### 3.6.2 EL MODELO DE MALTHUS

Si  $N(t)$  indica el tamaño o densidad de una población en una región acotada y  $t$  es el tiempo,  $t \in [t_0, T]$ ,  $N'(t)$  es el ritmo con que varía  $N(t)$ . Este ritmo de variación depende de factores que contribuyen positivamente como los nacimientos y de factores que influyen negativamente como defunciones, entonces el modelo de Malthus dice que la "tasa de crecimiento de la población es proporcional a la población presente". Es decir,

$$N'(t) = r N(t) \Rightarrow N(t) = N_0 e^{rt} \quad [51]$$

El crecimiento es exponencial. Si  $r > 0$ , este crecimiento lleva a superpoblación a largo plazo. Si  $r < 0$ , hay decrecimiento exponencial y se produce la extinción de la población a largo plazo.

#### 3.6.2.1 TASA DE CRECIMIENTO

En general, los parámetros usados para medir las tasas de crecimiento poblacional (TC), de nacimiento ( $b$ ) y de muerte ( $d$ ) en seres humanos, son aplicables a los insectos.

$$b = \text{nacimientos} / \text{total insectos} \quad [52]$$

$$d = \text{muertes} / \text{total insectos} \quad [53]$$

$$TC = r = (b - d) / N \quad [54]$$

Donde:

$N$  es el número inicial de individuos.

$TC$  es la tasa intrínseca.

La tasa  $r$  se vuelve constante bajo condiciones ideales, de acuerdo a la capacidad de sustento  $k$  de un ecosistema estable, da origen a la curva logística o sigmoide de crecimiento poblacional:

$$\Delta N / \Delta t = r [k - N / k] N \quad [55]$$

Lo común es que  $b - d$  cambie, en el tiempo  $t$ , aprovechando el ambiente propicio. Al multiplicar ambos lados de la ecuación [4] por  $N$ , tenemos que:

$$r N / \Delta t = b - d \quad [56]$$

Como  $b - d$  puede sufrir cambios en el tiempo, se representa con la siguiente expresión diferencial  $\Delta N / \Delta t$ .

Sustituyendo  $b - d$ , por su expresión diferencial, nos queda:

$$r N = \Delta N / \Delta t \quad [57]$$

Que es la llamada curva exponencial de crecimiento (en forma de J), más comúnmente expresada como:

$$dN / dt = r N \quad [58]$$

La cual se transforma por logaritmos en:

$$N = N_0 e^{rt} \quad [59]$$

### 3.6.3 MODELO EXPONENCIAL DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL

Una población del tamaño inicial  $P_0$  de polillas de papa, después del tiempo  $t$  crecerá al tamaño  $P_t$  dependiendo del lapso transcurrido y del valor de  $r$ , según la ecuación [9] se tiene:

$$P_t = P_0 e^{rt} \quad [60]$$

$$\text{ó } d(P) / d(t) = r.P \Rightarrow P_t = P_0 e^{rt} \quad [61]$$

Donde:

$P_t$  = Número de insectos después de transcurrido el tiempo  $t$ .

$P_0$  = Número original de insectos, en el tiempo cero.

$e = 2.71828$ , base de logaritmos naturales.

$t$  = Tiempo transcurrido entre  $P_0$  y  $P_t$

$r = r_m [r_{\text{maltusiana}}]$  = tasa intrínseca (o instantánea) de crecimiento de población.

$$0 \leq r_m \leq 1$$

### 3.6.4 TRANSFORMADA INVERSA: DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL

Una variable aleatoria  $X$  tiene distribución exponencial de parámetro  $\lambda > 0$  si su función de densidad es:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0; \quad [62]$$

Integrando, su función de distribución, o de probabilidad acumulada, es:

$$F(x) = \Pr(X \leq x) = 1 - e^{-\lambda x}, x \geq 0. \quad [63]$$

La interpretación del parámetro  $\lambda$  es sencilla, pues coincide con la inversa de la media de la variable aleatoria  $X$ .

Entonces:

$$F(x) = R = 1 - e^{-\lambda x} \quad x \geq 0 \quad [64]$$

Resolviendo  $X$  en términos de  $R$ :

$$1 - e^{-\lambda X} = R \quad [65]$$

$$e^{-\lambda X} = 1 - R \quad [66]$$

$$-\lambda X = \ln(1 - R) \quad [67]$$

$$X = (-1/\lambda) * (\ln(1 - R)) \quad [68]$$

### 3.7 DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN

Para poder determinar la incidencia de la plaga sobre los cultivos de papa, es necesario que el operador o agricultor realice toma de muestras, ya que solo visualmente se puede observar la presencia de la *P. Operculella* y los factores que influyen en su incidencia.

