

**REVISIÓN DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE  
MATERIAL VEGETAL, CONTROL DE ENFERMEDADES Y PLAGAS DEL  
CULTIVO DE PAPA *Solanum tuberosum*.**

EYDER ALEXANDER DORADO SANTA.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2011

**REVISIÒN DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÒN DE  
MATERIAL VEGETAL, CONTROL DE ENFERMEDADES Y PLAGAS DEL  
CULTIVO DE PAPA *Solanum tuberosum***

EYDER ALEXANDER DORADO SANTA.

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Biólogo

**Director:**

Oscar Darío Bermúdez Zambrano. M.Sc.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÒN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

Oscar Darío Bermúde Zambrano. M.Sc.  
DIRECTOR

---

FIRMA DEL JURADO

---

FIRMA DEL JURADO

Fecha de sustentación Popayán,

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que con su cooperación desinteresada hicieron de este proyecto una realidad y que a continuación citaré:

Mi madre, quién confió en mí y me apoyó, a mis hermanos, a mis amigos que incondicionalmente me apoyaron y a todas aquellas personas que directa e indirectamente hicieron este proyecto una realidad.

Al Magister Oscar Darío Bermudéz por la colaboración, orientación y apoyo brindados, como director de trabajo de grado.

## CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN.....	13
2. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECIFICO.....	14
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	14
3. METODOLOGIA.....	15
4. MARCO TEORICO.....	16
4.1. GENERALIDADES DE LA PAPA <i>Solanum tuberosum</i> .....	16
4.1.1. Origen.....	16
4.1.2. Taxonomía.....	16
4.1.3. Descripción morfológica.....	17
4.1.4. Fisiología.....	18
4.1.4.1. Brotación y emergencia.....	18
4.1.4.2. Crecimiento del follaje.....	18
4.1.4.3. Tuberización.....	20
4.1.4.4. Senescencia.....	20
4.1.4.5. Partición de asimilados en el desarrollo.....	20
4.2. OBTENCIÓN DE MATERIAL VEGETAL.....	22
4.2.1. Semilla sexual.....	22
4.2.2. Semilla asexual.....	26
4.2.3. Cultivo de tejidos para la propagación de <i>S. tuberosum</i> .....	27
4.2.3.1. Producción de papa por cultivo de meristemos.....	27
4.2.3.1.1. Siembra de plántulas.....	29
4.2.3.1.2. Obtención de esquejes .....	29
4.2.3.1.3. Enraizamiento .....	30
4.2.3.1.4. Siembra de esquejes .....	30
4.2.3.1.5. Cosecha de micro tubérculos .....	31
4.2.3.1.6. Manejo poscosecha .....	31
4.2.4. Obtención de plántulas por sistema aeropónico.....	32
4.2.5. Mejoramiento genético.....	33

<b>4.3. PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE PAPA.....</b>	<b>35</b>
4.3.1. Enfermedades producidas por insectos.....	35
4.3.1.1. Gusano blanco.....	35
4.3.1.2. Polillas de la papa .....	36
4.3.1.3. Pulgones.....	38
4.3.1.4. Chisa.....	39
4.3.1.5. Trips.....	41
4.3.1.6. Escarabajo pulga de la papa.....	41
4.3.1.7. Gusanos cortadores.....	42
4.3.2. Enfermedades producidas por nemátodos.....	42
4.3.2.1. <i>Globodera pallida</i> .....	43
4.3.2.2. <i>Meloidogyne spp.</i> .....	44
4.3.2.3. <i>Nacobbus aberrans</i> .....	44
4.3.2.4. <i>Pratylenchus spp.</i> .....	45
4.3.3. Enfermedades producidas por bacterias.....	45
4.3.3.1. Pierna negra o pie negro.....	45
4.3.3.2. Sarna común.....	46
4.3.3.3. Marchitez bacteriana.....	46
4.3.3.4. Pudrición anular.....	47
4.3.4. Enfermedades producidas por virus.....	48
4.3.4.1. Enrollamiento de las hojas PLRV. ....	48
4.3.4.2. Amarillamiento de las nervaduras de la papa PYVV.....	48
4.3.4.3. Mosaicos PVX .....	49
4.3.4.4. Mosaico severo PVY.....	49
4.3.4.5. Moteado de la papa andina APMV .....	49
4.3.4.6. Virus latente de la papa APLV.....	49
4.3.4.7. “Mop top” de la papa PMTV.....	50
4.3.4.8. Mosaicos PVS.....	50
4.3.5. Enfermedades producidas por hongos.....	51
4.3.5.1. Tizón tardío.....	51
4.3.5.2. Tizón temprano.....	52
4.3.5.3. Roya.....	53
4.3.5.4. Verruga.....	53
4.3.5.5. Marchitez.....	54

	Página
4.3.5.6. Marchitez por <i>Verticilium</i> .....	54
4.3.5.7. Roña o sarna polvorienta.....	54
4.3.5.8. Costra negra.....	55
4.3.6. Enfermedades producidas por factores ambientales.....	55
4.3.6.1. Deficiencia de oxígeno.....	55
4.3.6.2. Daños debidos a temperatura baja (heladas).....	56
4.3.6.3. Granizo.....	56
4.3.6.4. Sequía.....	57
4.4. CONTROL Y MANEJO DE LAS ENFERMEDADES Y PLAGAS.....	57
4.4.1. Control Químico.....	57
4.4.1.1. Insecticidas.....	57
4.4.1.2. Fungicidas.....	59
4.4.1.2.1. Fungicidas protectantes preventivos.....	59
4.4.1.2.1.1. Compuestos de cobre.....	59
4.4.1.2.1.2. Compuestos de azufre.....	59
4.4.1.2.1.3. Ditiocarbamatos.....	59
4.4.1.2.1.4. Compuestos aromáticos.....	59
4.4.1.2.2. Fungicidas sistémicos.....	60
4.4.1.2.2.1. Oxantinas.....	60
4.4.1.2.2.2. Fenilaminas.....	60
4.4.1.2.2.3. Benzimidazoles.....	60
4.4.1.2.2.4. Inhibidores de la biosíntesis de ergosterol.....	60
4.4.1.2.2.5. Estrobirulinas.....	60
4.4.1.2.2.6. El fosetil aluminio.....	60
4.4.1.3. Herbicidas.....	60
4.4.1.3.1. Selectividad.....	60
4.4.1.3.1.1. De contacto.....	61
4.4.1.3.1.2. Sistémico.....	61
4.4.1.3.1.3. Al suelo.....	61
4.4.1.3.2. Modo de acción.....	61
4.4.1.3.2.1. Contacto con las plantas.....	61
4.4.1.3.2.2. Penetración del herbicida.....	61
4.4.1.3.2.3. Movilización translocación.....	61

4.4.2.	Manejo integrado de las enfermedades y plagas.....	62
4.4.2.1.	¿Cómo enfrentar enfermedades y plagas según el MIP?.....	63
4.4.2.2.	Estrategias generales de manejo integrado de plagas (MIP)...	64
4.4.2.3.	Instrumentos de apoyo para la toma de decisiones.....	64
4.4. 2.3.1.	Análisis del agroecosistema (AAE).....	64
4.4. 2.3.2.	Umbrales .....	65
4.4. 2.3.3.	Sistemas de predicción.....	65
4.4. 2.3.4.	Aspectos legales.....	66
4.4. 2.4.	Métodos de manejo.....	66
4.4. 2.4.1.	Prácticas culturales.....	66
4.4.2.4.2.	Rotación.....	67
4.4.2.4.3.	Labranza y otras manipulaciones del suelo.....	67
4.4.2.4.4.	Fertilización.....	68
4.4.2.4.5.	Incorporación de materia orgánica.....	68
4.4.2.4.6.	Medidas sanitarias preventivas.....	69
4.4.2.4.7.	Control biológico de enfermedades y plagas.....	69
4.5.	COMPARACIÓN ENTRE EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL MÉTODO TECNIFICADO PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPA EN COLOMBIA.....	70
5.	DISCUSIÓN.....	75
6.	CONCLUSIONES.....	80
	BIBLIOGRAFÍA.....	81



## LISTA DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica de la papa.....	16
<b>Tabla 2.</b> Comparación entre las ventajas y desventajas en la producción de papa <i>Solanum tuberosum</i> , a partir de semilla asexual y sexual.....	22
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de los insecticidas utilizados en el cultivo de la papa Según su composición química o vía de ingreso al insecto.....	56
<b>Tabla 4.</b> Compuestos químicos más representativos utilizados en el control de enfermedades y plagas en el cultivo de papa en el municipio de Totoró.....	60
<b>Tabla 5.</b> Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado en la producción y acondicionamiento de la semilla de papa .....	68
<b>Tabla 6.</b> Comparación en la Preparación del suelo para el cultivo de la papa entre el método tradicional y el método tecnificado.....	69
<b>Tabla 7.</b> Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado en las Labores culturales para cultivo de la papa.....	70
<b>Tabla 8.</b> Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado en la Fertilización del cultivo de la papa.....	71
<b>Tabla 9.</b> Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado del cultivo de la papa, en el manejo de plagas, enfermedades y arvenses.....	71
<b>Tabla 10.</b> Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado del cultivo de la papa en la rotación de cultivos y otras actividades.....	72

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Partes de una planta de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	17
<b>Figura 2.</b> Desarrollo de un tubérculo de papa <i>Solanum tuberosum</i> , en el extremo de un estolón. Presentando las etapas: inicial (1), intermedia (2) y final (3).....	18
<b>Figura 3.</b> Esquema del modelo de desarrollo del follaje en la planta de papa.....	19
<b>Figura 4.</b> Representación gráfica del modelo de evolución del índice de área foliar (IAF) y el peso seco de tubérculos en un cultivo de papa en función del tiempo.....	21
<b>Figura 5.</b> Partes de la flor de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	23
<b>Figura 6.</b> Ubicación del fruto en la planta de papa y partes de la semilla.....	24
<b>Figura 7.</b> Planta de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) originada de tubérculo- semilla, mt, tubérculo originario, r, raíces adventicias. rh, rizoma, s, hoja escamosa.....	26
<b>Figura 8.</b> Cámara utilizada para el aislamiento del meristemo de <i>S. tuberosum</i> en condiciones asépticas.....	28
<b>Figura 9.</b> Cuarto de crecimiento que permite controlar la luz y temperatura del material a multiplicar.....	28
<b>Figura 10.</b> Mediante frascos de vidrio se protegen de la deshidratación las plantas de <i>S. tuberosum</i> .....	29
<b>Figura 11.</b> Corte de un tallo para la propagación de una nueva planta de <i>Solanum tuberosum</i> .....	29
<b>Figura 12.</b> Inmersión de esquejes de papa en una mezcla con fitoreguladores para promover su enraizamiento.....	30

<b>Figura 13.</b> Siembra de esquejes de <i>S. tuberosum</i> con distancias entre ellos de 25 cm.....	30
<b>Figura 14.</b> Recolección de tubérculos- semilla <i>S. tuberosum</i> .....	31
<b>Figura 15.</b> Transplante en campo de tubérculos –semilla de <i>S. tuberosum</i> ...31	
<b>Figura 16.</b> Clasificación de la semilla de <i>S. tuberosum</i> de acuerdo a su tamaño.....	32
<b>Figura 17.</b> Producción de semilla pre-básica de papa en un sistema aeropónico.....	33
<b>Figura 18.</b> Ciclo biológico de <i>Tecia solanivora</i> : huevos, larva, pupa y adulto.....	37
<b>Figura 19.</b> Afido <i>Myzus persicae</i> ; A) adulto B) juvenil C) ninfa.....	39
<b>Figura 20.</b> Ciclo de vida del áfido <i>Macrosiphum euphorbiae</i> , huevos, Ninfa, adulto.....	39
<b>Figura 21.</b> Ciclo biológico de la especie <i>Phyllophaga</i> : huevo, larva, pupa y adulto.....	40
<b>Figura 22.</b> Ciclo biológico de <i>Frankliniella spp</i> : huevo, juvenil y adulto.....	41
<b>Figura 23.</b> Ciclo biológico de <i>Agrotis spp</i> : huevos, larva, pupa y adulto.....	42
<b>Figura 24.</b> Ciclo biológico de un nemátodo.....	43
<b>Figura 25.</b> Pudrición de la papa causado por la bacteria <i>Erwinia carotovora spp</i> en ambientes húmedos.....	45
<b>Figura 26.</b> Manifestación de la marchitez bacteriana en tallo y hoja de <i>S. tuberosum</i> , con su respectivo mecanismo de transmisión.....	46
<b>Figura 27.</b> Ciclo biológico de <i>Phytophthora infestans</i> y sitio donde infecta a las plantas de <i>Solanum tuberosum</i> .....	51
<b>Figura 28.</b> Manchas necróticas en las hojas debido a la acción de <i>Alternaria solani</i> .....	51

## RESUMEN

En los próximos 20 años se prevé que la población mundial aumente en promedio 100 millones de personas al año. Más del 95% de este aumento se dará en los países en desarrollo, donde ya se ejerce una intensa presión sobre el suelo y el agua. Por lo tanto, el mundo afronta un desafío decisivo: garantizar la seguridad alimentaria a las generaciones de hoy y de mañana, a la vez que se protejan los recursos naturales básicos de los que dependen todos los habitantes del planeta. El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) formará parte importante de las actividades dirigidas a afrontar estos desafíos debido a que es un alimento básico en la dieta de la población mundial (FAO, 2008a). El objetivo del presente trabajo fue recolectar información relacionada con los métodos utilizados en la propagación de material vegetal y control de enfermedades y plagas del cultivo de papa. En cuanto a los métodos utilizados para obtención de material vegetal, el método tradicional es el más utilizado. Las otras alternativas que el agricultor no tecnificado deja de usar son la aeroponía, el uso de semilla sexual y las propuestas por la biotecnología como la obtención de plántulas por cultivo de meristemos y la transformación genética. En este documento se hace referencia a los principales insectos, nemátodos, bacterias, virus, hongos y factores ambientales que afectan al cultivo de la papa, en sus diferentes estados fenológicos. Se concluye que la mejor alternativa para el manejo y control de enfermedades y plagas es el manejo integrado de estas.

Palabras clave: aeroponía, semilla sexual, biotecnología, control químico, MIP.

---

## ABSTRACT

In the next 20 years, it is foreseen that world population increase in an average of 100 million people per year. More than 95% of this increase will be given in under developed countries where an intense pressure of soil and water is carried out. Thus, the world faces up a decisive challenge in order to guarantee people's feeding for today and tomorrow's generations. By the same token, human citizens should protect basic natural resources from which we all depend. Potato crop (*Solanum tuberosum*) will be an important part of the guided activities that will confront these challenges due to the fact that this is a basic nourishment in world's population diet (FAO, 2008a). The aim of the actual paper was to gather information to indicate which the methods were used in the spreading of vegetal material and the control of plagues and diseases. Regarding the used methods for obtaining vegetal material, the traditional method was mostly used. The other alternatives that the non-technical farmer avoids trying are: aeroponic methods, seed true potato and the ones proposed by the biotechnology such as: tissue culture or genetic transformation. In this document is mentioned the main insects, nematodes, bacteria, viruses, fungi and environmental factors that might affect the potato crop *Solanum tuberosum* in their different phenological states. To sum up, it is concluded that the best choice for the management and control is by the MIP.

Key words: aeroponic method, seed true potato, biotechnology, chemical control, integrated management of plagues (MIP).

## INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum L.*), es un cultivo de mucha importancia, ocupa el cuarto lugar entre los principales productos alimenticios en el mundo (Horton, 1987); está adaptada a una amplia gama de climas y se encuentra tanto en ambientes tropicales como templados y a altitudes desde el nivel del mar hasta los 4000 metros (Poehlman, 2003).

Teniendo en cuenta la importancia que representa el cultivo de papa para la nutrición de la población mundial, en 1971 se estableció el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Lima, Perú, cerca de la región en la cual esta especie fue domesticada con el fin de mejorar su cultivo en las naciones en desarrollo (FAO, 2008a).

En la conferencia bienal de la FAO, celebrada en noviembre de 2005, el representante permanente del Perú formulo una propuesta, aprobada por la conferencia, para dirigir la atención mundial a la importancia del cultivo de la papa como un medio para garantizar la seguridad alimentaria y reducir la pobreza. Esta propuesta se transmitió al Secretario General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), con el objetivo de que la asamblea general de la ONU declarara 2008 año internacional de la papa, AIP (FAO, 2008a).

En la reunión número 16 de la asamblea general se aceptó la propuesta y expedieron una resolución en diciembre de 2005 e invitó a la FAO a facilitar la ejecución del AIP 2008. La resolución señala que la papa es un alimento básico en la alimentación mundial y confirma la función que ese producto puede desempeñar en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo establecidos, incluidos los objetivos de desarrollo del milenio (FAO, 2008a).

Con la creciente demanda de este cultivo se hace necesario explorar métodos eficientes que faciliten la obtención masiva de material para el establecimiento de cultivos comerciales y estrategias que permitan prevenir o controlar las plagas y enfermedades que se presentan en el cultivo de una manera ecológicamente sostenible en el tiempo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

- Revisar los métodos utilizados para la propagación de material vegetal, control de plagas y enfermedades en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) con el fin de generar información que permita al agricultor adoptar mejores estrategias de cultivo.

### 2.2 OBJETIVO ESPECIFICOS

- Realizar un análisis de la bibliografía relevante en cuanto a los métodos utilizados para la propagación de material vegetal del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).
- Realizar un análisis de la bibliografía relevante respecto del control de plagas y enfermedades del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).
- Elaborar un documento donde se resuman los métodos utilizados para la obtención de material vegetal de papa (*Solanum tuberosum*) y el control de plagas y enfermedades en este cultivo.

### 3. METODOLOGÍA

#### REVISIÓN DE LITERATURA.

La información disponible de multiplicación de material vegetal, enfermedades y plagas del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) se obtuvo de las siguientes fuentes:

#### FUENTES NACIONALES

- Cevipapa, <http://www.cevipapa.org.co/>
- Redepapa <http://www.redepapa.org/>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA)
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. (CIAT)
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

#### FUENTES INTERNACIONALES

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) [http://www.fao.org/index\\_ES.htm](http://www.fao.org/index_ES.htm)
- Centro Internacional de la Papa (CIP) <http://www.potato2008.org/es/index.html>

Además, se realizó una búsqueda de documentos relacionados con el tema en las siguientes bases de datos:

- ✓ EBSCO
- ✓ PROQUEST
- ✓ SCIENCE DIRECT
- ✓ HINARI
- ✓ JSTOR

#### DISCUSION

Con base en la información recopilada, se compararon los métodos utilizados para obtener material vegetal de la papa *Solanum tuberosum*. Además, se compiló la información obtenida relacionada con el control de enfermedades y plagas del cultivo.

#### CONCLUSIONES

Luego de haber realizado el análisis de la información se procedió a elaborar las correspondientes conclusiones.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 GENERALIDADES DE LA PAPA

La papa (*Solanum tuberosum* L.), es una planta cuyo cultivo presenta gran importancia económica, ocupa el cuarto lugar entre los principales productos alimenticios en el mundo (Horton, 1987); está adaptada a una amplia gama de climas y se le encuentra tanto en ambientes tropicales como templados y a altitudes desde el nivel del mar hasta los 4000 metros (Poehlman, 2003).

**4.1.1 Origen.** *Solanum tuberosum*, es una especie originaria de las áreas montañosas de los Andes en América del Sur (en los alrededores del lago Titicaca), fue introducida en Europa en el siglo XVI y de allí llevada al resto del mundo. Actualmente, la papa es cultivada y utilizada en más países que cualquier otro cultivo, y en la economía global ocupan cuarto lugar en importancia entre los cultivos de uso alimenticio luego de tres cereales: maíz, arroz y trigo (Aldabe et al, 1997).

**4.1.2 Taxonomía.** Báez (1993) y Mier (1986), ubican a la papa *S. tuberosum* dentro de las categorías taxonómicas mostrados en la tabla 1.

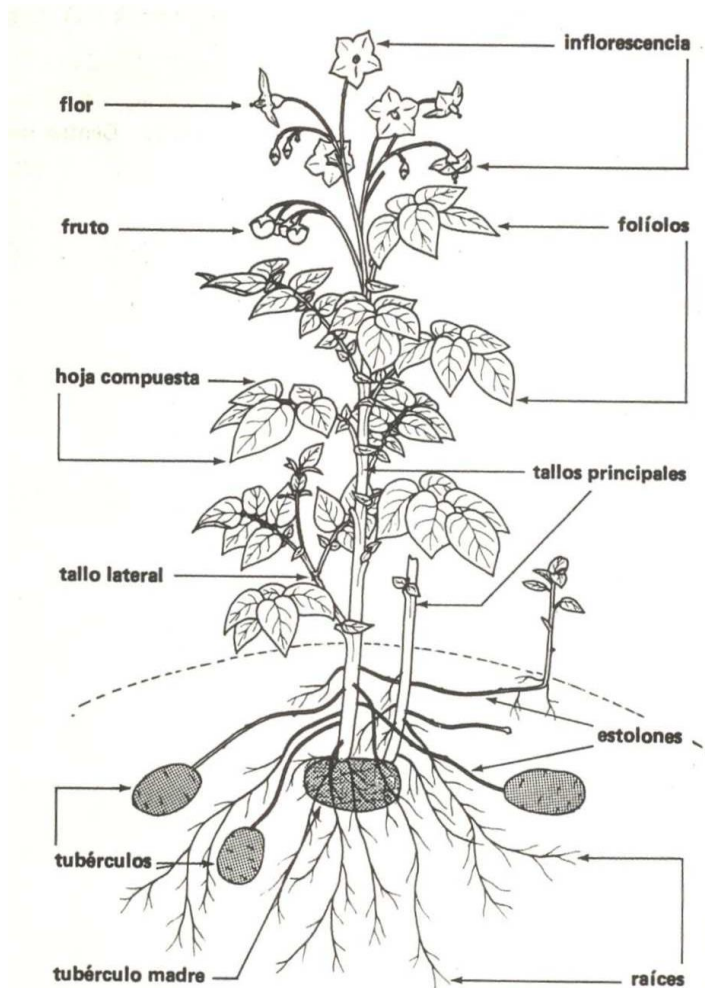
**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la papa.

<b>REINO</b>	Vegetal
<b>SUBREINO</b>	Embryophyta
<b>DIVISIÓN</b>	Spermatophyta
<b>CLASE</b>	Dicotiledón
<b>SUBCLASE</b>	Gamopétala
<b>ORDEN</b>	Tubiflora
<b>FAMILIA</b>	Solanaceae
<b>TRIBU</b>	Solaneae
<b>GÉNERO</b>	Solanum
<b>SUBGÉNERO</b>	<i>Pachyteromum</i>
<b>SECCIÓN</b>	Tuberarium
<b>SUBSECCIÓN</b>	Hyperbasartrum
<b>ESPECIE</b>	<i>tuberosum</i>



**4.1.3 Descripción morfológica.** Aldabe et al (1997), realizan la siguiente descripción morfológica: la papa es una planta anual de tipo herbácea arbustiva, alcanza una altura entre 40 cm y 80 cm, Está constituida por las siguientes partes: raíces, tallos, estolones y tubérculos, hojas, flores y frutos los cuales son detallados en la figura 1.

**Figura 1.** Partes de una planta de papa (*Solanum tuberosum*)



**Raíces.** Son de tipo adventicio. En suelos arcillosos las raíces profundizan menos que en suelos arenosos. La mayoría de las raíces se encuentran en los primeros 40 centímetros del suelo.

**Tallos.** La papa produce un tallo normal herbáceo, erecto, provisto de tricomas, y con ramificaciones no muy desarrolladas.

**Estolones y tubérculos.** Además del tallo normal, la papa produce en el suelo tallos modificados, que se llaman tubérculos. El tallo empieza como un estolón que se engrosa por la punta y que luego forma el tubérculo.

**Hojas.** Estas son compuestas, con varios folíolos opuestos y uno grande como terminal. En las axilas, que forman las hojas con el tallo, están ubicadas las yemas vegetativas.

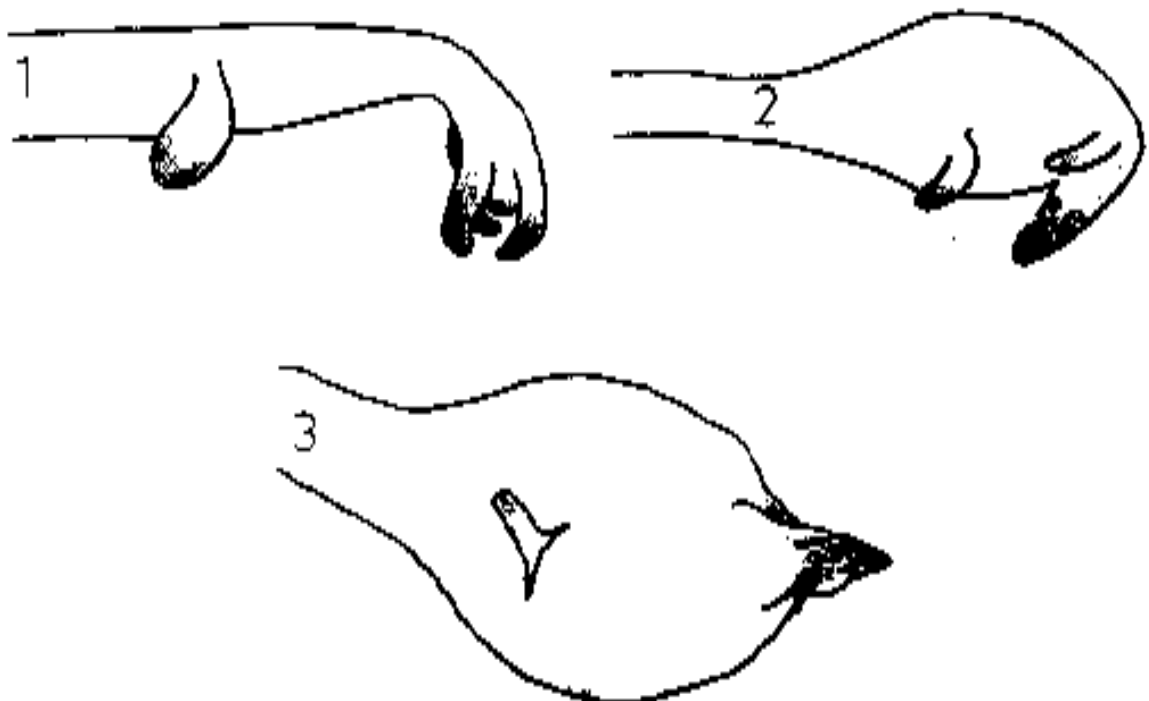
**Flores.** La inflorescencia de la papa es de tipo cima, compuesta de terminal con pedúnculos largos. La flor es completa y los 5 pétalos se fusionan formando un tubo floral.

**Frutos.** Son bayas redondas, suaves, con un diámetro de aproximadamente 2 cm. Las semillas son pequeñas y aplastadas.

**4.1.4 Fisiología.** Según Aldabe et al (1997), se distinguen cuatro fases en la fisiología del desarrollo de la papa: brotación y emergencia, crecimiento del follaje, tuberización y senescencia, las cuales se presentan a continuación:

**4.1.4.1 Brotación y emergencia.** Los cultivos comerciales de papa se establecen utilizando tubérculos como 'semilla'. Los tubérculos, mientras se forman y aún luego de la senescencia de la planta tienen una alta concentración de inhibidores del crecimiento, que impiden que las yemas broten. Este período de dormancia tiene una duración variable (7 a 12 semanas aproximadamente.) y depende fundamentalmente de la variedad y de las condiciones de temperatura, humedad y luz en las que se almacenan los tubérculos. La relación entre inhibidores y promotores del crecimiento va variando gradualmente. El tubérculo pasa del estado de dormancia a un estado llamado de brotación apical, en el cuál la yema apical del tubérculo comienza a brotar mientras que las otras aún están inhibidas. Si en este estado los tubérculos son plantados y puestos en condiciones de buena disponibilidad de agua y 17 a 20 °C de temperatura en el suelo, la yema apical se desarrollará rápidamente, produciéndose por cada tubérculo semilla un solo tallo que luego se ramificará intensamente (Fig. 2).

