

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**ESTUDIO DE LA ACCIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES
GAMMA, EN EL CONTROL DE LA PROLIFERACIÓN DE LA
PLAGA DE LA POLILLA GUATEMALTECA DE LA PAPA (*Tecia
solanivora*), EN LA SEMILLA DE PAPA DE LA VARIEDAD
“SUPERCHOLA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

JAVIER EDUARDO TAPIA JÁCOME
javoedt@hotmail.com

DIRECTOR: ING. MARCELO GALLEGOS
rmgallegos@yahoo.com

Quito, octubre 2013

© Escuela Politécnica Nacional (2013)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Javier Eduardo Tapia Jácome, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Javier Tapia J.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Javier Eduardo Tapia Jácome, bajo mi supervisión.

Ing. Marcelo Gallegos González
DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

**A: EDUARDO, REBECA, CRISTIAN, RONNY, FERNANDA y
VALENTINA**

AGRADECIMIENTOS

A mis padres que con su esfuerzo, apoyo y comprensión han sabido guiarme por el camino del bien y me han enseñado a ser perseverante en las cosas que hago.
A la Escuela Politécnica Nacional por la formación de calidad, por enseñar con la exigencia y formar líderes.

Al Laboratorio de Tecnología de Radiaciones perteneciente al Departamento de Ciencias Nucleares y su conductor Ingeniero Marcelo Gallegos, que ha guiado este proyecto con sabiduría y paciencia, que a lo largo del mismo compartió sus conocimientos para la vida profesional y personal.

Al Ingeniero Francisco Salgado miembro del LTR, que con sus enseñanzas hizo que las cosas se vean más claras y sencillas.

Al Departamento Fitosanitario de la Estación Experimental "Santa Catalina" del INIAP, con el Ingeniero Patricio Gallegos a la cabeza y su colaborador el Ingeniero Francisco Báez, que proporcionaron la materia prima para este proyecto y aportaron con sus conocimientos y experiencia.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	viii
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	i
1.1 El tubérculo de la papa	1
1.1.2 Valor nutricional de la papa	1
1.1.3 Variedades de papa producidas en el país	3
1.2 Manejo del insecto de la polilla guatemalteca de la papa	5
1.2.1 Especies de polillas de la papa detectadas en el ecuador	5
1.2.2 Tecia solanivora (Povolny)	6
1.2.2.1 Características biológicas de la especie Tecia solanivora	6
1.2.3 Comportamiento y ciclo de vida de la polilla guatemalteca de papa	13
1.2.3.1 Forma de vida y comportamiento en su hábitat	13
1.2.3.2 Ciclo de vida de la polilla guatemalteca de la papa	14
1.2.3.3 Factores de influencia sobre el ciclo de vida de la polilla	14
1.2.4 Métodos de control aplicados contra la polilla guatemalteca de la papa	16
1.3 Tratamiento de la semilla del tubérculo de papa con radiaciones	17
1.3.1 Radiaciones ionizantes gamma con fuente de Co-60	17
1.3.1.1 Efectos de las radiaciones sobre los diferentes estadios	18
1.3.1.2 Ventajas del uso de radiaciones ionizantes como tratamiento	19
1.3.2 Descripción de la fuente de co-60 usada para la irradiación de las semillas	20
1.4 Análisis organoléptico	23
1.4.1 Test del consumidor de aceptabilidad	25
2. MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.1 Materia	28
2.1.1 Materiales para la infestación dirigida	28
2.1.2 Materiales y equipos para la irradiación	28
2.2 Selección de la semilla del tubérculo de papa	29
2.3 Irradiación de las papas infestadas con polilla guatemalteca de la papa	29
2.3.1 Procedimiento para la irradiación en la fuente de Co-60	29
2.3.2 Dosimetría	30
2.3.2.1 Equipos	30
2.3.2.2 Descripción del método	31
2.3.3 Captura de adultos de polilla guatemalteca e infestación dirigida	32

2.3.3.1	Captura de adultos de polilla guatemalteca de la papa	32
2.3.3.2	Infestación dirigida	35
2.3.3.3	Tiempos de desarrollo en los diferentes estadios en cautiverio	36
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1	Evaluación de resultados luego del tratamiento con radiaciones ionizantes	38
3.1.1	Evaluación del porcentaje de mortalidad de huevos de tecla solanivora expuestos a radiaciones ionizantes	38
3.1.2	Evaluación del porcentaje de mortalidad de larvas de polilla guatemalteca expuesta a radiaciones ionizantes	41
3.1.3	Evaluación del porcentaje de mortalidad de pupas de tecla solanivora expuestas a radiaciones ionizantes	44
3.2	Análisis estadístico de los resultados	46
3.2.1	Análisis organoléptico de papas irradiadas a las distintas dosis de radiaciones ionizantes	45
3.2.2	Análisis estadístico de los resultados en el estadio de huevo	49
3.2.3	Análisis estadísticos del estadio de larva de la polilla guatemalteca	52
3.2.4	Resultados estadísticos del estadio de pupa de la polilla guatemalteca	53
3.3	Determinación de la dosis letal óptima	55
3.3.1	Determinación de la dosis letal óptima para el estadio de huevo	55
3.3.2	Determinación de la dosis letal óptima para el estadio de larva	57
3.3.3	Determinación de la dosis letal óptima en el estadio de pupa	59
3.4	Evaluación de la variación de las características físicas, organolépticas y viabilidad del tubérculo irradiado como semilla	61
3.4.1	Evaluación de las características físicas y viabilidad como semilla	61
3.5	Resultados estadísticos del análisis sensorial de aceptabilidad	62
3.5.1	Resultado del análisis sensorial, evaluación de sabor	62
3.5.2	Evaluación de resultados del análisis sensorial de textura	65
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
4.1	Conclusiones	68
4.2	Recomendaciones	69
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
	ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Variedades de papa cultivadas en el Ecuador, por zona de cultivo	3
Tabla 1.2.	Clasificación taxonómica de la polilla guatemalteca de la papa <i>tecia solanivora</i>	6
Tabla 1.3.	Tiempos de vida en cada estadio de <i>tecia solanivora</i>	7
Tabla 3.1.	Dosis de radiaciones ionizantes de Co-60 a los diferentes estadios	38
Tabla 3.2.	Porcentajes de mortalidad evaluados a los 7 y 10 días luego de aplicación de radiaciones ionizantes en el estadio de huevo	41
Tabla 3.3.	Porcentajes de mortalidad de larvas de polilla guatemalteca de la papa <i>tecia solanivora</i>	44
Tabla 3.4.	Porcentajes de mortalidad de polilla guatemalteca de la papa <i>Tecia solanivora</i> en el estadio de pupa	45
Tabla 3.5.	Valores calculados de la prueba de chi-cuadrado	50
Tabla 3.6.	Valores de r para demostrar la correlación entre datos	50
Tabla 3.7.	Dosis de radiación en Gy vs promedio del porcentaje de mortalidad en el estadio de huevos en el día 10 de observación	55
Tabla 3.8.	Dosis de radiación en Gy vs promedio del porcentaje de mortalidad en el estadio de larva en el día 10 de observación	57
Tabla 3.9.	Dosis de radiación en Gy vs promedio del porcentaje de mortalidad en el estadio de pupa en el día 10 de observación	60
Tabla 3.10.	Valoración y resultados del análisis sensorial de sabor	63
Tabla 3.11.	Valoración y resultados del análisis sensorial de textura	65
Tabla AIV.1	Tabla de resultados del ANOVA de dos factores aplicados a los huevos	81
Tabla AIV.2	Tabla de resultados ANOVA de dos factores para larvas	82
Tabla AIV.3	Tabla de datos obtenidos luego de ANOVA de dos factores, estadio de pupas	83
Tabla AV.1	Tabla de resultados del análisis sensorial de sabor	84
Tabla AV.2	Tabla de resultados del análisis sensorial de textura	85

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Composición nutricional de la papa	2
Figura 1.2.	Variedades de papa utilizadas para la obtención del pedigrí de la variedad “superchola”	4
Figura 1.3.	Insecto adulto de la polilla guatemalteca de la papa <i>Tecia solanivora</i>	5
Figura 1.4.	Huevos de polilla guatemalteca de la papa <i>Tecia solanivora</i> de 3 días de edad	8
Figura 1.5.	Larvas de polilla guatemalteca de la papa <i>Tecia solanivora</i> en diferentes etapas de desarrollo	9
Figura 1.6.	Galerías dentro de la papa infestada con polilla guatemalteca de la papa <i>Tecia solanivora</i>	10
Figura 1.7.	Apariencia de la pupa de la polilla guatemalteca dentro del capullo	11
Figura 1.8.	Vista ventral de las pupas de <i>tecia solanivora</i> . a. hembra, b. macho	12
Figura 1.9.	Pupas infestadas con parasitoides en la Estación Experimental “Santa Catalina” del INIAP	15
Figura 1.10.	Puerta de ingreso a la fuente de Co-60	22
Figura 1.11.	Vista de la piscina y cara lateral de la cámara de irradiación	22
Figura 2.1.	Controles de ascenso y descenso del castillo porta lápices	30
Figura 2.2.	Unidad de reproducción de polillas adultas	34
Figura 3.1.	Papa irradiada, infestada con huevos, sin presencia de galerías	39
Figura 3.2.	Tubérculos de papa infestada con larvas muertas luego de ser irradiadas	42
Figura 3.3.	Larva irradiada a 300 Gy, muerta y seca fuera del tubérculo, observada a los 15 días después del tratamiento	43
Figura 3.4.	Polillas irradiadas en el estadio de pupa a 500 Gy	45
Figura 3.5.	Polillas que fueron irradiadas a 200 Gy en el estadio de pupas y que llegaron a ser adultos sin problemas	46

Figura 3.6.	Gráfico de la distribución f para análisis de la hipótesis ANOVA, en el estadio de huevo	49
Figura 3.7.	Resultados de la dispersión de puntos (estadio de huevos)	51
Figura 3.8.	Resultados de diagrama de caja (estadio de huevos)	51
Figura 3.9.	Gráfico de la distribución F para análisis de la hipótesis ANOVA, en el estadio de larva	52
Figura 3.10.	Dispersiones de las repeticiones de estadio de larvas	53
Figura 3.11.	Gráfico de la distribución F para análisis de la hipótesis ANOVA	54
Figura 3.12.	Gráfico de los residuales (estadio de pupas)	54
Figura 3.13.	Test de radio sensibilidad para determinar la dosis letal óptima para huevos	56
Figura 3.14.	Test de radio sensibilidad para determinar la dosis letal óptima para larvas	58
Figura 3.15.	Test de radio sensibilidad para determinar la dosis letal óptima para pupas	59
Figura 3.16.	Comparación de testigo con producto irradiado luego de 6 meses	62
Figura 3.17.	Curva de análisis de varianza en resultados de sabor para validar el valor de z calculado	64
Figura 3.18.	Curva de análisis de varianza en resultados de sabor para validar el valor de Z calculado	66
Figura AI.1	Papa infestada con adultos de polilla guatemalteca de la papa <i>tecia solanivora</i>	76
Figura AI.2	Papa infestada con larvas de <i>tecia solanivora</i> , antes de ser irradiada	76
Figura AI.3	Papas infestadas con larvas luego de la irradiación a 400 gy y 800 gy	77
Figura AI.4	Tapa del porta muestras con papas infestadas con pupas de <i>tecia solanivora</i> antes de la irradiación	77
Figura AI.5	Papas infestadas con pupas luego de la irradiación	78
Figura AII.1	Partes de un tubérculo de papa	79
Figura AIII.1	Mapa de zonas de producción de papa en el ecuador	80

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Fotografías de las papas infestadas con polilla guatemalteca de la papa a lo largo del estudio	75
ANEXO II Fotografías de las papas infestadas con polilla guatemalteca de la papa 78	
ANEXO III Mapa de la zonificación de producción de papa en el ecuador	79
ANEXO IV Tablas de datos del análisis anova de los estadios de polilla guatemalteca de la papa	80
ANEXO V Tablas de resultados del análisis sensorial de sabor y textura	85
ANEXO VI Hoja de la encuesta para el análisis sensorial	87

RESUMEN

El presente trabajo plantea el estudio de la aplicación de las radiaciones ionizantes gamma con la fuente de Co-60 que posee el Laboratorio de Tecnología de Radiaciones (LTR) del Departamento de Ciencias Nucleares (DCN) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y en colaboración con el Departamento de Protección Vegetal de la Estación Experimental “Santa Catalina” del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), como método de control para la semilla infestada con la plaga en el estadio de huevo.

Para obtener la cantidad de insectos de la plaga necesarios para iniciar la investigación, se obtuvieron individuos adultos de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* del insectario dedicado a esta plaga, ubicado en la Estación Experimental “Santa Catalina” del INIAP.

Para aplicar las dosis de radiación ionizante con fuente de Co-60, se calcularon los tiempos de exposición para alcanzar las dosis requeridas; se aplicaron las dosis de 14 Gy, 28 Gy, 56 Gy, 70 Gy, 84 Gy, 100 Gy, 200 Gy, 300 Gy, 400 Gy y 500 Gy, a la distancia de 40 cm del centro de la fuente y 0 cm de altura; se calcularon los tiempos en función de la actividad actual de la fuente.

Una vez aplicadas las diferentes dosis a las muestras de papa infestadas con polilla guatemalteca en sus diferentes estadios, fueron ubicados en el cuarto de crecimiento de la plaga del LTR. Las condiciones ambientales fueron de 26°C, 60% de humedad y circulación de aire suficiente para no afectar su desarrollo.

Para evaluar los resultados del proyecto se tomó en consideración el porcentaje de mortalidad de los individuos expuestos a las diferentes dosis de radiación ionizante, se hicieron evaluaciones en el estadio de huevos a los 7 y 10 días, en el estadio de larvas a los 3 y 7 días y en el estadio de pupas a los 5 y 10 días.

Luego de realizar los análisis de datos obtenidos se obtuvo que aplicando una dosis de 100 Gy se afecta a la plaga *Tecia solanivora* en su estadio de huevo en más del 80% de la población existente, este porcentaje resulta alto en comparación con otros métodos de control.

Además se realizó el análisis sensorial para determinar la aceptabilidad del tubérculo y considerarlo como un método para alargar la vida útil del tubérculo y considerarlo como una forma de aumentar el tiempo en percha y tener un producto libre de plaga.

Del análisis sensorial de aceptabilidad realizado se obtuvo que las personas encuestadas si encontraron diferencia entre las papas irradiadas y las no irradiadas en lo que se refiere a textura y sabor.

INTRODUCCIÓN

La infestación de los cultivos de papa con la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) produce grandes pérdidas, lo que ha obligado a investigadores e instituciones especializadas a estudiar su comportamiento, el modo de propagación y a su vez tratar de encontrar formas para controlar esta plaga.

Herrera, 1998, estima que las pérdidas en el almacenamiento de semilla pueden llegar al 100 %, con el agravante de que los estadios inmaduros de la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) pueden trasladarse hasta el campo a través de la semilla infestada y afectar a la nueva cosecha hasta en un 60 % del total. Este trabajo pretende, por medio de la aplicación de radiaciones ionizantes gamma con fuente de Co-60 a las semillas de papa establecer una forma de control de la plaga y mejorar la calidad de la semilla.

Según Montesdeoca, 2005, “La semilla es el principal insumo para desarrollar buenos cultivos. En el caso de papa, el uso de semilla de buena calidad es importante, ya que, se emplea la propagación vegetativa (por medio de sus tubérculos)”.