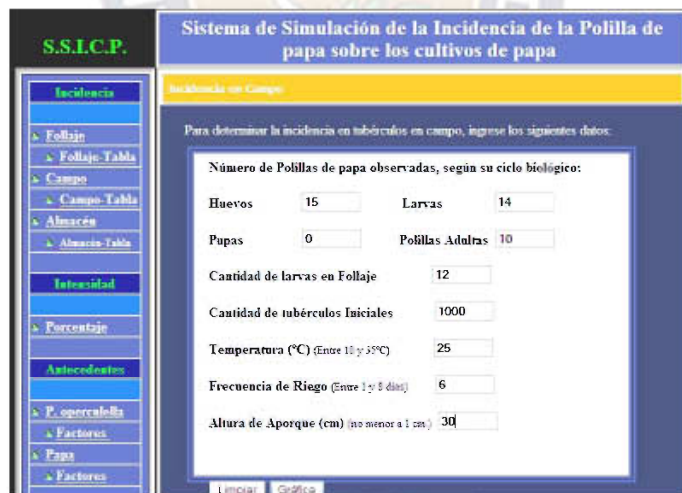
Prueba realizada con el Sistema prototipo, S.S.I.C.P., en la primera pantalla se elige una de las opciones de menú.



**Pantalla 1: Principal - S.S.I.C.P.**

**Fuente:** Elaboración Propia

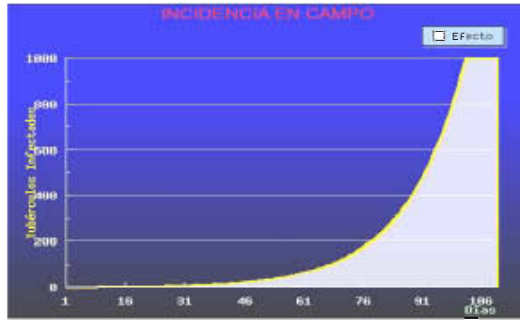
La siguiente pantalla muestra los datos que deben ser introducidos para determinar la incidencia en los tubérculos en campo.



**Pantalla 2: Incidencia en tubérculos en campo**

**Fuente:** Elaboración Propia

Los datos introducidos permiten mostrar gráficamente la incidencia de la polilla en el campo.



**Pantalla 3:** Gráfica - Incidencia en campo

**Fuente:** Elaboración Propia



**Pantalla 4:** Porcentaje de incidencia

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.8 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con el propósito de verificar el programa de simulación, se toma datos del trabajo realizado por Fernández S. (1996).

**Cuadro 3.6** Comparación de resultados obtenidos - Follaje

Temperatura °C	11	15	25	35
Sistema Real (%)	7	68	86	93
Sistema de Simulación (%)	6	75	100	100

**Fuente:** Elaboración Propia

Aplicando la prueba de los promedios (mencionado en el Capítulo II) donde:

$$H_0 : \mu = \frac{1}{2} \quad \text{y} \quad H_1 : \mu \neq \frac{1}{2}$$

Combinada con el estadístico de la  $t$  de student se tiene:

$$\bar{X} = 63.5;$$

$$\bar{X} = 70.25;$$

$$\Sigma(x_1)^2 = 20884.250$$

$$\Sigma(x_2)^2 = 254690.910$$

El error estándar de la diferencia entre las dos medias obtenido es de: 62.138

La razón de  $t$  es de: 2.151;

Grados de libertad:  $n+m-2 = 6$

El valor en tabla es de 2.447, esto comprueba que la diferencia de medias se encuentra en un intervalo aceptable de error donde:

$$2.151 < 2.447$$

Realizando la comprobación para la infestación en tubérculos en campo, con un promedio de temperatura de 26°C y altura de aporque de 30 cm.

**Cuadro 3.7** Comparación de resultados obtenidos - Campo

Frecuencia de Riego	c / 8 días	c / 6 días	c / 5 días
Sistema Real (%)	72.62	68.23	63.66
Sistema de Simulación (%)	79	71	62

**Fuente:** Elaboración Propia

Se tiene que:

$$\Sigma(x_1)^2 = 13981.5929$$

$$\Sigma(x_2)^2 = 15126$$

El error estándar de la diferencia entre las dos medias obtenido es de: 69.65

La razón de  $t$  es de: 1.993;

Grados de libertad:  $n+m-2 = 4$

El valor en tabla es de 2.776, esto comprueba que la diferencia de medias se encuentra en un intervalo aceptable de error donde:

$$1.993 < 2.776$$

Con un promedio de temperatura de 26°C y frecuencia de riego cada 5 días. Se tiene que:

$$\Sigma(x_1)^2 = 13593.31$$

$$\Sigma(x_2)^2 = 14017$$



**Cuadro 3.8** Comparación de resultados obtenidos – Campo (altura de aporque)

Altura de Aporque (cm.)	22	32	27
Sistema Real (%)	71,54	64,11	66,07
Sistema de Simulación (%)	70	66	69