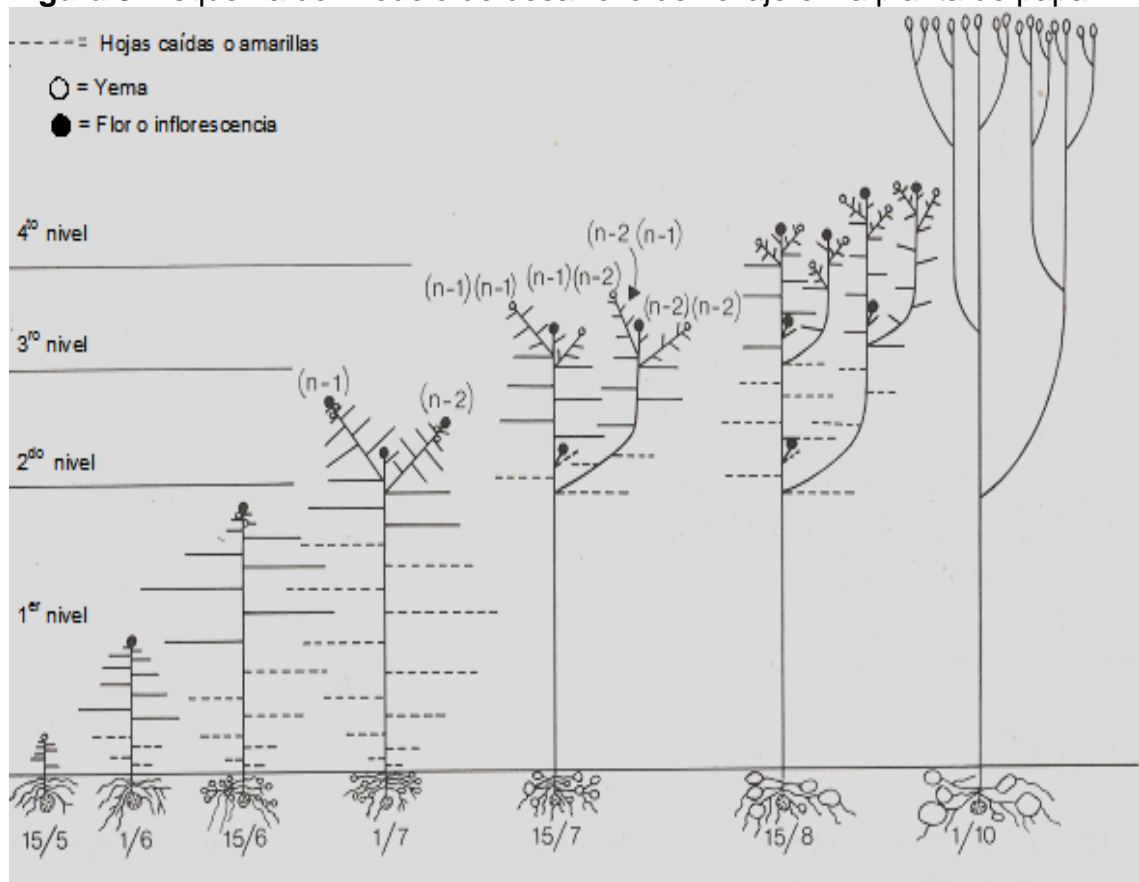
**Figura 2.** Desarrollo de un tubérculo de papa *Solanum tuberosum*, en el extremo de un estolón, presentando las etapas: inicial (1), intermedia (2) y final (3). Fuente: Aldabe et al (1997).



**4.1.4.2 Crecimiento del follaje.** En las primeras etapas del desarrollo, el crecimiento de la planta es sostenido por las reservas acumuladas en el tubérculo. La gran cantidad de reservas que este contiene permite que en condiciones óptimas de temperatura (20 a 23 °C) la expansión del área foliar sea muy rápida. Al irse consumiendo las reservas y aumentando el área foliar fotosintéticamente activa, esta pasa a ser la fuente principal de asimilados. El cultivo de papa en condiciones óptimas para el desarrollo puede llegar a cubrir totalmente el suelo en 40- 45 días después de la emergencia.

El desarrollo del follaje es resultado de dos procesos combinados: ramificación y aparición de hojas y expansión o crecimiento de las hojas. En la planta de papa, la yema apical del tallo luego de la producción de un número de hojas variable se diferencia en una yema floral. Entonces normalmente las yemas ubicadas en las axilas de la segunda y tercera hoja por debajo de la inflorescencia brotan dando ramas laterales. Estas ramas terminarán también en una inflorescencia pudiendo dar lugar a nuevas ramificaciones. La cantidad de ramificaciones y por lo tanto el número de hojas que se produzcan, depende de la duración del período de aparición de hojas y de la tasa de aparición de hojas. Cuanto más largo sea el período de aparición de hojas, mayor cantidad de ramificaciones o 'pisos' o niveles de follaje se producirán (Fig. 3). A mayor temperatura (hasta 26-28 °C) mayor será la tasa de aparición de hojas.

**Figura 3.** Esquema del modelo de desarrollo del follaje en la planta de papa



Fuente: Aldabe et al (1997).

**4.1.4.3 Tuberización.** Cuando los tallos principales de la planta (los que se originan del tubérculo madre) tienen un desarrollo suficiente, es decir cuando la yema apical se diferencia en floral y por lo tanto disminuye la dominancia apical, las yemas subterráneas del tallo que están más cerca del tubérculo madre brotan originando los estolones (Fig. 1). Estos tallos subterráneos crecen en longitud hasta que reciben estímulos para iniciar la tuberización. Al iniciar la tuberización cesa el crecimiento en longitud y se ensancha la región subapical del estolón. En el inicio se agranda solamente la región subapical de la punta del estolón. El crecimiento involucra solamente un entrenudo (Fig. 2). Luego se incorpora un segundo entrenudo al desarrollo del tubérculo. En este estado, por la considerable expansión radial del tubérculo, el gancho se endereza y la yema apical del estolón queda situada en la posición terminal del tubérculo joven. El almacenamiento de reservas continúa incorporando nuevos entrenudos y es claro que los entrenudos hacia la corona se acortan en la medida que va disminuyendo el ritmo de crecimiento en longitud. La tuberización procede acropetalamente, involucrando alguna extensión longitudinal y una gran expansión transversal de los sucesivos entrenudos. Esta forma de crecimiento tiene un componente genético que hace que las distintas variedades tengan distinta forma de tubérculos

**4.1.4.4 Senescencia.** Cuando el desarrollo del follaje comienza a ser más lento y la tasa de senescencia de las hojas se incrementa, el follaje alcanza su máximo tamaño y comienza a declinar. Esta es la fase de máximo crecimiento de los tubérculos. Si la estación de crecimiento es lo suficientemente larga, el follaje muere totalmente en forma natural, y sus azúcares y nutrientes minerales son removilizados y transportados hacia los tubérculos. El crecimiento de los tubérculos continúa hasta que el follaje está casi totalmente muerto. Al final del ciclo entre el 75 y 85 % del total de la materia seca producida por el cultivo se encuentra en los tubérculos. La muerte de la parte aérea de la papa puede ser natural, debido a una helada, a enfermedades y/o plagas o provocada artificialmente, (por causas mecánica, química o por calor).

**4.1.4.5 Partición de asimilados en el desarrollo.** Desde el punto de vista del destino o uso de los asimilados disponibles para el crecimiento, se distinguen 3 etapas bien diferenciadas en el ciclo del cultivo de la papa (Kooman 1995, citado por Aldabe et al 1997).

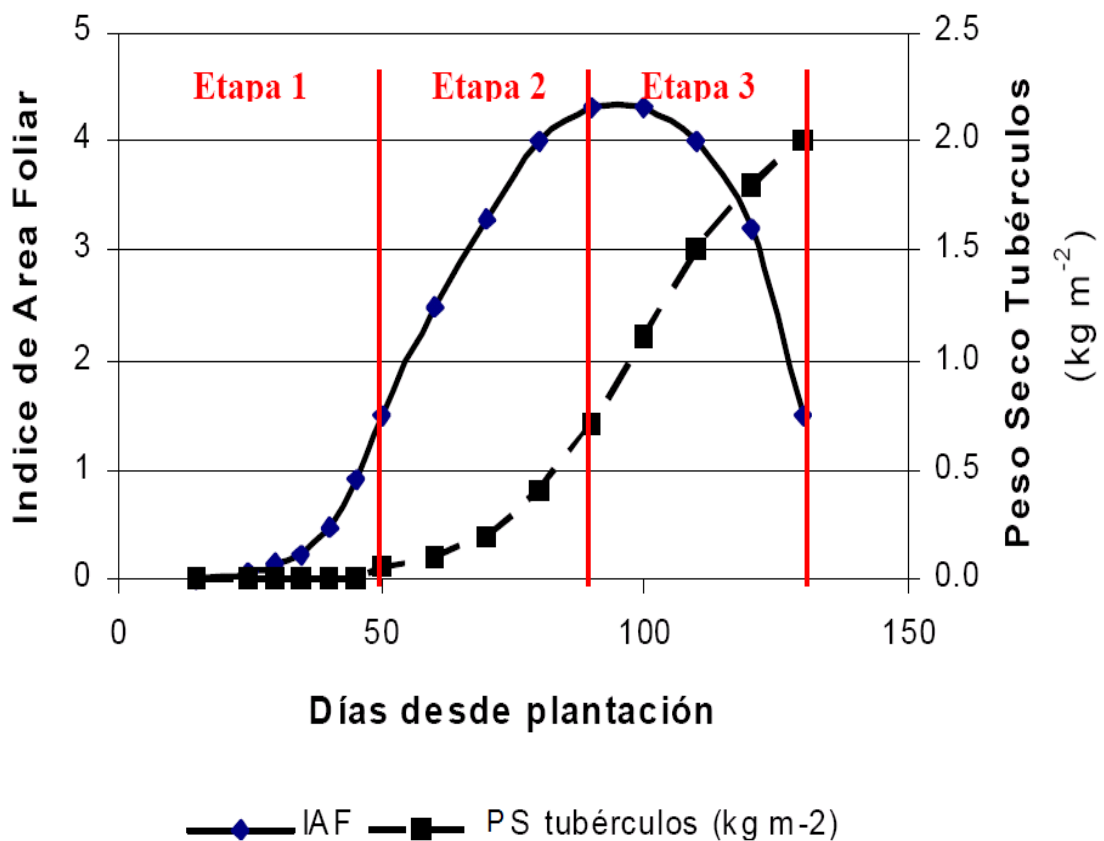
Etapa 1. Comprende el período plantación hasta el inicio de la tuberización (tubérculos diferenciados y con 1 gramo o más de materia seca por metro cuadrado). En esta etapa los asimilados se destinan al crecimiento de hojas, tallos, raíces y hacia el final de la etapa también estolones. Desde la plantación y hasta que cada planta tiene de 200-300 cm<sup>2</sup> de área foliar la fuente principal de asimilados son los almacenados en el tubérculo semilla, y luego, por el resto del ciclo de la papa, los producidos por el área foliar y tallos aéreos.

Etapa 2. Al iniciar la tuberización hasta el fin del crecimiento del follaje. En esta etapa los asimilados disponibles se comparten entre el crecimiento del área foliar y el crecimiento de los tubérculos y estolones (Fig. 4). A lo largo de esta

segunda etapa, en la medida que se inician cada vez más tubérculos y estos aumentan su fuerza de vertedero, una porción creciente de los asimilados disponibles se destina a estos en detrimento del crecimiento del follaje. Primero se detiene la ramificación y la aparición de hojas nuevas y al final de la etapa cesa totalmente el crecimiento del follaje.

Etapa 3. Es el fin del desarrollo del follaje hasta el fin del crecimiento del cultivo. El final del crecimiento del cultivo ocurre por la senescencia del follaje. El área foliar en esta etapa empieza a disminuir porque no hay desarrollo de hojas nuevas, las hojas más viejas van muriendo y el área foliar en su conjunto va gradualmente bajando su eficiencia fotosintética hasta que esta no es suficiente para mantener el crecimiento de los tubérculos. En esta etapa, entonces, todos los asimilados disponibles se destinan al crecimiento de los tubérculos.

**Figura 4.** Representación gráfica del modelo de evolución del índice de área foliar (IAF) y el peso seco de tubérculos en un cultivo de papa en función del tiempo. Fuente: Aldabe et al (1997).



## 4.2 OBTENCIÓN DE MATERIAL VEGETAL

Para el agricultor conseguir semilla de buena calidad es una prioridad debido a que puede representar la tercera parte o más del costo de producción, discriminado de la siguiente manera: costo de la semilla, embalaje, carga y transporte.

El material vegetal del cultivo de la papa *Solanum tuberosum* se puede obtener mediante reproducción sexual (fruto) y asexual (tallo, esquejes, hojas con tallos, tubérculos y meristemas).

La tabla 2, muestra las ventajas y desventajas en el establecimiento de un cultivo de papa, a partir de tubérculo- semilla o semilla sexual.

**Tabla 2.** Comparación entre las ventajas y desventajas en la producción de papa *Solanum tuberosum*, a partir de semilla asexual y sexual.

	Tubérculo-semilla	Semilla sexual
Pureza varietal	Sí	No
Tecnología de manejo	Conocida	Faltan estudios
Cantidad para sembrar	2 a 4 Ton/ Hectárea	125 a 150g/ Hectárea
Transporte	Complicado y voluminoso	Fácil
Garantiza	Calidad	Volumen
Durabilidad	Perecible	Pueden conservarse por años
Almacenaje	Requiere de grandes depósitos	Requiere poco espacio
Enfermedades	Si no está en proceso de certificación puede transmitir enfermedades virales.	Transmite pocas.

Tomado y modificado de: <http://www.todomonografías.com/agronomía/cultivo-de-la-papa/>

El uso exclusivo de híbridos o variedades que son los más productivos, puede provocar que, en una región o en todo el país desaparezca la mayoría de las variedades nativas y con ellas las posibilidades futuras de mejorar las plantas cultivadas. Así, para conservar una amplia variación genética en condiciones controladas se creó la Colección Central Colombiana de Papa.

**4.2.1 Semilla sexual.** La semilla sexual es el resultado de la polinización y fecundación de las flores, puede ser natural, por acción del viento y los insectos o por acción del hombre (polinización artificial).

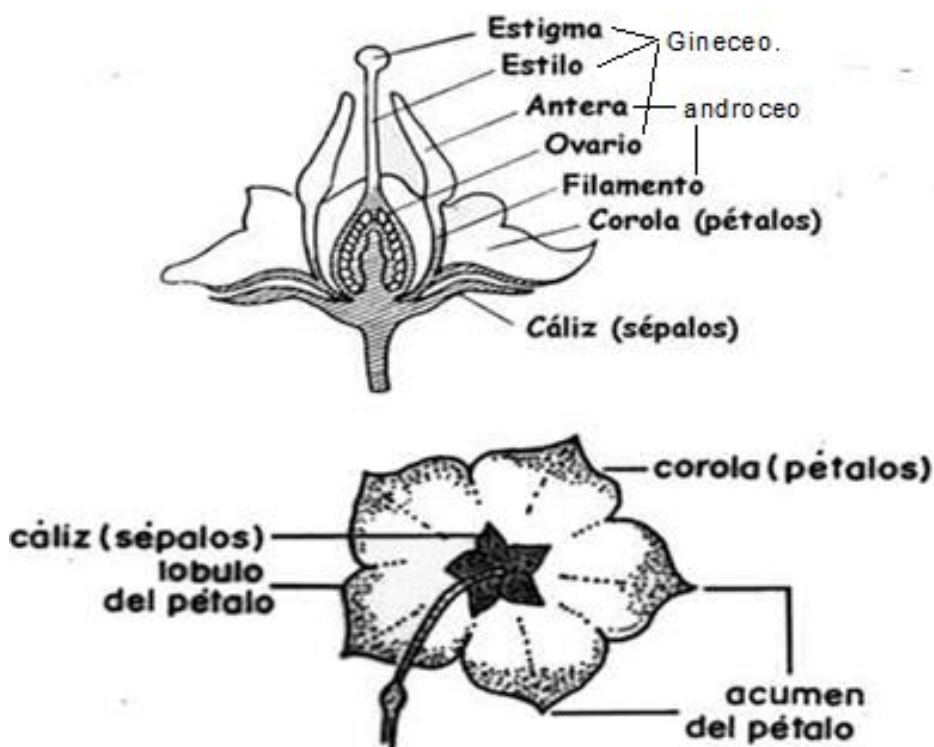
Las flores de la papa son bisexuales, constan de cáliz, corola, estambres y pistilo (Fig 5). Los estambres son el órgano masculino llamado androceo, y el pistilo es el órgano femenino llamado gineceo.

El cáliz consta de cinco sépalos. La forma y el tamaño de los lóbulos varían según la variedad. La corola tiene cinco pétalos, ligados en la base para formar un tubo corto y una superficie plana de cinco lóbulos. Cada lóbulo termina en una punta triangular o acumen. La corola puede ser de color blanco, azul claro, azul, rojo, o morado en diferentes tonos e intensidades.

El androceo consta de cinco estambres que alternan con los pétalos. Cada estambre consta de antera y filamento que está unido al tubo de la corola. Las anteras generalmente están unidas en una columna cónica alrededor del pistilo, pero en algunas variedades cultivadas pueden estar separadas. El color de las anteras varía de amarillo claro a naranja intenso. Los granos de polen son esparcidos a través de poros ubicados en la punta de la antera.

El gineceo de la flor consta de un solo pistilo que está compuesto de ovario, estilo y estigma. El ovario es supero porque los sépalos, pétalos y estambres están unidos al receptáculo justo debajo del ovario.

**Figura 5.** Partes de la flor de papa (*Solanum tuberosum*).



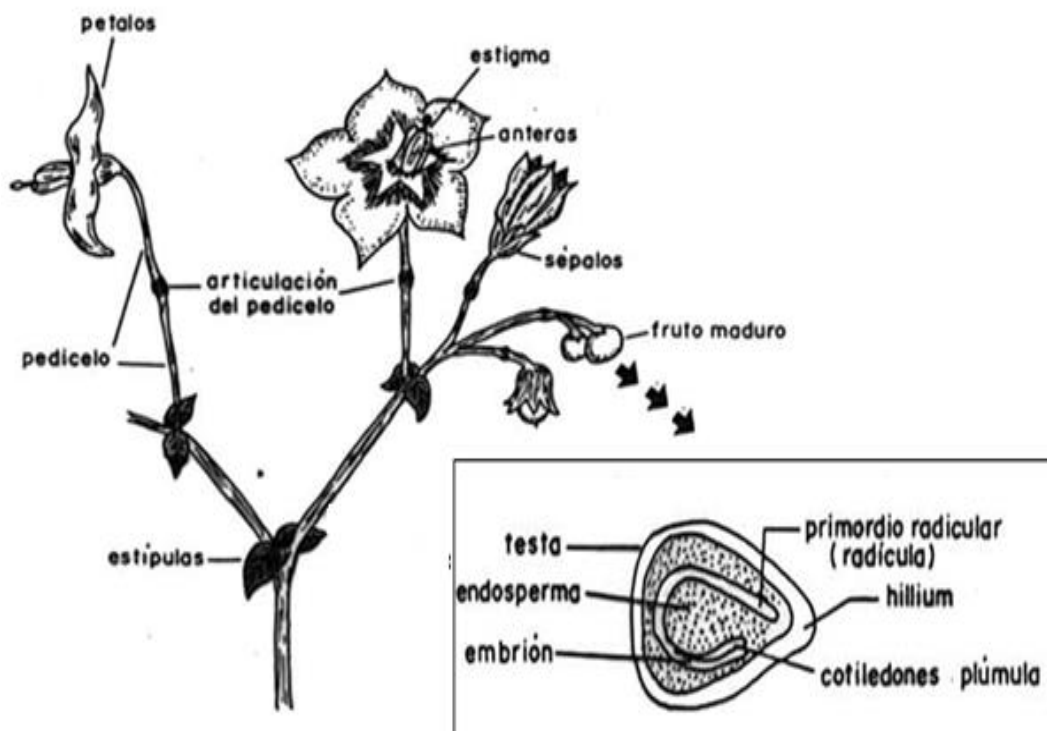
Tomado y modificado de: <http://www.todomonografias.com/agronomía/cultivo-de-la-papa/>

**4.2.1.1. Fruto y semilla.** Al ser fecundado, el ovario se desarrolla para convertirse en un fruto llamado baya (Fig. 6), que contiene numerosas semillas. El fruto es generalmente esférico, pero algunas variedades producen frutos ovoides o cónicos. Normalmente, el fruto es de color verde.

El número de semillas por fruto llega a más de 200 según la fertilidad de cada cultivar. Las semillas son planas, ovaladas y pequeñas (1000 – 1500 semillas por gramo). Cada semilla está envuelta en una capa llamada testa, que protege al embrión y un tejido nutritivo de reserva llamado endosperma.

Las semillas son también conocidas como semilla verdadera o botánica, para distinguirlas de los tubérculos – semillas.

**Figura 6.** Ubicación del fruto en la planta de papa y partes de la semilla.



Fuente: <http://www.todomonografías.com/agronomía/cultivo-de-la-papa/>

A continuación se presentan resultados de trabajos realizados por distintos autores al respecto de la semilla sexual de papa *Solanum tuberosum*:

Torres (1999), trabaja desde 1994 estudiando y probando el potencial de producción y utilización in-situ de la semilla sexual de papa (SSP) como medio de generación de diversidad genética y conservación de variedades nativas de papa en Piura (Perú). La variabilidad genética de un recurso por sí misma no garantiza un beneficio directo a las poblaciones que la conservan, la naturaleza



produce variaciones sucesivas, el hombre las aumenta en determinadas direcciones útiles para él generando las variantes útiles muy diferentes a sus parientes silvestres.

Es decir, la utilidad de las especies que domestica el hombre no aparece de repente de la sola variabilidad genética, sino del proceso de selección acumulativa de la capacidad de las sociedades para reproducir, seleccionar y propagar la variabilidad que más les conviene utilizar y mantener. Este es el objetivo fundamental de la conservación in-situ como sistema eficaz para la conservación de recursos genéticos. Con el empleo y manipulación consciente de la semilla sexual (SSP) que pueda hacer el agricultor, la conservación (en su amplio sentido) de un recurso genético como la papa, mantiene su variabilidad y evoluciona junto con el ambiente y la sociedad en el que se encuentra, sin el requerimiento de grandes inversiones.

La semilla sexual (SSP) de polinización libre (PL) obtenida de cultivares nativos para su conservación a largo plazo y como fuente de variabilidad genética, se usa en el mejoramiento del cultivo y recuperación de genotipos perdidos por estreses bióticos o abióticos. La gran diversidad genética que generalmente resulta de estas semillas, permite la selección de nuevos cultivares de acuerdo con las necesidades y preferencias de los agricultores (CIP, 1994).

A diferencia del sistema de propagación clonal, que requiere de muchas multiplicaciones y exigente control sanitario en cada una de ellas, para alcanzar volúmenes suficientes de distribución al conjunto de productores, con la SSP sólo se requieren 30 ó 50 g para plantar una hectárea, lo que abre la posibilidad de expandir rápidamente el uso de variedades nativas, además; de ser una forma barata y sostenible de almacenamiento de reservas estratégicas de los recursos genéticos para enfrentar posibles catástrofes naturales o erosión genética.

Sikka et al (1994), presenta los resultados de una investigación sobre diferentes aspectos de la semilla sexual de papa (SSP) y concluyen que los tubérculos procedentes de SSP eran tan productivos como los procedentes del método vegetativo. Además agrega, que es una tecnología de bajo costo y riesgo.

Poehlman (2003), afirma que un aspecto interesante del mejoramiento genético de la papa es su origen autotetraploide, lo que dificulta estudiar algunas de sus características.

Los caracteres que se heredan en forma tetrasómica de los autotetraploides, son mucho más complejos que los que se heredan en forma disómica de los diploides. Sin embargo, es posible aprovechar la naturaleza autotetraploide para aumentar al máximo la heterosis con el fin de producir variedades de papa de rendimiento superior. Además, resalta que uno de los más grandes atributos de la papa es su fuente diversa de germoplasma que puede ser utilizada por el fitomejorador.

*Solanum tuberosum* puede cruzarse fácilmente con la mayoría de sus parientes silvestres para incorporar resistencia al estrés biótico y abiótico y para mejorar genéticamente con base en la heterocigosidad.

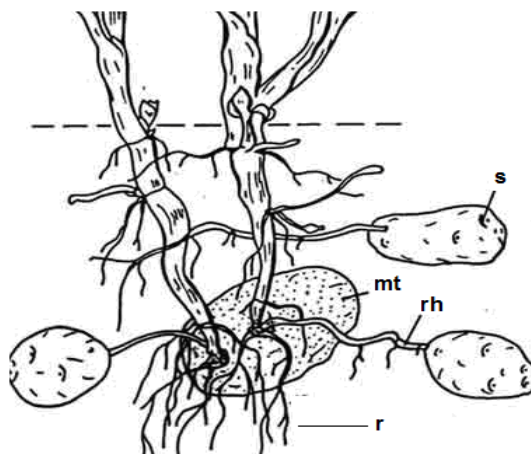
Sin embargo, los factores que obstaculizan la producción de la semilla sexual en la papa incluyen:

- ✓ Imposibilidad de florecer
- ✓ Caída de las yemas y las flores antes o después de que ha ocurrido la fecundación.
- ✓ Baja producción de polen e imposibilidad de producir polen viable
- ✓ Androesterilidad
- ✓ Autoincompatibilidad.

**4.2.2. Semilla asexual.** Algunos organismos se pueden reproducir de forma asexual, es decir no intervienen las células sexuales. En este caso, una célula hija del progenitor se separa y forma un individuo completo. En este tipo de reproducción un solo progenitor interviene y para lo cual no existen células u órganos reproductores especiales. La reproducción asexual resulta del proceso de multiplicación celular o mitosis. De esta multiplicación se separan células nuevas de un solo progenitor.

La propagación asexual a partir de tubérculos, es posible ya que cada una de las células, posee la capacidad de multiplicarse, diferenciarse y generar un nuevo individuo idéntico al original. A esta característica se la denomina totipotencialidad. Los tubérculos son tallos subterráneos engrosados por acumulación de sustancias alimenticias y sirven también como medio de reproducción (Fig. 7), generan plantas idénticas genéticamente al progenitor, a partir de una yema de la que surgen nuevas raíces y tallos.

**Figura 7.** Planta de papa (*Solanum tuberosum*) originada de tubérculo-semilla. mt, tubérculo originario, r, raíces adventicias. rh, rizoma, s, hoja escamosa.



Tomado y modificado de: <http://www.todomonografias.com/agronomía/cultivo-de-la-papa/>

**4.2.3. Cultivo de tejidos para la propagación de la papa *Solanum tuberosum*.** El desarrollo in vitro de una planta está determinado por una serie de factores complejos:

1. La constitución genética de la planta.
2. Nutrientes: agua, macro y micro-elementos, y azúcares.
3. Factores físicos que influyen sobre el crecimiento: luz, temperatura, pH, concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono.
4. Sustancias orgánicas: fitoreguladores y vitaminas .

El cultivo de tejidos (cultivo in vitro) constituye un método rápido para propagar plantas de papa. Los métodos utilizados se basan en un medio sintético de crecimiento, el cual estimula el crecimiento de las yemas axilares. (Tovar y Dodds, 1986).

Las plantas pueden ser propagadas in vitro, utilizando esquejes de tallo, mediante dos medios: sólido y líquido.

Además, se puede cambiar la composición del medio de cultivo para inducir la formación de tubérculos in vitro.

**4.2.3.1. Producción de papa por cultivo de meristemos.** La biotecnología se ha considerado como la oportunidad de manejar genéticamente organismos y microorganismos, con la finalidad de generar productos alimenticios industriales en bien de la humanidad (Garzón, 1997).

El cultivo de la papa es uno de estos productos, que dada su trascendencia histórica como alimento de la humanidad, deberá de seguirse mejorando genéticamente con la finalidad de mantener en forma dinámica el incremento de sus rendimientos, calidad industrial, y resistencia a plagas y enfermedades, en aras de reducir los riesgos de producción y en lo que corresponde, a asegurar la alimentación de las futuras generaciones (Garzón, 1997).

Existen estrategias con las cuales se puede llegar en menor tiempo y en una forma mas contundente a la solución de problemas de producción, dentro de estos se tiene el cultivo in vitro de tejidos, técnica con la que se pueden obtener plantas o semilla libre de patógenos, además, de facilitar la conservación del germoplasma colectado y almacenado en los bancos; también se pueden obtener variedades homocigotas en más corto tiempo con el uso de la haploidía o la selección asistida por marcadores moleculares y actualmente se ha llegado en corto tiempo a obtener variedades transgénicas con resistencia a insectos, virus, hongos y bacterias (Garzón, 1997).

Corzo (1999), describe y resume el esquema actual de producción de semilla certificada de papa, el cual se basa en la utilización de métodos biotecnológicos, exigidos por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) mediante resolución No 03303 del 20 de noviembre de 1997, para producir las

categorías de semilla inicial, super- elite, elite, básica, registrada y certificada. Con este método se integran las fases I, o de laboratorio e invernadero con la fase II o de campo. En la fase I se produce en laboratorio el material inicial y en invernaderos o casas de malla se multiplica el material por medio de esquejes (semilla super elite), que a su vez producirá los tubérculos (semilla elite). En la fase II, o de campo, se multiplica la semilla elite para producir la semilla básica. El proceso completo se ilustra a continuación.

Los meristemos están compuestos por células no diferenciadas que se multiplican activamente, también llamadas células totipotentes por su habilidad de dar lugar a todos los tejidos vegetales. El cultivo de meristemos es una técnica utilizada para producir plantas libres de virus.

Los meristemos se extraen de las plantas en cámaras siguiendo protocolos de asepsia (Fig. 8) y son ubicados en áreas de crecimiento donde se puede controlar la temperatura, intensidad lumínica y humedad entre otras variables (Fig. 9). La cámara debe estar bien aislada, de manera que no se vea afectada por los cambios de temperatura externos.



**Figura 8.** Cámara utilizada para el aislamiento del meristemo de *S.tuberosum* en condiciones asépticas. Fuente: Salazar, A. y Barrera C. (2002).

**Figura 9.** Cuarto de crecimiento que permite controlar la luz y temperatura del material a multiplicar. Fuente: Salazar, A. y Barrera C. (2002).



**4.2.3.1.1. Siembra de plántulas.** Cuando la plántula tiene de 4 a 5 nudos, se saca del frasco de vidrio con una pinza estéril o golpeando suavemente el frasco contra la palma de la mano, para que el medio de cultivo desprenda y deje libre la plántula. El medio de cultivo adherido a las raíces se lava con agua destilada y estéril.

Las plántulas se ponen en hoyos de 3 a 4 cm de profundidad, hechos más o menos a 25 cm de distancia cada uno, en un sustrato húmedo, preparado con suelo, materia orgánica y arena (tres unidades de suelo, una de materia orgánica y una de arena), después se hace ligera presión alrededor de la misma, para lograr un buen contacto entre ésta y el sustrato.

Inmediatamente después de la siembra es necesario proteger las plántulas de la deshidratación, cubriéndolas individualmente con frascos de vidrio o frascos plásticos, durante 8 a 10 días, tiempo en el que las plántulas se adaptan a sus nuevas condiciones (Fig. 10).