Tomando en cuenta experiencias de irradiación de alimentos en otros países como Chile y Argentina, el costo por la aplicación de este método hace que el valor del producto final aumente levemente por cada kilogramo producido, pero los beneficios esperados harían que sea competitivo con respecto a otros tratamientos y en algunos casos podría ser más económico que la alternativa tradicional, la cual implica el uso de productos químicos que son un riesgo para quien los usa y sobre todo si se lo hace en forma indiscriminada, por lo que esta sería una opción para que el agricultor obtenga un costo beneficio favorable. (Narvaiz, 2004)

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 EL TUBÉRCULO DE LA PAPA

La papa es un tubérculo que constituye uno de los principales insumos en la alimentación de la población ecuatoriana y de muchos países de Sudamérica (CIP, 2008).

La papa es un tubérculo que tiene formas y tamaños variados, en el Ecuador se cultiva papa en la Sierra en zonas ubicadas entre 2 700 msnm y los 3 400 msnm; los mejores rendimientos se obtienen en zonas comprendidas entre 2 900 msnm y los 3 300 msnm, a temperaturas comprendidas entre los 9°C y 11°C (CIP, 2008).

1.1.2 VALOR NUTRICIONAL DE LA PAPA

Al ser la papa uno de los alimentos preferidos en la mesa de la serranía ecuatoriana, es importante mencionar el valor nutricional de este tubérculo. La papa recién cosechada tiene un 80% de contenido de agua y un 20% de materia seca, de este 20% de materia seca entre el 60% y 80% es almidón. Además contiene proteína, la cual es mayor que en muchos cereales y bastante más alto que otros tubérculos (CIP, 2008).

La papa también aporta con una cantidad importante de micronutrientes, como hierro y una buena cantidad de vitamina C, que hace más fácil la absorción del hierro (CIP, 2008).

Como se observa en la Figura 1.1 la papa tiene vitaminas B1, B3, B6 y minerales como potasio, fósforo, magnesio y compuestos útiles como folato, ácido pantoténico y riboflavina. Este tubérculo contiene, además, antioxidantes alimenticios y fibra vegetal que ayuda a la salud del hombre (CIP, 2008).

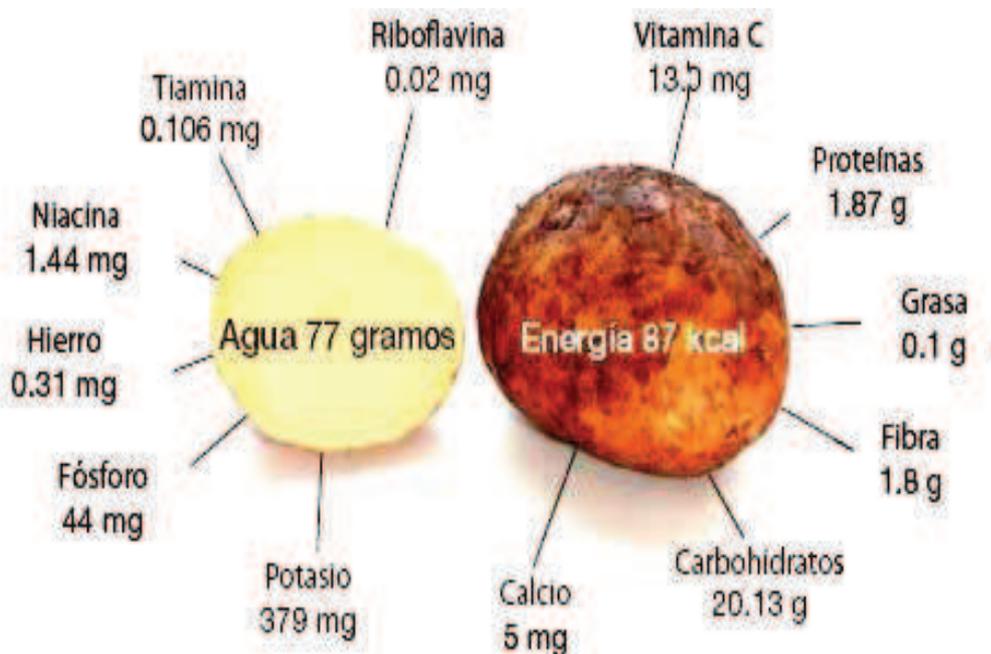


Figura 1.1 Composición nutricional de la papa, por 100 g de papa pelada antes del consumo y 100 g de papa hervida (CIP, 2008)

El cultivo de papa en el Ecuador se lo realiza durante todo el año, por lo que se asegura el abastecimiento continuo del producto (INIAP, 2008).

En el censo de producción de papa realizado en Ecuador por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP) entre octubre de 1999 y septiembre del 2000, el cultivo de papa genera a nivel nacional aproximadamente 88 000 puestos de trabajo de manera directa e indirecta; indica también, que en ese periodo se alcanzaron 50 000 ha sembradas, de las cuales se cosecharon 42 000 ha, y de esta cosecha se destinó el 80% para el comercio. Estos datos indican que el cultivo de papa en el país se ubica en el quinto lugar, luego de los cultivos de: arroz, maíz duro, maíz suave y soya (INIAP, 2008).

Entre los años 2000 y 2006, el cultivo de la papa creció en un 70% debido al aumento en la investigación y creación de nuevas variedades por el INIAP; las siembras y cosechas de este cultivo son suficientes para abastecer el consumo local (INIAP, 2008).

1.1.3 VARIEDADES DE PAPA CULTIVADAS EN EL PAÍS

Según datos del (Servicio de Información y Censo Agropecuario) SICA, en estudio de producción de papa y sus variedades se afirma que, en el Ecuador son 10 las provincias que tiene producción de papa, siendo las principales Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua; cada una de estas provincias cultiva variedades diferentes, por ejemplo, en la zona norte se cultivan las variedades “superchola”, gabriela, esperanza, roja, fripapa y maría; en la zona central las variedades gabriela, esperanza, maría, fripapa y las nativas uvilla y leona; y en la zona sur las variedades bolona, esperanza, gabriela y jubaleña (INIAP, 2010).

Cabe señalar que cada zona del Ecuador se caracteriza por producir un tipo de papa en especial, sin embargo las más cultivadas son: gabriela, uvilla, chola y bolona (INIAP, 2008).

Las características del tubérculo varían, por lo que instituciones de investigación agrícola como el INIAP, luego de años de investigación han creado nuevas variedades que cumplen con las características deseadas como son: la fácil adaptabilidad a las condiciones ambientales de la zona, y un buen rendimiento por hectárea producida (INIAP, 2008).

En la Tabla 1.1 se muestra la producción de papa en el Ecuador, (Villavicencio, 2010).

Tabla.1.1 Variedades de papa cultivadas en el Ecuador, por zona de cultivo

ZONA DE CULTIVO	VARIEDAD
Norte: Carchi	Chola, superchola, gabriela, esperanza, maría, fripapa 99, ICA-capiro, margarita, ormus, y yema de huevo.
Sur: Cañar, Azuay y Loja	Uvilla, leona, santa catalina, esperanza, soledad cañari y gabriela.

(OFIAGRO, 2008, p. 8)

1.1.4 PAPA DE LA VARIEDAD “SUPERCHOLA”

Esta variedad fue creada para obtener una alta producción, un tamaño adecuado para la industrialización, que sea de fácil acceso para los productores en todos los sectores y para uso doméstico e industrial. Esta es una de las variedades que más se cultiva en el Ecuador junto con la variedad gabriela, debido a la gran aceptabilidad por parte del consumidor (INIAP, 2008).

Según Villacres (2008), luego de varios análisis físico-químicos, esta variedad de papa tiene un genotipo apropiado para el procesamiento industrial, ya que luego de haber sido frita por 6 minutos alcanzó el mayor puntaje en el nivel de evaluación de aceptabilidad, y al mismo tiempo en cuanto a la fritura obtuvo resultados de 40,08% de humedad y 9,08% de grasa (SICA, 1999).

La variedad “superchola” fue obtenida por el señor Germán Bastidas (INIAP), gracias a la combinación genética inicial de las variedades rosita y curipamba como se muestra en la Figura 1.2.

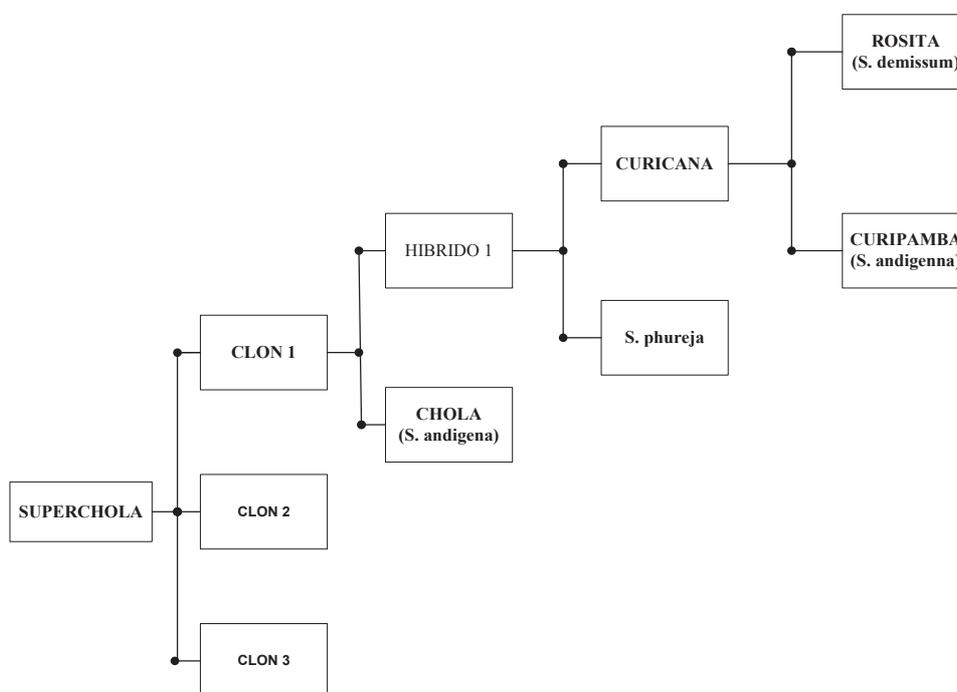


Figura 1.2. Variedades de papa utilizadas para la obtención del pedigrí de la variedad “superchola” (INIAP, 2008)

1.2 MANEJO DEL INSECTO DE LA POLILLA GUATEMALTECA DE LA PAPA (*Tecia solanivora*)

1.2.1 ESPECIES DE POLILLAS DE LA PAPA DETECTADAS EN EL ECUADOR

El término polilla agrupa a tres especies de lepidóptera de la familia *Gelechiidae*:

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



Figura 1.3. Insecto adulto de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* (ICA, 1998)

La polilla guatemalteca de la papa, la cual puede observarse en la Figura 1.3, es nativa de Centro América y se adapta a distintas condiciones climáticas y ambientales, por lo que actualmente se la encuentra en toda la región andina del Ecuador en un rango de 2 200 msnm a 3 500 msnm (Agro Ancash, 2008).

En países como Colombia, Perú y Bolivia, predomina la presencia de *Symmetrischema tangolia*, pero en nuestro país la especie que ha causado más daño hasta el momento es *Tecia solanivora* (Povolny); a esta especie se la ha encontrado en toda las zonas productoras de papa del norte y en toda la sierra central del Ecuador (Agro Ancash, 2008).

1.2.2 ESPECIE *Tecia solanivora* (Povolny)

Esta plaga fue descrita por primera vez en el año de 1973 en Centro América, por Dadibor Povolny, de allí su nombre, pero debido al desarrollo de la comercialización entre los países de la misma región y la falta de controles fitosanitarios efectivos en las importaciones, han contribuido a su rápida proliferación (Agro Ancash, 2008).

Otro factor importante para la proliferación es la fisiología de la plaga, debido a que tiene una rápida adaptación a las condiciones climáticas y un rápido ciclo reproductivo (Agro Ancash, 2008).

1.2.2.1 Características biológicas de la especie *Tecia solanivora*

Clasificación taxonómica.- En la tabla 1.2 se muestra la clasificación taxonómica definida de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora*.

Tabla 1.2 Clasificación taxonómica de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora*

ORDEN	Lepidóptera
SUBORDEN	Dystrisia
SUPERFAMILIA	Tineoidea
FAMILIA	Gelechiidae
TRIBU	Gnorimoschemini
GENERO	<i>Tecia</i>
ESPECIE	<i>Tecia Solanivora</i>

(ICA, 1998)

Ciclo biológico.- Esta plaga tiene un ciclo reproductivo completo, es decir presenta las cuatro etapas que se pueden diferenciar a simple vista, en la tabla 1.3 se muestran los tiempos de vida en los estadios de huevo, larva, pupa y adulto.

Tabla 1.3. Tiempos de vida en cada estadio de *Tecia solanivora*

ESTADIOS	TIEMPO DE VIDA APROXIMADO (días)
HUEVOS	5 – 8
LARVAS	30 – 35
PUPAS	35 – 40
ADULTOS	15 – 17
TOTAL	85 - 100

(Montesdeoca, 2005, p. 4)

Una hembra puede ser fecundada varias veces por diferentes machos, luego de lo cual llegan a depositar grandes cantidades de huevos; de acuerdo a las condiciones de temperatura su ovoposición será variable, así, entre los 15 °C a 20 °C tienen un promedio de 15 huevos por día, es decir de 170 a 180 huevos a lo largo de su vida adulta, pero a temperaturas comprendidas entre los 20 °C y 25 °C pueden llegar hasta los 300 huevos (Montesdeoca, 2005, p. 5).

Con temperaturas cercanas a los 30 °C disminuye considerablemente la ovoposición. Las hembras llegan a tener como máximo 2 periodos de ovoposición a cualquier de los rangos de temperatura antes indicados (ICA, 1998).

Cuando la fecundación ya se ha realizado, las hembras no tienen un lugar preferido para la ovoposición, dependerá del lugar donde se encuentre la plaga con el tubérculo, la hembra puede depositar los huevos en las yemas de los tubérculos en almacenamiento, en las bases de los tallos en el cultivo y en los hilos de los sacos que contienen a los tubérculos (Herrera, 1998).

Luego de que han sido depositados los huevos estos eclosionarán y saldrán las larvas que ingresan en el tubérculo, empiezan por la capa más fina de la corteza, estas larvas son casi imperceptibles al ojo humano (Palacios, 1997, p. 1).

Cuando las larvas ya han madurado salen del tubérculo para pasar al estadio de pupa, por lo general se ubican en las yemas de los tubérculos y están cubiertas por una capa blanca de ceda que las protege, los tiempos de los estadios dependerá de las condiciones ambientales en las que esté expuesta la plaga. Según estudios realizados en diversos institutos se ha llegado a la conclusión de que a 25 °C el ciclo reproductivo de la polilla se reduce a la mitad (Montesdeoca, 2005, p. 6).

Morfología funcional.- A continuación se detallan las características de cada estadio de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora*.

Estadio de huevo.- Como se observa en la Figura 1.4, los huevos son de forma ovalada, de coloración blanquecina, miden aproximadamente 0,5 mm de largo y pasan a tomar una coloración amarilla al sexto y séptimo día de su ovoposición (Herrera, 1998).