**Fuente:** Elaboración Propia

El error estándar de la diferencia entre las dos medias obtenido es de: 67.836

La razón de  $t$  es de: 1.998;

Valor en tabla = 2.776;

Esto comprueba que la diferencia de medias se encuentra en un intervalo aceptable de error donde:

$$1.998 < 2.776$$

Los siguientes datos se extrajeron del informe de Mamani et. al. (1997) del Proyecto Internacional de la papa. La comprobación para la infestación en tubérculos que se encuentran en almacén, con una humedad promedio de 75%. Se tiene que:

**Cuadro 3.9** Comparación de resultados obtenidos - Almacén

Temperatura °C	9	11	25
Sistema Real (%)	0	6	86
Sistema de Simulación (%)	5	9	100

**Fuente:** Elaboración Propia

$$\Sigma(x_1)^2 = 7432$$

$$\Sigma(x_2)^2 = 10106$$

El error estándar de la diferencia entre las dos medias obtenido es de: 54.65

La razón de  $t$  es de: 1.256;

Grados de libertad:  $n+m-2 = 4$

La diferencia de medias se encuentra en un intervalo aceptable de error donde:

$$1.256 < 2.776$$



## CAPÍTULO 4

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

*El desarrollo de los manejos integrados intentan optimizar la producción y garantizar su productividad a largo plazo, proteger la salud humana y la calidad del ambiente (Quesada, 1979).*

#### 4.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones a las cuales se llegaron se describen a continuación:

Los resultados obtenidos demuestran la hipótesis planteada ya que el modelo desarrollado permite obtener información del comportamiento y del daño que puede causar la polilla de papa en los cultivos y en el almacenamiento de papa.

Con relación con los objetivos, se desarrolla un prototipo, mediante la dinámica de sistemas, para simular el sistema de incidencia socioeconómica de la *Phthorimaea operculella* sobre los cultivos de papa con el análisis, diseño y pruebas realizadas.

Mediante el análisis del grado de infestación y estudios en el área, se aplica un modelo matemático que permite determinar la pérdida ocasionada por la plaga en el cultivo.

Mediante el análisis de la dinámica poblacional de la plaga en el transcurso del cultivo y/o almacenamiento, se obtuvo una relación que permite estimar su intensidad de daño.

El desarrollo de un modelo de simulación de cualquier sistema, puede parecer sencillo a simple vista, pero el estudio detallado demuestra que todo sistema, por pequeño que parezca tiene complejidad.

La simulación no representa la realidad total en un 100%, en ciertos casos puede dar respuestas complejas, pero con la ayuda de esta herramienta puede hacerse pruebas sin afectar a la realidad.

## 4.2 RECOMENDACIONES

Con respecto a los parámetros que intervienen en el modelo, se recomienda considerar los promedios o medias que se presentan durante el desarrollo del cultivo y el tiempo de almacenamiento. Además, considerar los datos históricos de los seguimientos en campo de acuerdo a las realidades locales elaborados por investigadores del área.

Tomar en cuenta que se pueden presentarse variaciones ya sean mínimas o máximas, al tener un mismo valor de algún parámetro con la variación de los demás factores influyentes en el nivel de daño.

Experimentar el uso del modelo de simulación para aplicarlo a los diferentes hospederos de la *P. operculella*.

Considerar el modelo para observar el comportamiento de daño en los cultivos, con diferentes especies de insectos ya sea perteneciente a la familia de la *P. operculella* que atacan en integridad a la planta de papa u otras especies que atacan a partes específicas de ésta.

El modelo considera los diferentes casos que pueden presentarse, con relación a los factores influyentes, en el daño producido por la *P. operculella*; lo que permite que el sistema de simulación sea aplicable a cualquier piso ecológico apto para el cultivo de papa.

Si en la validación del modelo se disminuye o incrementa la temperatura, el tamaño inicial de cultivo o la cantidad de tubérculos almacenados, también se recomienda incrementar o disminuir el número de cada uno de los estados de desarrollo del insecto.

Continuar el presente estudio tomando en cuenta la información referente al efecto del suelo con relación a la producción de tubérculos de papa y combinarlas con los efectos que intervienen con la incidencia de la polilla de papa.

Se sugiere continuar la investigación considerando la conservación e incremento de los enemigos naturales para mantener a la población de la *P. operculella* bajo el umbral de control.

En la evaluación de un problema de plagas que puede ser motivo para desarrollar un programa de manejo integrado no basta la perspectiva del técnico sino también la del agricultor, sería inútil esforzarse en solucionar un problema que el agricultor no reconoce como tal.