**Figura 10.** Frascos de vidrio empleados para evitar la deshidratación de las plantas de papa *S. tuberosum*. Fuente: Corzo (1999).

**4.2.3.1.2. Obtención de esquejes** Cuando las plantas tengan de 5 a 6 hojas o aproximadamente de 20 a 30 centímetros de altura, con una cuchilla, bisturí o tijeras desinfectadas se procede a cortar los tallos de cada planta por encima del primer nudo (Fig. 11), teniendo el cuidado de no dañar la yema axilar y dejando una hoja vigorosa en la parte inferior, con el fin de asegurar el desarrollo de la yema axilar y formación de un nuevo tallo.



**Figura 11.** Corte de un tallo para la propagación de una nueva planta de *Solanum tuberosum*. Fuente: Corzo (1999).

A continuación se fracciona el tallo cortado de la planta madre, en tantas partes cuantos nudos tenga, cuidando de dejar intacta la hoja que no va con el nudo. Si la hoja es muy grande, se disminuye su tamaño para evitar que ésta retrase el crecimiento de la yema. Las fracciones de tallo se ponen sobre una bandeja con papel humedecido, para evitar la deshidratación de los esquejes (super-elite).

**4.2.3.1.3 Enraizamiento.** Una vez hecho el corte de los esquejes, se sumerge por diez segundos en una solución con fitorreguladores a base de ácido indolacético, ácido indol-butírico o ácido naftalenacético u hormonagro N° 1 en polvo (Fig. 12), para inducir la formación de raíces. Después de aplicar el fitorregulador, se ubican los esquejes en un medio de enraizamiento como arena de río, o directamente de un substrato húmedo, preparado a base de suelo, arena y materia orgánica, como se indicó para la siembra de plántulas.



**Figura 12.** Inmersión de esquejes de papa en una solución con fitoreguladores para promover su enraizamiento. Fuente: Corzo (1999).

Después de 2 a 3 semanas dependiendo de las condiciones ambientales, los esquejes tendrán suficientes raíces para ser transplantados a su sitio definitivo. Se sacan los esquejes del substrato y se ponen acostados, formando capas, en una caja de cartón; se coloca el papel húmedo entre capas de esquejes, para evitar su deshidratación.

**4.2.3.1.4 Siembra de esquejes.** Una vez esterilizado el terreno, se procede a la siembra de los esquejes (Fig. 13). Para esto, se hacen unos huecos de 3 a 4 centímetros de profundidad con una estaca, y se ponen en ellos los esquejes enraizados; se compacta con la mano el suelo alrededor de los esquejes, para establecer un contacto entre estos y el suelo y favorecer su desarrollo.



**Figura 13.** Siembra de esquejes de *S. tuberosum* con distancias entre ellos de 25 cm. Fuente: Corzo (1999).

**4.2.3.1.5 Cosecha de micro tubérculos.** Cuando las plantas llegan a su madurez fisiológica normal, se realiza la cosecha, recolectando todos los tubérculos producidos (Fig. 14), los cuales, según sea la densidad de siembra de los esquejes, pueden pesar entre 0.5 y 40 gramos (semilla elite)



**Figura 14.** Recolección de tubérculos- semilla *S. tuberosum*. Fuente: Corzo (1999).

En el momento del transplante de invernadero a campo, es necesario cubrir con suelo al menos dos nudos del esqueje para promover el crecimiento de los estolones, que son los que producen los tubérculos

La distancia de siembra entre las plantas puede variar según el tamaño del micro tubérculo que se desee cosechar, pero en general es recomendable hacerla entre 20 y 25 cm para obtener un peso promedio de 5.0 gramos por micro tubérculo (Fig. 15).



**Figura 15.** Transplante en campo de tubérculos –semilla de *S. tuberosum*. Fuente: Corzo (1999).

**4.2.3.1.6 Manejo poscosecha.** Los micro tubérculos se deben clasificar atendiendo los tamaños comerciales (Fig.16) y almacenar en cajuelas de plástico o madera en las mejores condiciones de luz y ventilación, preferiblemente bajo luz difusa, la cual permite su verdeamiento.



**Figura 16.** Clasificación de la semilla de *S. tuberosum* de acuerdo a su tamaño. Fuente: Corzo (1999).

**4.2.3.1.7 Categorías de la semilla de *S. tuberosum*.** La papa se clasifica en las siguientes categorías:

- a) Categoría super elite: son los mini tubérculos y/o esquejes obtenidos de plántulas que se han originado por propagación *in vitro* (plantas madres), procedentes del material inicial.
- b) Categoría elite: son los tubérculos obtenidos en invernadero o casa de malla, por la multiplicación de esquejes o mini tubérculos super-elite.
- c) Categoría básica: es la que resulta de la multiplicación de semilla elite.
- d) Categoría registrada: es la descendencia de la semilla registrada.

El material inicial debe ser producido por un laboratorio registrado ante el ICA. La producción de semilla super-elite y elite deberá hacerse en invernaderos o en casa de malla a prueba de áfidos.

**4.2.4. Obtención de plántulas por sistema aeropónico.** La aeroponía consiste en el desarrollo de una planta en un cultivo aéreo, para la cual se usan atomizadores con el fin de rociar en forma de gotas la solución que contiene nutrientes a la rizosfera de la planta en ambientes cerrados (Fig. 17).

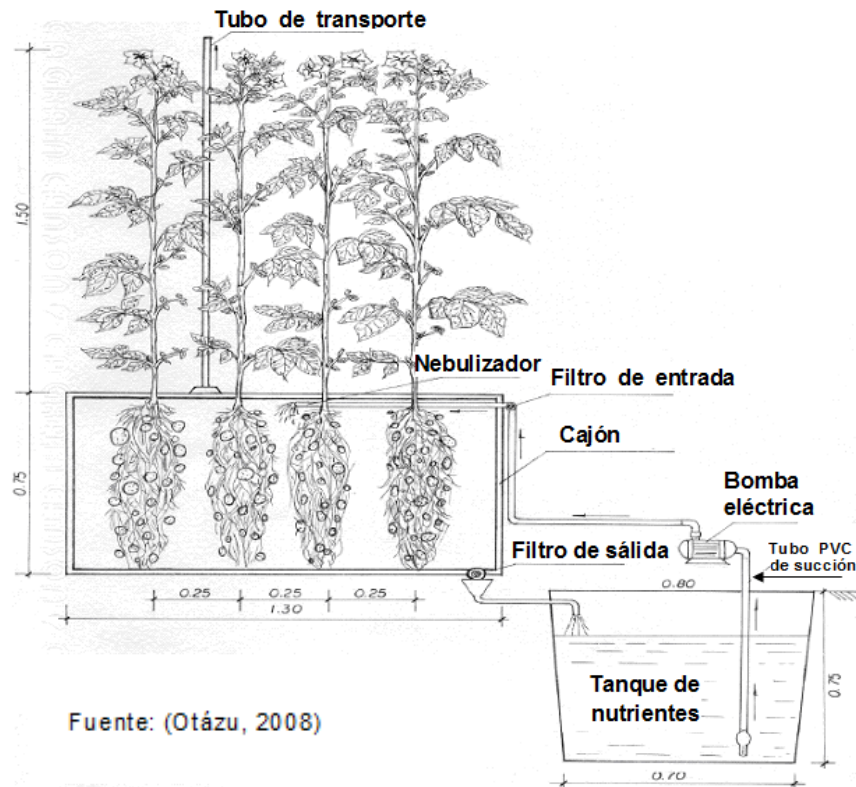
La principal ventaja ecológica del cultivo aeropónico es la conservación de agua y energía. Aún comparándolo con sistemas hidropónicos, el sistema aeropónico utilizando cantidades bajas de agua y energía permite obtener mejor rendimiento por metro cuadrado de área cultivada (Stoner, 1983).

Con la aeroponía se consigue mayor número de tubérculos por planta, mayor rendimiento en gramos por planta, cosechas secuenciales, después de 2 meses y el periodo vegetativo se extiende por 1-2 meses (Otázu, 2008).

Otázu (2008), realizó una comparación entre el cultivo aeropónico y el del uso de suelo como sustrato (macetas) en tres variedades de papa peruana, obtuvo como resultado que el cultivo aeropónico permite obtener un mayor rendimiento en cuanto al número de micro tubérculos por planta que el cultivo que utiliza como sustrato el suelo.



**Figura 17.** Producción de semilla pre-básica de papa *Solanum tuberosum* en un sistema aeropónico. Las soluciones nutritivas se encuentran en un tanque y son impulsadas por una bomba eléctrica hasta el nebulizador, que se encarga de rociar las raíces de la planta, los nutrientes que no son absorbidos por la planta bajan hasta la base de la caja por gravedad y son conducidos nuevamente al tanque para volver a ser utilizados.



**4.2.5. Mejoramiento genético.** Siendo el tubérculo-semilla de papa factor fundamental para garantizar la calidad y la productividad de un cultivo, la siembra de tubérculos de mala calidad puede afectar la rentabilidad, aun cuando las demás condiciones sean favorables al cultivo. Así, la obtención de tubérculos-semilla de calidad está directamente relacionada con la mejor aplicación de las técnicas de producción.

La obtención de variedades mejoradas de alta calidad mediante el cruzamiento tradicional es difícil y toma mucho tiempo.

La capacidad de aislar y manipular genes únicos a través de tecnología de DNA recombinante (Watson et al, 1987), junto con la capacidad para insertar genes específicos dentro de la variedad escogida (Chilton, 1983), abrió una nueva era en el cultivo de plantas. Se han hecho progresos significativos las pasadas décadas en la introducción de genes foráneos en plantas, y esto ha abierto oportunidades para mejorar el rendimiento, la resistencia a estrés biótico y abiótico y el mejoramiento en la calidad nutricional, entre otros (Sharma et al, 2002). También fueron clonados en los años ochenta genes que

codifican endotoxinas de *Bacillus Thuringiensis* (Bt) (Schenepef & Whiteley, 1981), y plantas modificadas genéticamente con resistencia a insectos fueron desarrolladas en la mitad de los años noventa (Líder y Boulter, 1999; Sharma et al, 2000). Además, la aplicación de marcadores moleculares a las características de interés permite determinar los rasgos convenientes y simplifican la selección de variedades mejoradas. Estas técnicas se aplican actualmente en diversos países en desarrollo y países en transición (FAO, 2008b).

En el transcurso de los últimos años se han obtenido cultivares transgénicos de papa con resistencia a diferentes factores bióticos (virus, bacterias, hongos, nemátodos e insectos) y abióticos (estrés fisiológico, causado por: sequía, salinidad, frío), y con modificaciones en algunos procesos de desarrollo (Ritter, 2000).

Aunque un gran porcentaje de estos trabajos se han realizado casi exclusivamente con variedades de *Solanum tuberosum* sp. *Tuberosum*, existen pocos reportes sobre trabajos en especies de *Solanum tuberosum* sp. *andigena*, cultivo que se limita a los países de la región andina de Suramérica (Banerjee et al., 2006). En cuanto a las variedades colombianas los trabajos de transformación son escasos; actualmente la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá y la Corporación para Investigaciones Biológicas (CIB) –en convenio con la Universidad Nacional Sede Medellín–, se encuentran investigando en esta área; estos últimos reportaron en 2001 transformación mediante genes reporteros en algunas de las principales variedades comerciales de papa cultivadas en Colombia: 'Diacol capiro' y 'Parda pastusa' (Trujillo et al., 2001).

La mayoría de métodos reportados para la obtención de plantas transformadas de papa (*Solanum tuberosum* sp. *tuberosum*) han mostrado ser ineficientes en las transformaciones de la subespecie andigena debido, entre otras causas, a la baja regeneración de brotes sobre el medio usado (Trujillo et al., 2001). Aunque existen algunos autores que proponen que los sistemas de transformación son independientes del genotipo (Kumari et al., 1995; De Block, 1988), hay suficiente evidencia que señala que el método de transformación a utilizar está condicionado por el genotipo de la variedad que se esté trabajando (Dale y Harnpson, 1995; Trujillo et al., 2001; Heeres et al., 2002).

Por tanto, es necesario evaluar la capacidad de transformación de la nueva variedad pastusa suprema empleando genes reporteros y marcadores de selección, para obtener protocolos estándar que permitan en el futuro la introducción de genes de resistencia a insectos plaga y/o a condiciones bióticas y abióticas adversas, como la sensibilidad a heladas (Navia, 2005).

Las variedades transgénicas de papa permiten aumentar la producción. Sin embargo, es necesario ponderar con atención todos los aspectos relacionados con la bioseguridad y la inocuidad antes de ponerlas en el mercado (FAO, 2008b).

### 4.3. PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE PAPA.

La guía ambiental para el cultivo de papa realizada por y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2004), describe los factores bióticos y abióticos que se encuentran asociados al cultivo de papa y que de algún modo generan disminución en la producción o deterioran la calidad del cultivo. Entre los factores bióticos que afectan el cultivo de la papa se encuentran: insectos, nemátodos, bacterias, hongos y virus; respecto a los factores abióticos que influyen en el cultivo de papa se presentan los siguientes: deficiencia de oxígeno, baja temperatura, granizo, sequía, enrollamiento no virótico, desbalance nutricional, daños causados por agentes químicos.

**4.3.1. Enfermedades producidas por insectos.** En los agroecosistemas se observa el número relativo de insectos y su rol. Los insectos individualmente no pueden causar daños de importancia económica. Cada insecto tiene enemigos naturales que mantienen el balance entre el número de predadores y presa. El cambio en uno de estos componentes puede afectar el equilibrio. Los insecticidas afectan el balance entre las plagas y sus enemigos naturales que generalmente son más susceptibles y por lo tanto aumenta el número de plagas y el daño en el cultivo (Nicholls, 2008).

El ambiente influencia la presencia de plagas. Desde luego no es posible controlar el clima, sin embargo, es posible adquirir conocimiento de la relación entre el clima y el ciclo de vida de los insectos, para determinar las épocas de siembra. El conocimiento de los procesos agro-ecológicos motivará el desarrollo de estrategias para cultivos más sanos y sostenibles.

La papa es atacada por diversos insectos-plagas, cuya importancia depende de la región ecológica de siembra, y algunos de ellos tienen importancia económica en todas las áreas paperas del país (Torres , 1990).

A continuación se describen los insectos que generan mayor impacto en el cultivo de papa *Solanum tuberosum*.

**4.3.1.1. Gusano blanco.** El gusano blanco de la papa *Premnotrypes vorax* (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae) es una de las 14 especies del complejo denominado “gorgojos de los Andes” que atacan el cultivo de la papa. Esta especie se encuentra distribuida en Colombia, Ecuador, Venezuela y Perú donde se registra como una de las plagas clave del cultivo (Alcázar y Cisneros, 1999).

El gusano blanco en su estado adulto se alimenta principalmente de las hojas de la papa, pero el daño de importancia económica es ocasionado por las larvas, que al alimentarse de los tubérculos hacen galerías que afectan la calidad del producto. Las pérdidas en rendimiento ocasionadas por el gusano

blanco oscilan entre 5% y 50% dependiendo del nivel de población y del manejo del cultivo (Niño *et al.*, 2004). Si no tiene otra fuente de alimento, puede consumir parte del tubérculo cuando se encuentra expuesto en la superficie del suelo. En estas condiciones los tubérculos dañados no sirven para semilla ni para el consumo humano (Gallegos, 2005).

El ciclo biológico del gusano blanco presenta una metamorfosis completa. El insecto inmaduro es morfológicamente distinto al insecto en estado adulto, y las diferentes etapas viven en hábitats distintos. Las fases del ciclo biológico son: huevo, larva, pupa y adulto.

*Huevos:* son cilíndricos, ligeramente ovalados con una longitud de 1.7 mm y un diámetro de 0.50 mm. Están recubiertos por una sustancia mucilaginosa cuando recién ovipositados. Son de color blanco brillante, pero a medida que desarrollan se tornan de color ambar opaco.

*Larvas:* son de color blanco-cremoso, con cabeza pigmentada y muy bien diferenciada. En el quinto y último estadio miden 11 a 14 mm, tienen el cuerpo en forma de "c", subcilíndrico y carnoso. Los segmentos abdominales medios son de mayor diámetro que los torácicos y los caudales. Carecen de patas verdaderas y en reemplazo tienen unos abultamientos provistos de setas.

*Pupas:* son de color blanco. Se desarrollan dentro de una celda formada de suelo.

*Adulto:* es un insecto de aproximadamente 7 mm de largo y 4 mm de ancho. El cuerpo puede tomar la tonalidad del suelo donde se encuentra, haciendo difícil su detección. La hembra es ligeramente más grande que el macho y de aspecto redondeado, con una línea amarilla a lo largo de la parte superior del abdomen. El macho es alargado y no posee la línea.

Estos insectos sólo se encuentran en la región montañosa de los Andes. Los adultos, de 8 a 10 mm de largo, se alimentan de los bordes de las hojas. Las larvas, que tienen 10 a 12 mm de largo cuando están desarrolladas, producen túneles irregulares en los tubérculos. Los tubérculos dañados no sirven para el consumo humano ni para semilla.

**4.3.1.2. Polillas de la papa.** Varias especies de polillas o palomillas atacan a la papa en el campo y en el almacén. Las polillas adultas son de color marrón grisáceo y miden alrededor de 10 mm de longitud. Las larvas son blanquecinas con tonalidades verdosas o franjas rojizas según la especie de polilla.

**4.3.1.2.1 Especie: *Phthorimaea operculella* (Zeller).** Es uno de los insectos plaga más importantes que atacan al cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*). Las larvas se desarrollan en el follaje y tubérculos de papa causando pérdidas directas del producto a comercializar (Salas *et al.*, 1985; Larraín, 2003).

Está generalmente diseminada en todos los lugares cálidos y secos donde se cultiva la papa. Excepcionalmente, se encuentra en zonas altas hasta los 3,200 m. Las polillas adultas no causan daño. En almacenes puede causar daños muy severos en relativamente poco tiempo. Los tubérculos atacados presentan en forma característica los excrementos de la larva a la entrada de las galerías.

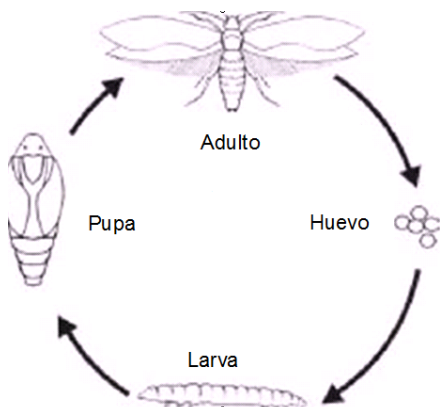
**4.3.1.2.2 Especie: *Scrobipalpula absoluta*.** El principal hospedero de *S. absoluta* es el tomate, sin embargo, también está reportada en papa (Galarza, 1984; Notz, 1992 CIP y 1996;).

Se halla en varios países de Sudamérica, en zonas cálidas y/o de baja altitud. Las larvas sólo dañan las hojas y los brotes.

El ciclo biológico de *Scrobipalpula absoluta* presenta una metamorfosis completa. Las fases del ciclo biológico son: huevo, larva, pupa y adulto.

**4.3.1.2.3 Especie: *Tecia solanivora (povolny)*.** Es un lepidóptero de la familia Gelechiidae, cuyas larvas se alimentan de los tubérculos de papa. Este insecto es endémico de Guatemala. Debido al comercio de papa entre países, su diseminación ha sido muy rápida. En 1985 fue introducida en Colombia a través de un lote de tubérculos semilla procedente de Venezuela. Las larvas al alimentarse dañan los tubérculos tanto en el campo como en el almacén, haciendo galerías superficiales bajo la epidermis o profundas, causando su pudrición y afectando la calidad del producto (Gallegos, 2005).

El ciclo biológico de *Tecia solanivora* presenta una metamorfosis completa. Las fases del ciclo biológico son: huevo, larva, pupa y adulto (Fig. 18).



**Figura 18.** Ciclo biológico de *Tecia solanivora*: huevos, larva, pupa y adulto. Fuente: Tantowijoyo & Van de fliert. (2006).

Huevo: es de forma ovoide y mide 0.5 mm de longitud y 0.4 mm de ancho en la parte media. Recién ovipositado es de color blanco aperlado. A medida que avanza el proceso de incubación el huevo se torna amarillento, y cuando está próximo a eclosionar es de color marrón oscuro. La incubación del huevo puede durar de 12 a 15 días.

Larva: es de tipo erusiforme, con 3 pares de patas torácicas verdaderas y 5 pares de pseudopatas (4 abdominales y 1 par anal). El desarrollo larval pasa por 4 fases evolutivas, proceso que dura entre 30 y 35 días. En la cuarta y última fase las larvas miden entre 12 y 15 mm de largo y 2.5 mm de ancho. El cuerpo es de color púrpura en el dorso y verde en la región ventral.

Una vez completado su desarrollo, la larva deja de alimentarse, abandona el tubérculo, pierde movilidad y empieza a tejer un capullo de seda, al cual se adhieren partículas del suelo.

Pupa: la pupa es fusiforme; al principio es de color café claro y posteriormente café oscuro. Normalmente la pupa se encuentra envuelta en el cocón, aunque también se pueden encontrar pupas desnudas. El estado de pupa dura entre 28 y 32 días. La polilla empupa en el suelo, paredes de los almacenes, empaques (costales), basura o dentro de los mismos tubérculos.

Adulto: la hembra es más grande que el macho y mide entre 10 a 13 mm de longitud por 3.4 mm de ancho. Es de color marrón claro pajizo. El primer par de alas presenta 3 manchas o (estigmas) líneas longitudinales marrón brillante. El macho mide 9.7 mm de longitud por 2.9 mm de ancho distinguiéndose de la hembra por tener abdomen menos globoso que ésta. Es de color marrón oscuro y tiene 2 manchas en el primer par de alas y líneas longitudinales poco visibles.

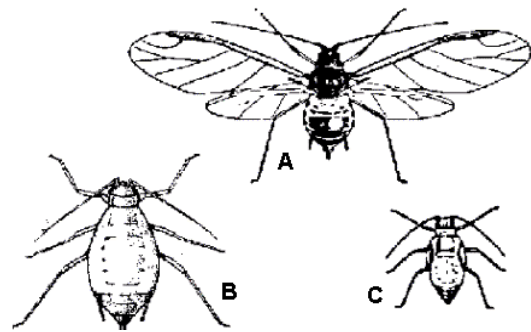
Los adultos de la polilla viven en promedio de 18 a 22 días. La hembra atrae al macho mediante una sustancia llamada feromona. Después de la fecundación la hembra deposita 6 a 15 huevecillos en la base de la planta de papa y sobre los tubérculos en los costales. Durante su vida deposita alrededor de 260 huevecillos. El tiempo que transcurre desde que el huevo es depositado hasta que nace el adulto varía entre 70 y 80 días.

**4.3.1.3 Pulgones.** Los pulgones tienen un cuerpo suave en forma de pera. Miden alrededor de 3 mm y tienen en la parte dorsal posterior del abdomen dos prolongaciones denominadas cornículos. Generalmente la población de pulgones está compuesta por individuos sin alas, que se agrupan en colonias alrededor de una hembra madre. En algunas ocasiones se presentan con alas al momento de colonizar otras plantas o cultivos.

**4.3.1.3.1 Especie: *Myzus persicae*.** El pulgón verde del duraznero (*Myzus persicae* Sulzer) es sin dudas, el áfido de mayor predominio y peligrosidad en el mundo, debido a su frecuente aparición y a la magnitud de los daños que ocasiona, tanto directos como indirectos, por la transmisión de enfermedades virales (Mier, 1978).

El ciclo biológico de *Myzus persicae* presenta las fases: ninfa, juvenil y adulto (Fig. 19).

**Figura 19.** Afido *Myzus persicae*; A) adulto B) juvenil c) ninfa. Fuente: <http://mrec.ifas.ufl.edu/>

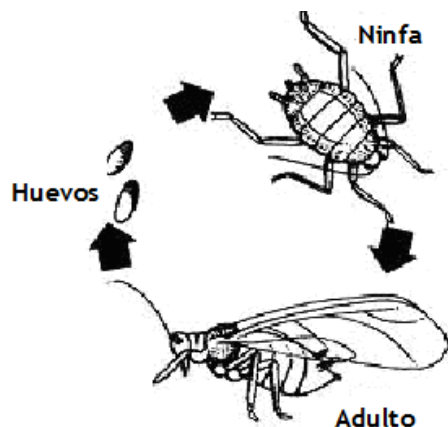


También conocido como el pulgón verde del melocotonero y la patata, tiene un tamaño de 1,2 a 2,3 mm y es de color verde amarillento, con sifones verdes, largos y dilatados. Se caracteriza por la forma en W de los tubérculos frontales.

Es una especie cosmopolita en climas templados apareciendo en América del Norte y Europa. Es capaz de transmitir más de 100 virosis, aunque rara vez aparece en grandes cantidades para causar daño directo debido a su actividad alimenticia (Belda et al, 1994).

**4.3.1.3.2 Especie: *Macrosiphum euphorbiae*.** Se considera al áfido *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae) una de las plagas más importantes en cultivos de invernadero porque es capaz de generar grandes pérdidas económicas (Aragon et al, 2007).

El ciclo biológico de *Macrosiphum euphorbiae* presenta las fases: huevo, ninfa, y adulto (Fig. 20).



**Figura 20.** Ciclo de vida del áfido *Macrosiphum euphorbiae*, huevos, ninfa, adulto. Fuente: <http://www.env.gov.bc.ca/>

**4.3.1.4 Chisa.** Es el estado inmaduro de los escarabajos pertenecientes a la superfamilia Scarabaeoidea y a la familia Melolonthidae (Ruiz y Posada, 1990; Morón, 1994; Pardo, 1994; Londoño et al, 2002). En Colombia se han registrado cerca de 579 especies de la familia Melolonthidae y cerca de 225 pueden ser consideradas plagas (Vallejo, 2000). Las especies de chisas más

abundantes y voraces en Colombia se encuentran en los géneros *Anomala*, *Popillia*, *Macroctylus*, *Cyclocephala*, *Strategus* y *Phyllophaga* (Pardo,1994 y Bellotti et al, 1997).Las chisas son una plaga importante tanto en cultivos tropicales como en las regiones templadas así como en pasturas naturales . Las larvas de estos escarabajos habitan en el suelo y se pueden alimentar de las raíces de sus hospederos en el caso de las especies rizófagas o de materia orgánica en descomposición en el caso de las especies saprófagas o saproxilófagas. El daño causado por las especies rizófagas puede ocasionar la pérdida completa de la cosecha, especialmente si el ataque ocurre cuando las plantas son jóvenes.

**4.3.1.4.1 Especie: *Phyllophaga menetriesi* (Blanchard).** En Colombia, *Phyllophaga spp* ha sido reportada en las zonas agrícolas de clima frío atacando diversos cultivos de importancia económica como cereales, hortalizas, frutales, tuberosas, flores, forrajes, arvenses y forestales (Posada ,1993; Londoño,1998; Madrigal ,2003).

El ciclo biológico de *Phyllophaga* presenta una metamorfosis completa: huevo, larva, pupa y adulto (Fig. 21).

**Figura 21.** Ciclo biológico de la especie *Phyllophaga menetriesi*: huevo, larva, pupa y adulto.  
Fuente: Tantowijoyo & Van de fliert. (2006).



**4.3.1.4.2 Especie: *Ancognatha scarabaeoides* (Coleoptera: Scarabaeidae).** Se considera una de las plagas más importantes de los cultivos de papa y trigo en Colombia, si se tiene en cuenta su amplia distribución en las zonas productoras de Nariño, Cundinamarca y Boyacá y el costo que su control implica; en efecto, las ‘chisas’ ocasionan pérdidas en las áreas cultivadas que oscilan entre 75% y 100% (Pumalpa, 1987; Yépez, 1994 y Parada, 2001).

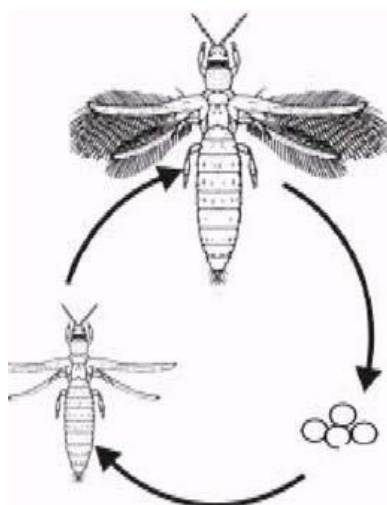
Debido al incremento de la infestación por *Ancognatha scarabaeoides* la frecuencia en la aplicación de los insecticidas se ha intensificado, llegando incluso a 5 aplicaciones, lo cual ocasiona el aumento en los costos de producción hasta en un 30%, contaminación ambiental y en general un desequilibrio en el agroecosistema (Londoño y Pérez, 1994; Sañudo y Guzmán, 1995).



**4.3.1.5 Trips (*Frankliniella spp*).** Es una plaga seria para las plantas ornamentales y cosecha de frutas en el campo e invernaderos (Tommasini y Maini 1995) y han desarrollado resistencia a organofosforados, carbamatos, entre otros al repetir la exposición (Immaraju et al. 1992).

Posee una amplia distribución mundial. Su polifagia, sumada a su alto potencial biótico, le permite producir grandes poblaciones de individuos que colonizan distintos cultivos.

El ciclo biológico de *Frankliniella spp* presenta las fases: huevo, juvenil y adulto (Fig. 22).



**Figura 22.** Ciclo biológico de *Frankliniella spp*: huevo, juvenil y adulto.

Fuente: Tantowijoyo & Van de fliert. (2006).

Tanto las ninfas de color marrón como los adultos viven en el envés de las hojas de la papa chupando la savia de la planta y produciendo pequeñas manchas plateadas. Los ataques fuertes pueden conducir a marchitez, caída de las hojas y muerte de la planta.