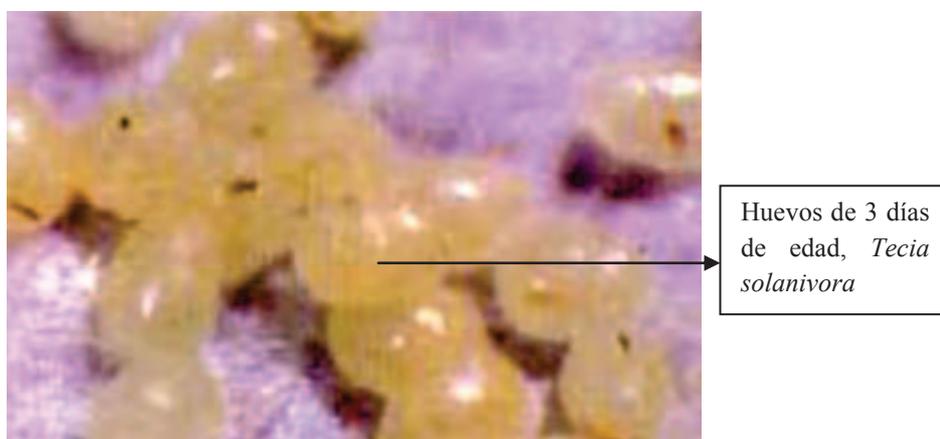


Figura 1.4. Huevos de polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* de 3 días de edad (ICA, 1998)

Estadio de larva.- las larvas pasan en esta etapa por cuatro estadios intermedios, los cuales se distinguen por su longitud. Como se observa en la Figura 1.5, son de forma alargada y poseen tres patas torácicas, cuatro pares de pseudo patas abdominales y un par de pseudopatas anales. Las larvas del primer estadio miden aproximadamente 1,3 mm de largo y pueden llegar a medir hasta 14 mm en su último estadio (Herrera, 1998).

En el primer estadio intermedio las larvas muestran un color blanquecino y durante su desarrollo toman una coloración amarillo verdosa; para cuando llegan a su último estadio intermedio tiene una coloración púrpura en la región dorsal (Agro Ancash, 2008).

Presentan también su cabeza bien definida de color pardo claro. Las larvas de *Tecia solanivora* muestran sobre el dorso de cada segmento lunares o manchas de forma trapezoidal denominadas “pináculos”, detalle que permite distinguirlas de las larvas de *Phthorimaea operculella* (Agro Ancash, 2008).

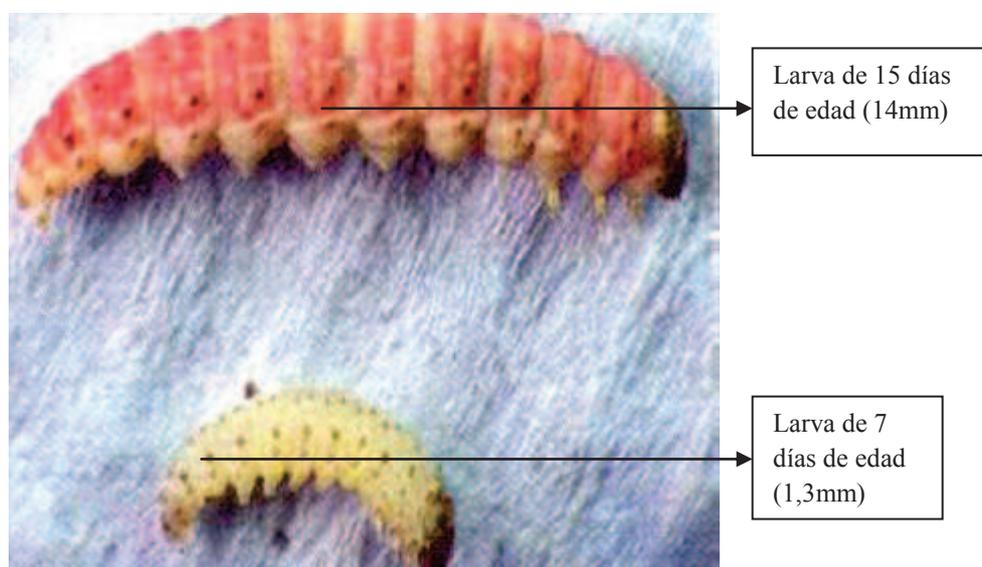


Figura 1.5. Larvas de polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* en diferentes etapas de desarrollo (ICA, 1998)

Cuando las larvas emergen de los huevos se inicia la infestación en los tubérculos (Agro Ancash, 2008).

Si la ovipostura se encuentra sobre el suelo del cultivo, las larvas se dirigen a los tubérculos enterrados, pero si la puesta fue sobre la epidermis del tubérculo lo penetrará directamente, cuando las larvas ingresan al tubérculo dejan un orificio de entrada casi imperceptible (Herrera, 1998).

La larva carcome la pulpa del tubérculo y forma túneles también llamados galerías, como se observa en la Figura 1.6, las cuales aumentarán de tamaño de acuerdo a su desarrollo (Herrera, 1998).

El impacto que causa en el cultivo de papa la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* es porque, a diferencia de otras especies de polillas existentes en el Ecuador, las cuales son barrenadoras de tallos y hojas, esta especie en particular no destruye únicamente el tubérculo sino que deja heces dentro de él por lo cual esta papa será amarga y no apta para el consumo humano ni animal (Agro Ancash, 2008).

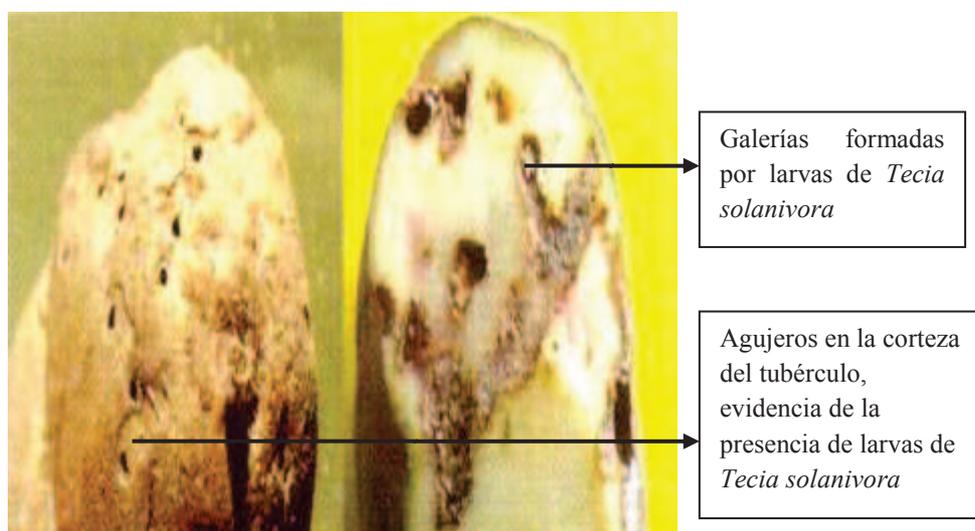


Figura 1.6 Galerías dentro de la papa infestada con polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* (ICA, 1998)

Estado de Pupa.- La larva en su último estadio intermedio produce una seda con la que formara su capullo, como se aprecia en la Figura 1.7, al que se van adhiriendo partículas de tierra o fibras vegetales disponibles. Dentro de este capullo ocurre la metamorfosis de larva a pupa y de pupa a adulto (Herrera, 1998).

La pupa tiene una forma alargada, de coloración café que se oscurecerá de acuerdo al grado de madurez. La pupa hembra llega a medir 8,5 mm de largo por

2,9 mm de ancho, mientras que la pupa macho llega a medir 7,8 mm de largo por 2,4 mm de ancho (Herrera, 1998).

Las pupas por lo general se ubican fuera del tubérculo en las hendiduras o imperfecciones de la papa aunque también se ubican dentro de él, en el suelo y en los sacos que se almacena el tubérculo (Agro Ancash, 2008).

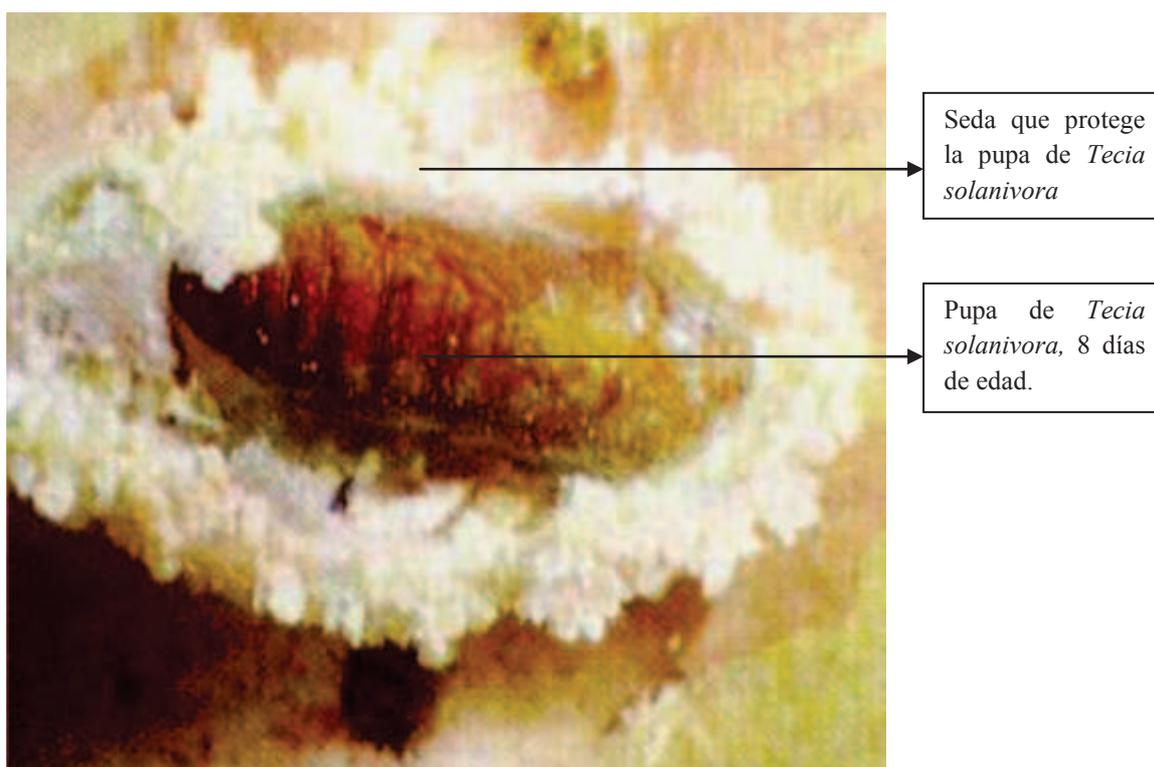


Figura 1.7. Apariencia de la pupa de la polilla guatemalteca dentro del capullo (ICA, 1998)

En la figura 1.8 se observa el dimorfismo sexual de la polilla guatemalteca de la papa.

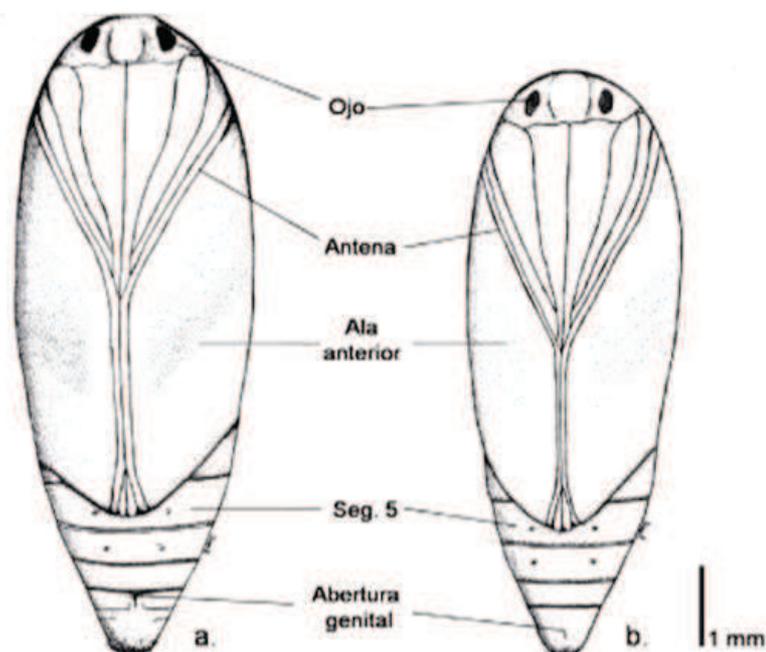


Figura 1.8. Vista ventral de las pupas de *Tecia solanivora*: a. Hembra, b. Macho (Agro Ancash, 2008)

Estadio de adulto.- en el estadio de adulto la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) se presenta como un insecto que tiene una coloración que va de pardo oscuro al gris, hay un marcado dimorfismo sexual entre hembra y macho, es así que, la hembra mide 12 mm de largo por 3,4 mm de ancho, mientras que el macho es más pequeño y mide 9,7 mm de largo y 2,9 mm de ancho (Herrera, 1998).

Las hembras adultas en sus alas anteriores presentan un color marrón claro y líneas longitudinales nítidas, desde el ápice del ala anterior, terminando en forma de manchas marginales, en el macho y la hembra se distinguen las alas que tienen una forma de copa con flecos, esta característica permite diferenciar a esta especie de polilla del resto de polillas existente en el Ecuador (Herrera, 1998).

La hembra tiene su abdomen abultado y claro, en cambio el macho es delgado y oscuro (Agro Ancash, 2008).

1.2.3 COMPORTAMIENTO Y CICLO DE VIDA DE LA POLILLA GUATEMALTECA DE LA PAPA EN EL CULTIVO DE PAPA

1.2.3.1 Forma de vida y comportamiento en su hábitat

La polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) es una plaga que ataca únicamente a los tubérculos de papa. Esto dificulta su control, ya que los huevos o larvas son casi imperceptibles y muy resistentes a condiciones adversas de temperatura y manipulación (Pollet, 2004, p. 24).

Esta plaga es muy común en todas las regiones productoras de papa del país, por lo general está ya presente en las semillas que se usa para producciones industriales o artesanales de papa. Los adultos de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) son más activos durante el atardecer, la noche y el amanecer, durante el día o la claridad permanecen ocultos o refugiados en lugares oscuros, ocultos bajo el follaje y el rastrojo de las plantas (Palacios, 1997, p.7).

Los adultos tienen la capacidad de volar grandes distancias, aproximadamente hasta 1km, es decir, pueden pasar de un lote a otro con facilidad (Agro Ancash, 2008).

La proporción de sexos es 1:1, las hembras producen una feromona muy fuerte que atrae a los machos desde grandes distancias, por lo general la cópula ocurre al siguiente día de la emergencia del adulto (Agro Ancash, 2008).

Las hembras pueden ovipositar durante aproximadamente 10 días y por lo general lo hacen durante la primera semana de adultez. Una hembra adulta puede llegar a ovipositar entre 170 y 350 huevos de manera individual o en grupos. Las hembras no apareadas también pueden llegar a ovipositar hasta 20 huevos pero estos no están fecundados (Rincón, López, 2004, p. 41).

Las hembras depositan los huevos de acuerdo al lugar en que se encuentre, es así que si están en lugares de almacenamiento los depositan directamente en el tubérculo y si están en el cultivo depositan directamente en el suelo cerca a la base del tallo (ICA, 1998).

1.2.3.2 Ciclo de vida de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora*

El promedio de vida de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*), en sus diferentes estadios varía según las condiciones climáticas y ambientales en las que se encuentre, un factor muy importante para su supervivencia y desarrollo es la temperatura, por ejemplo, en lugares muy secos y con temperaturas de entre 20 °C y 25 °C la agresividad de esta plaga es muy grande y puede llegar a dañar hasta el 100% del cultivo (ICA, 1998).