## REFERENCIAS

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banks, J. (1998). *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. New York: John Wiley & Sons.
- Borea, O. & Bejarano, C. (s.f.). Fundación PROINPA: Promoción e Investigación de productos andinos. *Experiencias en el manejo integrado de plagas de papa*.
- Catacora, T., G. F. (1996). *Producción potencial del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en "La Violeta". Respuestas varietales a cambios estacionales y a una alimentación hídrica restringida* (pp. 6-8, 10-12, 59-64). Tesis para optar al título de Ing. Agrónomo, FCAPF y V-UMSS, Cochabamba, Bolivia.
- Centro Internacional de La Papa, (1983). *Principales enfermedades, nematodos e insectos de la papa* (95p.). Lima: autor
- Chura, J. (1992). *Ciclo biológico de la polilla de papa Phthorimaea operculella. (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), en laboratorio*. Tesina para optar al título de Tec. Agr., Escuela Técnica Superior de Agronomía "Jorge Trigo Andia". Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- Cisneros, F. (1988). *Estrategias de control de las polillas de la papa, dentro de un esquema de control integrado* (p. 131). Trabajo presentado en el curso internacional: Manejo integrado de las palomillas (Lepidoptera: Gelechiidae) de la papa. ICA-CIP. Bogotá.
- Coss Bu, R. (1991). *Simulación un enfoque práctico* (17ª Reimpresión), (pp. 12-64). México: Limusa.
- Dripps, J. E., Smilowitz, Z. (1989). Growth analysis of the potato plants damaged by Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) at different plant growth stages, (pp. 854-867). *Environment Entomology* 18 (5).
- Fernández, S. (1996). *Efecto de dos prácticas culturales sobre poblaciones de insectos plagas de tubérculos del cultivo de papa (Solanum tuberosum L)*. Lara, Venezuela: Centro de Investigaciones Agropecuarias del estado Lara.

- Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos. (s.f.). *Evaluación de diferentes formas de control para la polilla de la papa (Phthorimaea operculella)* Cochabamba: autor.
- Gallo, D. y cols. (1988). *Manual de entomología agrícola*. 2da ed. (CERES). Sao Paulo, Brasil: Universidad de Sao Paulo, Departamento de Entomología.
- Gamboa, M. & Notz A. (1990). *Influencia de la temperatura en el desarrollo y oviposición de Phthorimaea operculella (Lepidoptera: Gelechiidae)* Lara, Venezuela: Instituto de Zoología Agrícola, Facultad de Agronomía, UCV.
- Lopez-Avila, A. (1988). *Biología y ecología de la palomilla de la papa Phthorimaea operculella. Zeller, (Lepidoptera: Gelechiidae)*. Curso internacional: Manejo integrado de las palomillas (Lepidoptera: Gelechiidae) de la papa. ICA-CIP. Bogotá.
- Lovenstein, H. et. al. (1992). Centre for agrobiological research, *Principios y teorías de la producción Agrícola*.
- Mamani, P., Pereira R., Gonzalez S., Botello R. & Gandarillas E. (1997). Evaluación de diferentes formas de control para la polilla de la papa. Centro Warisata, Información y Estudios para el Desarrollo Humano Sostenible: *Journal en Agricultura y Desarrollo Sostenible 1. Febrero 1997*
- Martínez, R. A. (1986). *Dinámica de sistemas* (Tomo I). Madrid: Madrid
- Palacios, M. (1997). Principales plagas de la papa: la polilla de la papa y la mosca minadora. *Manual de Capacitación: Producción de Tubérculos-semillas de Papa. Fascículo 3.7.*
- Evaluación de diferentes formas de control para la polilla de la papa (*phthorimaea operculella*). (s.f.). Cochabamba, Boliva: Promoción e Investigación de Productos Andinos
- Raman, K. V. (1980). La polilla de la papa. *Boletín de información técnica No 3*, 14. Lima.
- Salas, J. (1992). *Manejo integrado de insectos plaga del cultivo de la papa en el estado de Lara*. Lara, Venezuela: FONAIAP, PRACIPA.

Shannon, R. E., Long S. S. & Buckles B. P. (1981). *Operations Research Methodologies Industrial Engineering* (vol. 12, pp. 364-367). AIIE Trans.

Valencia, L. (1986). Las palomillas de la papa (Lepidoptera: Gelechiidae): Identificación, distribución y control. *Memorias sobre el control integrado de plagas de papa*. Bogotá, Colombia: CIP-ICA.

Wellik, M. J. et. al. (1981). *Effects of simulated insect defoliation on potatoes*. Am. Potato J. 58 (pp. 627-632).

Zenner de Polania, I. (1986). Guía general de manejo de plagas en el cultivo de la papa (36p.). Instituto Colombiano de Agropecuaria. Bogotá.





## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Aracil, J. & Gordillo F. (1997). *Dinámica de sistemas* [Versión electrónica]. Madrid: Alianza Editorial. Extraído en noviembre, 2006 de [http://www.isdefe.es/webisdefe.nsf/web/din%C3%A1mica+de+sistemas+aplicada/\\$file/dinamicaaplicadaBN.pdf](http://www.isdefe.es/webisdefe.nsf/web/din%C3%A1mica+de+sistemas+aplicada/$file/dinamicaaplicadaBN.pdf)
- Promoción e Investigación de Productos Andinos [FTDA-Altiplano], (s.f.). *Estudio de Identificación, Mapeo y Análisis Competitivo de la Cadena Productiva de “Papa” en la Macro Región del Altiplano*. Extraído en diciembre, 2006 de <http://www.ftda-altiplano.org/Estudio%20cadena20papa/informe.htm>
- Crespo, V. F. (2004). *Características del subsector de la papa en Bolivia* [Versión electrónica]. La Paz: AGRODATA - Consultora Multidisciplinaria para el Desarrollo Rural para el Proyecto INNOVA. Extraído en diciembre, 2006 de <http://www.innovabolivia.org>.
- Infoagro (2003). *El cultivo de la patata*. Extraído en enero, 2007 de <http://www.infoagro.com>
- Torres, A. (s.f.). *Conceptos elementales de sistemas*. Extraído en febrero de 2007 de [http://www.psych.org/public\\_info/insanity.cfm](http://www.psych.org/public_info/insanity.cfm).
- Devroye L. (s.f.). Página de sobre generación de variables aleatorias. Extraído en abril, 2007 de <http://cg.scs.carleton.ca/~luc/rnbookindex.html>
- Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos. Consulta en octubre, 2006, marzo, 2007 de [www.proinpa.com](http://www.proinpa.com)



## ANEXOS

## ANEXO A

### PUNTOS CRÍTICOS PARA LA PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DEL SECTOR PAPERERO

	Factores internos	Fortalezas	Debilidades
<b>Factores Externos</b>		1.- Más de 200 mil UP involucradas en la producción de la papa; 2.- Consumo per cápita de papa fresca en Bolivia es de 90 kg/hab - año; 3.- Alta calidad de semillas; 4.- Crecimiento de up en valles mesotérmicos y tierras bajas; 5.- Compromiso de la cooperación internacional con el sector. 6.- Conjunto de instituciones comprometidas con el sub sector.	1.- Pocos líderes visibles ("champions") de la cadena; 2.- falta de extensión masiva al productor de papa semilla y fresca; 3.- falta de mayor infraestructura productiva (camino, riego, almacenamiento); 4.- Baja demanda de productos transformados; 5.- Débil o ninguna asociación de productores de papa; 6.- Dualidad de visiones y misiones entre instituciones, a veces contradictorias.
<b>Oportunidades</b>	1.- Mercados vecinos fáciles de llegar por ACs; 2.- Mercado externo de productos transformados sin explotar; 3.- Recursos de la coop. intern. Pueden ser dirigidos a generar líderes de la cadena; 4.- Mejor coordinación entre instituciones de apoyo; 5.- Participación popular apoya a municipio productivo. 6.- Falta de mayor infraestructura productiva.	<b>PUNTOS CRÍTICOS F-O:</b> 1.- No se incentiva la producción de papa en tierras bajas.	<b>PUNTOS CRÍTICOS D-O:</b> 1.- No se realiza extensión masiva a productores de papa semilla y consumo.  2.- Pocos líderes visibles de la cadena.  3.- Mercado mayorista poco desarrollado.
<b>Amenazas</b>	1.- Producción de papa mejorada en países vecinos es más competitiva; 2.- Productos sustitutos entrando con más agresividad; 3.- Falta de mayor infraestructura productiva.	<b>PUNTOS CRÍTICOS F-A:</b> 1.- No se incentiva el consumo de papa nativa.	<b>PUNTOS CRÍTICOS D-A:</b> 1.- La infraestructura productiva es deficiente.

Fuente: FDTA-ALTIPLANO. Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Altiplano

## ANEXO B

### MARGENES DE COMERCIALIZACIÓN

Los precios y márgenes de comercialización son indicadores importantes para determinar la forma en que funciona el mercado, y de qué manera se forman los precios a partir del productor hasta llegar al consumidor.

El siguiente es el caso armado para una papa producida en Morochata, cuyo rendimiento declarado por los productores en los talleres realizados con ellos en Cochabamba fue de 12 mil kg por hectárea, además de declarar que el costo de producción de dicha papa fue de Bs 10 mil. Entonces en el siguiente cuadro se muestra la escalada de precios hasta llegar al mercado de La Rodríguez de La Paz.