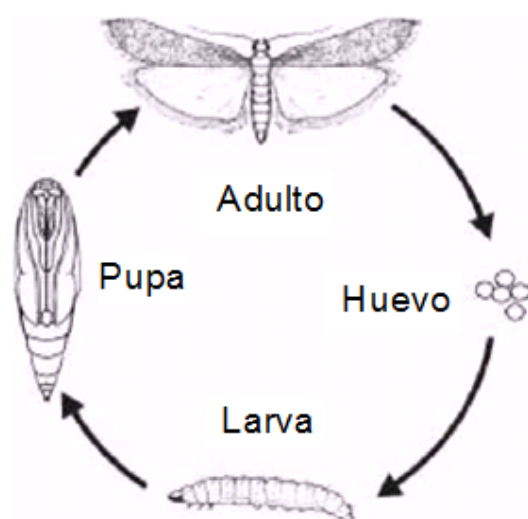
**4.3.1.6 Escarabajo pulga de la papa (*Epitrix spp*).** Se conocen por lo menos 6 especies diferentes, todas pertenecientes al género *Epitrix*: *E. parvula* (Fab.), *E. subcrinita* (Le Conte), *E. ubaquensis* Haarold, *E. harilana rubia* Bech & Bech y *E. yanazara* Bech. Estas especies pertenecen a la familia Chrysomelidae, orden Coleoptera. Sus principales hospederos, además de papa son tabaco, tomate y algunas especies de hortalizas.

El escarabajo-pulga de la papa es muy común. Los adultos, de 2 a 3 mm de longitud, producen huecos pequeños y circulares de 1 mm de diámetro en las hojas. Las hojas suelen secarse y morir.

Las larvas tienen de 1mm de largo y se alimentan de las raíces y de los tubérculos. El daño en el tubérculo es el más importante y se nota a la vista como un labrado fino de túneles. Se asocia frecuentemente una infección de sarna común con el daño en el tubérculo causado por el escarabajo-pulga de la papa.

**4.3.1.7 Gusanos cortadores (*Agrotis spp*).** Los daños causados por *Agrotis segetum* son variables de unos años a otros, pero cuando encuentra condiciones favorables para su propagación, hace verdaderos estragos (Agroweb, 1998). Las larvas son extremadamente voraces, sin embargo infestaciones serias son raras y permanecen generalmente debajo de las de *Agrotis ipsilon* (Hypp, 1998).

El ciclo biológico de *Agrotis spp*, presenta las fases: huevo, larva, pupa y adulto (Fig. 23).



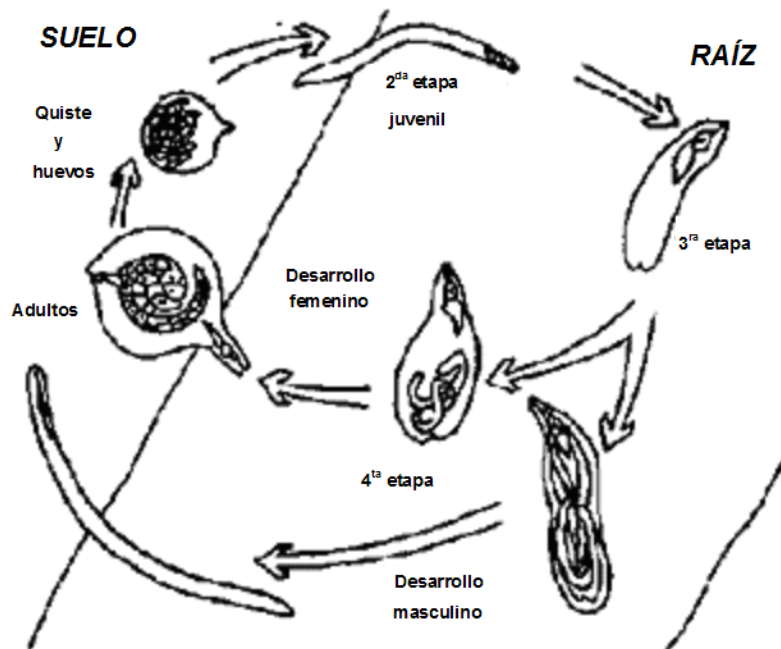
**Figura 23.** Ciclo biológico de *Agrotis spp*, huevos, larva, pupa y adulto. Fuente: Tantowijoyo & Van de fliert. (2006).

Los gusanos cortadores negros consumen o “cortan” los tallos cerca de la superficie del suelo. El gusano ejército consume el follaje de la planta de papa. Los cortadores subterráneos causan daños por las cavidades que forman al roer los tubérculos, especialmente los que crecen cerca de la superficie del suelo.

**4.3.2 Enfermedades producidas por nemátodos.** Aunque la población de nemátodos no se incrementa tan rápidamente como sucede con los hongos o bacterias patógenos de la papa, una vez que se encuentren bien establecidos en las áreas de cultivo son, aun con la tecnología moderna, imposibles de erradicar. Las condiciones ambientales que aseguran el éxito de un cultivo comercial de papa, proporcionan también las condiciones óptimas para la multiplicación y supervivencia de estos nemátodos. Los nemátodos de quiste les encuentran en regiones tropicales y bajo condiciones de clima cálido, generalmente no llegan a establecerse en forma permanente como para alcanzar la importancia económica que tienen en los lugares de clima frío. Las larvas se vuelven activas a 10°C y la máxima invasión de las raíces se realiza a 16°C. Temperaturas del suelo de 26°C por períodos prolongados limitan el desarrollo del nematodo y reducen su proporción. Se desarrolla bien en suelos arcillosos mediano a pesados bien drenados o arenosos con suficiente aireación, suelos sedimentados o de musgo con un contenido de humedad de

50 a 75% de capacidad de campo. El pH del suelo tolerable para la planta de papa, puede aparentemente ser tolerado también por los nematodos. El nivel nutricional del suelo parece tener poco o ningún efecto sobre los nematodos, con excepción de aquel que ejerce sobre el comportamiento del cultivo (Mai et al, 1980). En la figura 24 se explica el ciclo biológico de un nemátodo.

**Figura 24.** El ciclo biológico de un nemátodo presenta las siguientes etapas: huevo, juvenil y adulto



Fuente: Tantowijoyo y Van de fliert (2006).

**4.3.2.1 *Globodera pallida*.** Los nemátodos del quiste de la papa son considerados como la plaga más importante del cultivo de la papa en las áreas de clima frío y templado (Smith et al, 1997).

Por estímulo de los exudados radiculares, emergen más del 50% de las larvas que se encuentran en su segundo estadio dentro de los huevos que encierran los quistes y penetran en las raíces de la planta hospedante. Se alimentan y se desarrollan pasando por una serie de 3 mudas; las hembras crecen y rompen el tejido radicular. Los machos maduros tienen forma de larva; abandonan la raíz y se aparean con las hembras que han quedado insertas por medio de la cabeza y cuello, en el tejido radicular. Las hembras fecundadas aumentan de tamaño y se vuelven subesféricas. Las hembras maduras tienen el cuello prominente, miden entre 0.5 y 0.8 mm de longitud con gran variación de tamaño, lo cual depende probablemente de las características del hospedero y de la nutrición durante su desarrollo. Los huevos son producidos y retenidos dentro de la hembra. La cutícula de la hembra fecundada se oscurece y endurece, transformándose en quiste, el cual puede contener hasta 500 huevos. Los quistes permanecen en el suelo después de la cosecha y los huevos

pueden mantener su viabilidad dentro del quiste en ausencia del hospedero por más de 20 años. La velocidad de multiplicación y proporción de sexos son influenciados por la densidad de la población de nemátodos y por las características del hospedero. La disponibilidad de alimento estimula la multiplicación, la que puede alcanzar hasta 60 veces más. Cuando el alimento es limitado y la población numerosa (100 huevos por gramo de suelo), la densidad de nemátodos puede llegar a disminuir (Mai et al, 1980).

**4.3.2.2 *Meloidogyne spp.*** El género *Meloidogyne* agrupa a los nematodos formadores de nódulos radicales y comprende al menos 80 especies (Siddiqi 2000). En el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L), 6 especies son consideradas de importancia global y podrían causar daño a los tubérculos: *Meloidogyne arenaria*, *M. chitwoodi*, *M. fallax*, *M. hapla*, *M. incognita*, y *M. javanica*. Las 3 primeras son importantes en climas templados, mientras que las otras 3 lo son en climas tropicales y subtropicales (Vovlas et al. 2005). Especies de este género disminuyen el rendimiento por el daño al sistema radical o infectan los tubérculos y causan agallas o protuberancias que les confiere una apariencia verrugosa que afecta su calidad y reduce su valor comercial.

Los síntomas aéreos son similares a los que se producen por daño a la raíz. Estos son: crecimiento reducido de la planta, hojas escasas, pequeñas y cloróticas que tienden a marchitarse en un tiempo caluroso. Las raíces infectadas presentan “nudos” o agallas de tamaño variado. Los tubérculos también se infectan y pueden adquirir agallas, deformarse o tener síntomas internos de estar alimentando al nemátodo. Las plantas que están severamente afectadas pueden morir prematuramente.

**4.3.2.3 Falso nemátodo del nódulo de la raíz (*Nacobbus aberrans*).** Las poblaciones de *N. aberrans* pueden ser disminuidas por nematicidas y el control cultural a través de una rotación de cultivos de 4 a 6 años (Stone & Burrows, 1985). Sin embargo, estudios indican que hay posibilidades de control biológico, especialmente a través de hongos antagonistas y bacterias (Zuckerman et al. 1989), también co-cultivo con cultivos de leguminosas, que reduzcan el nudo de la raíz amarga causado por nemátodos (Marban-Mendoza et al., 1989).

Los síntomas aéreos son similares a aquellos causados por otras enfermedades radicales, por ejemplo, enanismo y falta de vigor. Los síntomas radicales consisten en agallas en forma de cuentas. Debido a su similitud con las agallas causadas por *Meloidogyne*, es fácil confundirlas.

La presencia inadvertida de este nemátodo debajo de la cáscara de los tubérculos y su capacidad de sobrevivencia en el suelo seco adherido a los tubérculos contribuyen a su diseminación. También son susceptibles algunas arvenses y cultivos poco comunes de los Andes.

**4.3.2.4 Nemátodos de la lesión radicular (*Pratylenchus spp*).** Los machos de la mayoría de las especies de *Pratylenchus* son escasos o desconocidos. Las hembras no revelan la presencia de espermios ni espermatecas, lo que sugiere que la mayoría sea partenogénica. Los huevos son depositados por las hembras al interior de las raíces o en el suelo. Luego de la incubación emerge del huevo un juvenil de segundo estado, el que migra en busca de un sitio para alimentarse. Su ciclo de vida es corto. Presenta 3 estados juveniles, morfológicamente parecidos al estado adulto.

Los nemátodos de la lesión radicular son endoparásitos migratorios. Cuando hay poblaciones grandes, éstas causan lesiones necróticas de color marrón oscuro en el tejido cortical de la raíz. En los tubérculos producen pústulas o granos levantados, como verrugas, de color marrón purpúreo, con lo cual se reduce el valor de la papa en el mercado. Las partes aéreas de la planta son generalmente de un desarrollo pobre. *Pratylenchus spp*, es importante también porque su alimentación hace posible la infección de la raíz por bacterias y hongos.

### 4.3.3 Enfermedades producidas por bacterias

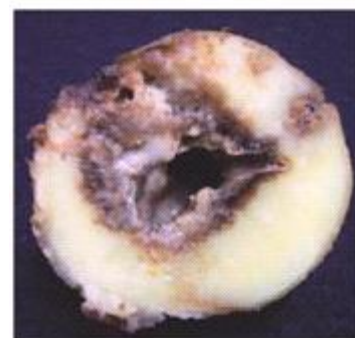
A continuación se presentan las principales enfermedades causadas por bacterias y se describen los síntomas asociados a las mismas.

**4.3.3.1 Pierna negra (*Erwinia spp*).** La pierna negra es una enfermedad difícil de controlar porque aparece en cualquier etapa de desarrollo de la planta cuando la humedad es excesiva. La bacteria puede permanecer latente en los tubérculos, inclusive en los restos de materiales afectados. La enfermedad se expresa en el follaje cuando la siembra ocurre en suelos fríos húmedos y predominan altas temperaturas después de la emergencia.

Esta enfermedad se encuentra diseminada en los terrenos donde se cultiva papa en el país y es muy dañina en climas fríos y húmedos. Es un habitante de suelo, pero puede contaminar durante el almacenamiento sobre todo cuando la ventilación es inadecuada (CIP, 1997).

Los síntomas de esta enfermedad se presentan en cualquier etapa de desarrollo de la planta, cuando la humedad es excesiva. Lesiones negras ascienden por el tallo desde un tubérculo-semilla con pudrición (Fig. 25). Las plantas jóvenes son generalmente enanas y erectas; puede haber amarillamiento y enrollamiento de los folíolos, seguido por el marchitamiento y muerte de la planta (CIP, 1996).

**Figura 25.** Pudrición de la papa causada por la bacteria *Erwinia carotovora spp* en ambientes húmedos. Fuente: nature Publishing Group. Nature Reviews, Molecular Cell Biology (2006).



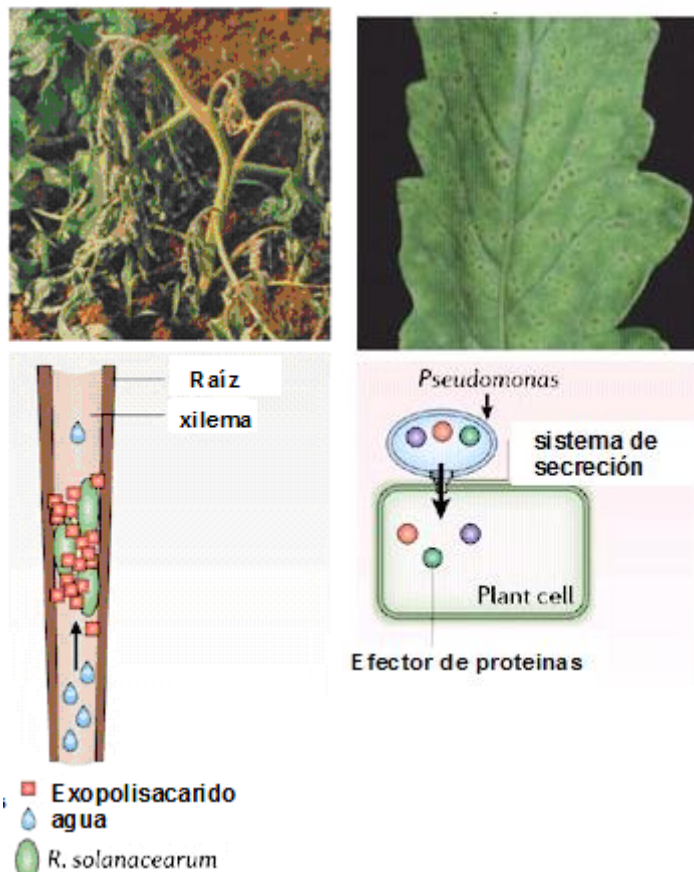
**4.3.3.2 Sarna común (*Streptomyces scabies*).** La sarna común está presente en la mayoría de las zonas paperasas más importantes del mundo (Hooker, 1981; Loria *et al.*, 1997). La sarna reduce la calidad comercial de los tubérculos que se utilizan en procesamiento y la calidad sanitaria cuando son usados como semilla.

Los síntomas en el tubérculo varían según el tipo o especie de bacteria y la variedad de papa. En la piel de tubérculos afectados se producen lesiones superficiales angulosas y redondeadas. Las lesiones pueden aparecer aisladas o en grupos y producir hendiduras profundas o protuberancias tipo verruga.

La infección en el tubérculo aparece primero en forma de manchas cafés que se desarrollan con una típica estructura reticular en forma de malla, junto a la cual surgen rajaduras. Por esta razón es fácil confundir los síntomas de esta enfermedad con los provocados por *Rhizoctonia solani*.

**4.3.3.3 Marchitez bacteriana (*Pseudomonas (Ralstonia) solanacearum*).**

El ataque de marchitez se expresa inicialmente en la decoloración leve de un solo lado de las hojas de la planta. A menudo se confunde con los síntomas de marchitez por *Verticillium*. Posteriormente, la marchitez progresa, la planta se seca y muere. Al interior del tallo los haces vasculares se vuelven oscuros. La bacteria infesta el suelo a través del mucílago bacteriano que escapa de las yemas del tubérculo y los estolones (Fig. 26).



**Figura 26.** Manifestación de la marchitez bacteriana en tallo y hoja de *S. tuberosum*, con su respectivo mecanismo de transmisión.

Fuente: nature Publishing Group. Nature Reviews/ Molecular Cell Biology (2006).

**4.3.3.4 Pudrición anular (*Corynebacterium sepedonicum*).** La pudrición anular bacteriana es un problema periódico en las regiones templadas del mundo. A veces aparece en países de clima tropical cuando se utiliza semilla de regiones templadas y puede, entonces, ser tomada por marchitez bacteriana.

Síntomas: las hojas inferiores se vuelven flácidas, con un color pálido o amarillo entre las nervaduras principales. Puede aparecer un enrollamiento hacia arriba de los bordes de las hojas y, finalmente, la planta muere.

Los cortes de tallos y tubérculos muestran anillos vasculares pardos que cuando se exprimen expelen un exudado bacteriano. La mayor parte del anillo vascular del tubérculo se descompone y se vuelve gris, amarillento, pardo o castaño rojizo. Sin embargo, otros organismos secundarios pueden producir una pudrición blanda y la infección del tubérculo puede ser confundida con la marchitez bacteriana o con la pudrición blanda. No hay exudación alrededor de las yemas.

La pudrición anular es sobre todo una enfermedad que se transmite por medio del tubérculo-semilla. La bacteria sobrevive en plantas espontáneas de papa, pero no sobrevive en el suelo aunque puede ser diseminada por herramientas, maquinaria, cestos y sacos.

**4.3.4 Enfermedades producidas por virus.** Las enfermedades causadas por virus son factores limitantes de gran importancia en la producción de papa a nivel mundial. Se conocen más de 20 virus patógenos del cultivo de la papa, siendo los más importantes los virus PVX, PVY, PVS, PVM, PYA y el virus del enrollamiento de la hoja (PLRV). Las enfermedades causadas por estos patógenos pueden reducir el vigor de las plantas infectadas, la calidad y la cantidad de la cosecha (Brunt et al. 1996, Bantari et al 1993).

Mortimer-jones et al (2009), diseñaron el test “marcador de fluorescencia TaqMan®” para detectar 3 virus de papa y uno del tomate simultáneamente, este test provee al productor de semilla de papa un diagnóstico exacto, sensible y efectivo para la detección de los virus (PLRV, PVX, PVS y TSWV).

En general para evitar las enfermedades causadas por virus se deben seguir las siguientes recomendaciones: usar semilla de calidad o semilla proveniente de áreas libres de virus, controlar los vectores principalmente los áfidos y prevenir la transmisión mecánica limpiando, desinfectando la maquinaria agrícola y controlando el movimiento en el campo.

**4.3.4.1 Virus del enrollamiento de la hoja de papa (PLRV).** Es un virus limitado al floema, el cual es transmitido por áfidos en una manera persistente. En contraste con el PVY y AMV, el PLRV toma más tiempo en ser adquirido

(20 – 30 minutos) y transmitido (24 – 48 minutos ) por los áfidos, ya que el virus necesita moverse dentro del aparato digestivo del insecto a través su cuerpo y volver a salir por las glándulas salivales.

La enfermedad presenta 2 tipos de síntomas de acuerdo con el medio de infección. Los síntomas primarios, cuando la planta es infectada por un vector contaminado, consisten en el enrollamiento de las hojas superiores, principalmente la base de los folíolos, una tendencia al crecimiento erecto de las hojas y color amarillo pálido. Los síntomas secundarios, cuando la infección se localiza en el tubérculo sembrado, consisten en el enrollamiento de las hojas basales, enanismo, crecimiento erecto y palidez de las hojas superiores. En algunas ocasiones, dependiendo de la variedad, puede aparecer una tonalidad marrón rojiza en la base de los folíolos enrollados.

**4.3.4.2 Virus del Amarillamiento de las nervaduras de la papa (PYVV).** El PYVV, es reconocido como una importante limitación en la producción de papa en Ecuador y Colombia, desplegándose a los países contiguos debido al comercio informal de semillas de papa y el reciente incremento en la población de vectores que favorecen la dispersión del virus (Salazar et al., 2000;Offei et al., 2004).

La sintomatología no es confiable, porque la enfermedad puede permanecer latente en ciertos cultivos (Salazar et al., 2000). Varios métodos de diagnóstico han sido desarrollados. Por ejemplo, en un ensayo basado en la hibridación usando extracto de hojas fue optimizado por Salazar et al. (2000); Offei et al. (2004) quienes desarrollaron un ensayo con extracción de ARN usando una plantilla ARN de reacción en cadena de polimerasa con transcriptasa reversa (RT-PCR). Sin embargo, estos métodos varían en su utilidad al momento de examinar un gran número de muestras.

**4.3.4.3. Mosaico (PVX).** La fuente de este virus son los tubérculos infectados. Es transmitido mecánicamente y ningún insecto vector interviene. Las plantas de tabaco, pimentón, y tomate pueden servir también de huéspedes de este virus.

El virus PVX produce mosaicos o moteados suaves de tipo latente; reduce el vigor de la planta. Las variantes virulentas pueden causar encrespamiento y necrosis además del mosaico (Salazar, 1982).

**4.3.4.4. Mosaico severo (PVY).** Es uno de los virus más comunes e importantes del cultivo. El PVY es un Potyvirus. Es transmitido por áfidos de manera no persistente adhiriéndose en las partes bucales de los mismos (estiletes). El insecto puede adquirir los virus de una planta enferma en pocos segundos y con la misma rapidez transmitirlo a una planta sana. El PVY puede también transmitirse mecánicamente a través de la maquinaria, herramientas, y por el daño que se les hace a las plantas mientras se camina a través del cultivo. Sin embargo, los áfidos son por excelencia el medio más eficiente de transmisión.



El PVY puede ocasionar diferentes síntomas de acuerdo con la cepa del virus, la variedad cultivada y las condiciones ambientales. Un síntoma típico es la rugosidad y el retorcimiento de las hojas. Generalmente se presenta un doblez hacia abajo del margen de los folíolos, enanismo y recientemente, se han descubierto razas de PVY que pueden causar necrosis manchadas de tejido muerto en hojas y tubérculos aumentando la preocupación acerca de este virus tan difundido; la sintomatología por sí sola no permite distinguir entre estas razas del virus, ya que los síntomas varían con la edad, el momento de infección, la temperatura, y la genética tanto del virus como de la planta huésped.

**4.3.4.5 Virus del moteado de la papa andina (APMV).** Produce normalmente un moteado. Las variedades cultivadas sensibles pueden reaccionar con necrosis apical, deformación de las hojas, enanismo o emergencia retardada.

**4.3.4.6 Virus latente de la papa (APLV).** Generalmente, los virus latentes producen moteados, mosaicos intervenales y rugosidad en las hojas. A veces también ocasionan síntomas que no se pueden detectar a simple vista. En algunas variedades, la enfermedad reduce el número o el tamaño de los tubérculos. Ocasionalmente se produce un bronceado severo y manchas necróticas en las hojas, y llegan a provocar la caída del follaje.

El APLV causa clorosis reticulada de las nervaduras menores, o mosaicos suaves, rugosidad. Es transmitido por el escarabajo-pulga de la papa *Epitrix spp.*

**4.3.4.7 “Mop top” de la papa (PMTV).** El virus del mop top de la papa (PMTV), es transmitido por *Spongospora subterranea*. El virus puede sobrevivir en el suelo por décadas. (Jones y Harrison, 1972). El PMTV produce la formación de anillos marrón en la superficie del tubérculo, es junto al *tobacco rattle virus*, una de las causas de la enfermedad conocida como “spraing”. El PMTV ocurre más a menudo en suelos pesados y húmedos (Jones, 1988).

Las condiciones que favorecen la sarna pulverulenta, condiciones húmedas y frescas, favorecen también la diseminación de este virus. En algunos casos, la infección virósica puede ser reducida mejorando el drenaje, reduciendo el riego, o retrasando la plantación hasta el momento en que la temperatura de los suelos es más cálida y los suelos están más secos. Las esporas infectadas con el virus pueden sobrevivir en el suelo por décadas. La rotación de cultivos prolongada puede ayudar a reducir la incidencia de la sarna pulverulenta. En la ausencia del vector, el virus no se disemina o desaparece rápidamente.

**4.3.4.8 Mosaicos (PVS).** La importancia del virus S de la papa (PVS) está aumentando en este cultivo. Hasta los años 1950, este virus permaneció desconocido ya que sus síntomas son muy poco visibles. El PVS puede causar pérdidas en rendimientos de hasta un 20%. La semilla de papa aún no es certificada para el PVS, lo cual ha contribuido a su amplia distribución.

La mayoría de los cultivares de papa no presentan síntomas. En algunos cultivares, y si han sido infectados temprano en el ciclo del cultivo, mostrarán síntomas tales como un ligero hundimiento de las nervaduras, hojas rugosas, crecimiento más abierto, moteado suave, bronceado o manchas necróticas muy pequeñas en las hojas.

El PVS es transmitido por áfidos en forma no persistente, incluyendo *Myzus persicae*, el pulgón verde del duraznero. Es además transmitido mecánicamente y por medio de los tubérculos.

**4.3.5 Enfermedades producidas por hongos.** Las enfermedades de la papa causadas por hongos de suelo puede presentar múltiples síntomas como: necrosis radiculares, marchitez del follaje por ataque al sistema vascular, deformaciones del tubérculo y lesiones en la base del tallo. En general, la estrategia de sobrevivencia de los patógenos del suelo radica en su capacidad de infectar la planta lo que le da una ventaja sobre sus competidores. La naturaleza, cantidad y actividad infecciosa de estos patógenos determinan el concepto de salud del suelo. En la actualidad existe gran presión para limitar el uso de agroquímicos. Por lo tanto, el énfasis en el manejo de estas enfermedades debería estar en el manejo integrado de la salud del suelo.

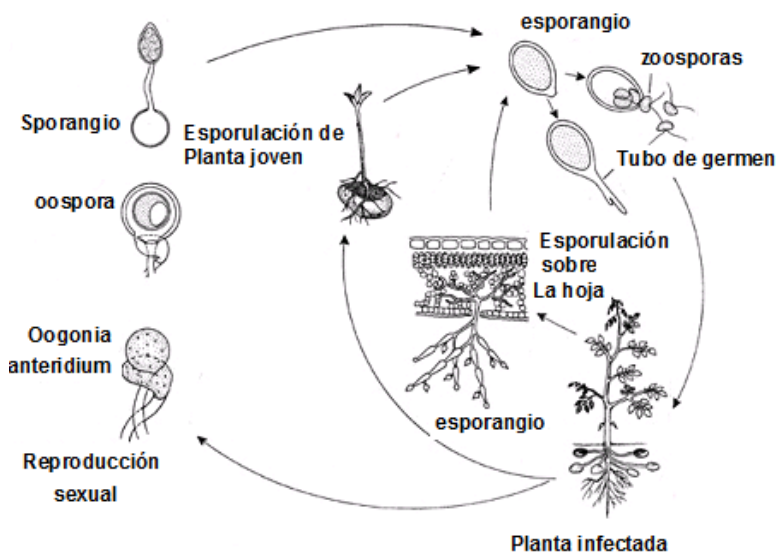
**4.3.5.1 Tizón tardío (*Phytophthora infestans*).** Es causado por el oomicete fitopatógeno *Phytophthora infestans*, es la enfermedad más importante que afecta a este cultivo alrededor del mundo. En varias oportunidades, la enfermedad ha alcanzado proporciones de epifitía. La más conocida fue la ocurrida en Irlanda en 1845, que ocasionó una gran hambruna y provocó la muerte de cerca de un millón de personas. A pesar del avance en el conocimiento que se tiene de la enfermedad, hoy día el tizón tardío continúa siendo uno de los principales factores limitantes en la producción de papa alrededor del mundo (CIP 1996).

El origen del patosistema *P. infestans* / *S.tuberosum* no es del todo claro (Abad y Abad1997). La existencia de razas en este patógeno es lo que ha dificultado hasta el momento la obtención de variedades comerciales de papa con resistencia duradera. Los principales mecanismos que justifican tal variabilidad en *P. infestans* son: la posibilidad de la reproducción sexual, la hibridación somática de hifas y la variación poblacional del hongo provocada por la presencia de genes *R* en la población de los cultivares comerciales (Tooley *et al.* 1986, Shaw 1991, Goodwin *et al.* 1995). Estas características, aunadas a la posibilidad de migración de patotipos entre países y continentes, hacen posible que exista un gran dinamismo que favorece cambios en la composición genética de la población de *P.infestans* (Fry *et al.* 1993, Goodwin *et al.* 1998, Platt *et al.* 1999).

La reproducción sexual del patógeno hace posible la formación de esporas. Estas pueden sobrevivir por varios años e infectar la planta desde el suelo. Sin embargo, la forma general de reproducción del patógeno es vegetativa el ciclo biológico se puede ver en la figura 27.

Inicialmente la infección por *P. infestans* se manifiesta en pequeñas manchas pálidas o verde oscuras de forma irregular que se expanden rápidamente, formando grandes lesiones necróticas de color café oscuro. La lesión puede matar el foliolo y extenderse a través de los peciolo hacia el tallo.

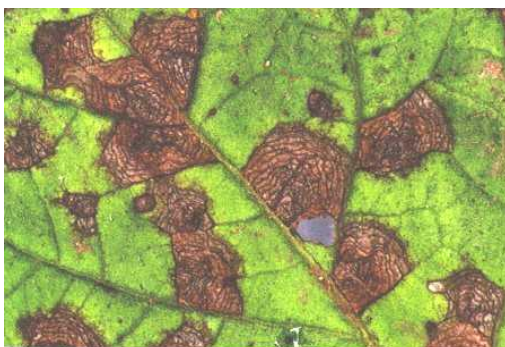
**Figura 27.** Ciclo biológico de *Phytophthora infestans* y sitio donde infecta a las plantas de *Solanum tuberosum*.