1.2.3.3 Factores de influencia sobre el ciclo de vida de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora*

Efectos de la humedad.- la temperatura y la humedad son los factores principales para la adaptación y desarrollo de la plaga, por lo que un control sobre estos factores en cultivo se hace complicado para los productores de papa a nivel nacional e internacional (Herrera, 1998).

Depredadores y amenazas naturales de la especie *Tecia solanivora*.- la principal amenaza natural para la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*), es la presencia de lluvias abundantes, ya que, en condiciones normales de cultivo de la papa con semilla infestada, el exceso de agua hace que los huevos y pupas se desprendan y se corte el ciclo reproductivo, en general en ambientes lluviosos es muy escasa la presencia de la plaga en los cultivos (Herrera, 1998).



Figura 1.9 Pupas infestadas con parasitoides en la Estación Experimental “Santa Catalina” del INIAP

Otro enemigo natural de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) es la presencia de parasitoides, las cuales se observan en la Figura 1.9, y que son moscas diminutas que ovipositan en las pupas de la polilla, al desarrollarse cubrirán totalmente la pupa y se alimentarán de ella, esto impide que se desarrollen, por lo tanto morirán en estadio de pupa (Herrera, 1998).

Este parasitoide en la actualidad se lo está investigado en la Estación Experimental “Santa Catalina” del INIAP para su uso como un control biológico sobre la polilla guatemalteca de la papa (INIAP, 2008).

Debido a la rápida reproductibilidad de esta plaga es difícil encontrar métodos de control o un agente efectivo para su control en cada uno de los diferentes estadios, esto se debe a que cada estadio tiene una resistencia distinta a diversos tratamientos aplicados (Herrera, 1998).

1.2.4 MÉTODOS DE CONTROL APLICADOS CONTRA LA POLILLA GUATEMALTECA DE LA PAPA (*Tecia solanivora*)

Debido a la rápida adaptación y propagación de esta plaga a los ambientes de la sierra ecuatoriana ha sido muy difícil encontrar un tratamiento de control efectivo. En la actualidad se tienen varios tratamientos que son los más usados a nivel industrial y artesanal (Herrera, 1998).

A continuación se hace una reseña rápida de los diferentes tratamientos para el control (Herrera, 1998).

El tratamiento de control con la aplicación de productos químicos es el más usado en la actualidad, por su fácil aplicación y la facilidad con la que se consiguen estos productos en el mercado, pues se distribuyen sin ningún tipo de control (INIAP, 2008).

Consiste en la aplicación de productos químicos durante y después de la siembra. Algunos de estos productos químicos tienen niveles de toxicidad muy elevados y por ello se los ubica en la categoría de los llamados “sello rojo”, este método pese a ser el más usado en la actualidad no es muy efectivo por la falta de control o asesoría profesional para su aplicación (INIAP, 2008).

El tratamiento de la papa luego de la cosecha consiste en la aplicación de maicena y carbaril a las papas almacenadas en silos verdeadores, el producto se coloca directamente dentro de los costales; este producto se aplica en una relación de aproximadamente 125 g por cada 45 kg de papa, con esto se logra atenuar en un 90% el desarrollo de la polilla (Montesdeoca, 2008, p. 15).

El tratamiento con el uso de feromonas para el control de machos consiste en colocar trampas con pequeños tampones empapados con el producto, lo que atrae a los machos a grandes distancias y a su vez para que se posen sobre una mezcla de productos químicos y gomas que atrapan a la plaga, este método no es

muy usado en Ecuador debido a la escasa oferta de este producto (Agro Ancash, 2008).

El tratamiento por control biológico con el uso de granulovirus utiliza un virus que se multiplica en laboratorio para el control de la plaga, actualmente se lo usa en Colombia a modo de prueba, y sus resultados han sido muy escasamente publicados, el tratamiento causa efecto degenerativo en la plaga (Agro Ancash, 2008).

1.2 TRATAMIENTO DE LA SEMILLA DEL TUBÉRCULO DE PAPA CON RADIACIONES IONIZANTES CON FUENTE DE CO-60

1.3.1. RADIACIONES IONIZANTES GAMMA CON FUENTE DE CO-60 PARA EL CONTROL DE LA POLILLA GUATEMALTECA DE LA PAPA *Tecia solanivora*

Las radiaciones ionizantes son usadas para la inhibición del crecimiento o desarrollo de patógenos indeseables y para la prolongación de la vida útil de los alimentos, se plantea el uso de las radiaciones ionizantes con fuente de Co-60 como método para el control de la plaga en papa para semilla. Este tratamiento no causa efectos secundarios sobre los alimentos y es usado a nivel mundial (Fresh Plaza, 2008). El Codex General Alimentario determina que la dosis total absorbida por un alimento irradiado no debe ser mayor a 10 kGy (Fresh Plaza, 2008).

1.3.1.1. Efectos de las radiaciones sobre los diferentes estadios de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora*

Desde el descubrimiento de los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos se han hecho diversos ensayos para conocer su incidencia en plagas. Basado en los datos obtenidos en estos ensayos se espera encontrar un posible tratamiento para evitar la proliferación de la polilla guatemalteca en el uso de semilla de papa. Los efectos que se ocasionarían en los insectos son tales como la esterilidad definitiva, daños en el ADN, y trastornos en su biología en general (ININM, 2009).

La radio sensibilidad de un individuo está dada por el grado de división celular que tenga, es decir a mayor división celular y mayor complejidad del organismo los efectos serán mayores y más visibles (Fresh Plaza, 2008).

Para cada estadio de la polilla los efectos de la radiación son distintos, los huevos de la polilla son muy sensibles al tratamiento y puede causar hasta el 100% de mortalidad con dosis bajas. En el caso del estadio de larva no causa una muerte instantánea pero si inhibe el crecimiento haciéndole difícil la llegada al siguiente estadio de desarrollo. Para el estadio de pupa los efectos son a largo plazo es decir, por ejemplo que no logre llegar a la adultez, también puede causar infertilidad al adulto o que tenga algún tipo de alteración biológica (Narvaiz, 2004).

Los adultos de la plaga que son irradiados por lo general no tienen ninguna alteración en su generación, pero sus generaciones posteriores pueden nacer con mal formaciones o simplemente sean individuos estériles (Fresh Plaza, 2008).

1.3.1.2 Ventajas del uso de radiaciones ionizantes como un tratamiento para el control de plagas

Este tipo de tratamiento tiene algunas ventajas que lo hace una buena opción frente a otro tipo de tratamientos con objetivos parecidos:

- El tratamiento con radiación ionizante no eleva la temperatura.
- No deja residuos de radioactividad en los productos sometidos a su acción.
- Este tipo de tratamiento se puede aplicar a productos terminados y empacados.
- Las radiaciones ionizantes son aplicables a cualquier tipo de producto para alargar su vida útil o simplemente para esterilizarlo.
- Es un proceso totalmente amigable con el medio ambiente, no produce desechos ni genera productos colaterales indeseables (CNEA, 2004).
- No genera resistencia en ninguna plaga.
- Esta tecnología se la puede aplicar especialmente a alimentos sólidos, los cuales tienden a ser más propensos a contaminación, con plagas o bacterias.
- El tratamiento con radiaciones ionizantes no cambia las características nutricionales de los alimentos.
- Es un tratamiento probado y validado por diversos organismos internacionales como es la FAO, la OMS y la FDA.
- Este proceso produce un costo beneficio favorable, ya que alarga el tiempo de vida útil de los alimentos en percha.
- Las irradiaciones se usan para muchos alimentos que son aprobados para preparar comidas en hospitales para pacientes que necesitan alimentos esterilizados.
- El tratamiento con radiaciones permite conservar los olores y sabores originales, este tratamiento incrementa el tiempo de vida útil de productos con alta cantidad de proteínas como el pollo, carne y pescado.
- El producto irradiado se puede empacar seco, ya que no genera desprendimiento de jugos naturales (Fresh plaza, 2008).

1.3.2 DESCRIPCIÓN DE LA FUENTE DE CO-60 USADA PARA LA IRRADIACIÓN DE LAS SEMILLAS DE PAPA Y LA POLILLA GUATEMALTECA

La fuente se encuentra ubicada en el Laboratorio de Tecnología de Radiaciones

(LTR) del Departamento de Ciencias Nucleares (DCN) de la Escuela Politécnica Nacional. Puerta de ingreso a la fuente de Co-60 se observa en la figura 1.10.

Es un edificio rectangular con medidas de 55,80 m de largo, 14,80 m de ancho, las paredes están construidas con pórticos de hormigón armado, los marcos de las ventanas son de hierro y dispone de un puente grúa de 10 toneladas de capacidad construido a lo largo del edificio (Muñoz, 1993, p.10).

La fuente es de diseño francés con blindaje húmedo constituido por una piscina con agua desionizada, separada por barreras metálicas, como se observa en la Figura 1.11; la piscina tiene 6,5 m de largo, 2,5 m de ancho y 4,75 m de profundidad (Muñoz, 1993, p.10).

En el interior de la piscina se encuentra un conjunto mecánico que permite el movimiento de la fuente hacia la cámara de irradiación, y está constituido por:

- Un sistema de riel de acero inoxidable para el transporte del porta fuentes.
- El sistema de ascenso se encuentra sumergido en la piscina, permite que la fuente de Co-60 llegue a la cámara de irradiación.
- Un castillo porta puentes, donde están colocados los lápices de acero inoxidable que contienen el Co-60.
- Una base donde se asienta el castillo porta fuentes, el castillo se encuentra encarrilado y tiene un diseño de ascenso horizontal.
- Un riel guía que dirige el ascenso de la base hacia la cámara de irradiación.
- Un cable de tracción para el ascenso de la fuente, el cual es halado por un motor externo y permite el ascenso del irradiador hasta la superficie de la cámara de irradiación.

En la figura 1.11 se muestra la piscina que se llena de acuerdo a un nivel controlado por un sistema automático accionado por un flotador, este flotador está conectado a un micro-switch que abre o cierra una válvula solenoide que permite el llenado de la piscina cuando ha llegado al nivel mínimo. En ese momento se

abrirá la válvula solenoide para permitir la recuperación del nivel con el agua de un reservorio que dispone el irradiador.

Además del reservorio de agua desmineralizada, el sistema cuenta con una conexión directa del sistema de abastecimiento de agua potable, el cual se activa al tener un descenso exagerado del nivel de la piscina, debido a razones excepcionales. Todo esto es parte del Sistema de Seguridad Radiológica del irradiador (INIAP, 2008).

El agua que alimenta a la piscina es de la red urbana, ésta previamente es tratada por los filtros de arena y resinas de intercambio iónico para su desmineralización. La cámara de irradiación dispone una plancha de acero inoxidable gravada con círculos cada 5 cm para determinar la dosis con respecto a la fuente (Muñoz, 1993, p. 10).

Dentro de la casamata se dispone de otros equipos como son detectores de radiación, absorbedores de ozono, alarma contra robos, luces de señalización y planta de tratamiento de aguas. La fuente fue diseñada para una carga de potencia nominal de 15 0000 Ci, esta fuente tiene una geometría cilíndrica que contiene 12 lápices radioactivos (Muñoz, 1993, p 10).

En la figura 1.10 se muestra la puerta de la cámara de irradiación con todas las seguridades, dicha cámara tiene paredes de 1,60 m de espesor y 2,4 t/m³ de densidad, y dimensiones de 4,0 m de ancho; 2,5 m de altura y 4,0 m de largo (Muñoz, 1993, p 10).

La cámara de irradiación en una de sus paredes posee una ventana panorámica de 1,40 m de espesor, esta ventana está llena de aceite mineral que permite la recuperación del índice de refracción (Muñoz, 1993, p 10).

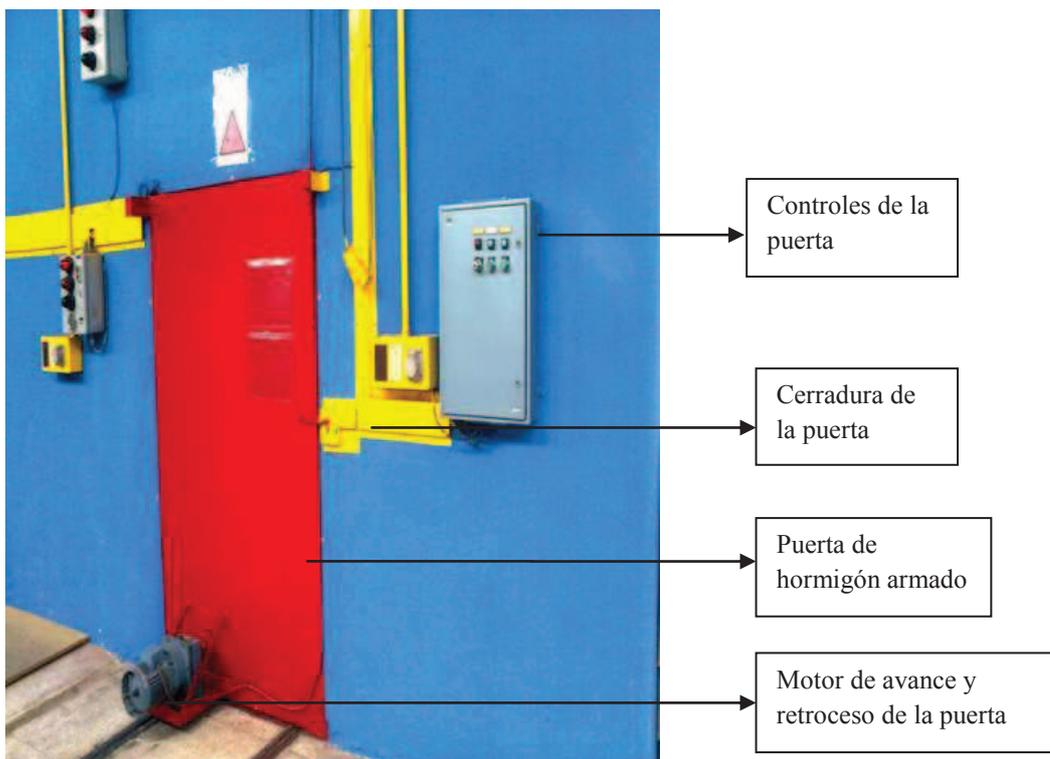


Figura 1.10. Puerta de ingreso a la fuente de Co-60

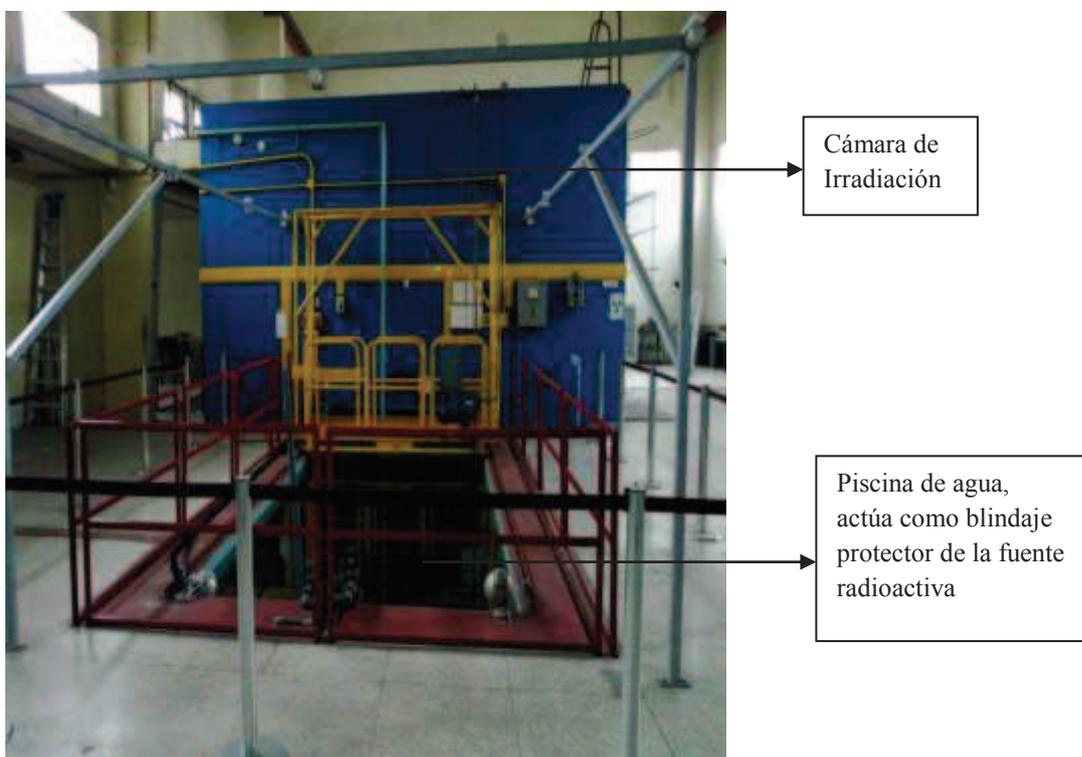


Figura 1.11 Vista de la piscina y cara lateral de la cámara de irradiación

1.4 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Un análisis organoléptico es aquel que se lo realiza con los sentidos, se basa en un análisis comparativo por percepción de varios panelistas o colaboradores (Cali, 2011).