PAPA CONSUMO	PRECIO COMPRA			PRECIO VENTA		MARGEN (Bs)	MARGEN (%) VALOR
	Arroba (Bs.)	carga 9 @ (Bs.)	flete/carga (Bs.)	costo prod. (Bs.)			
PRODUCTOR	10	90	10	100	Bs/carga 9@	10,00	10%
INTERMEDIARIO 1	12	110	10	120	Bs/carga 9@	40,00	33%
MAYORISTA 1	17	160	10	170	Bs/carga 9@	28,00	16%
MINORISTA	22	198	10	208	Bs/carga 9@	8,00	5%
CONSUMIDOR MERCADOS	24	216					

**Fuente:** FDTA-ALTIPLANO. Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Altiplano

En el cuadro, se tiene al primer actor que es el productor de papa fresca al cual le cuesta producir hasta tenerla lista Bs 90,00, por carga de 9 arrobas. Produce 12 mil kg. por hectárea, tiene disponibles para la venta 3 174 arrobas de papa ó 353 cargas de 9 arrobas producidas. De está, el 40% es de 1ª para la venta, el 22% de 2ª para semilla o para papa consumo, 20% es de 3ª para autoconsumo en su “kayro”, y finalmente 18% es de 4ª la usa para elaboración de chuño y tunta de autoconsumo. En el proceso de oferta y demanda el productor tiene la posibilidad de obtener por la venta de su papa Bs. 110 la carga de 9 arrobas, Se obtiene Bs 24 090.-, que equivalen a Aquí es donde existe una gran contradicción entre el costo de producir sus 3 hectáreas de Bs 10.000 por hectárea y de obtener de pago solamente Bs 8.030.- por hectárea producida. Los productores no conocen su real costo de producción.

## ANEXO C

### BOLIVIA: RENDIMIENTO AGRÍCOLA Y VARIACIÓN POR CULTIVOS SEGÚN CAMPAÑAS

#### AGRICOLAS 2003/2004 Y 2004/2005

CULTIVOS	RENDIMIENTO (Kg./Ha.)		VARIACIÓN (%)
	2003 / 04 (p)	2004 / 05 (e)	
<b>CEREALES</b>			
ARROZ	3.006	2.591	-13,81
CEBADA GRANO	651	662	1,68
MAIZ GRANO	1.980	2.507	26,64
QUINUA	565	572	1,07
SORGO (1)	2.876	3.020	5,00
TRIGO (1)	900	887	-1,47
<b>ESTIMULANTES</b>			
CAFÉ	980	974	-0,59
<b>FRUTAS</b>			
BANANO/PLATANO	9.879	9.842	-0,37
DURAZNO	5.495	5.510	0,28
MANDARINA	10.570	10.515	-0,53
NARANJA	7.361	7.291	-0,95
PIÑA	12.050	12.324	2,27
VID	6.244	6.238	-0,10
<b>HORTALIZAS</b>			
AJO	4.871	4.849	-0,45
ARVEJA	1.639	1.652	0,77
CEBOLLA	7.057	7.116	0,85
HABA	1.788	1.790	0,13
MAIZ CHOCLO	2.883	2.884	0,03
TOMATE	16.614	16.770	0,94
<b>INDUSTRIALES</b>			
ALGODON	665	369	-44,50
CAÑA AZUCAR	48.879	49.125	0,50
GIRASOL (2)	820	800	-2,44
MANI	1.152	1.154	0,14
SOYA (1)	1.824	1.750	-4,10
SESAMO	735	500	-32,02
RICINO	1.300	1.000	-23,08
<b>TUBERCULOS</b>			
PAPA	6.005	6.058	0,89
YUCA	10.098	10.075	-0,23
<b>FORRAJES</b>			
ALFALFA	6.013	6.080	1,11
CEBADA BERZA	2.137	2.149	0,54

(p): Preliminar.

(e): Estimado

(1) Incluye campaña de verano e invierno

(2) Corresponde a campaña de invierno

FUENTE: Dirección General de Desarrollo Rural, CAO y SEDAGs.  
ELABORACION: Dirección General de Desarrollo Rural. VDRA - MDRayMA.