Fuente: <http://www.apsnet.org/online/feature/lateblit/chapter1/1-10.jpg>

**4.3.5.2 Tizón temprano (*Alternaria solani*).** Es después del tizón tardío, la enfermedad foliar más importante del cultivo de papa, se presenta con mayor incidencia en las zonas paperas ubicadas en regiones húmedas y cálidas de países como India, Uruguay, Brasil y del Caribe. Las pérdidas disminuyen entre 10 y 50% el rendimiento (Martin y Thurston, 1989).

Síntomas: manchas necróticas de 1 a 2 mm de diámetro que se presentan en las hojas basales a partir de los 45 días después de la siembra (Fig. 28). A medida que desarrolla la enfermedad, las manchas se rodean de un halo clorótico y forman lesiones necróticas con anillos concéntricos de color marrón claro en todo el área foliar. La mancha puede llegar a medir aproximadamente hasta 2 cm de diámetro, pero su crecimiento está restringido por las nervaduras de los foliolo. (Weingartner 1981).



**Figura 28.** Manchas necróticas en las hojas debido a la acción de *Alternaria solani*.

Fuente: [www.quimiagro.com/fotos/imgs1/img42.jpg](http://www.quimiagro.com/fotos/imgs1/img42.jpg)

**4.3.5.3 Roya (*Puccinia pittieriana*).** Es significativamente importante económicamente en Colombia y Ecuador. *P. pittieriana*, produce teliosporas. Por debajo de los 15°C, las teliosporas germinan para producir basidias y basidiosporas en 3 a 24 horas (French, 1981).

La infección producida por *Puccinia pittieriana* ocurre en hojas, tallos y peciolo. Tras el periodo de latencia, las lesiones se desarrollan en el envés de la hoja en forma de manchas redondas que van del blanco al verde. Más tarde aparecen pústulas ovaladas o redondas de color café rojizo que pueden alcanzar más de 0.5 cm de diámetro. La formación masiva de esporas en las pústulas confiere al follaje un aspecto rojizo. El aire transporta las uredoesporas maduras. El tejido afectado muere dejando un orificio en su lugar.

**4.3.5.4 Verruga (*Synchytrium endobioticum*).** El principal hospedero es la papa *Solanum tuberosum*, aunque ha sido transferido experimentalmente a otras solanáceas. Algunos cultivares de tomate son susceptibles, así como solanáceas silvestres (e.g. *Solanum stolonifer*, *S. vallis-mexici*) (Hampson 1980; Berg 1994 y CABI 2000).

La verruga o roña negra está ampliamente distribuida en las regiones templadas y de la zona tórrida con climas fríos y lluviosos. Puede producir pérdidas considerables en el rendimiento, allí donde aparezcan razas del hongo para las cuales no se han introducido materiales resistentes. Se asocia con frecuencia esta enfermedad con la sarna polvosa y no se desarrolla en suelos calientes o secos.

Los síntomas aéreos no son usualmente aparentes, sin embargo, puede presentarse una reducción en el vigor de la planta o las hojas un color verde oscuro y ligeramente más grandes de lo normal. Se forman pequeñas verrugas de color verde en los brotes o en la base de los tallos. Las hojas también pueden ser atacadas (CABI, 2000).

El hongo afecta los tubérculos pero no las raíces. Infecciones tempranas en los tubérculos jóvenes en desarrollo generan aspecto esponjoso. En los tubérculos viejos solamente las yemas infectadas forman verrugas en forma de coliflor las cuales son blancuzcas al inicio o verdes si son expuestas a la luz, gradualmente se oscurecen y eventualmente se pudren y desintegran. El tubérculo entero puede ser totalmente reemplazado por proliferación de verrugas. Las verrugas que se desarrollan en papa almacenada en la oscuridad tienen el mismo color que la piel del tubérculo (EPPO 1980; Hampson 1980; Berg 1994 y CABI 2000).

**4.3.5.5 Marchitez (*Fusarium spp*).** Las colonias de los distintos fusarios que crecen moderada a profusamente, tienen diversos colores (blanco, rosado pálido, rojo, anaranjado, púrpura, celeste, verde aceituna o pardo). El micelio

es ralo o denso, ya sea algodonoso, como un fieltro o con una zona central de funículos, pero en algunos casos es limoso. Hay fusarios con pionotos de color anaranjado. Los pigmentos que difunden en el agar suelen variar de color o tono con el pH. Algunas especies presentan zonas concéntricas de distinta morfología macroscópica debido a la secuencia luz - oscuridad (Seifert, 2001).

Síntomas: los tubérculos presentan lesiones oscuras, ligeramente hundidas y luego se extienden superficialmente dejando cavidades internas, que pueden contener micelio de colores según la especie de *Fusarium*. En las lesiones se observan anillos concéntricos típicos y en casos más avanzados del hongo el tubérculo se seca y endurece (CIP, 1996).

**4.3.5.6 Marchitez por *verticillium* ( *Verticillium dahlia*).** Esta marchitez suele desarrollarse unilateralmente en la planta y produce un amarillamiento a partir de las hojas basales. El amarillamiento de folíolos de un solo lado es típico. El anillo vascular del tallo en la parte inferior y la parte basal de los tubérculos, donde se inserta el estolón, se vuelve color marrón. En clima seco y caliente, las plantas afectadas por *Verticillium* presentan amarillamiento masivo y maduración precoz. En clima frío y lluvioso, la enfermedad puede afectar la producción sin causar síntomas en el cultivo. El hongo forma microesclerocios cuando el cultivo está muriendo y las hojas caídas comienzan a pudrirse.

**4.3.5.7 Roña o sarna polvorienta ( *Spongospora subterranea*).** La roña es una enfermedad que afecta la calidad de los tubérculos pero no los rendimientos. En variedades susceptibles puede afectar hasta un 97.5% de los tubérculos con una severidad (porcentaje de la superficie del tubérculo cubierta con pústulas) de 81 a 95% (Torres *et al.*, 1995). La severidad depende de la susceptibilidad del cultivar (Eraslan y Turian, 1989), grado de infestación del suelo y condiciones de humedad y temperatura del suelo, favorables para el desarrollo del hongo (Adams *et al.*, 1987; Hughes *et al.*, 1980; Lawrence y Mckenzie, 1981). Además, la enfermedad es muy importante porque el hongo *Spongospora subterranea* es vector del virus mop top de la papa (PMTV) (Jones y Harrison, 1969).

Los primeros síntomas aparecen en las raíces en forma de pequeñas agallas claras de 2 a 15 mm que se vuelven oscuras y se rompen con el tiempo. Sin embargo, una raíz infectada no siempre desarrolla agallas. Si el ataque es severo, la planta se marchita.

En la parte aérea de la planta, generalmente no se observan síntomas de la enfermedad. Los síntomas iniciales son pequeños granitos como ampollas de color claro en la superficie del tubérculo. En una etapa más avanzada se convierten en pústulas abiertas y oscuras de 2 a 10 mm de diámetro las cuales contiene una masa de esporas de color castaño oscuro. Las lesiones casi siempre son redondeadas y bordeadas por fragmentos de epidermis (CIP, 1996).

**4.3.5.8 Costra negra (*Rhizoctonia solani*).** La costra negra es la enfermedad más común en los suelos dedicados al cultivo de la papa. (Fankhauser, 1997). *R. Solani*, se transmite de un cultivo a otro por suelo infectado e implementos agrícolas; ataca a brotes, estolones y tubérculos causando complejas sintomatologías en los diferentes estados fenológicos de la planta. Este hongo mata los brotes subterráneos, retarda o anula la emergencia. En los tallos causa el estrangulamiento, produce retardo en su desarrollo, arrosamiento del ápice, pigmentación púrpura de las hojas y formación de tubérculos aéreos. En la superficie de los tubérculos maduros se forman costras negras llamadas esclerocios que son las estructuras de reproducción del hongo. (Agris, G. 2002.).

**4.3.7 Enfermedades producidas por factores ambientales.** La papa es susceptible a factores ambientales extremos, de humedad, temperatura y desbalances nutricionales que interrumpen el desarrollo normal del cultivo y limitan su producción. Los síntomas de estas enfermedades, conocidas como abióticas, pueden ocurrir de manera conjunta o coexistir con enfermedades causadas por organismos. Así, comúnmente son difíciles de diagnosticar y causan confusión para los agricultores y técnicos.

**4.3.7.1 Deficiencia de oxígeno.** Las necesidades de oxígeno de los tubérculos son altas a 0 °C y son mínimas a 5 °C aumentan hasta 16 °C y son altas a 25 °C y temperaturas superiores. De esta manera puede haber deficiencia de oxígeno en las células de los tubérculos, a temperaturas demasiado bajas como a demasiado altas. Los daños se producen tanto en el campo como en condiciones de almacenamiento, particularmente si el movimiento de aire es limitado alrededor de los tubérculos. Los tubérculos que crecen rápidamente tienen necesidades altas de oxígeno.

El ennegrecimiento del centro del tubérculo es consecuencia de una deficiencia aguda de oxígeno, asociada o con temperatura baja en un almacén cerrado o con temperaturas altas del suelo en el campo. Los tubérculos afectados se pudren después.

Un problema de campo, poco agudo entre los causados por temperatura alta, en el que grupos de células toman un color oscuro, especialmente en el centro de los tubérculos grandes. La necrosis interna por calor es con frecuencia severa en suelos arenosos o cenagosos, que están expuestos al calor del sol cuando hay muerte precoz del follaje y cosecha retardada. La pudrición no es, normalmente, un problema serio.

Los tubérculos con síntomas de deficiencia de oxígeno no deberían ser utilizados como semilla. Es menester evitar temperaturas altas en el suelo cosechando tan pronto como muera el follaje. Hay que mantener los almacenes refrigerados a 4°C y mejorar la ventilación durante el almacenamiento.

**4.3.7.2 Daños debidos a temperatura baja (heladas).** Artunduaga (1982) y Torrez (1995), indican que la helada es la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0 °C a un nivel de 1,5 a 2,0 m sobre el nivel del suelo, nivel reglamentario a la que se instalan las casetas meteorológicas. Desde el punto de vista agro meteorológico la helada podría definirse como la temperatura a la cual los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño, sin embargo, es difícil establecer la temperatura crítica para cada cultivo, ya que la severidad del daño depende además de otros factores, como ser: el estado de desarrollo vegetativo y tipo de cultivo, condiciones del suelo y duración de la heladas entre otros.

Las opciones para contrarrestar las heladas son limitadas. Es importante tomar en cuenta las épocas de siembra para evitar riesgos. Adicionalmente, se debe tomar en cuenta la topografía del terreno. Cuando se siembra durante periodos de alto riesgo, hay que evitar suelos con pendientes suaves debido a la circulación de corrientes de aire frío. Tradicionalmente, los agricultores de la sierra han practicado otros métodos de reducir el efecto de la helada, como quemar aserrín o paja a un costado del cultivo, encender fogatas alrededor del suelo en horas críticas y regar por aspersión o inundación antes de que se produzca la helada.

**4.3.7.3 Granizo.** El granizo puede causar defoliaciones suficientemente severas para reducir el rendimiento. Generalmente el daño al tallo se localiza en el punto de impacto, donde el tejido epidérmico se vuelve gris brillante con apariencia de papel. La planta de papa tiene una habilidad extraordinaria de recuperarse por daños sufridos en el follaje. La reducción del rendimiento varía con la severidad del daño y el periodo de desarrollo de la planta. Las mayores pérdidas se producen cuando la planta ha sufrido el efecto del impacto entre las 2 a 3 semanas después de la floración. Cuando el granizo provoca daños durante la maduración, los efectos en el tubérculo son menores. Comúnmente, después de una granizada temprana en el ciclo del cultivo, los agricultores aplican bioestimulantes vegetales que incrementan la actividad enzimática y el metabolismo vegetal, acompañados de una fertilización foliar complementaria.

**4.3.7.4 Sequía.** La disponibilidad de agua en el suelo influye en los procesos de desarrollo, fotosíntesis y absorción de minerales por la planta. Un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día. En los lugares donde se practica cultivo de secano, se encuentra una estrecha correlación entre la intensidad de la precipitación y el rendimiento final de tubérculos. La falta de agua se manifiesta por amarillamiento y marchitamiento de las hojas, menor velocidad de crecimiento y maduración precoz, con una consecuente reducción del rendimiento. (Martinez, y Moreno, 1992)

## 4.4 CONTROL Y MANEJO DE LAS ENFERMEDADES Y PLAGAS

**4.4.1 Control químico.** Agricultores de la Región Andina han cultivado la papa sin necesidad de insumos externos. Sin embargo, la introducción del patógeno *Phytophthora infestans* a comienzos del siglo XX ha causado epidemias regulares de tizón tardío que demanda la aplicación continua de fungicidas. Las condiciones modernas, en particular el aumento de la población humana, exigen intensificación en el cultivo del suelo con graves consecuencias sobre los recursos naturales y los balances ecológicos. Como resultado, hoy en día la papa representa el cultivo más controversial en cuestiones fitosanitarias, con problemas de dependencia y sobre utilización de agroquímicos, además, efectos colaterales negativos en la productividad del cultivo, el medio ambiente y la salud humana.

**4.4.1.1 Insecticidas.** Los insecticidas generalmente son los productos de mayor toxicidad, y por lo tanto, de mayor riesgo para la salud humana. Para la selección de un insecticida se debe conocer sus características toxicológicas, su clasificación y modo de acción (tabla 3).

**Tabla 3.** Clasificación de los insecticidas utilizados en el cultivo de la papa según su composición química o vía de ingreso al insecto.

COMPOSICIÓN QUÍMICA			VÍA DE INGRESO AL INSECTO
Orgánicos		Inorgánicos	
<i>De síntesis</i>	<i>Bioinsecticidas</i>	<i>Arseniatos</i>	contacto ingestión fumigantes asfixia-aceites
-Clorados -Fosforados -Carbamatos -Piretroides -Inhibidores de la síntesis de la quitina	Formulaciones provenientes de: -Virus -Hongos -Anélidos -Bacterias		

Fuente: FEDEPAPA y Ministerio del Ambiente 2004

Pimentel (2005), indica que el uso de agroquímicos en los Estados Unidos devuelve aproximadamente \$4 por \$1 invertido en el control de plagas. Por lo tanto, queda claro porque los métodos convencionales de manejo de plagas son tan atractivos. Sin embargo, esos costos no incluyen los costos sociales o ecológicos de la agricultura. Los costos ambientales y sociales asociados con el uso de agroquímicos en los Estados Unidos alcanzan los \$10 mil millones



anuales y sólo \$2 mil millones para la vigilancia del agua y la limpieza de agroquímicos. Los ingresos provenientes de las cosechas y la ganadería en los Estados Unidos son aproximadamente \$200 mil millones anuales que representan aproximadamente el 4% de los ingresos provenientes de la agricultura (Fare , et al 2006). En el Reino Unido, el gobierno calculó que los costos asociados con la contaminación del agua ocasionada por la agricultura eran alrededor de 1-2% del valor bruto total agrícola (DEFRA y Pretty et al 2000).

La Organización Mundial de Salud ha calculado que alrededor de 20.000 personas mueren anualmente como consecuencia de la exposición a insecticidas (WHO. 1990). También se ha demostrado que algunos insecticidas han devastado poblaciones de enemigos naturales en algunos sistemas (Matlock , 2002.).

En la actualidad no se permite el uso de los compuestos inorgánicos debido a que contienen metales pesados que se acumulan en el medio ambiente. Los compuestos orgánicos de origen vegetal hasta el momento no han demostrado efectividad consistente para el control de plagas de la papa. Sin embargo, por su baja toxicidad para mamíferos demandan más atención por los investigadores y productores.

**4.4.1.2 Fungicidas.** La era de los fungicidas sistémicos se inicio en 1966 con el desarrollo de las oxantinas, que son eficientes principalmente para el control de los carbones y de las royas. En 1984 se introdujeron las fenilaminas, que son específicas para ficomicetes. En 1988 aparecieron los benzimidazoles, fungicidas eficientes contra hongos de los grupos deuteromicetes, ascomicetes y basidiomicetes. A finales de los ochenta se sintetizaron las estrobirulinas que se derivan de compuestos naturales producidos por hongos del orden agaricales, los cuales son fungicidas que controlan la mayoría de los grupos de hongos.

#### **4.4.1.2.1 Fungicidas protectantes preventivos**

los fungicidas vienen desde sus fábricas con el ingrediente activo sistémico combinado con un ingrediente activo protectante (Mancozeb, Metiram, Propineb, Folpet).

**4.4.1.2.1.1 Compuestos de cobre:** en su composición está presente el ion de cobre en forma de quelato. Estos fungicidas inactivan las enzimas. Ejemplos son: el sulfato básico de cobre (Basicob), óxidos de cobre (Cupracide) e hidróxido cúprico (Kocide).

**4.4.1.2.1.2 Compuestos de azufre:** se caracterizan por inhibir la síntesis de ATP (transporte de electrones). Son de amplio espectro y fitotóxicos a altas temperaturas.

**4.4.1.2.1.3 Ditiocarbamatos:** son los fungicidas protectores convencionales más usados, principalmente por ser de amplio espectro. Se caracterizan por inhibir diferentes enzimas y por lo tanto simultáneamente tienen efecto en funciones celulares.

**4.4.1.2.1.4 Compuestos aromáticos:** poseen un anillo de benceno. El modo de acción de estos fungicidas no es muy claro.

**4.4.1.2.1.5 Compuestos heterocíclicos:** es otro grupo de fungicidas protectores convencionales usados con frecuencia. Inhiben la respiración, y generalmente se usan para la desinfección del suelo.

**4.4.1.2.1.6 Dicarboximidas:** son fungicidas de acción preventiva, cuyo mecanismo de acción no es muy claro. Tienen acción selectiva para hongos de las familias Moniliaceae y Sclerotiniaceae.

**4.4.1.2.2 Fungicidas sistémicos:** este tipo de fungicidas solo detienen el avance de la infección. Pueden eliminar el patógeno, pero el tejido infectado muere.

**4.4.1.2.2.1 Oxantinas:** son los primeros fungicidas sistémicos que se desarrollaron. Inhiben la enzima ácido succinico deshidrogenada. Tienen transporte apoplástico, y son eficientes para el control de basidiomicetes.

**4.4.1.2.2.2 Fenilaminas:** inhiben la enzima RNA polimerasa I, y son específicos y eficaces para el control de ficomicetes (*Phytophthora infestans*, *Pythium* y los hongos que producen mildes). Estos fungicidas tienen transporte apoplástico. Los principales representantes de este grupo son el metalaxyl y el furalaxyl.

**4.4.1.2.2.3 Benzimidazoles:** estos fungicidas inhiben la síntesis de tubulína en la mitosis. Son fungicidas de amplio espectro, y actúan sobre ascomicetes y deuteromicetes. Los ficomicetes (*Phytophthora infestans*, *Pythium*) son insensibles.

**4.4.1.2.2.4 Inhibidores de la biosíntesis de ergosterol:** son fungicidas que inhiben la biosíntesis del ergosterol. Tienen la acción preventiva y curativa. Son de amplio espectro como grupo y actúan sobre los ascomicetes, basidiomicetes y deuteromicetes, pero individualmente pueden ser específicos.

**4.4.1.2.2.5 Estrobirulinas:** son fungicidas de origen natural que se derivan de compuestos producidos por hongos del orden agaricales. Estos fungicidas inhiben la formación del ATP en la respiración. Son productos que tienen niveles de toxicidad bajos para los mamíferos, son aplicados en dosis bajas y tienen acción terapéutica, por lo que son adecuados para ser usados en programas de manejo integrado de enfermedades.

**4.4.1.2.2.6 El fosetil aluminio:** es un fungicida de acción indirecta que estimula la síntesis de fenol y de las fitoalexinas (productos naturales que inhiben a los hongos) en las plantas, es el único fungicida que tiene movimiento apoplástico y simplástico

**4.4.1.3 Herbicidas:** el manejo químico de arvenses ha tomado auge en los últimos años, debido al desarrollo de herbicidas altamente selectivos hacia cultivos específicos, la escasez de mano de obra y la popularidad creciente de labranza reducida. Los herbicidas son generalmente clasificados por su selectividad, modo de acción, mecanismo de acción, época de aplicación, grupo químico y formulación.

**4.4.1.3.1 Selectividad:** selectividad es la característica de alcanzar e interrumpir las funciones vitales de una planta (arvense) y no de otra (el cultivo). La selectividad es relativa, y a su definición se podría añadir bajo determinadas condiciones y en ciertas proporciones. Sin embargo, los herbicidas suelen clasificarse como selectivos (afectan algunas especies de plantas) o no selectivos (son tóxicos a toda clase de vegetación). Entre estos grupos hay 3 tipos generales de herbicidas:

**4.4.1.3.1.1 De contacto:** son aplicados al follaje y afectan únicamente los tejidos sobre los cuales entran en contacto.

**4.4.1.3.1.2 Sistémico:** se aplican al follaje y al suelo; son absorbidos y distribuidos por toda la planta.

**4.4.1.3.2 Modo de acción:** implica la secuencia de eventos que llevan a la muerte de la planta. Para que un herbicida pueda ejercer su acción tóxica necesita entrar en contacto con la planta, penetrar dentro de la planta y ser movilizado al centro vital de acción. Los principales modos de acción son:

**4.4.1.3.2.1 Contacto con las plantas:** el herbicida debe establecer un contacto directo con las plantas.

**4.4.1.3.2.2 Penetración del herbicida:** la penetración comúnmente ocurre a través de las hojas y las raíces.

**4.4.1.3.2.3 Movilización translocación:** una vez absorbido, el herbicida es movilizado y acumulado en los centros vitales.

Gómez (2009), realizó un monitoreo genético de una población expuesta a plaguicidas en cultivos de papa en el municipio de Totoró (Cauca), mediante el registro de alteraciones cromosómicas (AC). Reportó los compuestos químicos más utilizados (tabla 4) y concluyó que hay una asociación significativa entre estos y enfermedades tales como lagrimeo, irritación ocular, dolor de cabeza, fatiga, mareo y disminución de la memoria. Además, Identificó efecto citotóxico

en linfocitos y genotóxico ya que la frecuencia de AC fue significativamente mayor en el grupo expuesto que en el grupo no expuesto.

**Tabla 4.** Compuestos químicos más representativos utilizados en el control de enfermedades y plagas en el cultivo de papa en el municipio de Totoró.

TIPO	PLAGUICIDAS UTILIZADOS EN EL CULTIVO DE PAPA	CLASIFICACIÓN
Surfactante	Agrotin	Aditivo
Fungicida	Curzate	Ditiocarbamato
Fungicida	Dithane	Ditiocarbamato
Fungicida	Mancozeb	Ditiocarbamato
Fungicida	Antracol	Ditiocarbamato
Fungicida	Previcur	Ditiocarbamato
Fungicida	Ridomil	Ditiocarbamato
Insecticida	TMTD Metamidofos	Organofosforado
Insecticida	Curacron	Organofosforado
Insecticida	Lorsban	Organofosforado
Insecticida	Carbofuran	Carbamato
Insecticida	Furadan	Carbamato
Herbicida	Gramoxone	Bipiridilo

Fuente: tomado y modificado de Gómez (2009).

**4.4.2 Manejo integrado de enfermedades y plagas.** El manejo integrado de plagas o MIP es una práctica que incorpora al insecto, y otros organismos, sea planta o animal, junto con estrategias de manejo (como el control biológico, cultural, químico, mecánico y la resistencia de la planta), con el objetivo de mantener la población de una plaga o plagas por debajo de un nivel que se considere dañino, preferiblemente utilizando métodos que sean, económica, ambiental y socialmente compatibles. Uno de estos factores se refiere a los enfoques de capacitación o transferencia que se han utilizado. En la mayoría de los sistemas agrícolas, las interacciones entre, suelo, agua, aire, clima, planta y animales, difícilmente tienen el tiempo de poder desarrollar un equilibrio ecológico como al que se llega en los sistemas no agrícolas. Sin embargo, si se estudian y entienden estas interacciones es posible manejar mejor los problemas asociados a una plaga o complejo de plagas en una forma económica y ambientalmente aceptable (FEDEPAPA y Ministerio De Agricultura, 2004).

En términos generales, el MIP es el manejo del agroecosistema a favor del agricultor. El MIP propone una estrategia de manejo que, tomando en cuenta la socioeconomía y ecología de la finca, utiliza todos los métodos y técnicas apropiadas y disponibles para promover la salud y productividad del cultivo. El agricultor, por su parte, tiene que tomar decisiones constantemente para solucionar problemas dentro de su finca. Estas decisiones dependen de diferentes factores, entre los cuales el acceso a la información es de suma importancia (Cohen y Christensen, 1970; Checkland, 1981; Röling, 1988).

La prevención, el uso de umbrales y sistemas de apoyo a decisiones son elementos claves en el MIP. Un productor de papa que practique MIP necesita evaluar diversos balances agro-ecológicos en el cultivo, por ejemplo:

- Si existe un nivel de plagas en el cultivo que justifique el control.
- Si existen mecanismos naturales de control que limiten el efecto o la densidad de las poblaciones.
- Si el efecto del daño real es considerable como para afectar el rendimiento.

Al desarrollar una estrategia de manejo integrado, el agricultor necesita tomar en cuenta la complejidad biológica del cultivo y entender que la manipulación de una parte tiene efectos en todo el sistema. Necesita saber cuales son los requerimientos específicos del cultivo y las limitaciones del sitio de cultivo, antes de examinar las opciones de manejo que minimicen los riesgos y el estrés durante el ciclo del cultivo.

Así, el MIP no se centra simplemente en promover tecnologías de control de plagas y enfermedades, sino en el desarrollo de los conocimientos del agricultor y su capacidad para la toma de decisiones.

**4.4.2.1 ¿Cómo enfrentar enfermedades y plagas según el MIP?** Cuando se enfrenta a una plaga, el objetivo principal es manejarla y no combatirla. Es decir que se debe implementar un conjunto de actividades y métodos de control que se apoyen unos a otros, planificando y ejecutando cuidadosamente en un ámbito que vaya más allá del ciclo del cultivo. Estas actividades se refieren en particular a la sucesión de cultivo en la rotación, a las labores de preparación del suelo y al manejo de una enfermedad o plaga en el campo y durante el periodo de almacenamiento. El manejo de un problema fitosanitario requiere muchas veces, además de una buena comprensión de las complejidades agroecológicas, la cooperación entre productores de la región y el apoyo de normas legales.

Al organizar la estrategia de protección del cultivo, el agricultor debe proceder en forma sistemática. Para ello debe estar en condiciones de:

- Identificar y priorizar los problemas fitosanitarios que históricamente han ocurrido en el cultivo, en la parcela o en la finca. ¿Cuáles de ellos son los más tolerables y los de más efecto?
- Identificar qué plagas o enfermedades son manejables y cuáles son las opciones de manejo. Por ejemplo, muchas enfermedades cuyo origen está en el suelo pueden no ser manejables debido a que no es posible ampliar las rotaciones, a que no existen productos para la desinfección del suelo o éstos son demasiado costosos para el productor.
- Seleccionar un conjunto de prácticas de manejo apropiadas e integrarlas; este paso exige muchos conocimientos. Las tácticas

empleadas deben ser tales que sus efectos en el sistema completo sean compatibles interna y externamente. Se deben evaluar distintas relaciones de intercambio y evitar que ciertas opciones de manejo de un factor pueden agravar la severidad de otro.

#### **4.4.2.2 Estrategias generales de manejo integrado de plagas (MIP).**

1) Excluir o evadir los organismos que causan daño al cultivo: se trata de evitar el contacto entre el cultivo y el organismo-plaga, por ejemplo, previniendo la introducción y distribución de *Tecia solanivora* en regiones que a la fecha están libres de este organismo. Las medidas de exclusión son particularmente útiles para evitar la introducción de enfermedades a través de la semilla. El comercio internacional de semillas ha sido el mecanismo principal en la dispersión de nuevas variedades de *Phytophthora infestans* en el mundo (Villegas, 2003). Además, la termoterapia y la micro propagación por meristemos, permite limpiar las variedades de los organismos causantes de la degeneración, están dentro de las herramientas de exclusión disponibles (Pierik, 1990). También incluye precauciones sanitarias, como la limpieza de la maquinaria y la higiene en general, la desinfección de la semilla, las regulaciones gubernamentales de cuarentena y los procedimientos de certificación de semillas. Una excelente medida de precaución es la selección y uso de terrenos no contaminados.

2) Limitar el nivel inicial de la población de organismos plaga: en particular, se aspira a reducir los niveles iniciales de la población plaga a niveles mucho más bajos que aquellos que pueden causar pérdidas económicas. Esto es particularmente útil para muchas enfermedades y plagas del suelo. La rotación de cultivos, cultivos intercalados, la fumigación del suelo, la remoción de sitios de sobrevivencia (amontonamiento de desechos), la desinfección de la semilla y el arado profundo para incorporar residuos son prácticas que el agricultor debe considerar.

3) Minimizar el desarrollo de las enfermedades y plagas insectiles en el cultivo: aquí, se tiene especialmente el uso de agroquímicos, el uso de variedades resistentes, la densidad y distanciamiento de siembra, la orientación de los surcos y las prácticas de manejo de fertilidad y riego.

**4.4.2.3 Instrumentos de apoyo para la toma de decisiones.** Las diferentes acciones de manejo de plagas deberían seleccionar ideas basadas en el conocimiento previo de la ecología del cultivo. Estas opciones están definidas en las 2 primeras estrategias enunciadas anteriormente. Sin embargo, existe una variedad de instrumentos de apoyo a las decisiones, incluyendo el análisis del agroecosistema, diversos conceptos de umbrales y sistemas de producción.