Este tipo de análisis busca determinar si una muestra de un alimento es agradable al gusto del consumidor final, este análisis se lo hace generalmente con panelistas entrenados o semi entrenados (Cali, 2011).

Los sentidos que se utilizan evalúan ciertas características que se detallan a continuación:

- VISTA: color, brillo, forma, tamaño
- GUSTO: sabor
- OLFATO: olor
- TACTO: textura, temperatura, dureza y humedad
- OÍDO: sonidos

Un análisis organoléptico evalúa si un alimento ha sido adulterado, este análisis se lo realiza por lo general con personas del mismo nivel cultural, las cuales dirán si un alimento es apto para el consumo (Burchard, 2003).

Este procedimiento no muestra si un alimento está contaminado, pero la percepción de personas que conozcan el alimento es válida para saber si no causa molestia una posible alteración de características como el sabor, olor o textura (Burchard, 2003).

Hay que tener en cuenta que un alimento se empieza a descomponer desde el mismo momento que este es elaborado, la acción microbiana en los alimentos descompone las proteínas y las transforma en polipéptidos, estos a su vez se

convierten en péptidos, y estos en aminoácidos. Muchos de estos péptidos producidos son los que dan mal sabor a los alimentos, o los hacen amargos.

Cuando se descomponen ciertos componentes de los alimentos estos generan olores característicos, por ejemplo:

- Sulfuro de hidrógeno
- Sulfuro de metilo
- Sulfuro de etilo
- Mercaptanos

Estos catabolitos convertidos generan un fuerte olor a huevo podrido. En alimentos como las papas que contienen carbohidratos en gran cantidad, un porcentaje pequeño de proteínas y potasio se podrían dar la alteración proteica y a su vez generar un olor a podrido o un sabor picante (Burchard, 2003).

La degradación o descomposición de los carbohidratos puede dar origen a agua y producción de anhídrido carbónico, y la pérdida de las características intrínsecas del producto (Burchard, 2003).

También la alteración anaeróbica de los carbohidratos puede dar lugar a distintos tipos de fermentación, cuyos productos generarían olores y sabores ácidos. Algunos de los metabolitos que se podrían generar son:

- Etanol
- Ácido láctico
- Ácido acético
- Ácido fumárico
- Ácido propiónico
- Ácido succínico
- Ácido butírico

Un análisis organoléptico comienza con la planificación de la ficha de cata del producto y la descripción del puntaje asignado a cada atributo (Cali, 2011). En el caso de los análisis organolépticos hay varios tipos de jueces que se pueden emplear:

- **Juez experto:** persona con un gran tiempo de entrenamiento que distinguirá fácilmente la diferencia de sabores o texturas en las muestras.
- **Juez entrenado:** persona que es entrenada para detectar solo ciertas características de las muestras.
- **Juez semi entrenado:** persona que practica pruebas más básicas y que al igual que el juez entrenado puede distinguir características específicas de las muestras.
- **Juez consumidor:** personas que por lo general no trabajan con alimentos, ni han participado antes en ningún análisis, pero que han probado las muestras y saben las características que deben tener los alimentos de manera empírica (Cali, 2011).

Existen tres tipos de análisis sensoriales u organolépticos, descriptivo, discriminativo y del consumidor, para este tipo de producto se decidió realizar un análisis del consumidor o también llamado de aceptabilidad, esto debido a que la papa es un producto conocido en la región Sierra, también se tendría criterios de personas con el mismo conocimiento o cultura geográfica, la cantidad de personas que se requiere no necesitan de un entrenamiento, y nos da la posibilidad de obtener datos numéricos que nos proporcionen resultados más acertados (Burchard, 2003).

1.4.1 TEST DEL CONSUMIDOR DE ACEPTABILIDAD

Este tipo de test permite tener una posible reacción del consumidor, frente a un nuevo producto, con alguna modificación o algún sustituto de un producto que se consume habitualmente (Cali, 2011).

Para poder medir este método se aplicó la prueba Mann-Whitney es un método no paramétrico aplicado a dos muestras independientes, cuyos datos han sido medidos al menos en una escala de nivel ordinal (Burchard, 2003).

La prueba calcula el llamado estadístico U , cuya distribución para muestras con más de 20 observaciones se aproxima bastante bien a la distribución normal (Burchard, 2003).

El estadístico U viene dado por la siguiente expresión:

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1+1)}{2} \quad [1.1]$$

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2+1)}{2} \quad [1.2]$$

O por otra expresión equivalente a esta (donde se obtienen cambiados los valores de U_1 y U_2):

$$U_1 = n_1 n_2 - \frac{n_1(n_1+1)}{2} \quad [1.3]$$

$$U_2 = n_1 n_2 - \frac{n_2(n_2+1)}{2} \quad [1.4]$$

Donde:

n_1 y n_2 : son el tamaño respectivo de cada muestra

R_1 y R_2 : son la suma de los rangos en la muestra 1 y 2

De entre los valores U_1 y U_2 , se tomará el valor del estadístico U el mínimo valor de entre ambos. La aproximación a la normal z , cuando tenemos muestras lo suficientemente grandes viene dada por la expresión:

$$Z = \frac{U - m_u}{\sigma_u} \quad [1.5]$$

Donde:

m_U y σ_U : son la media y la desviación estándar de U si la hipótesis nula es cierta, y vienen dadas por las siguientes fórmulas:

$$m_U = \frac{(n_1 n_2)}{2} \quad [1.6]$$

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad [1.7]$$

Los cálculos tienen que tener en cuenta la presencia de observaciones idénticas al momento de ordenarlas. No obstante, si su número es pequeño, se puede ignorar esa circunstancia. (Burchard, 2003).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

2.1.1 MATERIALES PARA LA INFESTACIÓN DIRIGIDA

- 65 kg de papa
- 60 Porta muestras plásticos cuadrados # 5
- 2 m de tela villón
- 1 tubo PVC de 3"
- Calefactor digital de 1500 watts
- Papel filtro cuantitativo
- Vaso de precipitación de 1 L
- Termo higrómetro
- Miel de abeja
- Estereoscopio
- Cajas petri

2.1.2 MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA IRRADIACIÓN

- Fuente de Co-60
- Cronometro certificado
- Porta muestras listos para irradiar

2.2. SELECCIÓN DE LA SEMILLA DEL TUBÉRCULO DE PAPA (*Solanum tuberosum*) DE LA VARIEDAD “SUPERCHOLA”

Para iniciar con la infestación se adquirieron tubérculos de papa de la variedad “superchola” con la asesoría de especialistas de la Estación Experimental Santa

Catalina (INIAP), los tubérculos fueron adquiridos en lugares donde se estima que no hay presencia de la plaga, antes de iniciar la infestación se retiró la tierra adherida y se lavó con esponjas suaves a cada tubérculo, de esta manera se espera minimizar el error en la infestación y en los resultados.

2.3 IRRADIACIÓN DE LAS PAPAS INFESTADAS CON POLILLA GUATEMALTECA DE LA PAPA (*Tecia solanivora*)

2.3.1 PROCEDIMIENTO PARA LA IRRADIACIÓN EN LA FUENTE DE CO-60

Para empezar la irradiación con la fuente se siguieron los siguientes pasos:

- Para empezar hay que verificar que la fuente esté ubicada en el fondo de la piscina.
- Se ubican las muestras en el interior de la cámara de irradiación a las distancias definidas de isodosis.
- Cerrar la puerta de la cámara, accionar el sistema de ascenso de la fuente; cabe señalar que la fuente cuenta con un dispositivo de seguridad en el interior, el cual permite desactivar el sistema de ascenso de la fuente si alguien se quedase atrapado dentro de la cámara de irradiación.

Durante la irradiación se puede observar las muestras a través del vidrio plomado, cuando ya se ha terminado el tiempo de irradiación se procede a accionar el botón de descenso de la fuente desde el panel de control de la fuente, como se observa en la Figura 2.1, y siguiendo los procedimientos de seguridad se puede abrir la puerta para sacar las muestras irradiadas.

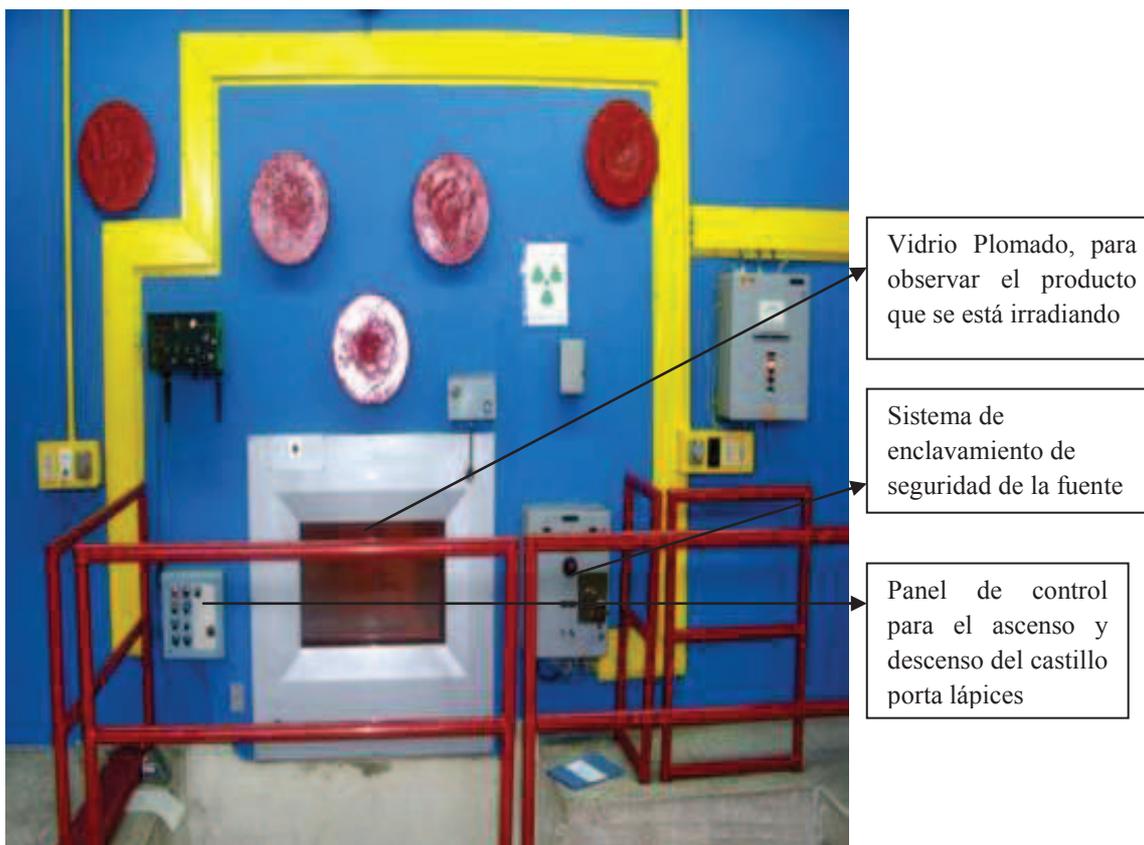


Figura 2.1 Controles de ascenso y descenso del castillo porta lápices

2.3.2 DOSIMETRÍA

2.3.2.1 Equipos

Para la dosimetría de la fuente se empleó el método Fricke, se utilizaron los siguientes materiales:

- Espectrofotómetro PERKIN ELMER LAMBDA 3B
- Pedestales de plexiglás para colocar los tubos a diferentes distancias de la fuente.
- Solución Fricke
- Fuente de Co-60

2.3.2.2. Descripción del método

El método utiliza la dosimetría Fricke tiene una variación de entre 20 a 400 Gy, utiliza una solución del mismo nombre la cual mide la absorción total de radiación de un haz de electrones en dicha solución.

La solución se prepara y se la coloca en tubos de ensayo de 5 ml los cuales se los sella con láminas de aluminio y se los ubica en los porta tubos cilíndricos y son colocados a diferentes distancias de la fuente en la cámara de irradiación.

A los tubos se los irradia por un tiempo determinado, luego de la irradiación se hacen lecturas de absorbancia a 305 nm de longitud de onda, para el cálculo de la dosis se aplica la siguiente ecuación:

$$D = \frac{(A_f - A_o) NA}{\delta G \epsilon d} * \frac{b}{k} * \frac{1}{(1+0.007(t - 25^\circ\text{C}))} \quad [2.1]$$

Donde:

D : Dosis absorbida en Gy.

$A_f - A_o$: Cambio de la absorbancia de la solución a 305 nm y 25 °C.

NA : Número de Avogadro = $6,022 \times 10^{23}$ átomos \times mol⁻¹.

δ : Densidad de la solución dosimétrica de Fricke. $1,024 \times 10^3$ kg \times m⁻³ a 25 °C.

G : Es el valor de la producción de moléculas inducida por la radiación por cada 100 eV de energía depositada en el sistema. Da un índice de la linealidad de la respuesta del dosímetro.

$$G_{\text{Fricke}} = G_{\text{Fe}^{+2}} = 9,74 \times 10^{17} \text{ J}^{-1} (0,156 \text{ eV}^{-1})$$

Donde:

ϵ : Coeficiente de extinción molar a 305 nm y 25 °C de los iones de Fe⁺³ $\epsilon_{\text{Fe}^{+3}} = 219,5$ m² \times mol⁻¹.

- d: Camino óptico de la luz incidente dentro del espectrofotómetro.
 $d = 0,01 \text{ m}$
- K: Factor de conversión de unidades de volumen. $K = 1$.
- b: Factor de conversión de unidades de energía.
 $b = 1 \text{ Gy. kg. J}^{-1} = 1$
- t: Temperatura ambiente

2.3.3 CAPTURA DE ADULTOS DE POLILLA GUATEMALTECA E INFESTACIÓN DIRIGIDA

2.3.3.1 Captura de adultos de polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora*

Para este procedimiento se adecuó un laboratorio como lugar de infestación en el LTR. Este laboratorio se acondicionó a una humedad relativa del 60% y temperatura estable de 26 °C, se aplicaron estas condiciones para lograr el mejor desarrollo de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) en cautiverio.