## ANEXO D

### LA PAZ: PRODUCCION AGRICOLA, VARIACION Y ESTRUCTURA POR CULTIVOS SEGÚN CAMPAÑAS AGRICOLAS 2003/2004 Y 2004/2005

CULTIVOS	PRODUCCION (Tm)		VARIACION (%)	ESTRUCTURA 2005 (%)
	2003 / 04 (p)	2004 / 05 (e)		
CEREALES	72.878	75.070	3,01	9,93
ARROZ	22.659	22.618	-0,18	2,99
CEBADA GRANO	15.402	16.731	8,63	2,21
MAIZ GRANO	24.200	24.578	1,56	3,25
QUINUA	8.047	8.555	6,31	1,13
TRIGO	2.570	2.588	0,70	0,34
ESTIMULANTES	23.780	23.650	-0,55	3,13
CAFE	23.780	23.650	-0,55	3,13
FRUTAS	222.271	220.936	-0,60	29,24
BANANO/PLATANO	126.100	125.433	-0,53	16,60
DURAZNO	4.074	4.139	1,58	0,55
MANDARINA	30.800	30.735	-0,21	4,07
NARANJA	56.210	55.502	-1,26	7,35
PIÑA	2.868	2.893	0,89	0,38
VID	2.219	2.235	0,69	0,30
HORTALIZAS	38.066	38.185	0,31	5,05
AJO	336	333	-0,78	0,04
ARVEJA	5.771	5.865	1,63	0,78
CEBOLLA	9.126	9.054	-0,79	1,20
HABA	14.059	14.077	0,13	1,86
MAIZ CHOCLO	4.842	4.883	0,85	0,65
TOMATE	3.846	3.892	1,19	0,52
INDUSTRIALES	21.378	21.508	0,61	2,85
ALGODON	0	0	0,00	0,00
CAÑA AZUCAR	20.880	21.005	0,60	2,78
GIRASOL	0	0	0,00	0,00
MANI	498	503	1,01	0,07
SOYA	0	0	0,00	0,00
SESAMO	0	0	0,00	0,00
RICINO	0	0	0,00	0,00
TUBERCULOS	234.860	239.921	2,16	31,75
PAPA	195.443	200.593	2,64	26,55
YUCA	39.417	39.329	-0,23	5,20
FORRAJES	135.469	136.348	0,65	18,04
ALFALFA	34.472	34.281	-0,55	4,54
CEBADA BERZA	100.997	102.066	1,06	13,51
T O T A L	748.702	755.618	0,92	100,00

(p): Preliminar.

(e): Estimado

FUENTE: Dirección General de Desarrollo Rural y SEDAG – La Paz.  
ELABORACION: Dirección General de Desarrollo Rural. VDRA – MDR AyMA

## ANEXO E

### VALOR ALIMENTICIO DE ALIMENTOS QUE SE PRODUCEN EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

Alimentos	En100 gramos de parte comestible		
	Energía Kcal.	Proteína g.	Hierro Mg.
<b>Sin Transformación</b>			
<b>Papa</b>	<b>93</b>	<b>2,7</b>	<b>1,0</b>
<b>Tunta</b>	<b>323</b>	<b>1,9</b>	<b>3,3</b>
<b>Chuño</b>	<b>333</b>	<b>4,0</b>	<b>0,9</b>
Arroz	359	6,1	1,6
Haba Fresca	84	11,4	3,2
Quinua	370	11,8	4,2
Tarwi	369	42,2	7,8
Cebolla	49	1,4	1,2
Maíz (Choclo)	103	2,6	1,0
Zanahoria	42	0,7	0,8
Carne de res	135	20,2	3,8
Carne de pollo	170	18,2	1,5
Carne de cerdo	216	15,5	1,6
Leche fluida	65	3,3	0,3
Plátano	83	1,5	0,6
<b>Transformados</b>			
Queso fresco	308	19,0	1,4
Harina de trigo	359	10,5	0,6
Harina de maíz	367	6,6	3,7
Mote de maíz	103	2,1	1,4

**Fuente:** FDTA-ALTIPLANO. Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Altiplano

## ANEXO F

### PRESENTACIÓN DE PANTALLAS

El objetivo es mostrar los resultados arrojados por el sistema, prototipo de simulación del control difuso de pesticidas.

A continuación, se observa los resultados que se obtienen con la ejecución del prototipo, la pantalla de presentación es mostrada en la página 68. La Pantalla F.1 muestra los datos de entrada para observar la incidencia de la P. operculella en el follaje. Estos datos deben estar dentro del límite establecido.

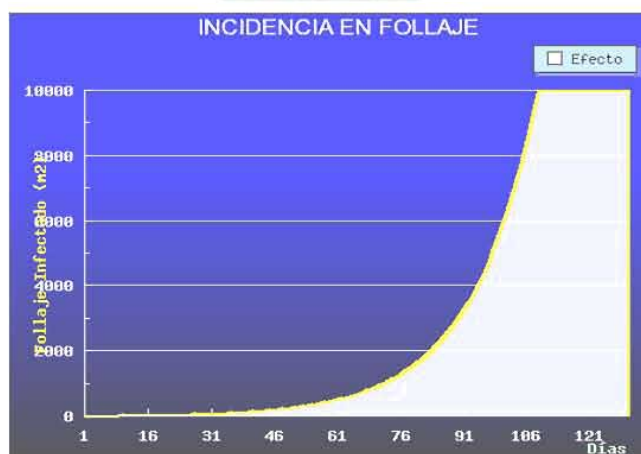
**Incidencia en Follaje:**

Para determinar la incidencia en el follaje, ingrese los siguientes datos.

Número de Polillas de papa observadas, según su ciclo biológico:			
Huevos	<input type="text" value="11"/>	Larvas	<input type="text" value="26"/>
Pupas	<input type="text" value="14"/>	Polilla Adultas	<input type="text" value="18"/>
Temperatura (°C)	<input type="text" value="22"/>		
Cantidad de Follaje Inicial	<input type="text" value="1000"/>		

Pantalla F.1 Datos de entrada para la incidencia en follaje

El resultado es una gráfica que muestra el daño en el follaje en el transcurso del tiempo de cultivo, que varía según la temperatura.