**4.4.2.3.1. Análisis del agroecosistema (AAE).** En principio es necesario tener en cuenta los factores bióticos y abióticos relacionados al cultivo, y clasificarlos de acuerdo a la influencia de estos sobre la sanidad del cultivo. Esta información se puede sintetizar en un dibujo donde los agricultores representan la condición del cultivo y del campo, poniendo una planta típica en el centro y los factores positivos y negativos en diferentes lados de la planta.

Posteriormente, se describe la situación y se definen acuerdos sobre acciones a tomar para asegurar el buen desarrollo del cultivo. El AAE representa un instrumento práctico para aumentar los criterios aplicados a la toma de decisiones, en particular, se pone atención en consideraciones holísticas antes de usar agroquímicos (CIP, 1997).

**4.4.2.3.2. Umbrales.** Uno de los instrumentos de apoyo más útiles es el concepto de umbral. 3 son los umbrales más utilizados. El más simple es el umbral de daño (UD) o el punto en que una población de insectos o cierto número de plantas infectadas o enfermas alcanza una magnitud suficientemente grande para afectar la producción o la calidad del cultivo. Segundo, es el umbral de pérdidas económicas (UPE), que se refiere a un punto en que las pérdidas financieras potenciales exceden el costo de manejo. Por lo tanto, para evitar una pérdida neta, se debe tomar una medida correctiva antes de alcanzar este punto. Por último, el momento en que se deben tomar medidas correctivas se llama umbral de acción (UA). Este es el punto cuando el costo de intervención es igual a la cantidad de pérdida ocasionada por el nivel alcanzado por la plaga. (Barea, 1999).

El productor debe evaluar las múltiples enfermedades y plagas en el campo durante el desarrollo del cultivo y decidir en forma oportuna las medidas a tomarse. La observación, muestreo y diagnóstico continuos, como el AAE, son actividades esenciales. En general, el productor estima intuitivamente el UA. Los economistas lo calculan de la siguiente manera:

$$UA = \frac{\text{Costo del control (PESOS/ha)} \times \text{Coeficiente de daño (Kg/ha / \#plaga/ha)}}{\text{Valor de la papa (PESOS/ Kg)}}$$

Nótese que es útil aplicar estos conceptos antes y durante el periodo del cultivo. Se puede aplicar el concepto de umbrales a diversas situaciones, por ejemplo a enfermedades y calidades de semilla, a los niveles de infestación del suelo, a la infestación por áfidos, a las correcciones en la nutrición y a una amplia variedad de plagas y enfermedades que ocurren durante el ciclo del cultivo.

**4.4.2.3.3. Sistemas de predicción.** En la actualidad están disponibles en todo el mundo, sistemas de predicción de la irrupción de plagas o enfermedades de la papa. Sin embargo, el uso de estos sistemas en Colombia es muy limitado, principalmente debido a las complejidades de la ecología en la que ocurre el cultivo de papa. En otros países, muchos sistemas han sido desarrollados para monitorear el tizón tardío, (causado por *Phytophthora infestans*), tizón temprano (*Alternaria solani*), y plagas insectiles como el escarabajo colorado (*Leptinotarsa decimelineata*). Su valor principal consiste en determinar si existen condiciones favorables para el desarrollo de plagas, cuándo es más probable que aparezcan problemas fitosanitarios en el cultivo. Dichos sistemas son la base para la ejecución supervisada de esquemas de aplicación de agroquímicos.

García, 1998. Evaluó el modelo de predicción BLITECAST para el manejo de tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary) en el cultivo de papa, encontrando que el manejo de esta enfermedad fue similar de zona a zona, con alguna variación según la época el año. Por lo tanto no recomendó el uso de BLITECAST, sin embargo, Gastélum 2004 reportó que desde la utilización del sistema ha permitido el ahorro de 60 toneladas de fungicida por ciclo agrícola, en una superficie de 6000 hectáreas, discutió los resultados en términos de la importancia del tubérculo semilla como posible fuente de inóculo primario para el desarrollo del tizón tardío, y manifiesta la necesidad de estudios adicionales orientados hacia el manejo integrado del mismo.

**4.4.2.3.4. Aspectos legales.** El manejo integrado de plagas y enfermedades requiere una definición en términos del sistema de producción y de las necesidades de todos los involucrados. Por lo tanto, es evidente que el MIP trasciende los límites de la finca y requiere un apoyo político. Las leyes y su administración por el gobierno nacional y los gobiernos locales pueden tener importantes contribuciones en la práctica de MIP y en la reducción de efectos colaterales de agroquímicos. Recientemente se han tomado acciones en el país para fortalecer este componente, pero con pocos resultados hasta la fecha.

Entre otros factores importantes de la política, se pueden incluir:

- La política de precios de los agroquímicos y subsidios directos e indirectos.
- La prohibición y autorización de uso de agroquímicos, en particular aquellos de alta toxicidad y residualidad en el medio ambiente.
- El control de reglamentaciones, la orientación y la filosofía de las organizaciones de servicio técnico y desarrollo rural.
- El pensum de las escuelas rurales, secundarias y universidades.
- Los flujos de información para los miembros de la cadena de producción
- El establecimiento de medidas cuarentenarias.
- La certificación de las semillas.
- Fijación de umbrales de contaminación ambiental y de los productos cosechados.
- La mediación en litigios por políticas externas.

**4.4.2.4. Métodos de manejo.** El MIP es más una filosofía que una tecnología. Por eso no ofrece recetas fijas de cómo se debería cultivar la papa. La combinación de estrategias y formas utilizadas en cualquier campo específico debe variar, según la situación política, económica y ecológica. La juiciosa elección de métodos es función de una buena comprensión de diversos conceptos. A continuación presentamos algunas de las prácticas de MIP más importantes.

**4.4.2.4.1. Prácticas culturales.** El agricultor debe estar consciente que la actividad agrícola es la principal causa de la irrupción de plagas, arvenses y



enfermedades. El monocultivo en tiempo y/o espacio, los patrones de rotación de cultivos inapropiados o demasiado cortos, la deficiente calidad fitosanitaria de la semilla, la uniformidad genética del material plantado a nivel de parcela, provincia y región o la intensificación del uso del espacio, crean condiciones ideales para el desarrollo de plagas. Sin embargo, el agricultor posee diversas oportunidades para manejar esta situación a su favor. Las herramientas incluyen la manipulación de la diversidad de especies sembradas, el tipo de la variedad plantada, el uso de variedades o cultivos intercalados, las prácticas y métodos de preparación del suelo y del cultivo, el saneamiento, las alteraciones de las densidades de siembra, fechas de siembra y cosecha, la extensión y tipo de rotación de cultivos, las alteraciones de la fertilidad y la aplicación de riego. A modo de ilustración, se tratarán más detalladamente las prácticas culturales normalmente más relevantes para lograr el MIP. (Pacajes et al 2002)

**4.4.2.4.2. Rotación.** La rotación de cultivos es más efectiva contra las plagas que tienen mecanismos limitados de dispersión. Este es el caso de muchos patógenos y plagas del suelo, que poseen un rango limitado de plantas huéspedes o están especializados fisiológicamente. Un buen ejemplo es el gusano blanco, para el cual la rotación es una medida muy efectiva. Cuanto más móvil y polífaga es la plaga, menos efectiva es la rotación.

En caso de fuertes infestaciones del cultivo, se puede rotar con cultivos antagónicos. Estos inducen la actividad de la plaga o interfiere con su capacidad de multiplicarse, agotando así su energía y reduciendo su número.

Idealmente, las rotaciones de cultivos con papa no deberían ser menos de un cultivo de papa seguido por 5 cultivos de otras familias. Este sistema sirve para evitar la proliferación de plagas y patógenos dentro del ecosistema. Sin embargo, en muchas partes del país, debido a la presión poblacional y de degradación del suelo, se ha reducido las rotaciones de papa a 3 o dos ciclos del cultivo. Como resultado, hoy en día los agricultores están experimentando graves problemas fitosanitarios. (López, 2000).

**4.4.2.4.3. Labranza y otras manipulaciones del suelo.** El método de preparación del suelo para la siembra influye marcadamente en el ambiente del suelo y con ello en las estructuras de supervivencia de muchos patógenos o parásitos. La labranza expone estas estructuras y organismos a la acción de enemigos naturales, a rápida desecación, a la radiación ultravioleta, o bien causa daños físicos directos. Los efectos sobre el gusano blanco se tratarán más adelante. El efecto sanitario de la inversión del perfil de suelo por uso de arado de vertedera ha sido demostrado frecuentemente. Sin embargo, los efectos del cincelado o de las cultivadoras prueban que un mínimo movimiento de la estructura puede ayudar a suprimir también enfermedades y plagas. Además, los aporques en la papa tienen una importancia sanitaria especial, pues se supone que limitan las infecciones del tubérculo por *P. Infestans*, *Alternaria* y otros patógenos. Al mismo tiempo, son efectivos en el caso de insectos como las polillas barrenadoras del tubérculo (Villalobos et al, 2009).

**4.4.2.4.4. Fertilización.** El manejo del pH y la fertilización influyen fuertemente en la actividad patogénica o parasítica de una variedad de organismos. En general, las bacterias y los actinomicetos proliferan mejor en condiciones cercanas a un pH neutral. Es probable que la acidez de los suelos negros andinos explique a la vez la ausencia de marchitez bacteriana, causada por la bacteria *R. solanacearum*. En algunos lugares se controla esta enfermedad subiendo el pH. Una buena nutrición con calcio aumenta la resistencia de los tejidos del tubérculo a la laceración causada por dicha bacteria.

Los hongos, en general, poseen una mayor capacidad de adaptación a la actividad del ion hidrógeno y crecen mejor en suelos ácidos, donde encuentran menos problemas con antagonistas y competidores. Tradicionalmente problemas de sarna común (*Streptomyces scabies*) están relacionados con elevado pH y el uso de cal.

La fertilización nitrogenada reduce significativamente enfermedades causadas por hongos como el *S. rolfsii*, pero una fuerte fertilización aumenta la posibilidad de epidemias de tizón. A veces, el efecto del tipo de fertilización es indirecto. Por ejemplo, la fertilización con potasio incrementa las poblaciones de algunos *Penicillium spp.* La fertilización nitrogenada en cambio disminuye la población del antagonista.

**4.4.2.4.5. Incorporación de materia orgánica.** Una gran cantidad de residuos orgánicos pueden inducir, a través de la microflora y microfauna, efectos antagonísticos contra enfermedades en el próximo cultivo. La quema o separación de residuos priva de una importante fuente de energía a los microorganismos del suelo, hace al suelo más susceptible a procesos de erosión y es perjudicial para la construcción o mantenimiento de un nivel adecuado de materia orgánica. El uso de compost y humus de lombriz de suelo son prácticas sencillas que proveen al productor de un excelente abono orgánico. Mediante este proceso muchas enfermedades, arvenses y residuos tóxicos pueden ser eliminados, estabilizando al mismo tiempo los nutrientes. El productor debe estar alerta en la búsqueda y combinación de mejores alternativas (Iriarte et al 1999).

Los residuos de un cultivo pueden transformarse en un problema si estos albergan plagas o enfermedades. Cuando hay problemas de sarna común, la aplicación de estiércol puede agravar sus efectos, especialmente si se ha encalado. En tales casos, se recomienda evitar el uso de estas enmiendas orgánicas y a la vez quemar o separar los restos del cultivo. También, se recomienda no colocar una alta cantidad de materia orgánica en la vecindad de la semilla. Las grandes cantidades de abono verde o estiércol en descomposición, además de afectar negativamente la cantidad de nitrógeno disponible, pueden favorecer el desarrollo de sarna. Las enmiendas orgánicas pueden tener diversos efectos en las enfermedades del suelo.

**4.4.2.4.6. Medidas sanitarias preventivas.** Las medidas sanitarias preventivas han recibido poca atención por parte de los productores y en particular, de los

servicios de asistencia técnica. Estas resultan básicas para el manejo de diversas enfermedades, especialmente en aquellas causadas por nemátodos. Estos se desplazan de una parcela a otra a través de suelos contaminados adheridos a la maquinaria, herramientas, botas o a través de semillas. Por el peligro de contaminación se debe eliminar las plantas contaminadas y tapar los amontonamientos de desechos de cosechas anteriores. Es muy importante que se entierre en el suelo, en un lugar donde no se cultiva, lo que se acumula tras la selección de semillas, la limpieza y el ensacado. Por último se debe realizar la limpieza y desinfección de bodegas, lugares de almacenamiento y silos.

**4.4.2.4.7. Control biológico de enfermedades y plagas.** Una gran cantidad de microorganismos benéficos (parásitos, comensalistas, depredadores, competidores y promotores de crecimiento) han sido identificados, multiplicados y formulados para su uso comercial (Pumisacho y Sherwood, 2002)

Para el manejo de enfermedades presentes en el suelo, el productor puede decidirse por dos tácticas: directamente, con la introducción de algún organismo benéfico, o indirectamente, modificando las condiciones del suelo a favor de los organismos antagonistas naturales, por ejemplo mediante aplicaciones de enmiendas orgánicas. El problema central de los agentes biológicos (no de sus derivados) es que, como todo organismo vivo, necesitan de un ecosistema receptivo para realizar sus funciones. Por lo tanto, su uso requiere consideraciones específicas, tanto para el control de la enfermedad, como para la sobrevivencia de la antagonista.

El fenómeno que conlleva a que el tratamiento de una plaga produzca el surgimiento de otra se llama cambio de dominancia, también conocido como enfermedad debido al doctor, que es quien receta el tratamiento. Un fenómeno frecuente, después de la desinfección de suelos por medios químicos o físicos, es lo que se conoce como el efecto boomerang de rebote, es decir que después del tratamiento de un patógeno vuelve a actuar con mucho más fuerza. El efecto boomerang ha sido observado en especial cuando se ha diagnosticado equivocadamente el agente de la enfermedad, o si éste se ha vuelto resistente al producto anteriormente aplicado.

Cuando en un suelo existen condiciones para la acumulación de poblaciones de microorganismos con efectos antagónicos, gracias a los cuales no se desarrollan las pestes, se habla de un "suelo supresivo". Por ejemplo, la infección del tubérculo de papa por *P. infestans* es común en muchas partes del mundo. El carácter supresivo puede deberse a factores químicos, físicos, biológicos o a una combinación de ellos. Este fenómeno, aunque es universalmente reconocido, ha sido poco estudiado y aún menos explotado en el manejo de las enfermedades en la papa.

#### 4.5 COMPARACIÓN ENTRE EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL MÉTODO TECNIFICADO PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPA EN COLOMBIA.

A manera de síntesis, se describe el proceso de producción de la papa en sus diferentes etapas: antes de la siembra, durante el desarrollo del cultivo y en la poscosecha, caracterizando los métodos empleados por los productores de acuerdo con el grado de tecnificación utilizado, como método tradicional y método tecnificado y aclarando que el tamaño de las áreas explotadas es independiente del grado de tecnificación de los agricultores y de su condición económica (tablas 5, 6, 7, 8, 9 y 10).

Tabla 5. Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado empleado en la producción y acondicionamiento de la semilla de papa.

ACTIVIDAD	MÉTODO TRADICIONAL	MÉTODO TECNIFICADO
Producción de semilla certificada. Reglamentada por la Resolución ICA No. 2501 de septiembre de 2.003	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los agricultores tradicionales no acceden con facilidad al proceso de certificación oficial por parte del ICA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Actualmente existen 37 productores especializados autorizados por el ICA para producción de semilla de las categorías super elite en laboratorio y elite en invernadero y para campo, multiplicación de las categorías básica, registrada y certificada.</li> </ul>
Selección. Consiste en la separación de tubérculos apropiados como semilla de los que presenten daños o defectos por diferentes causas	La selección es deficiente y subjetiva. Por economizar dinero, escoge para semilla, tubérculos de calidad inferior, pequeña, con daños de plagas y enfermedades.	La selección de semilla es adecuada. El agricultor prefiere tubérculos sanos, libres de plagas y enfermedades, bien formados y sin mezcla de variedades de papa.
Tratamiento. Consiste en la aplicación de agroquímicos para la protección de la semilla, contra el ataque de plagas y enfermedades	En algunos casos no realiza tratamiento, condición que favorece la diseminación de patógenos. Cuando realiza el tratamiento, la aplicación de agroquímicos se hace en dosis, productos y sistemas inadecuados, que pueden llegar a generar contaminación en aguas y suelo.	El tratamiento con fungicida e insecticida para la semilla certificada de papa es obligatorio. <ul style="list-style-type: none"> <li>Para la protección de la semilla en finca, se utilizan agroquímicos autorizados por el ICA en dosis y sistemas apropiados.</li> </ul>
Empaque. Consiste en la colocación de los tubérculos destinados para siembra en un recipiente.	Normalmente utilizan sacos de fique o fibra de polipropileno de 62,5 kilos. En algunas zonas cambia la capacidad de los empaques a 50 kilos para semilla certificada y algunos mercados solicitan empaques como canastillas. <ul style="list-style-type: none"> <li>El almacenamiento a granel para la semilla del agricultor, se realiza en algunas zonas buscando mejor condición de brotación de la semilla.</li> </ul>	

Fuente: Federación Colombiana de Productores de Papa (FEDEPAPA) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2004).

Tabla 6. Comparación en la preparación del suelo para el cultivo de la papa de acuerdo al método tradicional y el método tecnificado.

ACTIVIDAD	MÉTODO TRADICIONAL	MÉTODO TECNIFICADO
<p>Arada. Rotación del suelo como fase inicial de la preparación que permite aireación, con la ayuda de arados de chuzo, disco, vertedera o cincel, entre otros implementos.</p> <p>Se suministra a la semilla una condición adecuada para su emergencia y el posterior establecimiento del cultivo. Esta labor facilita las demás labores culturales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalmente utiliza arado de disco en número de dos a 3 pases que volteo el suelo y crea deterioro de las propiedades y estructura del suelo, limitación de drenaje, pérdida de diversidad biológica agrícola, deterioro del ecosistema y promueve la conformación de una capa endurecida a pocos centímetros de la superficie del suelo.</li> <li>• Los tractoristas no tienen en cuenta la humedad y propiedades del suelo para la preparación de los suelos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza arado de cincel o chuzo que penetra en el suelo sin voltearlo y permite la aireación del mismo sin deteriorarlo como en el sistema tradicional.</li> <li>• Menor número de pases con maquinaria</li> <li>• En ocasiones utiliza sistemas conservacionistas como el guachado en Nariño o labranza reducida, con apertura de surcos a manera de rayado superficial e incorporación de abonos verdes.</li> </ul>
<p>Pulida. Proceso que permite disminuir el tamaño de las partículas como terrones y material vegetal, por la acción de rastras, rastrillos, grada rotatoria o arado rotatorio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por el uso excesivo e inadecuado del arado rotatorio, se afecta negativamente la retención de humedad y la estructura del suelo, lo pulveriza favoreciendo su pérdida por agua y aire, especialmente los ubicados en zonas de topografía inclinada y en suelos superficiales.</li> <li>• Los tractoristas no consideran condiciones de humedad y propiedades para la labor de pulida del suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los productores utilizan arado rotario a la velocidad indicada de operación, con graduación de la tapa del implemento para impedir desmenuzar el suelo y pulverizarlo. No usa en épocas muy secas y rota su uso con rastras a media traba o gradas rotatorias.</li> <li>♦ No usa en zonas muy inclinadas, suelos superficiales o en suelos de topografía compleja.</li> </ul>
<p>Surcada. Operación de elaborar surcos, en los cuales se deposita la semilla y el fertilizante en el momento de la siembra. En ocasiones se realiza siembra por el sistema de hoyos o "ahoyado"</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hace los surcos a favor de la pendiente, para facilitar la ejecución de algunas labores culturales</li> <li>» En el sistema de guachado, los surcos elevados y a favor de la pendiente, no causan erosión porque el suelo se remueve de forma mínima.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los surcos los hace en contra de la pendiente o en algunos casos en curvas de nivel en zonas de ladera para evitar el arrastre de suelo.</li> <li>• Realiza el surcado con surcadoras arrastradas por bueyes o maquinaria agrícola.</li> </ul>

Fuente: Federación Colombiana de Productores de Papa (FEDEPAPA) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2004).

Tabla 7. Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado con relación a las labores culturales realizadas para cultivo de la papa.

ACTIVIDAD	METODO TRADICIONAL	METODO TECNIFICADO
<p>Desyerba</p> <p>Consiste en la eliminación de arvenses y en amontonar suelo junto a las plantas siguiendo la dirección de los surcos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La eliminación se realiza removiendo el suelo y amontonándolo junto a las plantas, siguiendo la línea del surco.</li> <li>• En siembras mecanizadas, un tractor arrastra un implemento que amontona suelo a lo largo del surco y posteriormente obreros con azadón perfeccionan la labor., Inmediatamente antes de la desyerba se aplica por segunda oportunidad fertilizante, labor conocida como "reabone"</li> <li>• En labranza mínima normalmente sólo se remueve por una vez el suelo en una labor intermedia entre desyerba y aporque.</li> </ul>	
<p><i>Aporque.</i> Amontonamiento por segunda oportunidad de suelo alrededor de las plantas, siguiendo la dirección de los surcos para promover desarrollo de estolones y garantizar adecuada tuberización.</p>	<p>Se remueve nuevamente el suelo para promover el desarrollo de estolones y tubérculos. Normalmente la operación es manual y los obreros utilizan azadones, palas o cutes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En explotaciones en zonas planas a ligeramente inclinadas, se hace la labor con aporcadoras y se perfecciona la labor con azadón.</li> <li>• En el departamento de Nariño el aporque es muy elevado, producto del guachado, sin que se generen procesos erosivos fuertes.</li> </ul>	
<p><i>Aplicación de riego suplementario.</i></p> <p>El riego permite un mejor rendimiento del cultivo, en especial en épocas secas o con presencia de heladas. En Colombia menos del 7% de área cultivada con papa tiene posibilidades de aplicación de riego</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalmente el cultivo está condicionado al agua proveniente de las lluvias.</li> <li>• Cuando riega, lo hace si el suelo está seco y no existen criterios</li> <li>• En caso de heladas, o realiza como estrategia para incrementar los rendimientos o para manejo de la Polilla Guatemalteca de la papa. Técnicos para la aplicación de agua y los equipos normalmente provocan escapes a lo largo de las tuberías.</li> <li>• Existen algunas deficiencias en los criterios de aplicación de agua para el cultivo de papa, en frecuencia y tiempo de riego.</li> </ul>	
<p><i>Recolección de residuos vegetales de la cosecha anterior de papa.</i></p> <p>Consiste en retirar del terreno, residuos de cosechas anteriores y arvenses que puedan llegar a perjudicar el desarrollo del cultivo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ No recoge los residuos de cosechas anteriores o lo hace de forma deficiente.</li> <li>• En el momento de la desyerba destruye las "toyas" o plantas que aparecen del ciclo anterior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recoge, utiliza o destruye los residuos para evitar la proliferación de plagas y enfermedades.</li> <li>• En la desyerba, destruye las "toyas" o plantas de papa espontáneas que aparecen del ciclo anterior.</li> </ul>
<p><i>Cosecha de tubérculos.</i></p> <p>Labor de extraer del suelo, seleccionar, clasificar y empacar los tubérculos</p>	<p>Recoge la papa comercial y deja cantidades considerables de tubérculos no comerciales en el suelo, o abandonados en otros sitios, especialmente en épocas de precios bajos.</p>	<p>Recoge oportunamente la papa comercial con destino al mercado y la papa no comercial la destruye o la utiliza en alimentación de obreros, o de animales como ganado de leche y cerdos, elabora compost o harinas.</p>

Fuente: Federación Colombiana de Productores de Papa (FEDEPAPA) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2004).

Tabla 8. Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado en la fertilización del cultivo de la papa.

ACTIVIDAD	METODO TRADICIONAL	METODO TECNIFICADO
Aplicación de fertilizantes, abonos y correctivos. Se refiere a la incorporación de diferentes fuentes de nutrientes al suelo para la nutrición de los cultivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza correctivos y fertilizantes en dosis inadecuadas con base en experiencias de cultivos anteriores, sin consultar las necesidades del cultivo o la eficacia de las fuentes de nutrientes.</li> <li>• Principalmente se usan fertilizantes compuestos con nitrógeno, fósforo y potasio, sin aplicar otros elementos que los cultivos requieren generalmente la fuente de materia orgánica son estiércol de vaca, cerdo y otros estiércoles de mala calidad sin descomponer o "crudas" que contribuyen a la proliferación de plagas y enfermedades en el cultivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalmente aplica un plan de fertilización con base en resultados de análisis de suelos y la necesidad del cultivo, que le permite ajustar dosis de correctivos, fuentes de materia orgánica y fertilizantes simples o compuestos.</li> <li>• Utiliza materia orgánica descompuesta como un mejorador de los suelos y como fuente suplementaria de nutrientes.</li> </ul> <p>Usa fertilizantes con elementos menores y acude a aplicación de fertilizantes foliares como complemento de la fertilización edáfica.</p>

Fuente: Federación Colombiana de Productores de Papa (FEDEPAPA) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2004).

Tabla 9. Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado del cultivo de la papa, con relación al manejo de plagas enfermedades y arvenses.

ACTIVIDAD	METODO TRADICIONAL	METODO TECNIFICADO
Control de plagas, enfermedades y arvenses. Se refiere a la implementación de medidas de prevención, mitigación y eliminación de organismos que afectan el cultivo de papa o compitan con él.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuerte arraigo por el uso de agroquímicos de síntesis como principal herramienta de control de organismos que afectan el cultivo.</li> <li>• Utiliza productos, aún aquellos que están fuera de las recomendaciones de uso autorizadas por el ICA, en mezclas inadecuadas y altos volúmenes de agua.</li> </ul>	Utiliza métodos alternativos de control de plagas, enfermedades y arvenses antes de acudir al control químico: control cultural, biológico, etológico, uso de variedades tolerantes a enfermedades, cosecha oportuna, recolección de residuos de agroquímicos, riego y demás medidas.
Aplicación de agroquímicos al suelo. Es el uso de agroquímicos dirigidos a la base de la planta de papa para ejercer control de plagas y enfermedades	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Realiza aplicaciones con base en experiencias de otros cultivos, sin conocer el efecto de control, utilizando dosis frecuentemente elevadas o mezclas no recomendadas de agroquímicos.</li> <li>■ La aplicación dirigida a la base de la planta se realiza en condiciones de suelo seco por lo que el control es poco efectivo.</li> </ul>	Utiliza dosis ajustadas a las recomendaciones consignadas en las etiquetas de los agroquímicos y de vez en cuando se aplican productos biológicos con base en hongos entomopatógenos.

Fuente: Federación Colombiana de Productores de Papa (FEDEPAPA) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2004).

Tabla 9. (Continuación) Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado del cultivo de la papa, en el manejo de plagas enfermedades y arvenses.

ACTIVIDAD	MÉTODO TRADICIONAL	MÉTODO TECNIFICADO
Aspersiones foliares de agroquímicos. Consisten en el uso de agroquímicos dirigidos al follaje de las plantas de papa para ejercer control de plagas enfermedades.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Realiza un número exagerado de aplicaciones o aspersiones calendario, sin considerar niveles de daño o necesidad de prevención.</li> <li>* Regularmente utiliza altos volúmenes de agua y mezcla de varios agroquímicos, que se traducen en controles deficientes. No tiene en cuenta las condiciones ambientales para realizar o suspender las aplicaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibra equipos de aspersión foliar que le permitan aplicar las dosis adecuadas con bajos volúmenes de agua, para la prevención y control de los organismos que causan daño en los cultivos.</li> <li>• Cuando mezcla agroquímicos tiene en cuenta compatibilidad y utiliza sustancias coadyuvantes.</li> <li>• Tiene en cuenta las condiciones ambientales que garanticen el éxito de la aplicación.</li> </ul>
Control etológico de plagas. Es el uso de trampas para capturar algunos insectos plaga.	No lo utiliza	Utiliza trampas de diferente tipo para vigilar la presencia de Polilla Guatemalteca de la papa y, de vez en cuando utiliza trampas de caída o de paso para adultos de Gusano Blanco de la Papa o de colores blanco, azul y amarillo para Moscas Blancas y áfidos.

Fuente: Federación Colombiana de Productores de Papa (FEDEPAPA) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2004).

Tabla 10. Comparación entre el método tradicional y el método tecnificado del cultivo de la papa en la rotación de cultivos y otras actividades.

ACTIVIDAD	METODO TRADICIONAL	METODO TECNIFICADO
Siembras de cultivos alternos o explotaciones pecuarias con ganado de leche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realiza siembras consecutivas de papa hasta cuando los niveles de productividad y sanidad se lo permiten.</li> <li>• No realiza rotación con otros cultivos y normalmente deja pastos naturales como rotación por uno o dos años.</li> <li>• En los cultivos de rotación, utiliza semilla tradicional y en general, un manejo inadecuado de agroquímicos</li> </ul>	<p>Prefiere la rotación del cultivo de papa con otras especies para romper ciclos de plagas y enfermedades.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La rotación más frecuente se realiza con pastos naturales o siembra de pastos mejorados después de una o dos cosechas consecutivas de papa.</li> <li>• A veces siembra abonos verdes .</li> <li>• En áreas comprendidas entre 2400 y 2900 m.s.n.m., existe rotación con especies como zanahoria, arveja, fríjol, maíz y otras hortalizas como alternativas de producción.</li> </ul>

Fuente: Federación Colombiana de Productores de Papa (FEDEPAPA) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2004).



## 5. DISCUSIÓN

En Colombia, alrededor de 90.000 familias se encuentran vinculadas directamente al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) como actividad económica y generan cerca de 20 millones de jornales al año (Martínez y Espinal, 2003).