También se adecuaron porta muestras plásticos apropiados (envases plásticos cuadrados # 5) para el almacenamiento de los hospederos de *Tecia solanivora*. La tela villón o toldo debido a su transparencia fue utilizada para proteger de insectos ajenos a la investigación y a su vez sin que afecte la respiración o la buena iluminación. Al colocar esta tela se evitó la fuga de los insectos de los porta muestras, también se mantendrá una adecuada iluminación que garantizará la supervivencia de los insectos.

Las unidades de reproducción fueron elaboradas con tubo PVC de 15 cm de altura y 6 cm de diámetro, cubiertos los dos lados con tela villón, sujeta con ligas para permitir la respiración de los insectos. El diseño de la unidad de reproducción se ilustra en la Figura 2.2.

En el fondo de cada unidad se colocó papel filtro en forma de círculo hasta cubrir toda la base, también se colocaron torundas de algodón empapadas con una

solución dulce de agua destilada y miel de abeja en proporción de 2:1 respectivamente, para la alimentación de los adultos.

La captura de adultos se la realizó con la colaboración del Departamento Fitosanitario de la Estación Experimental “Santa Catalina” del INIAP. En el laboratorio de multiplicación de la plaga se capturaron adultos de ambos sexos de *Tecia solanivora*, se utilizó para esto un tubo de ensayo, para luego introducirlos en las unidades de reproducción previamente preparadas.

Cuando las unidades de reproducción ya estuvieron llenas de adultos de polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*), se trasladaron al laboratorio de crecimiento del insecto en el LTR, en el que se mantuvo a los adultos de *Tecia solanivora* bajo las condiciones ambientales anteriormente descritas (Herrera, 1998).

Luego de dos días de haber realizado el procedimiento de infestación, se procede a recolectar los huevos de polilla y se los introdujo en los porta muestras con papa para su infestación. A esto se lo denomina “infestación dirigida”.

Para poder disponer de la cantidad suficiente de la plaga para infestar todos las portas muestras se realizó el siguiente procedimiento con la guía de especialistas del INIAP y con ayuda de literatura especializada.

Se adecuó un laboratorio del (LTR) en el que se establecieron dos áreas con la ayuda de Tablas triplex, en la primer área se tuvo el cuidado de mantener la ventilación natural por medio de una ventana con malla.

Aquí se colocaron estanterías para almacenar los porta muestras con muestras de papa infestada con polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) en sus diferentes estadios.

Se estabilizó la temperatura con la ayuda de un calefactor de aceite de 1500 watts, la humedad fue estabilizada y controlada con un humidificador, esto

consistió en utilizar un baño de maría con un reverbero eléctrico y con voltaje constante. La temperatura y humedad se controló antes y durante todo el proceso de reproducción, desarrollo y evaluación de los efectos de las radiaciones sobre la plaga y el tubérculo con un termo higrómetro.

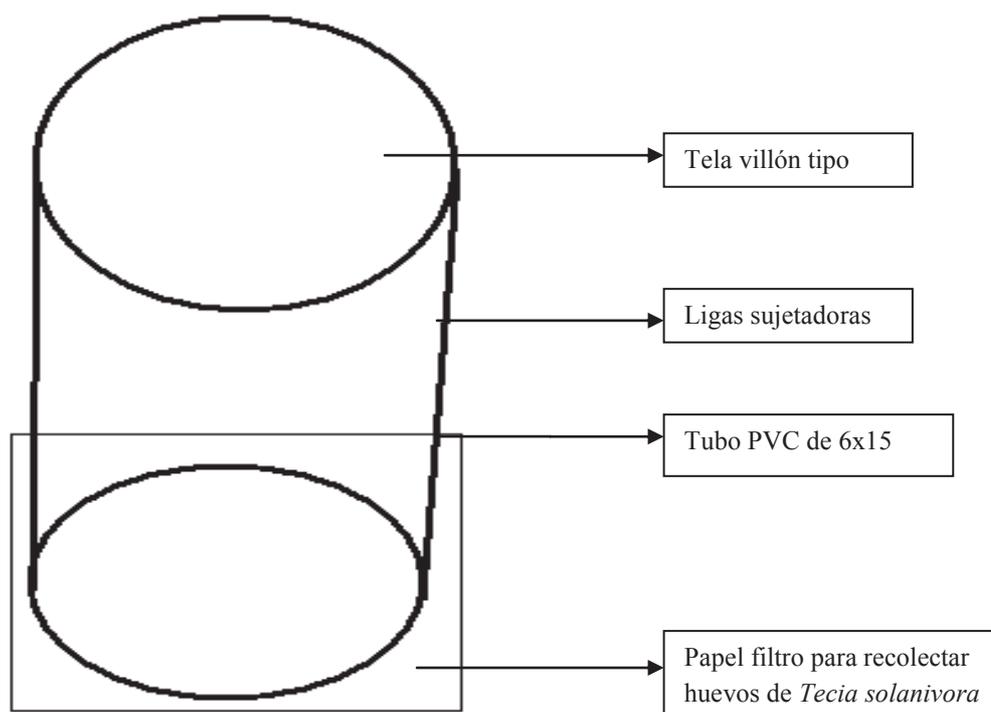


Figura 2.2 Unidad de reproducción de polillas adultas

Se capturaron insectos adultos de polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) entre machos y hembras, se colocaron en las unidades de reproducción junto con torundas empapadas con la solución dulce de agua destilada y miel de abeja antes señalada, las unidades reproductoras se sellaron con la ayuda de ligas sujetadoras y tela villón, se dejó en la base de cada unidad papel filtro en forma de círculo para que los huevos que sean depositados, puedan ser recolectados y contados para iniciar las infestaciones.

Se recolectaron los huevos de polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) depositados en papel filtro de las bases de las unidades de reproducción antes explicadas, en los papeles aproximadamente habían entre 400 y 500 huevos, los

papeles fueron colocados en un estereoscopio para ser separados y contados en grupos de 100 unidades aproximadamente.

Luego de 2 días se recolectaron los huevos y se realizó la observación en un estereoscopio, de esta manera se separaron en grupos de 100 individuos aproximadamente.

2.3.3.2 Infestación dirigida

Luego de la captura, ovoposición y selección de los huevos destinados a la infestación dirigida se procedió de la siguiente manera:

- Se infestaron 60 porta muestras con papa y con huevos de polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) de 3 días de edad, para así obtener las muestras infestadas con huevos de polilla, y se llevó un estricto control de tiempos.
- Luego de separar los papeles filtro de las unidades de reproducción con huevos se los colocó en un contador de colonias para delimitar las zonas con grupos de 100 huevos.
- Se escogieron 60 grupos de 100 huevos aproximadamente, todo al mismo tiempo para así poder disponer de polilla de todos los estadios, la edad de los huevos eran de 3 días.
- A los 7 días, luego de haber infestado las muestras de papa ya se tenía larvas, por lo que se aplicaron radiaciones ionizantes a ese estadio con dosis de 100 Gy a 500 Gy.

Para obtener polilla en el estadio de pupa, se esperaron 14 días luego de la infestación y se hicieron observaciones diarias para verificar la existencia de pupas.

2.3.3.3 Tiempos de desarrollo en los diferentes estadios de la polilla criada en cautiverio

De acuerdo con Herrera (1998), el tiempo para el desarrollo de la polilla desde huevo a adulto es aproximadamente 90 días, pero en condiciones favorables para la plaga, como es la temperatura y humedad, el ciclo puede acortarse, por lo antes expuesto se utilizó temperatura constante, humedad controlada y las condiciones adecuadas para incentivar su desarrollo, por lo que su ciclo de desarrollo se recortó a la mitad.

A continuación se detallan los tiempos de infestación y desarrollo.

- Para iniciar la infestación se colocaron 100 huevos de polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) en cada porta muestras con papa, se infestaron 60 porta muestras con 700 gr de papas, en cada uno.
- A los 15 días de la infestación se observó el desarrollo acelerado que tenía la plaga, por lo que se reorganizó el plan de tiempos de infestación y se realizó una irradiación por estadio.
- Se aplicaron las dosis de rayos gamma a cada estadio de la polilla en una sola sesión, es decir, al momento de aplicar radiaciones ionizantes al estadio de huevo se colocaron los porta muestras con papa previamente identificados con las dosis desde 14 Gy, 28 Gy, 56 Gy, 70 Gy, 84 Gy, 100 Gy, 200 Gy, 300 Gy, 400 Gy y 500 Gy, todos los porta muestras se colocaron al mismo tiempo dentro de la cámara de irradiación y se los retiraba luego de haber recibido las dosis programadas.
- Se dieron todas las condiciones adecuadas para el desarrollo y supervivencia de las polillas, se colocó a los individuos junto con papas destinadas para semilla en condiciones normales, según la recomendación técnica del entomólogo del INIAP.

Consideraciones para el análisis estadístico de los resultados.- para poder hacer un análisis más adecuado de los resultados, es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los insectos adultos que se tomaron para hacer la infestación dirigida desde el principio, fueron capturados por una entomóloga en un laboratorio de multiplicación de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* destinado solo a este propósito dentro de la Estación Experimental Santa Catalina INIAP, allí se tomaron las polillas adultas de los dos géneros, únicamente de la especie *Tecia solanivora*.
- En el cuarto de infestación dirigida implementado en el LTR del DCN de la (EPN), se lograron todas las condiciones adecuadas para incentivar su desarrollo y sobrevivencia adecuada de las polillas en todos sus estadios. Para esto se utilizaron calefactores y evaporadores, estas condiciones fueron monitoreadas diariamente con un termo higrómetro. Las condiciones ambientales fueron de 56% a 60% de HR y de 22 °C a 27 °C.
- Esta plaga tiene una resistencia a condiciones adversas comprobada con estudios realizados por el INIAP, por lo que el traslado y manipulación de polilla en todos sus estadios afectan muy poco en el grado de mortalidad de la plaga.
- Las muestras de papa utilizadas en esta investigación fueron adquiridas en zonas donde no existe la presencia de la plaga. Antes de empezar las infestaciones todos los tubérculos fueron lavados uno a uno con agua y la ayuda de una esponja para garantizar que la papa está libre de plagas y así poder tener resultados confiables al final de la investigación.

Se tomaron varios datos a lo largo de la investigación de los diferentes estadios, con especial énfasis en el estadio de huevo.

Se irradiaron muestras de polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*) en los estadios de larva y pupa con el objetivo de obtener datos para comparar el comportamiento de los estadios que afectan más a la papa luego del proceso.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza o ANOVA de dos factores; este análisis se realizó para los tres estadios evaluados, se puso énfasis en los datos obtenidos en el estadio de huevo.

Se puso más énfasis en el estadio de huevo ya que si se logra afectar a la población en este estadio, se estaría cortando el ciclo de vida y reproductivo por lo que se podría garantizar un producto libre de plagas, ya sea para uso en semilla o para consumirlo como producto fresco.

Con el análisis ANOVA de dos factores se evaluó el comportamiento de las variables en las muestras y el efecto de los tratamientos aplicados, se quiere determinar el grado de efectividad del método.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 EVALUACIÓN DE RESULTADOS LUEGO DEL TRATAMIENTO CON RADIACIONES IONIZANTES

La evaluación de resultados se hizo con base en la comparación con los testigos infestados, los cuales se los mantuvo a las mismas condiciones pero con la diferencia que estos no fueron irradiados.

En la Tabla 3.1 se presentan las dosis que se aplicaron a tubérculos infestados con polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) en los 3 estadios.

Tabla 3.1. Dosis de radiaciones ionizantes de Co-60 a los diferentes estadios

ESTADIO DE PLAGA	DOSIS DE RADIACIÓN EN GRAYS									
	14	28	56	70	84	100	200	300	400	500
HUEVOS A LOS 5 DÍAS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LARVAS A LOS 12 DÍAS						x	x	x	x	x
PUPAS A LOS 15 DÍAS						x	x	x	x	x

3.1.1 EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE MORTALIDAD DE HUEVOS DE *Tecia solanivora* EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES

Luego de la irradiación de huevos de polilla de 5 días de edad con todas las dosis, se hizo una observación para determinar los porcentajes de mortalidad de la plaga, de acuerdo a Pollet, 2004, de los huevos de polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* deberían eclosionar larvas, esto no sucedió por lo que se volvió evaluar a los 7 días de vida.

Luego de 7 días a dosis de 14 Gy hubo una mortalidad del 12%, a los 10 días el porcentaje de mortalidad aumento al 15%, los porcentajes de mortalidad se muestran en la Tabla 3.2.

Se evidenció la conservación de la papa libre de plagas hasta los 60 días después del tratamiento, al tener una papa totalmente sana, pero sin presencia de brotes o grelos.

Al no tener presencia de brotes o grelos en el tubérculo de la papa, se descarta poder usar este tratamiento para semillas, este tratamiento se lo puede destinar como un proceso post cosecha para conservación del producto final.

Como se puede observar en la Figura 3.1, la dosis aplicada al tubérculo no causó el desprendimiento de los almidones, se observa un la pulpa del tubérculo con un color amarillo normal.



Figura.3.1. Papa irradiada a dosis de 70 Gy, infestada con huevos, sin presencia de galerías

Tabla.3.2. Porcentajes de mortalidad evaluados a los 7 y 10 días luego de aplicación de radiaciones ionizantes en el estadio de huevo

DOSIS EN Gy	Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3		Repetición 4		Repetición 5		Promedio huevos 10 días
	7 días	10 días									
14	12	15	15	18	13	19	17	20	19	28	20
28	17	22	17	21	21	22	19	28	12	27	24
56	26	28	18	26	17	27	29	38	27	30	29,8
70	28	33	24	31	22	31	27	33	35	37	33
84	77	78	62	65	59	65	40	44	71	74	65,2
100	90	100	92	95	85	89	91	93	89	90	93,4
200	95	100	96	98	100	100	97	98	95	99	99
300	98	100	100	100	100	100	97	99	96	100	99,8
400	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
500	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

3.1.2 EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE MORTALIDAD DE LARVAS DE POLILLA GUATEMALTECA EXPUESTA A RADIACIONES IONIZANTES

Luego de que las larvas fueron expuestas a las radiaciones ionizantes se las evaluó a los 3 y 15 días de edad, de acuerdo a su ciclo biológico y comportamiento. De los testigos del proceso debían empezar a producir seda y formar una pupa, lo cual no sucedió.

Como se aplicó el tratamiento de radiaciones ionizantes el cual altera los ciclos biológicos, se esperó para realizar otra evaluación de mortalidad de la plaga a los 19 y 20 días, y se observó una población sobreviviente muy baja de larvas que llegaron a convertirse en pupa, se hizo la cuantificación y se registró, de estos individuos que llegaron al estadio de pupa, muy pocos pasaron al estadio de adulto.

En la figura 3.2 se observa larvas de *Tecia solanivora* fuera de los tubérculos, esto no es normal ya que a esa edad y en ese estadio es cuando más daño causa la plaga al tubérculo porque se alimenta de su pulpa formando galerías y a su vez va dejando sus heces dentro, lo que hace que este sea amargo y por lo general no apto para el consumo humano.