Pantalla F.2 gráfica del follaje infestado



Según los datos introducidos se puede observar un crecimiento exponencial que se incrementa significativamente a partir de los 76 días transcurridos. El follaje es infestado en su totalidad a partir de los 106 días.

La Pantalla F.3 muestra los datos de entrada para la incidencia en los tubérculos que se encuentran almacenados. Se considero que la etapa dañina es la larva

**Incidencia en Tubérculos en Almacén**

Para determinar la incidencia en tubérculos que se encuentran en almacén, ingrese los siguientes datos:

**Número de Polillas de papa observadas, según su ciclo biológico:**

Huevos	54	Larvas	11
Pupa	3	Polilla Adulta	5

Cantidad de Tubérculos en almacén: 1000

Tiempo de Almacenamiento en meses: 9

Temperatura (°C): 11

Humedad (%): 95

Limpiar Gráfica

**Pantalla F.3** Datos de entrada de la incidencia en almacén

La Pantalla F.4 muestra que el efecto de la polilla no es significativo alcanzando el 8.9% del total, en los meses que los tubérculos se encuentran en almacén, con una combinación de temperatura baja y humedad alta.



**Pantalla F.4** gráfica de tubérculos infestados en almacén

La Pantalla F.5 muestra los datos de entrada para calcular la intensidad de daño ocasionado en los tubérculos, al finalizar la cosecha o en el almacenamiento.

**Intensidad de Daño**

Para determinar la Intensidad de daño, ingrese los siguientes datos:

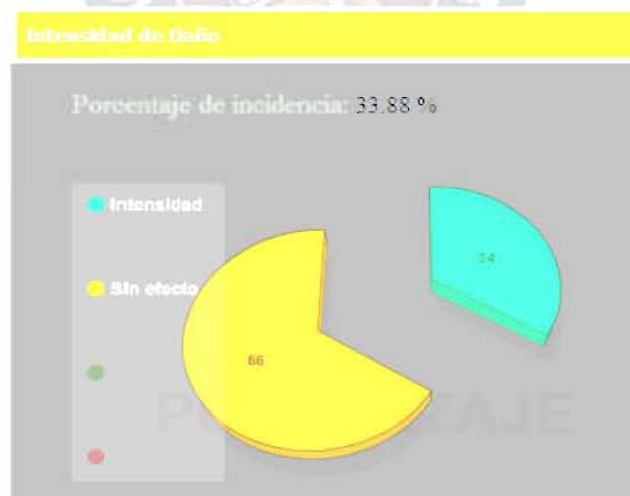
Número total de Tubérculos Evaluados (Kg.)	<input type="text" value="800"/>
Precio del total de Tubérculos (Bs.)	<input type="text" value="88"/>

Niveles de ataque observados, en el total de tubérculos evaluados:

1. Ataque leve	<input type="text" value="46"/>	3. Ataque Fuerte	<input type="text" value="101"/>
2. Ataque Moderado	<input type="text" value="83"/>	4. Ataque Severo	<input type="text" value="41"/>

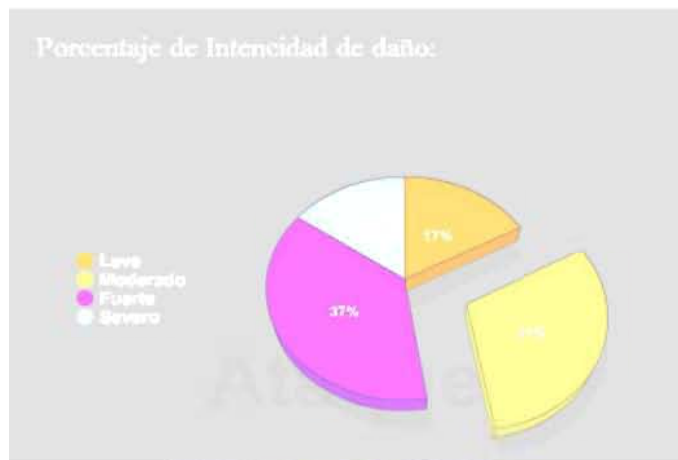
**Pantalla F.5** Intensidad de daño en los tubérculos

Según los datos introducidos, se obtiene el porcentaje de los tubérculos que presentaron daño y aquellos que no presentaron ningún nivel de ataque.



**Pantalla F.6** Porcentaje de Incidencia

La pantalla F.7 muestra los porcentajes según los niveles de ataque que fueron observados del total de tubérculos.



**Pantalla F.7** Porcentaje de Incidencia

La Pantalla F.8 muestra la pérdida económica (en Bs.), ocasionada por la polilla en los tubérculos. Además de determinarse el nivel de ataque que se presenta en el total de tubérculos registrados.



**Pantalla F.8** Pérdida Económica

Adicionalmente se presenta información acerca de la papa y de la P. operculella y los factores influyentes para cada una de ellas.