Por la disponibilidad de las condiciones climáticas para el cultivo de la papa en el departamento del Cauca, se puede pensar en obtener material vegetal mediante procesos eficientes y amigables con el medio ambiente. A continuación se exponen los métodos empleados para la obtención de material vegetal, cuyos resultados muestran alternativas potenciales para el agricultor del departamento del Cauca.

### 5.1. MÉTODOS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIAL VEGETAL DE PAPA *Solanum tuberosum*.

La propagación de material vegetal en la actualidad cuenta con diversos métodos que mejoran el rendimiento y la calidad de la cosecha, sin embargo, en el departamento del Cauca prevalece el uso de métodos tradicionales y son pocos los agricultores que realizan prácticas tecnificadas.

#### 5.1.1. SEMILLA SEXUAL

Entre las tecnologías desarrolladas en los últimos años en el Centro Internacional de la Papa, el uso de semilla sexual es la que probablemente ha producido mayores expectativas, por cuanto constituye una alternativa que, bajo ciertas condiciones agroeconómicas, parece altamente viable para solucionar problemas que actualmente limitan el establecimiento o expansión del cultivo.

A diferencia del sistema de propagación clonal, que requiere de muchas multiplicaciones y exigente control sanitario para alcanzar volúmenes grandes de material vegetal para el establecimiento del cultivo, con la semilla sexual de papa sólo se requieren 30 a 50 g para plantar una hectárea, lo que abre la posibilidad de expandir rápidamente el uso de variedades nativas, además; de ser una forma económica y sostenible de almacenamiento de reservas estratégicas de los recursos genéticos para enfrentar posibles catástrofes naturales o erosión genética (Golmirzaie et al, 1990).

El uso de gametos no reducidos (2n) en el esquema 4X- 2X, constituye una estrategia que ha mostrado significativos resultados, pues los progenitores (2x) transmiten resistencia a plagas y enfermedades, así como también caracteres agronómicos importantes, a sus progenies obtenidas por propagación sexual. Sin embargo, el esquema de apareamiento entre progenitores tetraploides (4X-4X) con buena habilidad combinatoria general (HCG), es el más utilizado. (Mendoza ,1983; y Golmirzaie y Mendoza, 1985).

## **5.1.2. MÉTODOS BIOTECNOLÓGICOS**

El uso de semilla certificada le permite al agricultor obtener mejores rendimientos, sin embargo, el método utilizado mediante la reproducción asexual (por tubérculo) disminuye la variabilidad genética, lo que reduce la selección de nuevos cultivares de acuerdo con las necesidades y preferencias de los agricultores. Para conservar la variabilidad genética se han creado los bancos de germoplasma, el Ministerio de Agricultura, el ICA y Corpoica celebraron en 1994 un convenio especial de cooperación técnica y científica con el objeto de procurar la preservación de los bancos de germoplasma de propiedad de la nación Colombiana. En 1994 el banco de germoplasma de papa es transferido por el ICA a Corpoica; fue así como la Colección Central Colombiana de papa (CCC) se constituyó como parte del sistema de bancos de germoplasma.

### **5.1.2.1. Obtención de plántulas por cultivo de meristemas**

Entre las técnicas del cultivo de tejidos vegetales se encuentra el cultivo de meristemas, que se utiliza en muchas especies vegetales para la erradicación de virus (Ashmore, 1997). Esta técnica se fundamenta en que la distribución de los virus no es uniforme y que su concentración tiende a disminuir progresivamente hacia el meristema apical del tallo, donde las células se encuentran en constante y rápida multiplicación. Otros métodos como la termo y la quimioterapia, solos o en combinación con el cultivo de meristemas, también se utilizan para el saneamiento de plantas infectadas con virus (Nacimiento et ál. 2003).

En la revisión del cultivo de tejidos, se encontraron reportes de la influencia de la composición química de los medios y las condiciones físicas sobre el desarrollo de la planta. Al respecto Jara en 1996, estudio el uso de medios líquidos para la propagación in vitro y micro tuberización de cultivares de *Solanum tuberosum* y concluyó que el cultivo en medios líquidos con agitación a partir de esquejes multinodales, es un método eficiente y rápido para la producción de plántulas, permitiendo en poco tiempo obtener un mayor número de plántulas que el logrado en los medios sólidos.

Corzo (1999), describe y resume el esquema actual de producción de semilla certificada de papa, el cual se basa en la utilización de métodos biotecnológicos, exigidos por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) mediante resolución No 03303 del 20 de noviembre de 1997.

### **5.1.3. AEROPONÍA**

La principal ventaja ecológica de el cultivo aeropónico es la conservación de agua y energía. Aun comparándolo con sistemas hidropónicos, el sistema aeropónico utilizando cantidades bajas de agua y energía permite obtener mejor rendimiento por metro cuadrado de área cultivada (Stoner, 1983). Además, reduce el uso de fertilizantes en un 60% y elimina el uso de pesticidas (Spinoff, 2008).

El Departamento de Agricultura de Sri Lanka implemento un programa de producción de semilla pre- básica apartir de un sistema aeropónico, el cuál fue comparado con otros sistemas y los resultados favorecieron al sistema aeropónico el cual mostro un incremento en la producción de tubérculos (Nugaliyadde et al, 2005).

#### **5.1.4. TRANSFORMACIÓN GÉNICA**

El Potato Genome Sequencing Consortium (Consortio para la secuencia del genoma de la papa) está avanzando mucho en la constitución de la secuencia completa del ADN del genoma de la papa, lo que enriquecerá el conocimiento de los genes y proteínas de esta planta y de sus características funcionales. Los adelantos técnico científicos en materia de genómica estructural y funcional de la papa, y la capacidad de integrar genes de interés en el genoma de la papa, han incrementado la posibilidad de transformación genética de esta planta con tecnologías de recombinación del ADN (CIP, 2008).

Las variedades transgénicas de papa permiten aumentar la producción y generan nuevas oportunidades para uso no alimentario industrial. Sin embargo, es necesario ponderar con atención todos los aspectos relacionados con la bioseguridad y la inocuidad antes de ponerlas en el mercado (FAO, 2008b).

Es necesario evaluar la capacidad de transformación de la nueva variedad pastusa suprema empleando genes reporteros y marcadores de selección, para obtener protocolos estándar que permitan en el futuro la introducción de genes de resistencia a insectos plaga y/o a condiciones bióticas y abióticas adversas, como la sensibilidad a heladas (Navia, 2005).

Perilla et al 2002, evaluaron en 36 clones de papa (*Solanum tuberosum*) las siguientes características: calidad para la industria, rendimiento, respuesta a gota y precocidad, utilizando como testigos las variedades cultivadas para procesamiento industrial , Diacol Capiro, Diacol Monserrate e ICA Única . De este conjunto de clones se seleccionaron 19 clones, de los cuales 7 son superiores para el conjunto de las variables.

Además, de la obtención del material vegetal es necesario revisar las relaciones bióticas y abióticas que disminuyen el rendimiento del cultivo de papa *Solanum tuberosum*, a continuación se presentan las enfermedades y plagas que inciden con mayor impacto sobre la rentabilidad del cultivo.

## **5.2 CONTROL Y MANEJO DE ENFERMEDADES Y PLAGAS EN EL CULTIVO DE PAPA.**

### 5.2.1. ENFERMEDADES Y PLAGAS.

En el presente trabajo se mencionan insectos, nemátodos, bacterias, virus, hongos y los factores ambientales que afectan al cultivo de la papa *Solanum tuberosum* en sus diferentes estados fenológicos.

#### 5.2.1.1. Insectos

Los insectos individualmente no pueden causar daños de importancia económica. Cada insecto tiene enemigos naturales que mantienen el balance entre el número de predadores y presa. Los insecticidas afectan el balance entre las plagas y sus enemigos naturales que generalmente son más susceptibles y por lo tanto aumenta el número de plagas y el daño en el cultivo (Nicholls, 2008). La ocurrencia de plagas, son un indicador de la crisis ecosistémica, cada vez más grave a la que se enfrentan los agricultores debido al manejo que ellos hacen del mismo.

En Colombia, las principales pérdidas económicas en el cultivo de papa se deben al ataque de la Polilla Guatemalteca (*Tecia solanivora* Lepidoptera: Gelechiidae). Se presenta en más del 80% de las zonas cultivadas del país y genera una disminución de los rendimientos superior al 30%. Este insecto no sólo está presente en América Latina, sino también en África, Asia y en el sureste de Europa, y fue reportado en Colombia por primera vez en 1985 (Arévalo, 2003).

Para el control de la Polilla Guatemalteca (*Tecia solanivora*) los agricultores acuden al uso de una gran cantidad de plaguicidas que se aplican con demasiada frecuencia. Este hecho, además de incrementar sustancialmente los costos de producción, origina el desarrollo de resistencia a los plaguicidas (Sánchez *et al.*, 2000). En el contexto de las múltiples estrategias agrupadas bajo el concepto de manejo integrado de plagas (MIP) se propone la obtención de variedades de plantas que posean resistencia a los insectos plaga. Una tecnología que se viene explorando recientemente, y que puede servir como complemento al MIP para ofrecer soluciones parciales al problema, es la utilización de plantas transformadas con genes que confieren resistencia a los insectos plaga (Chaparro *et al.*, 2003).

Palacios *et al.* 1994, proponen para el manejo de la polilla un programa que integra medidas de control cultural, etológico, biológico y químico. En el campo se aplican once medidas: buena preparación del terreno, siembra oportuna, semilla bien tapada, aporque alto, trampas con feromonas, riego frecuente (evita grietas en el suelo), uso de plaguicidas selectivos, cosecha oportuna, selección de tubérculos, cobertura del producto cosechado, eliminación de rastrojos y en el almacén se aplican siete medidas: limpieza y desinfección del almacén, almacenamiento inmediato, baculovirus, trampas de feromonas, plantas repelentes, revisión periódica de la semilla, almacén con luz difusa.

Las polillas de la papa *Phthorimaea operculella* y *Tecia solanivora* se distribuyen ampliamente en América latina. Forman parte del grupo de insectos más perjudiciales para el cultivo y almacenamiento de papa. Un mismo virus de granulosis (denominado *Phthorimaea operculella* granulovirus o PhopGV) es un agente eficaz para controlar ambas especies de polilla ( Zeedam. et al. 2003).

El gusano blanco de la papa *Premnotrypes vorax* es considerado uno de los insectos plaga más limitantes del cultivo de la papa en Colombia. Peña et al. 1999, proponen la utilización de cultivos trampa, que consisten en sembrar, veinte días antes, dos o tres surcos de papa alrededor del cultivo principal, con el fin de atraer y reunir a los adultos del gusano blanco; dependiendo del número de adultos encontrados, en estos surcos se hacen las aplicaciones de insecticida con productos químicos cuyo ingrediente activo está formado por carbofurán .

En los departamentos de Nariño y Cauca, el complejo de chisas (*Phyllophaga obsoleta* y *Ancognatha scarabaeoides*) ocasiona daño económico en los sistemas de producción, atacando entre otros a los cultivos de papa (Peña y Lucero, 2003).

Londoño et al (2001), proponen las siguientes prácticas que permiten la regulación de las poblaciones del complejo de chisas: preparar el terreno con arado y rastra, si la pendiente lo permite. Así partirá larvas y pupas o los expondrá a la acción del sol, el aire y los pájaros. Utilizar la trampa de luz ultravioleta y promover campañas de captura comunitarias para atrapar los cucarrones antes de que pongan los huevos en el suelo. Además, adicionar hongos entomopatógenos tanto en la siembra como en el aporque.

### **5.2.1. 2. Hongos**

De otro lado el hongo *Phytophthora infestans* causante de la enfermedad conocida como tizón tardío de la papa, es el patógeno más importante que afecta a este cultivo alrededor del mundo. En varias oportunidades, la enfermedad ha alcanzado proporciones de epifitias. La más conocida fue la ocurrida en Irlanda en 1845, que ocasionó una gran hambruna y provocó la muerte de cerca de un millón de personas (Henfling, 1987).

Por su corto ciclo de vida *Phytophthora infestans* puede producir mutaciones y llegar a ser resistente especialmente a los fungicidas sistémicos como metalaxyl. El uso indiscriminado y continuo de un solo fungicida en extensas áreas de cultivo contribuye a generar problemas de resistencia a estos fungicidas. La resistencia ocurre cuando el patógeno llega a ser insensible a un fungicida y el control de la enfermedad en campo se ve disminuido e incluso en algunos casos resulta ser completamente ineficaz (Pérez y Forbes, 2008).

Se utilizan técnicas biotecnológicas para el control biológico de hongos patógenos en papa, algunos de estos son el uso de micorrizas arbusculares y otros antagonistas de los hongos como por ejemplo: *Aspergillus niger* (Van)

Tiegh, y *Trichoderma viride* Pers, con suelos de diferentes características y variación en los rangos de pH y temperatura (Calvet, 2000).

### 5.2.1.3. Bacterias

*Rhizoctonia solani* Kuhn (teleomorfo: *Tanatephorus cucumeris* Frank & Donk), patógeno presente en todas las áreas productoras de papa, provoca cáncer de tallo y estolón, así como costras sobre los tubérculos (Hooker, 1986), además, reduce la emergencia de los brotes, el vigor de la planta y frecuentemente, los tubérculos infectados se agrietan o se deforman (Powelson *et al.* 1993).

Muñoz *et al.* 2001, proponen los métodos de solarización y encalado como pretratamientos del suelo para la introducción de agentes de control biológico de *Rhizoctonia solani*. Además concluyen que los mejores tratamientos para el control de *Rhizoctonia solani* son: el encalado + *Bo subtilis* GV-3 y el solarizado + *Bacillus* sp. con 100% de protección del suelo.

### 5.2.1.4. Virus

Los cultivos de papa pueden ser infectados por diferentes virus que pueden reducir el rendimiento y la calidad de los tubérculos. Los más comunes son PVY, PLRV, PVS y PVX entre otros. Cuando se sospecha la presencia de virus, frecuentemente se utilizan técnicas de detección serológicas y de ácidos nucleicos que sirven para diagnosticar y caracterizar estos problemas (Burrows y Zitter, 2005).

Con el objetivo de obtener plantas libres de virus se puede utilizar el método de propagación *in vitro*, donde se estudian los rangos del tamaño de meristemo más adecuado, para el crecimiento se utilizan sales de Murashige y Skoog (1962), 1 mg.l<sup>-1</sup> de tiamina, 100 mg.l<sup>-1</sup> de mioinositol, 1 mg.l<sup>-1</sup> de ácido giberélico y 1.8 mg.l<sup>-1</sup> de gelificante. Después de dos transferencias a medios de cultivo de multiplicación, se diagnostica la presencia de virus a través de la técnica ELISA.

Los virus pueden ser transmitidos por diferentes vectores (en su mayoría insectos), la medida más importante para controlar la introducción de virus es evitar la introducción del inóculo en el cultivo plantando semilla de papa certificada.

## 5.2.2. CONTROL QUÍMICO.

Las condiciones modernas, en particular el aumento de la población humana, exigen intensificación en el cultivo, con graves consecuencias sobre los recursos naturales y los balances ecológicos. Como resultado, hoy en día la papa representa el cultivo más controversial en cuestiones fitosanitarias, con problemas de dependencia y sobreutilización de agroquímicos y efectos colaterales negativos en la productividad del cultivo, el medio ambiente y la

salud humana (Ducrot, 1993; Kaarhus, 1993; Frolich y Guevara, 1998 y Crissman et al., 1998).

El método más utilizado aunque no el más aconsejable para el control y manejo de enfermedades y plagas es el control químico como reporta Gómez (2009), quien estudio los efectos de los fungicidas e insecticidas, en su mayoría carbamatos y órganofosforados, en la salud de una muestra tomada de la población del municipio de Totoró (Cauca). Los síntomas más frecuentes encontradas en el fueron: lagrimeo, irritación, dolor de cabeza, fatiga, mareo y disminución de la memoria. Además, el uso de agroquímicos para el control de las plagas y enfermedades no es del todo efectivo puesto que hay reportes de resistencia a los mismos, la base de los factores multidimensionales dependientes de la ecología, fisiología, bioquímica y genética de los vectores, varía con la especie, las poblaciones y la localización geográfica (Brown,1986).

### **5.2.3. MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS.**

En el afán de la uniformización se ha creado una serie de conceptos unilaterales con connotaciones negativas para describir los elementos del agroecosistema como el de plagas, arvenses, nivel crítico, insumos químicos, etc., que no son más, que una carrera desesperada por querer controlar con un producto, interacciones complejas de la naturaleza, que sólo se pueden evitar, con estrategias adecuadas y operativamente viables acordes a conceptos como el de biodiversidad, cultivos sostenibles e interacciones naturales como el biocontrol. (Mejía. 2009)

El control biológico representa la base o el punto inicial para el manejo integrado de plagas (Stern et al., 1959). El hongo, *Beauveria bassiana* es un biocontrolador que ha sido producido por varias compañías y comercializado para el control de algunos insectos que atacan a la papa (Feng et al. 1994). Los resultados de los experimentos en el campo han sido altamente variables, desde niveles de control no aceptables (Hajek et al. 1987) hasta control efectivo (Hajek et al., 1987; Poprowski et al., 1997). Los factores que afectan su actividad larvicida incluyen: temperatura, humedad, edad y estado de desarrollo de los insectos, el tiempo y el número de aplicaciones, dosis, prácticas agrícolas, y la desactivación por la luz del sol (Fargues, 1972; Fargues et al., 1994).

Para acercarse al máximo potencial del sistema agro- ecológico se deben utilizar alternativas como las usadas en el sur de Brasil, Argentina, Paraguay y los países de Centro América, que disminuyen el daño al medio ambiente utilizando abonos verdes, cultivos de cobertura y labranza limitada. Con base en estas tecnologías de bajo costo, se convierte luz solar en materia orgánica, se fija nitrógeno, y se previene la erosión del suelo (Monegat. 1991; Neil, 1998).

## **6. CONCLUSIONES**

El uso de tubérculos en los países en desarrollo ha dirigido la atención sobre sus principales beneficios y riesgos para el medio ambiente y la salud (OMS, 2005). Sin embargo, los niveles de productividad nacionales son relativamente bajos al compararlos con los reportados a nivel mundial (FAOSTAT, 2007); los problemas observados en la producción de la papa tienen entre otras causas: prácticas de siembra inapropiadas, la utilización inadecuada de agroquímicos, el escaso uso de semilla de buena calidad, la alta incidencia de enfermedades y plagas, mal manejo en la poscosecha y el uso de empaques inadecuados, los cuales no sólo maltratan el producto sino que también se convierten en un medio de propagación de plagas y enfermedades por su continua reutilización.

### **6.1. OBTENCIÓN DE MATERIAL VEGETAL DE PAPA (*Solanum tuberosum*)**

El método para la propagación de material vegetal más utilizado es el tradicional por sus bajos costos a corto plazo, sin embargo, la falta de información ha impedido la implementación de otras alternativas como el uso de semilla sexual, la obtención de plantas a partir de microtubérculos, o el establecimiento del cultivo en sistemas aeropónicos

El uso de semilla sexual debido a la reducción en los costos de producción y escasa o nula transmisión de plagas y enfermedades se convierte en una buena fuente para obtener material vegetal de *S. tuberosum*.

La producción de papa a través de cultivos in vitro permite al agricultor acceder a material de calidad y óptima condición fitosanitaria, creando nuevas oportunidades en la producción de papa para la región del Cauca.

La comprensión del genoma de la papa permitirá seleccionar genes para mejorar características agronómicas y proveer de resistencia a enfermedades y plagas en los cultivos comerciales.

### **6.2. CONTROL Y MANEJO DE ENFERMEDADES Y PLAGAS EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*)**

#### **6.2.1. Enfermedades y plagas con mayor impacto en el cultivo de papa**

Los insectos plaga de mayor importancia económica que atacan al tubérculo de papa son *Tecia solanivora* (polilla guatemalteca), *Phthorimaea operculella* palomilla de la papa, *Premnotrypes vorax* (gusano blanco) y *Phyllophaga obsoleta* (chisas).

Las enfermedades que representan pérdidas económicas en el cultivo de papa se pueden dividir en patógenos que atacan el follaje como *Phytophthora infestans*, (gota o tizón tardío) seguida de *Puccinia pittieriana* (la roya) y



hongos que afectan el tubérculo y que están presentes en el suelo o son transmisibles por semilla como *Rhizoctonia solani* (rizoconiosis) y *Spongospora subterranea* (roña) .

Las bacterias que afectan diferentes partes de la planta de papa son: *Erwinia carotovora f. sp. Atroseptic* (pierna negra), *Erwinia carotovora f. sp carotovora* (pudrición blanda) y *Ralstonia solanacearum* (marchitez bacteriana).

### **6.2.2. Control de enfermedades y plagas en *Solanum tuberosum*.**

En cuanto a las enfermedades y plagas que atacan el cultivo en el departamento del Cauca son utilizados para el manejo y control los métodos químicos (organofosforados y carbamatos), que generan impacto ambiental afectando las fuentes de agua y en el suelo acumulación de metales pesados y/o compuestos orgánicos de toxicidad considerable que afectan los organismos que habitan el ecosistema incluyendo el ser humano. El impacto tiende a ser mayor debido a que se emplean plaguicidas de forma inadecuada: aplicando dosis mayores a las necesarias, sustancias que no son idóneas, e incluso utilizando formas de aplicación incorrectas. Una alternativa que reduce las poblaciones de los factores bióticos, son el buen manejo de prácticas culturales y labores mecánicas.

### **6.2.3. Manejo integrado de enfermedades y plagas.**

La literatura consultada indica que los métodos de biocontrol, mediante especies antagónicas, permiten disminuir las poblaciones de los individuos que afectan al cultivo, en las diferentes etapas fenológicas, lo que reduce el uso de métodos químicos para el control y manejo.

Las prácticas utilizadas para el desarrollo del monocultivo de la papa, generan condiciones hostiles para los organismos que habitan el ecosistema, interrumpiendo el intercambio de materia y energía existente previo al establecimiento del cultivo; el manejo del cultivo mediante umbrales permite el desarrollo de las relaciones inter e intraspecíficas que se generan en el ecosistema manteniendo un equilibrio ecológico.

La capacitación en manejo integrado de plagas, permite a los productores reducir los costos de la aplicación de agroquímicos, como fertilizantes, plaguicidas y la mano de obra necesaria para aplicarlos, sin que disminuya la productividad. Además, la menor exposición a los plaguicidas se asocia a la recuperación de las funciones del sistema ecológico previamente suprimidas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ABAD G., ABAD J. Another look at the origin of late blight of potatoes, tomatoes, and pear melon in the Andes of South America. *Plant Disease* 81 (6): 682-688. 1997.

ADAMS, M.J.; P.J. READ; D.H. LAPWOOD; G.R. GAYLEY AND G.A. HIDE. The effect of irrigation on powdery scab and other tuber diseases of potatoes. *Ann. Applied. Biol.* 110:287-294. 1987.

AGROWEB. Gusano gris (*Agrotis segetum*) y rosquilla negra (*Spodoptera littoralis*). <http://.arrakis.es~sotojavi/gusagri.htm>. 1998.

AGRIOS, G. Fitopatología. Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores . Segunda edición. México, D.F. 2002. p 838.

ALCÁZAR J. Y CISNEROS F. Taxonomy and bionomics of the Andean Potato Weevil complex: *Premnotrypes* spp., and related genera. En: Arthur C, Ferguson P, Smith B (eds.), Impact on a changing world, Program report 1997-98, Lima, Perú, International Potato Center, 1999. p 141-151.

ALDABE, L; DOGLIOTTI, S. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L). Universidad de la República. Facultad de Agronomía Uruguay. 1997.

ARAGÓN S., CANTOR F., CURE J.R., Y RODRIGUEZ D. Capacidad parasítica de *Praon* pos. *occidentale* (Hymenoptera: Braconidae) sobre *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae) en condiciones de laboratorio. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. Colombia. 2007.

ARÉVALO A. Análisis de la problemática en Colombia de la Polilla Guatemalteca de la papa *Tecia solanivora*. spp. 2425 En: CEVIPAPA (eds). Memorias Tecia solanivora II Taller Nacional. Bogotá, 2003. p 190.

ARTUNDUAGA, R. Y TORREZ, E. Principios básicos de la ocurrencia de las heladas y su control. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José, Costa Rica. 1982. p 33

ASHBY, J. A; GRACIA T, GUERRERO M, QUIRÓS C, ROA J.I , Y BELTRÁN J.A. Institutionalising farmer participation in adaptive technology testing with the 'CIAL'. ODI Network Paper. 57:1-43. Overseas Development Institute. Agricultural Research and Extension Network. 1995.

ASHMORE, SE. Status report on the development and application of *in vitro* techniques for the conservation and use of plant genetic resources. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 1997.p 67.

BANERJEE, A.K., S. PRAT Y D. HANNAPEL. Efficient production of transgenic potato (*S. tuberosum* L. sp. *andigena*) plants via *Agrobacterium tumefaciens* mediated transformation. *Plant Sci.* 170, 2006. p 732-738.

BANTTARI, E.; ELLIS, P. KHURANA. S. Managment of diseases caused by viruses and viruslike pathogens. Cap 14 In:Rowe,R.C. 1993. *Potato health Management*. APS. Press. St Paul, MN. 1993. 178 p.

BAREA,O.M. Importancia económica de *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) en la papa, en Costa Rica, y opciones para su manejo utilizando períodos críticos y umbrales de acción. *Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE*. Turrialba, Costa Rica. 1999.

BELDA, J.E.; CABELLO, T., Áfidos plaga (Hom.: Aphididae) en cultivos hortícolas bajo plástico. EN: MORENO, R. (Ed.). *Sanidad Vegetal en la horticultura protegida*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla. 1994. p 155-178.

BELLOTTI, A. C., C. CARDONA & L. RIIS. Burrowing bugs and whitegrubs, major pests of food crops in Colombia. Pág. 130-133 en: P. G. Allsopp, D. J. Rogerts & L. N. Robertson (eds.) *Soil Invertebrates in 1997*. Bureu of Sugar Experiment Stations. Brisbane, Australia. 1997.

BERG, G.H. *Synchytrium endobioticum* (Schilberszky) Percival. Hojas de Datos sobre Plagas y Enfermedades Agrícolas de Importancia Cuarentenaria para los Países Miembros del OIRSA. Hojas de Datos H.D. 1:11. 1994. p.107-119.

BROWN A.W. Insecticide resistance in mosquitoes: A pragmatic review. *J Am Mosq Control Assoc* 1986; 2(2): 123-40.

BRUNT, A.; CRABTREE, K.; DALLWITZ, M.; GIBBS, A.; WATSON, L. *Viruses of Plants: Descriptions and lists from the VIDE Database*. CAB international. University Press, Cambridge, UK. 1996. p 1484.

BRYAN, D.E. AND SMITH, R.F. The *Frankliniella occidentalis* (Pergande) complex in California (Thysanoptera:Thripidae). *University of California Publications in Entomology*, 10 (6): 1956. p. 359-410.

CABI. Data sheet for *Synchytrium endobioticum* . *Crop Protection Compendium*. Global Module. 2nd. Edition. CAB International. UK. 2000.

CALVET PINÓS M. C . Integración de las micorrizas arbusculares en sistemas de cultivo que contemplen métodos alternativos a la desinfección química de los suelos para el control de patógenos. *Ingeniería Técnica Agrícola de la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona*. España. 2000.

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). Escuelas de Campo de Agricultores (ECA) con énfasis en el Manejo Integrado de la ranca . Lima, Perú. 1997.

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). Informe anual 1996. Lima , Perú. CIP. 1996. 16 p.

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). Principales enfermedades, nematodos e insectos de la papa .Lima, Perú. 1983.

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). Principales enfermedades, nematodos e insectos de la papa. Lima, Perú. 1996.

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). Producción de tubérculos - Semillas de papa. Manual de capacitación. CIP Lima, Perú. 1997.

CHAPARRO A, X. SINISTERRA, O. QUINTERO y J. SANTOS. Transformación de papa criolla variedad 'Yema de huevo' con un gen que codifica para un inhibidor de proteasas derivado del pomelo. pp. 114-117. En: CEVIPAPA (eds). Memorias Tecia solanivora II Taller Nacional. Bogotá, 2003. p 190.

CHILTON M.D. A vector for introducing new genes into plants. Sci. Am. 248:50-59. 1983.

CHECKLAND, P. Systems thinking, systems practice. John Wiley & Sons Ltd. Reino Unido. 1981. p 243.

CLARK, M. F Y ADAMS, A. N. Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. J. Gen. Virol. 34: 1977. p 475-483

COHEN, J.; CHRISTENSEN, I. Information and Choice. Cox & Wytman Ltd. Londres. 1970. 270 p.

CORZO, P. Producción biotecnológica de semilla de papa. Bogotá, Colombia: Convenio DAMA-CORPOICA, 1999. p 27.

COTES J. M, CROSSA J., SANCHES A., Y CORNELIUS P. L. A Bayesian Approach for Assessing the Stability of Genotypes. Published in Crop Sci.46:2654–2665(2006).Crop Breeding & Geneticsdoi:10.2135/cropsci2006.04.0227.Crop Science Society of America. 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711 USA. 2006.

COTES, J. ÑUSTEZ, C. MARTÍNEZ R. Y ESTRADA N. Análisis de la interacción genotipo por ambiente en papa (*solanum tuberosum* spp. *andigena*), a través de una metodología no paramétrica. Facultad de

Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá DC. En: Agronomía Colombiana, 2000. 17:43-56

COTES J. M. Y SANCHES A. análisis bayesiano de estabilidad fenotípica usando a priori de jeffreys. *rev.fac.nal.agr.medellín.vol.59, no.1. 2006.p.3077-3088.*

CRISMAN. C.J.M. ANTLE, AND S. M. CAPALBO. Economic, environmental, and Health tradeoffs in Agriculture: Pesticide and the sustainability of Andean potato production. Kluwer Academic Publishers. 1998. p. 281 .