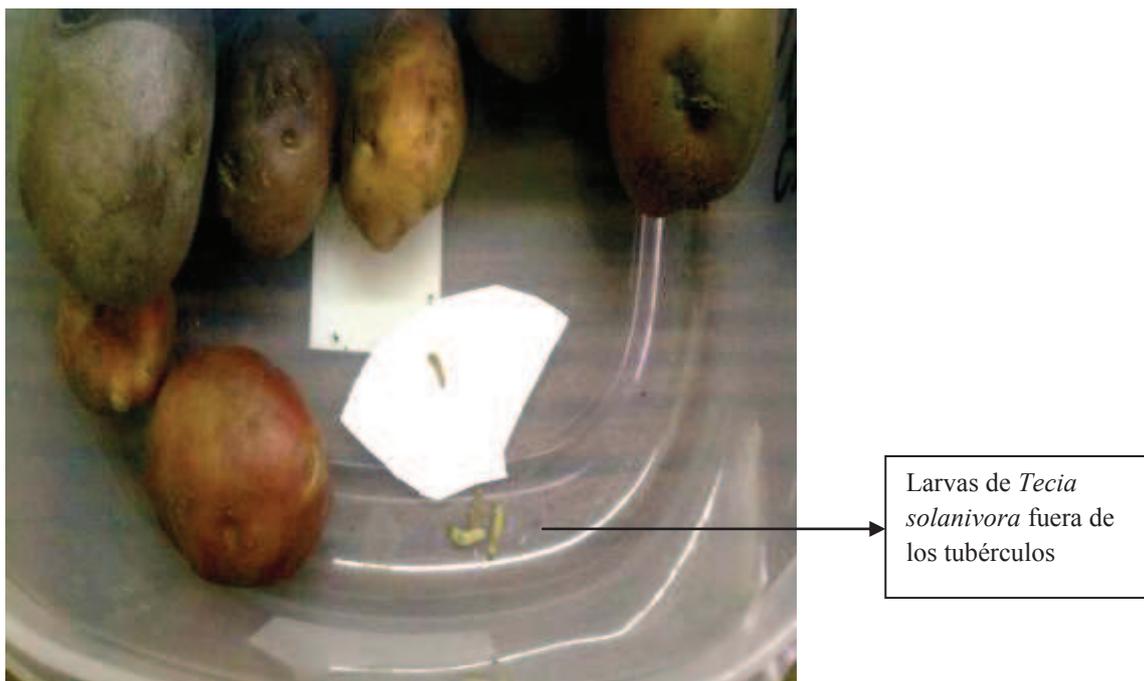


Figura 3.2. Tubérculos de papa infestada con larvas muertas luego de ser irradiadas

Los efectos de las radiaciones ionizantes ayudan a mantener el tubérculo sano y libre de plagas, este efecto puede ser causado porque se ataca directamente a la plaga debido a la penetración de los rayos gamma en el tubérculo.

Se evaluaron los resultados de la irradiación de cada repetición y se explican a continuación:

- Al exponer las larvas a dosis de 100 Gy no se logró la mortalidad de la polilla, pero se alteró radicalmente el ciclo biológico, de manera que a los 10 días de edad intentó cambiar al estadio de pupa y produjo la seda característica, luego de esto las larvas buscaban ubicarse en las tapas de los porta muestras o buscaban lugares oscuros de los contenedores.

- Con larvas expuestas a dosis de 300 Gy se evidencio un efecto directo sobre la supervivencia de la plaga, se observó que las larvas eran demasiado estáticas para la edad que tenían, y al final de una semana, luego de la irradiación, se observó que estaban muertas y secas (figura 3.3), fuera de los tubérculos, esto quiere decir que se obtuvo el efecto deseado sobre la larva. En las larvas expuestas a dosis de 400 Gy el efecto fue directo, en menos de una semana se las encontró muertas en todos los porta muestras.
- Para el caso de larvas expuestas a 500 Gy el tratamiento fue efectivo, se hizo el control a los dos días y el total de la población existente en cada porta muestras, había muerto como se muestra en la tabla 3.3.

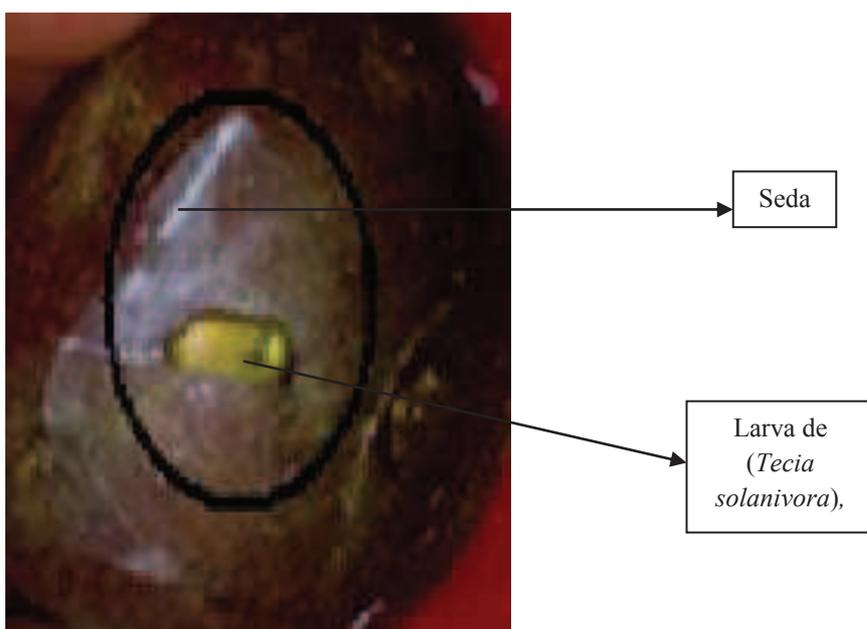


Figura 3.3. Larva irradiada a 300 Gy, muerta y seca fuera del tubérculo, observada a los 15 días después del tratamiento

Tabla 3.3. Porcentajes de mortalidad de larvas de polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora*

DOSIS (GY)	Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3		Repetición 4		Repetición 5		Promedio larvas 7 días
	3 días	7 días									
100	85	92	78	86	80	82	75	83	76	88	86,2
200	86	90	84	87	89	85	76	85	82	95	88,4
300	88	95	88	95	87	90	83	85	83	93	91,6
400	91	100	87	92	82	92	86	91	85	97	94,4
500	95	100	89	94	86	91	87	90	82	93	93,6

3.1.3 EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE MORTALIDAD DE PUPAS DE *Tecia solanivora* EXPUESTAS A RADIACIONES IONIZANTES

Las pupas fueron expuestas a dosis desde los 100 Gy hasta los 500 Gy, como se observa en la Tabla 3.4; en el caso de las pupas expuestas a las dosis más bajas de 100 Gy y 200 Gy no se evidenció ningún cambio como se ilustra en la Figura 3.5, prueba de esto es que pasaron al estadio de adulto una parte considerable de la población expuesta al tratamiento de radiaciones ionizantes con rayos gamma.

Las pupas expuestas a 300 Gy, 400 Gy y 500 Gy, tuvieron diferente reacción retardándose más en llegar al estadio de adulto y otras murieron antes de lograr el estadio de adulto, como se observa en las figuras 3.4 y 3.5.

En el estadio de adulto se evaluó su fertilidad aislándolos en unidades de reproducción y se obtuvo como resultado la infertilidad de los adultos provenientes de pupas irradiadas.

En lo que se refiere a cambio en las características físicas de las polillas irradiadas en las distintas dosis no se evidenció, continuaron con su ciclo normal hasta llegar a ser adultos.

Tabla.3.4. Porcentajes de mortalidad de polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* en el estadio de pupa

DOSIS (GY)	Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3		Repetición 4		Repetición 5		Promedio Pupas 10 días
	5 días	10 días									
100	71	77	51	56	45	58	63	83	46	54	65,6
200	57	61	41	58	72	78	74	85	68	70	70,4
300	48	55	56	57	70	90	62	85	61	72	71,8
400	57	62	48	72	62	70	71	90	61	75	73,8
500	67	70	71	77	58	61	79	88	63	81	75,4

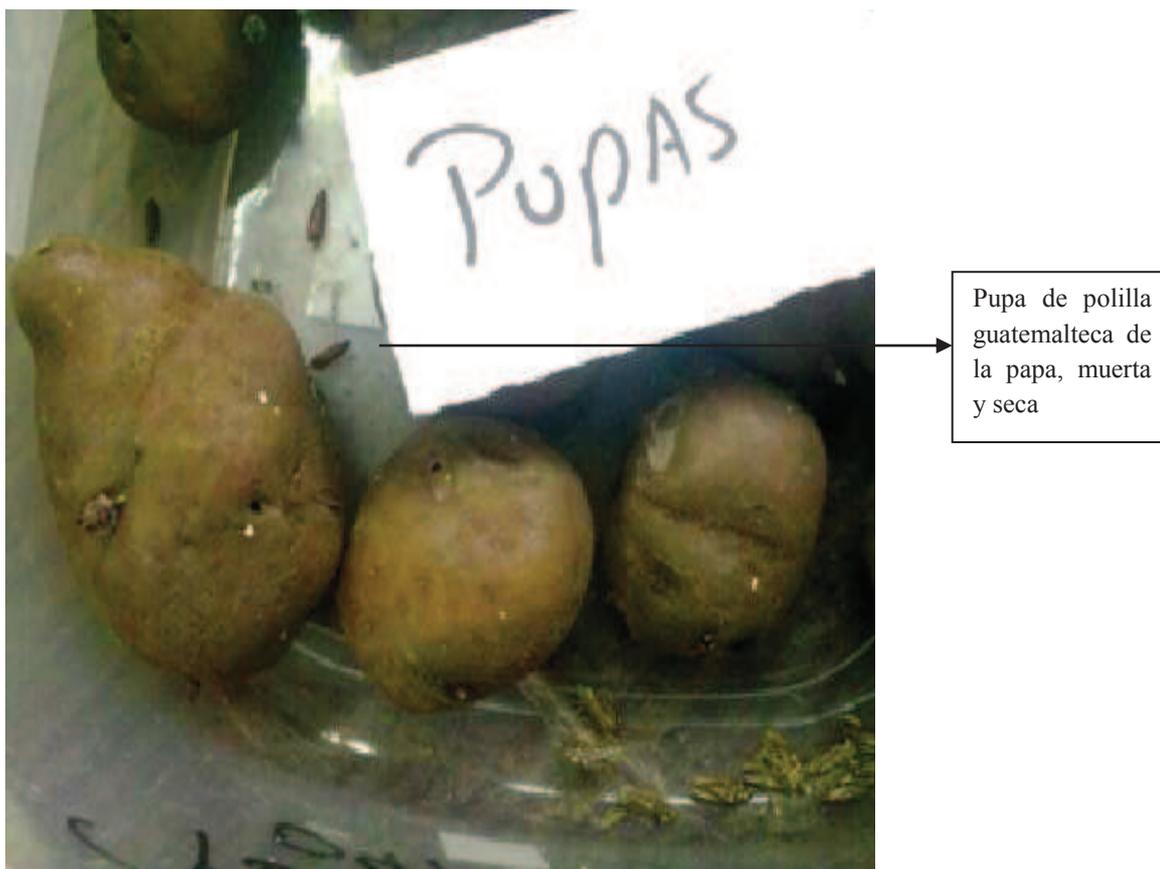


Figura 3.4. Polillas irradiadas en el estadio de pupa a 500 Gy



Figura 3.5. Polillas que fueron irradiadas a 200 Gy en el estadio de pupas y que llegaron a ser adultos sin problemas

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

3.2.1. ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO DE PAPAS IRRADIADAS A LAS DISTINTAS DOSIS DE RADIACIONES IONIZANTES

El análisis inició con la irradiación de tubérculos de papa a 100 Gy, ya que de acuerdo al Codex Alimentario un alimento no se afecta en sus características físicas ni organolépticas a dosis menores a los 100 Gy (Burchard, 2003).

Luego de haber irradiado las papas, se les aplicó una preparación tradicional, que consistió en colocar las papas en una olla con agua y sal yodada al 5% para resaltar el sabor normal, el tiempo de cocción fue de 20 minutos aproximadamente, se realizó exactamente el mismo procedimiento para los testigos del proceso (Burchard, 2003).

Como siguiente paso se llevaron las muestras a un panel donde se colocaron varias muestras de la siguiente manera:

Se tuvieron 50 panelistas, a los que se les pidió que evalúen si notan alguna diferencia de sabor o textura entre el testigo del proceso sin irradiar vs la muestra irradiada a 100 Gy. Para la encuesta se utilizó el formato que se adjunta en el anexo VI.

Las muestras de papa irradiada y el testigo del proceso se presentaron al panelista a una temperatura de 30 °C aproximadamente, en un plato desechable con la numeración de las muestras, se proporcionaron las muestras aleatoriamente a los panelistas, es decir a un grupo se le entregó primero la muestra irradiada y luego el testigo del proceso, y con otro grupo se realizó el mismo proceso pero en orden contrario.

Los panelistas fueron seleccionados al azar, estas personas conocen el tubérculo y su sabor característico; se proporcionaron 5 variables de valoración para que el conjunto de panelistas califique si existían diferencias en las muestras, tanto en sabor como en textura, el procedimiento para el análisis fue el mismo para las dos muestras.

Para realizar el cálculo de los resultados se dio un valor a cada una de las 5 variables así:

- Me gustó mucho **6**
- Me gustó **5**
- Ni me gusta ni me disgusta **4**
- No me disgusta **3**
- Me disgusta mucho **2**

A cada uno de los resultados se le multiplico por la cantidad de veces que se repitió la respuesta, según indica el método de Mann Whitney.

La muestra 804 corresponde al tubérculo irradiado, y la muestra 755 corresponde al testigo del proceso.

Para este caso se utilizó el método llamado prueba de Mann Whitney (Burchard, 2003).

3.2.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS EN EL ESTADIO DE HUEVO

Hipótesis propuesta:

$$\begin{cases} \mathbf{H}_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 & \text{(Filas)} \\ \mathbf{H}_1: \mu_i \neq \mu_j \end{cases} \quad [3.1]$$

$$\begin{cases} \mathbf{H}_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 & \text{(Columnas)} \\ \mathbf{H}_1: \tau_i \neq \tau_j \end{cases} \quad [3.2]$$

La tabla de resultados se presenta en el anexo AIV.1.

En el caso del estadio de huevo, no se cumple la hipótesis de las filas, dado que $F_{\text{calculado}} = 26,61 > F_{\text{critico}} = 1,95$, es decir se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

De acuerdo a los resultados del análisis estadístico en el estadio de huevo, se puede decir que:

- A dosis de 100 Gy se puede afectar completamente a la supervivencia de la plaga en el estadio de huevo.
- A dosis de 100 Gy se afecta al tubérculo en sus características fisiológicas por lo que esta papa servirá únicamente para ser consumida como producto fresco.

Si bien los resultados estadísticos muestran coherencia entre los datos; los efectos causados sobre la plaga fueron los deseados ya que se logró afectar a la plaga y se logró mantener a los tubérculos sanos, sin embargo el propósito del tratamiento era proporcionar semillas sanas, pero al no obtener brotes o grelos en los tubérculos irradiados hay que buscar otra opción a los resultados.

Teniendo como resultado tubérculos de papa libre de plaga y sin brotes, este tratamiento se lo puede usar para otro segmento de la industria como es el exportar ciertas variedades que se hacen agradables para otros países.