DALE, P. Y K. HARNPSON. An assessment of morphogenic and transformation efficiency in a range of varieties of potato (*Solanum tuberosum L.*) *Euphytica* 1995. 85, 101-108.

DE BLOCK M. Genotype independent leaf disc transformation of potato (*Solanum tuberosum*) using *Agrobacterium tumefaciens*. *Theor. Appl. Genet.* 1988. 76, 767-774.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS (DEFRA). Design of at or charge scheme for pesticides. London: DEFRA; 2000.

DE SANTIS, L. La presencia en La República Argentina del trips californiano de las flores, *Frankliniella occidentales* (Pergande). *Anales Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria* 1995. 49: 7-18.

DUCROT C.E.H. Pesticide externalities in Andean potato production: Integrated production and biophysical models of groundwater contamination. M.S. Thesis. Department of Agricultural Economics. Cornell University. Ithaca. NY. 1993. p 143.

ESTRADA, N. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. PROINPA, CIP, CID. La Paz, 2000. p 372.

EPPO. *Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Percival. EPPO Data Sheets on Quarantine Organisms. EPPO. Francia. 1980.

ERASLAN, F. AND G. TURIAN. Studies on powdery scab of potatoes with special regard to the reactions of certain cultivars and clones. *J. Plant Dis. Protect.* 96: 1989. 353-360.

FANKHAUSER, C. Pérdidas en el rendimiento debidas a la presencia de *Rhizoctonia solani* o *Strptomyces scabies* o daño por gusano blanco entubérculos semilla. Proyecto 4.3: Control de Calidad, EESC, Quito-Ecuador. 1997. p 13.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2008. Año internacional de la papa. [online] disponible en: <http://www.potato2008.org/es/index.html>. 2008a.

FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Año internacional de la papa <http://www.potato2008.org/es/lapapa/biotecnologia.html>. 2008.

FARE R, GROSSKOPF S, WEBER WL. Shadow prices and pollution costs in U.S. agriculture. *Ecol Econ*; 2006. 56(1):89-103.

FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA (FEDEPAPA) Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Guía ambiental para el cultivo de la papa. Bogotá, Colombia. 2004.

FERNÁNDEZ, S. Efecto de dos prácticas culturales sobre poblaciones de insectos plagas de tubérculos del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista. Facultad. Agronomía. (LUZ)*: 1996, 14: 603-610 . Barquisimeto, estado Lara, Venezuela. 1996.

FRENCH, E.R. Common rust. Deforming rust. In: Compendium of potato diseases, pp. 65-66. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA. 1981.

FROLICH. L. & .E. GUEVARA . Bosques nublados y el cultivo de la papa: Proyecto Guandera busca un futuro sano para nosotros y nuestro ambiente.17 noviembre de 1998. La Hora. Quito, Ecuador. 1998.

FRY W.E., GOODWIN S.B., DYER A.T., MATUSZAK J.M., DRENTH A., TOOLEY P.W., SUJKOWSKI L.S., KOH Y.J., COHEN B.A., SPIELMEN L.J., DEAHL K.L., INGLIS D.A. Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: Chronology, pathways, and implications. *Plant Disease* 77:653-661. 1993.

GALARZA, J . Laboratory assessment of some solanaceous plants as possible food plants of the tomato moth *Scrobipalpa absoluta*. *IDIANos* 421/424, 30–32. 1984.

GALLEGOS, P. Asolación de los tubérculos de semilla de papa como método de control para la polilla, *Tecia solanivora*. Una tecnología tradicional para la solución a un nuevo problema. Plegable No 260. Proyecto PAPA-ANDINA, IPM-CRSP-USAID-GRANT. Quito-Ecuador. 2005.

GALLEGOS, P. Conozca la forma de alimentación y control del adulto de gusano blanco (*Premnotrypes vorax*), Plegable No 196. Proyecto IPM-CRSP-USAID-GRANT. Quito-Ecuador. 2005.

GARCÍA L., SARRÍA Z., PICHARDO T. PÉREZ B. Cultivo de meristemas para la eliminación del virus S de la papa en plantas cultivadas in vitro. *Biotecnología vegetal* Vo. 1 No. 2: 117-119, mayo-agosto 2001. Instituto de Biotecnología de la Plantas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. 2001.

GARCÍA , O. R. Evaluación del modelo de predicción BLITECAST para el manejo de tizón tardío (*Phytophthora infestans* de Bary) en el cultivo de papa. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) de la Secretaria de Agricultura y Ganadería (SAG) del Gobierno de Honduras. 1998.

GASTÉLUM, R. F. Aplicación de los sistemas BLITECAST y TOMCAST en el manejo del tizón tardío, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, en papa (*Solanum tuberosum* L.) y Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el norte de Sinaloa, México. Universidad de Occidente, Departamento de Biología, Sinaloa. México. 2004.

GARZON, T. Jose Antonio. Aplicación de la biotecnología en el cultivo de la papa. (I simposio internacional de la papa. México .1997.

GOODWIN S.B., SMART C.D., SANDROCK R.W., DEALH K.L., PUNJA Z.K., FRY W.E. Genetic change within populations of *Phytophthora infestans* in the Unites States and Canada during 1994 to 1996: Role of migration and recombination. *Phytopathology* 88:939-949. 1998.

GOODWIN S.B., SUJKOWSKI L.S., FRY W.E. Rapid evolution of pathogenicity within clonal linages of the potato late blight disease fungus. *Phytopathology* 85: 669-676. 1995.

GOMEZ P. S. Monitoreo genético de una población expuesta a plaguicidas en cultivos de papa en el municipio de Totoró (Cauca), mediante el registro de alteraciones cromosómicas (AC). Facultad de ciencias naturales, Exactas y de la Educación. Universidad del Cauca. Popayán. Cauca. 2009.

HAMPSON, M.C. Verruga, Roña negra. En Compendio de Enfermedades de la Papa. W.J.Hooker editor. The American Phytopathological Society. St Paul, Minnesota. pp. 51-53. 1980.

HEERES P., M. Schippers-Rozenboom, E. Jacobsen y R. Visser. Transformation of a large number of potato varieties: GenotyLópez y Chaparro: Avances hacia la obtención de un sistema... 25 2007 pedependent variation in efficiency and somaclonal variability. *Euphytica* 124, 2002. 13-22.

HENFLING, J.W. El tizón tardío de la papa: *Phytophthora infestans*. 2ª ed., revisada. Lima, Centro Internacional de la Papa, 1987. 25pp. (Boletín de información técnica 4). ISSN 0256-8667.

HILDER V.A. & BOULTER D. Genetic engineering of crop plants for insect resistance a critical review. *Crop. Prot.* 1999. 18: 177-191

HOOKER, W.J. Common Scab. Pages 33-34 in: Compendium of Potato Diseases. W.J.Hooker ed. American Phytopathological Society. St. Paul MN. 1981. 125 p.

HOOKER,WJ. Compendium of potato diseases.APS. Powelson, ML; Johnson, KB; Rowe, RC. 1993. Management of diseases caused by soilborne plant pathogens. *In* Rowe,RC. Ed. Potato health management.APS. 1986 .p. 149-158.

HORTON, D. Underground Crops: Long-term trends in production of roots and tubers. Morrilton, A.R., USA; Winrock Internacional, 1987. p. 10

HYPP. Turnip moph, Bark feeding cutworm, Xanthous cutworm. Hypp zoology home page. <http://granit.youy.inra.fr./HYPPZ/RAVAGEUR/6agrseg.htm>. 1998.

HUGHES, J.K. Powdery scab (*Spongosporasubterranea*) of potatoes in Queensland.Occurrence, cultivar susceptibility, time ofinfection, effect of soil pH, chemical control and temperature relations. Austral. J. Exper. Agric. An. Husb. 20: 625-632. 1980.

IRIARTE , L; FRANCO, J; y ORTUÑO, N. Efecto de Abonos Orgánicos sobre las Poblaciones de Nematodos y la Producción de la Papa. Revista Latinoamericana de la Papa. 11:149-163. 1999.

IMMARAJU , J. A., T. D. PAINE, J. A. BETHKE, K. L. ROBB,ANDJ. P. NEWMAN. Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) resistance to insecticides incoastal California greenhouses. J. Econ. Entomol. 85: 9-14. 1992.

JARA MUÑOZ, Gloria del Carmen. Propagación in vitro y micro tuberización de cultivares de *solanum tuberosum* l. ssp. *tuberosum* hawkes en medios líquidos. Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile. 1996.

JONES, R.A.C., Epidemiology and control of potato mop-top virus. In: Copper, J.I., Asher, M.J.C. (Eds.), Developments in Applied Biology II. Viruses with fungal vectors. Association of Applied Biologists, Wellesbourne, UK, pp. 255\_/270. 1988.

JONES, R.A.C. Y B.D. HARRISON. The behaviour of Potato mop top virus in soil, and evidence for its transmission by *Spongospora subterranea* (Wall.) Lagerh. Ann. Appl. Biol. 63: 1-17. 1969.

JONES, R.A.C., HARRISON, B.D.Ecological studies on potato mop-top virus in Scotland. Ann. Appl. Biol. 71, 47\_/57. 1972.



KAARHUS, R. Conceptualización de los problemas de medioambiente en el caso de Ecuador. En: Latinoamérica agraria hacia el siglo XXI. CEPLAES. 1993.

KOOMAN, P.L. Yielding ability of potato crops as influenced by temperature and daylength. Ph D. Thesis, Wageningen University. 1995.

KUMARI, A., M. MILLER, P. WHITTY, J. LYON Y P. DAVIE. Agrobacterium mediated transformation of five wild Solanum species using in vitro microtubers. Plant Cell Rept. 14, 324-328. 1995.

LARRAÍN, P. Plagas de la papa y su manejo. 110 p. Colección Libros INIA N° 9. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Intihuasi, La Serena, Chile. 2003.

LAWRENCE, C.H. AND A.R. MCKENZIE. Powdery Scab. Pages 35-36 in: Compendium of Potato Diseases. American Phytopathological Society. S. Paul, MN, 1981. 125 p.

LONDOÑO. M; ARIAS. J; GIRALDO. R; RÍOS. A. Conozca Las Chisas Del Oriente Antioqueño Y Su Distribución. Boletín Técnico N° 3 Centro De Investigaciones La Selva Rionegro, Antioquia Colombia. 2002.

LONDOÑO, M.E. La chiza o mojoy, un modelo de investigación entomológica en: MEMORIAS 4° SEMINARIO TÉCNICO REGIONAL. Volumen IV Número 4. Octubre de 1998. Bucaramanga, Santander. 1998. 82 p.

LONDOÑO, M.E. GIRALDO, R., ARANGO, J. RÍOS, A. M. Y GIRALDO G. cartilla ilustrada Produzca en su finca, la enfermedad lechosa que controla el morrongo. CORPOICA. 2001.

LONDOÑO, M.E. Y PÉREZ. M. Reconocimiento de los enemigos naturales de la chisa o mojoy (Coleoptera: Scarabaeidae) en el oriente antioqueño. Rev. Colomb. Entomol. 20(3): 199-206. 1994.

LÓPEZ, M. F. Intensidad de rotación de usos de suelo en lotes de páramo: estudios de caso en la Sierra Norte del Ecuador. Universidad de Ratisbona-Alemania. 2000.

LÓPEZ, A. y CHAPARRO A. Propuesta de un sistema de transformación de plantas de papa (*Solanum tuberosum* sp. andigena var. Pastusa suprema) mediado por *Agrobacterium tumefaciens*. Universidad Nacional, Bogotá, Colombia. 2007. 17 p.

LORIA, R.; R..A. BUKHALID; B.A. FRY AND R.R. KING. Plant pathogenicity in the genus *Streptomyces*. Plant Disease 81: 836-846. 1997.

MADRIGAL, A. Insectos forestales en Colombia: Biología, hábitos, ecología y manejo. Editorial Marín Vieco Ltda. Colombia. 2003. 848p.

MAI, W.F., BRODIE, B.B., HARRISON, M.B, JATALA, P. Nematodo de la pudrición de la papa. Compendio de enfermedades de la papa. pp. 131-134. Centro Internacional de la Papa. W.J.Hooker editor. Con autorización de The American Phytopathological Society. USA. 1980.

MARBAN-MENDOZA, N.; DICKLOW, M.B.; ZUCKERMAN, B.M. Evaluation of control of *Meloidogyne incognita* and *Nacobbus aberrans* on tomato by two leguminous plants. *Revue de Nématologie* 12, 409-412. 1989.

MARCO, S. A comparison of some methods for detecting potato leaf roll virus in potato tubers in Israel. *Potato Res.* 24, 11-19. 1981.

MARTIN, C. AND H.D. THURSTON. Factors affecting resistance to *Alternaria solani* and progress in Early Blight research at CIP. Pages 101-118 in: *Fungal Diseases of the Potato*. International Potato Center. Report of the Planning Conference on Fungal Diseases of the Potato. Held at CIP, Lima, Peru. Sept. 21-25, 1987. 1989.

MARTINEZ, C; MORENO, U. Expresiones fisiológicas de resistencia a la sequía en dos variedades de papa sometidas a estrés hídrico en condiciones de campo. Departamento de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina. Apartado 456, La Molina, Lima Perú. En: *Revista. Bras. Fisiol. Veg.* 4(1):33-38. 1992.

MARTÍNEZ H. J. Y ESPINAL C. F. La cadena de papa en Cundinamarca. Frente a las negociaciones comerciales hemisféricas. Corporación Latinoamericana Mision rural, Gobernación de Cundinamarca. Dirección de planeación. Bogotá, septiembre . 2005.

MASOOD K. L. Biological control of different soil borne fungal diseases of potato (*Solanum tuberosum* L.) raised through tissue culture by using vesicular arbuscular mycorrhiza and other antagonistic fungi. University of the Punjab. En: <http://eprints.hec.gov.pk/1459/1/1343.htm>. 2004 .

MATLOCK RB, DE LA CRUZ R. An inventory of parasitic Hymenoptera in banana plantations under two pesticide regimes. *Agric Ecosyst Environ.* 93(1): 147-64. 2002.

MEJÍA M. A. Vivencias en Manejo Natural de Plagas y Enfermedades entre Campesinos e Indígenas Latinoamericanos [http://marioardon.rds.hn/documentos/vivencias\\_manejo.pdf](http://marioardon.rds.hn/documentos/vivencias_manejo.pdf). 2009.

MIER DURANTE, P.M. Estudio de la afidiofauna de la provincia de Zamora. 226 p. Ed. Caja Prov.Ahorr., Zamora, España. 1978.

MORÓN. M. Experiencias En América Sobre Control De Escarabaeidae Fitófagos. En Memorias XXI Congreso Sociedad Colombiana De Entomología. Medellín. 1994. Pág.177 – 184. 1994.

MONEGAT. C., Plantas de cobertura do solo: Características e manejo em pequenas propriedades.Chapeco, Santa catarina, Brazil. 1991. p.337 .

MORTIMER-J, JONES S, JONES M, THOMSON R, DWYER G, GEOFFREY. A single tube, quantitative real-time RT-PCR assay that detects four potato viruses simultaneously. Journal of Virological Methods. Elsevier B.V. 2009.

MUÑOZ R. C.; VIRGEN C. G.; HERRERA A.; OLALDE P .V. Introducción de agentes de control biológico de *Rhizoctonia solani* en suelos solarizados o encalados en condiciones de invernadero. Manejo integrado de plagas ( Costa Rica) N° 59p. 10-14.2001.

NASCIMIENTO, LC; PIO-RIBEIRO, G; WILLADINO, L; PEREIRA, G. Stock indexing and potato virus Y elimination from potato plants cultivated in vitro. Scientia Agricola. 60(3):525-530. 2003.

NAVIA, S. Entrevista en crónica: La papa 'Pastusa suprema' llega a los platos de los colombianos. En: www.portafolio.com. co. Bogotá; consulta: Abril de 2006.

NEIL. S. Adoption and Disadoption of Sustainable Agricultural Practices: The Maize- Mucuna System in Northern Honduras. M.S. Thesis. Department of Agricultural, Resource and Managerial Economics, Cornell University, Ithaca, NY: 1998.

NICHOLLS, CL. Control biológico de insectos un enfoque agro ecológico. Editorial Universidad de Antioquia. 2008.

NIÑO L, ACEVEDO E, BECERRA F, GUERRERO M. Aspectos de la biología y fluctuación poblacional del gusano blanco de la papa *Premnotrypes vorax* Hustache (Coleoptera: Curculionidae) en Mucuchíes, estado de Mérida, Venezuela. Entomotrópica 19(1): 15-19. 2004.

NOTZ A.P . [Distribution of eggs and larvae of *Scrobipalpula absoluta* in potato plants.] *Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay)* 18,425–432 (in Spanish). 1992.

ÑÚSTEZ, C. Comunicación personal. Director grupo de investigación en papa. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 2005.

OFFEI, S., ARCINIEGAS, N., MULLER, G., GUZMAN, M., SALAZAR, L., COUTTS, R. Molecular variation of Potato yellow vein virus isolates. Arch. Virol.149, 821–827. 2004.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Biotecnología moderna de los alimentos, salud y desarrollo humano: Estudio basado en evidencias.Suiza.EN:[http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/biotech\\_sp.pdf](http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/biotech_sp.pdf) . 2005. ISBN 92 4 159305 9.

OTAZÚ V. Cultivo aeropónico de la papa. [online] disponible en:<http://grupoaeroponia.blogspot.com/2008/05/estimados-miembros-del-grupo-aqu-les.html>. 2008.

PACAJES, G; FRANCO, J; ESPRELLA, R; y MAI G. Efecto de diferentes cultivos y prácticas culturales sobre la multiplicación del nematodo quiste de la papa (*Globodera spp.*) en Bolivia. Revista Latinoamericana de la Papa. 2002. 13:52-65

PALACIOS, M., K.V. RAMAN Y J. ALCÁZAR. Control Integrado de la polilla de la papa, *Phthorimaea operculella* (Zellor). Memorias Taller Manejo Integrado de Plagas. Balcarce, Argentina, febrero 24- 28, 1993.

PALACIOS, M. Y, K.V. RAMAN. Control Integrado de la polilla de la papa. Boletín de Capacitación CIP no. 4. Producción deTubérculos-semillas de Papa manual de Capacitación. 1994.

PARADA, J.C. Steinernematidae y Heterorhabditidae en áreas de producción papera en Cundinamarca y sur de Boyacá. Agron. Colomb. 2001.p 3-13.

PARDO. L. Escarabajos (Coleoptera- Melolonthidae)De Importancia Agrícola En Colombia.En Memorias XXI Congreso Sociedad Colombiana De Entomología. Medellín. 1994.

PÉREZ. W Y FORBES. G. Manejo integrado del tizón tardío (hoja divulgativa). La molina, Lima Perú. ISBN 978-92-9060-320-7. 2008.

PÉREZ DE SAN ROMAN, F. Y J. M. SALAZAR. Influencia del tiempo transcurrido entre la recolección y la prueba de la callosa sobre la precisión de este método de detección del virus del enrollado de la patata. INIA. Ser. Prot. Veg. No. 12, 47-54. 1979

PERILLA C A., CIFUENTES N. RODRÍGUEZ L. M. Y NÚSTEZ C. L. Evaluacion y seleccion preliminar por rendimiento de tubérculo y potencial industrial )en 36 clones de, papa (*Solanum tuberosum L.*). Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá DC. En: Agronomía Colombiana, 2002. 19 (1-2): 57-68. 2002.

PERFETTI, J., C. TÉLLEZ Y C. CORREA. Sistema de inteligencia de mercados. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Perfil del producto papa. Corporación Colombia Internacional. Bogotá. En:[http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_agronet/2005113143530\\_perfil\\_papa Ok.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005113143530_perfil_papa Ok.pdf). 2003.

PIERIK R. Cultivo in vitro de las plantas superiores. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 1990.

PIMENTEL D. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Enviro Dev Sustainability*. 7(2): 229-52. 2005.

PLATT H.W., PETERS R.D., MEDINA M., ARSENAULT W. Impact of seed potatoes with *Phytophthora infestans* (US-1 or US-8 genotypes) on crop growth and disease risk. *Amer. J. of Potato Res.* 75: 767-73. 1999.

POEHLMAN, J. Mejoramiento genético de las cosechas. México: Editorial Limusa, 2003. p 435-449 .

POSADA, F. Las chisas, sus enemigos naturales y recomendaciones sobre su manejo. *Agricultura Tropical* 30(3):71-79. 1993.

PRETTY JN, BRETT C, GEE D, HINE RE, MASON CF, MORISON JIL. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agric Syst.* 2000; 65(2): 113-36.

PROINPA. Selección y difusión de cultivares con tolerancia a factores abióticos. *En: Informe anual Compendio 1.994-1.995 IBTAPROINPA, CIP. COTESU. Cochabamba-Bolivia.* 1996. p. 29-33

PUMALPA, N. Estudios biológicos y ecológicos de insectos plagas de trigo y cebada. Aspectos biológicos de las chisas. ICA. Informes de labores. Pasto, Colombia. 1987. p. 188-197.

PUMISACHO, M, Y SHERWOOD, S. El cultivo de la papa en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina. Quito. Ecuador. 2002.

RADCLIFFE, E. B.; D. W. RAGSDALE. Aphid-transmitted potato viruses: The importance of understanding vector biology. <http://www.findarticles.com/p/articles/.2002>.

RAMIREZ, I. A. Determinación de la composición del medio nutritivo para la micro propagación de papa de las variedades parda pastusa (*Solanum tuberosum*), yema de huevo (*solanum phureja*), y colorada (*solanum phureja var. Colorada*). Popayán, Colombia: Universidad Del Cauca, 2002. 165 P.

RITTER, E. Aplicación de la biotecnología en la mejora genética de la patata. En: Pascualena J. y E. Ritter (eds.). Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata. Patata 2000. 3-6 julio, Vitoria-Gastéis, España. 2000.

RÖLING, N. Extension science. Information systems in agricultural development. Cambridge University Press. Reino Unido. 1988. p 212.

RUIZ, N & POSADA, L Aspectos Biológicos De Las Chisas En La Sabana De Bogota. Revista Colombiana De Entomología. Vol 11 N°1 1985. 1985. p. 21-26.

SALAS, J., A. PARRA, Y C. ÁLVAREZ. Evaluación preliminar de la feromona sexual sintética del minador grande de la hoja del tomate *Phthorimaea operculella*, en la captura de machos. Agron. Trop. 35(4-6):139-144. 1985.

SALAZAR, A, y BARRERA C. Obtención de semilla elite de papa marulanda (*Solanum tuberosum* L.) a partir de un material inicial in vitro. Manizales, Colombia. 2002.

SALAZAR, L. Manual de enfermedades virosas de la papa. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú.1982. p 111 .

SALAZAR, L. F. 1986. Detección de virus en la producción de semilla de papa. Boletín de Información Técnica 18. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. p. 14

SALAZAR, L., MULLER, G., QUERCI, M., ZAPATA, J., OWENS, R., Potato yellowvein virus: Its host range, distribution in South America and identification as a crinivirus transmitted by *Trialeurodes vaporariorum*. Ann. Appl. Biol. 137, 7–19. 2000.

SÁNCHEZ, G., E. LONDOÑO, L.A. PEÑA y E. ESPITIA. Manejo Integrado de Plagas. En: Manejo integrado del cultivo de la papa. Manual técnico. Corpoica, Bogotá. 2000. p 160 .

SAÑUDO, B. Y G. GUZMÁN. Experiencias en el manejo de chisas en Nariño. Labranza Cero 5(1): 1-7. 1995.

SEIFERT K. *Fusarium* and anamorph generic concepts. pp. 15 - 28 en: *Fusarium*. Summerell BA et al., eds. APS Press. St. Paul, Minnesota. 2001.

SCHNEPFE.,CRICKMOREN., VAN RIE J., LERECLUS D., BAUM J., FEITELSON J., ZEIGLER D. AND DEAN D. Bacillus thuringiensis and its pesticidal crystal proteins. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 62 (3), 775-806. 1998.

SCHENEPF & WHITELEY. H.R. Cloning and expression of Bacillus thuringiensis crystal proteint gene Escherichia Coli. Proc. Natl. Acad. Sci., USA 78:2983-2897. 1981.

SCOTTISH CROP RESEARCH INSTITUTE. Virus vector interactions. Examples of approaches. htm: //www.scri.sari.ac.uk. SIDDIQI M.R. 2000. Tylenchida: Parasites of plants and insects. CAB International, UK. 2004. p 833

SHARMA H.C., CROUCH J.H., SHARMA K.K, SEETHARAMA N, HASH C.T. Applications of biotechnology for crop improvement: Prospects and constraints, Plant Sci. 163: 381-395. 2002.

SHAW D. S. Genetics. Advances in Plant Pathology 7: 131-168. 1991.

SIKKA, L.C., BHAGARI, A.S., SSEBULIBA, J.M. AND KANZIKWERA, R. Potato production from true potato seed. Acta Hort. (ISHS) 380:484-489 [http://www.actahort.org/books/380/380\\_75.htm](http://www.actahort.org/books/380/380_75.htm). 1994.

SMITH, I.M., MCNAMARA, D.G., SCOTT, P.R., HOLDERNESS, M. *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* Data Sheets on Quarantine Pests. pp. 601-606. En: Quarantine Pest for Europe. second ed. CAB International & EPPO.UK. 1997 .1425 p.

STONE, A.R.; BURROWS, P.R . *Nacobbus aberrans*. *CIH Descriptions of Plant-Parasitic Nematodes* No. 119. CAB International, Wallingford, UK. 1985.

STONER, R.J. Aeroponics Versus Bed and Hydroponic Propagation. Florists' Review Vol 1 173 (4477). 1983.

TANTOWIJOYO, W & VAN DE FLIERT, E. All about potatoes;an ecological guide to potato integrated crop management. International Potato Center (CIP-ESEAP Region) & FAO Regional Vegetable IPM Program in South and Southeast Asia. Bangkok, Thailand. 2006.

TOOLLEY P.W., SWEIGARD J.A., FRY W.E. Fitness and virulence of *Phytophthora infestans* isolates from sexual and asexual populations. Phytopathology 76: 1209-1212. 1986.

TOMMASINI, M. G., AND S. MAINI. *Frankliniella occidentalis* and other thrips harmful to vegetable and ornamental crops in Europe, p. 1- 42. in: A. J. M. Loomans, J. C. van Lenteren, M. G. Thomasini, S. Maini, and J. Riudavets (eds.). Biological Control of Thrips Pests. Wageningen Agric. Univ. Papers 95-1, Wageningen, The Netherlands. 1995.

TORRES, G. F. Semilla sexual en la generación y conservación in-situ de variabilidad de papas nativas de las montañas tropicales bajas de la sierra

norte del Perú. En: <http://www.condesan.org/e-foros/insitu99/torresep.html>. 1999.

TORRES, H., M.A. PACHECO AND E.R. FRENCH. Resistance of potato powdery scab (*Spongospora subterranea*) under Andean field conditions. Am. Potato J. 72: 355-363. 1995.

TORRES W, F. Principales insectos plagas del cultivo de la papa en Venezuela En: PRACIPA. Taller Aspectos Entomológicos en el Cultivo de la Papa. Memorias. Tibaitata Colombia, 1990.p. 46-65.

TORREZ, E. Agrometeorología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Ed. Trillas México. 1995. 150 p.

TOVAR, P. & DODDS J. Propagación de papa mediante cultivo de tejidos. Centro internacional de la papa. Series CIP de diapositivas didácticas. Lima. Perú. 1986.

TRUJILLO, C., E. RODRÍGUEZ, S. JARAMILLO, R. HOYOS, S. Orduz y R. Arango. One step transformation of two Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L. sp. andigena). Plant Cell Rpt. 20, 637-641. 2001.

VALLEJO. F, MORÓN. M. & ORDUZ. S. Avances En El Estudio Morfológico Del Complejo Chiza (Coleoptera: Melolonthidae) De Colombia. En Memorias XXIV Congreso Sociedad Colombiana De Entomología. 2000. p. 307 – 327.

VILLALOBOS, M; GUZMÁN I; ZÚÑIGA ,C . Evaluación de tres tipos de labranza en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*). Tecnología en Marcha, Vol. 22, N.º 2, Abril-Junio 2009, pp. 40-50.

VILLEGAS, S.J. Monografía sobre *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias Agropecuarias. Medellín, Colombia. 2003.

VOVLAS N., MIFSUD D., LANDA B.B., CASTILLO P. Pathogenicity of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* on potato. Plant Pathology 54: 657-664. 2005.

WATSON J.D., HOPKINS N. H., ROBERTS J-W., STEITZ J.A., AND WEITNER A.M. 1987. Molecular Biology of the gene. Benjamin/cummings. Publishing Co., Menlo Park, CA. 1163 p.

WEINGARTNER, D.P. Early Bligh. Pages 43-44 in: Compendium of Potato Diseases. W.J. Hooker ed. American Phytopathological Society. St. Paul MN, USA. 1981.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Public Health impact of pesticides used in agriculture. Geneva: WHO. 1990.



YÉPEZ, B. Aspectos biológicos y manejo de chisas. En: Curso de actualización técnica del cultivo del trigo. Ipiales (Nariño). 1994. p 189-206.

ZEEDAM, J.L. VASQUEZ R.M, VARGAS Z. LAGNAOUI.A. Producción viral y tasas de aplicación del granulovirus usado para el control biológico de las polillas de la papa *Phthorimaea operculella* y *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). Bol.san.veg.plagas,29:659-667,2003.

ZUCKERMAN, B.M.; DICKLOW, M.B.; COLES, G.C.; GARCIA, E.R.; MARBAN-MENDOZA, N. Suppression of plant-parasitic nematodes in the chinampa agricultural soils. *Journal of Chemical Ecology* 15, 1989. p1947-1955.