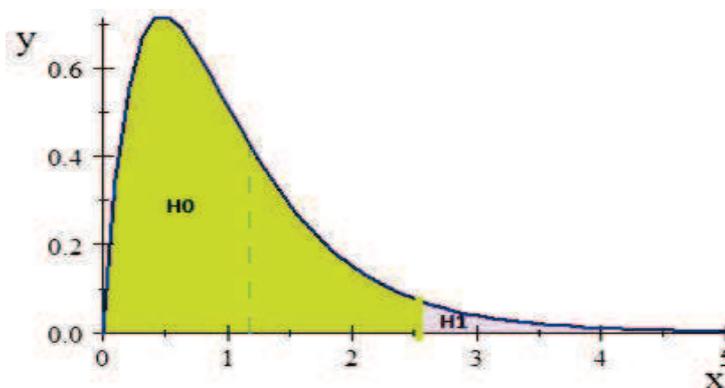


Figura. 3.6. Gráfico de la distribución f para análisis de la hipótesis ANOVA, en el estadio de huevo

En la figura 3.6 se marcan los valores del f calculado y el f crítico, con la ayuda de esta figura se evalúa si la hipótesis nula se acepta o se rechaza, para el estadio de huevo.

Para validar el análisis estadístico se hizo la prueba del Chi-cuadrado con datos cruzados, la cual se detalla a continuación:

H_0 : No hay asociación entre las variables

H_A : Sí hay asociación entre las variables

Tabla 3.5. Valores calculados de la prueba de Chi-cuadrado

	Valor	df	Asymp. Significancia
Pearson Chi-cuadrado	80 000	72	0,242
Razón de Verosimilitud	43 279	72	0,997
Lineal por Lineal Asociación	5 391	1	0,020
N de casos válidos	10		

Como de muestra en la tabla 3.5, se acepta la hipótesis alternativa, dado que el valor de Chi cuadrado 80 es mayor al valor significativo 0,242.

Tabla 3.6. Valores de “Medidas simétricas” para demostrar la correlación entre los datos

		Valor	Asy mp. Std Error^a	Approx. T^b	Approx. Sig.
Nominal por Nominal	Contingencia Coeficiente	0,943			0,242
Intervalo por Intervalo	Pearson´s R	0,774	0,087	3,457	0,009 ^c
Ordinal por Ordinal	Spearman Correlación	0,997	0,006	36,222	0,000 ^c
N de casos válidos		10			

En la figura 3.6 se muestran los valores de las medidas simétricas para demostrar la correlación entre los datos tomados.

Existe una fuerte correlación entre las variable, es decir entre los días, el número de repeticiones y la cantidad de dosis. Al determinar el grado de correlación entre los datos obtenidos, se puede decir, que la frecuencia de repeticiones y la cantidad de repeticiones son adecuadas para el modelo propuesto, a continuación se presenta los diferentes histogramas que representan la correlación entre los datos obtenidos en las observaciones realizadas.

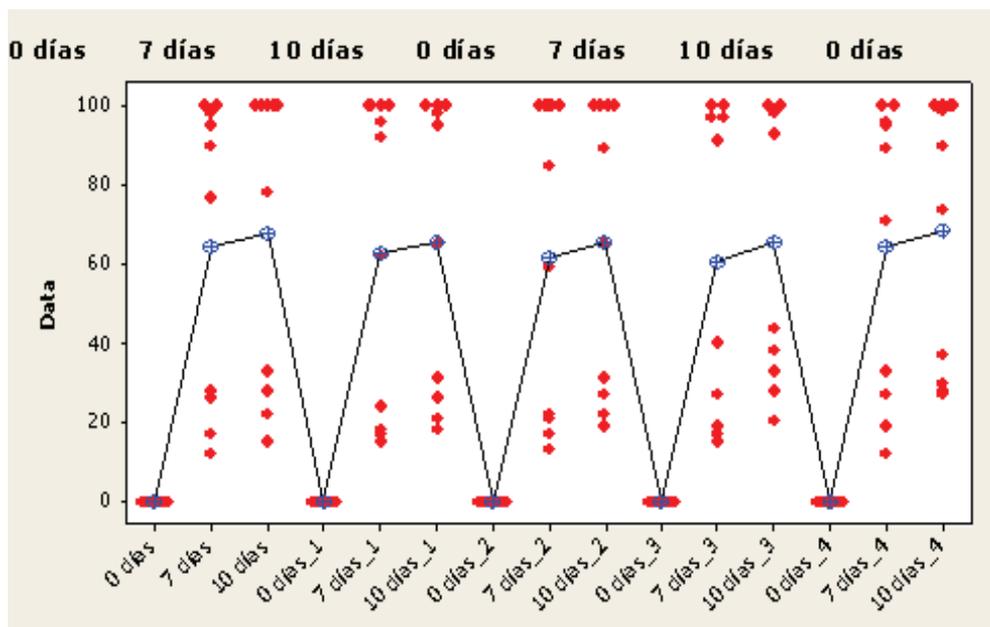


Figura 3.7. Resultados de la dispersión de puntos (estadio de huevos)

En la Figura 3.7 y 3.8 se muestra que la mayor concentración de datos está al llegar a la dosis de 100 Gy, esto quiere decir que a este nivel el porcentaje de mortalidad será mayor.

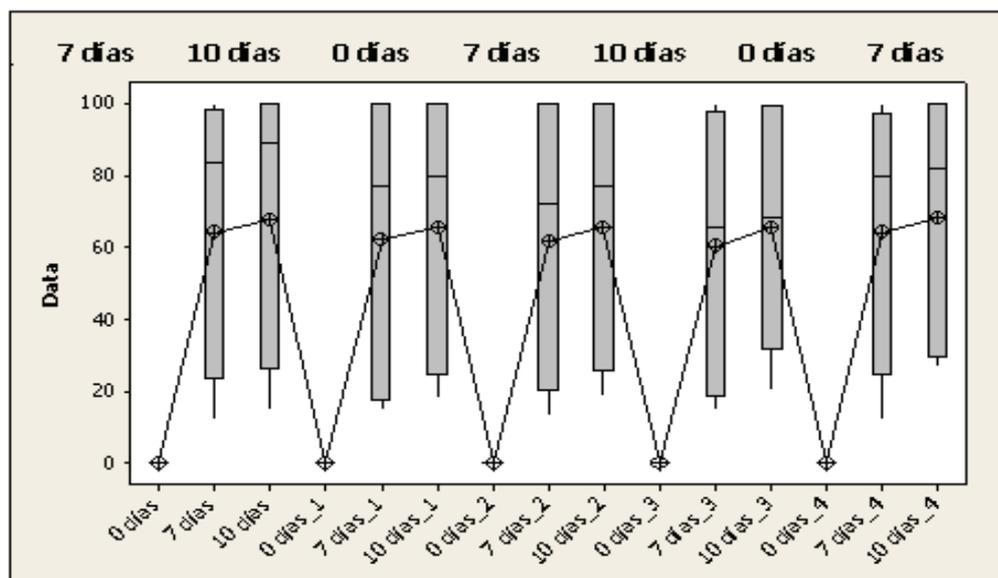


Figura.3.8. Resultados de diagrama de caja (estadio de huevos)

3.2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL ESTADIO DE LARVA DE LA POLILLA GUATEMALTECA

Hipótesis propuesta:

$$\begin{cases} \mathbf{H}_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \\ \mathbf{H}_1: \mu_i \neq \mu_j \end{cases} \text{ (Filas)} \quad [3.3]$$

$$\begin{cases} \mathbf{H}_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 \\ \mathbf{H}_1: \tau_i \neq \tau_j \end{cases} \text{ (Columnas)} \quad [3.4]$$

En el caso de las larvas si se cumple la hipótesis de las filas, dado que $f_{\text{calculado}} = 1,84 < f_{\text{crítico}} = 2,53$, es decir se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, no hay dependencia de los datos.

Las larvas de *Tecia solanivora* presentaron mayor resistencia a las radiaciones ionizantes, y se aplicaron dosis hasta de 500 Gy, los mejores resultados se obtuvieron aplicando de 400 Gy hasta 500 Gy; estas dosis son efectivas para controlar a la plaga pero afectan al tubérculo en sus características biológicas por lo que este tubérculo no podrá ser usado como semilla. En la figura 3.9 se marcan los valores del f calculado y el f crítico, con la ayuda de esta Figura se evalúa si la hipótesis nula se acepta o se rechaza, para el estadio de larva.

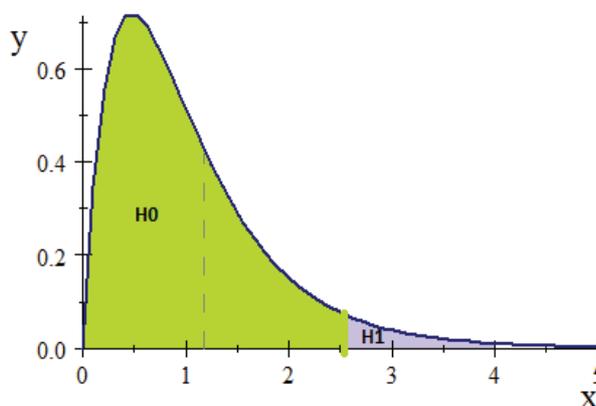


Figura 3.9. Gráfico de la distribución F para análisis de la hipótesis ANOVA, en el estadio de larva

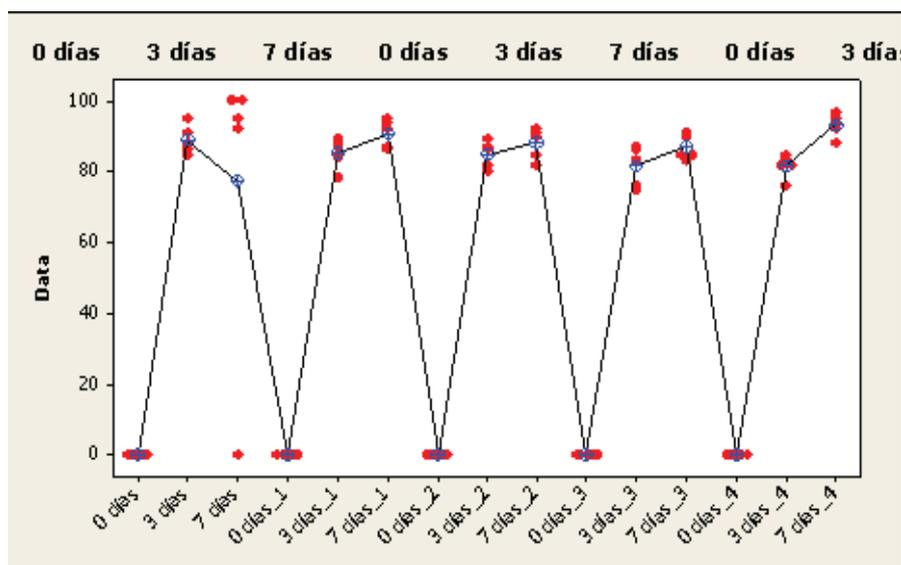


Figura.3.10. Dispersiones de las repeticiones de estado de larvas

En la Figura 3.10 se muestra que la mayor concentración de datos está al llegar a la dosis de 100 Gy, esto quiere decir que al este nivel el porcentaje de mortalidad será mayor.

3.2.4 RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL ESTADIO DE PUPA DE LA POLILLA GUATEMALTECA

Hipótesis propuesta:

$$\begin{cases} \mathbf{H}_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 & \text{(Filas)} \\ \mathbf{H}_1: \mu_i \neq \mu_j \end{cases} \quad [3.5]$$

$$\begin{cases} \mathbf{H}_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 & \text{(Columnas)} \\ \mathbf{H}_1: \tau_i \neq \tau_j \end{cases} \quad [3.6]$$

Si se cumple la hipótesis de las filas, dado que $f=0,606 < f_{\text{critico}} = 2,53$, es decir se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, pero no de las columnas $f_{\text{calculado}} = 63,96 > f_{\text{critico}} = 1,87$, es decir se cumple la hipótesis de la fila dado que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

En la Figura 3.11 se marcan los valores del f calculado y el f crítico, con la ayuda de esta Figura se evalúa si la hipótesis nula se acepta o se rechaza, para el estadio de pupa.

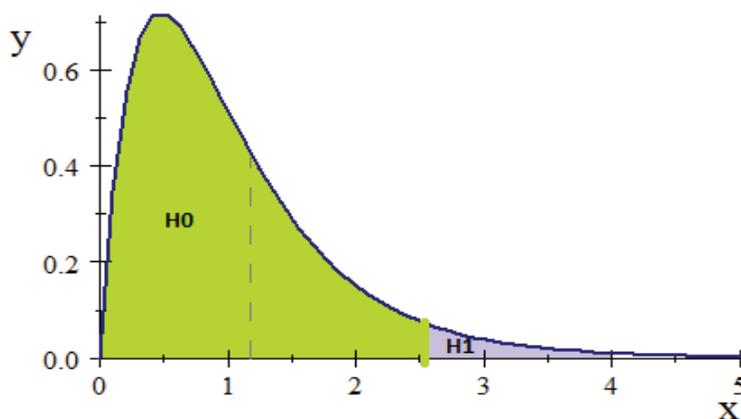


Figura 3.11. Gráfico de la distribución f para análisis de la hipótesis ANOVA

En la figura 3.12 se muestra que la mayor concentración de datos está al llegar a la dosis de 100 Gy, esto quiere decir que al este nivel el porcentaje de mortalidad será mayor.

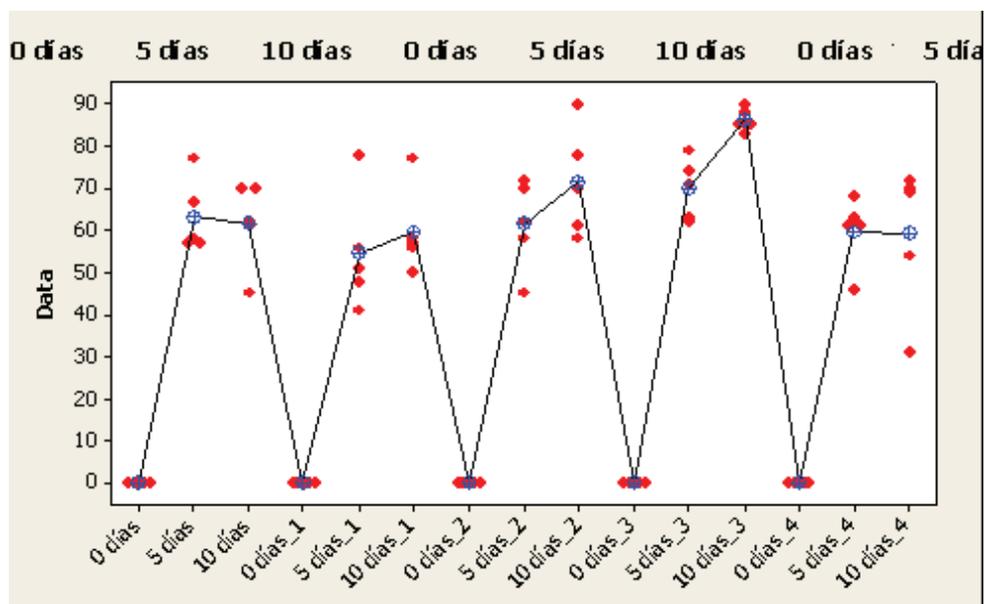


Figura 3.12. Gráfico de los residuales (estadio de pupas)

3.3 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS LETAL ÓPTIMA

3.3.1 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS LETAL ÓPTIMA PARA EL ESTADIO DE HUEVO

La respuesta de los individuos de la plaga irradiados a las distintas dosis depende del tiempo de exposición y del estadio, cabe señalar que las condiciones ambientales y el método fueron los mismos para todos los estadios durante el proceso.

Como se muestra en la tabla 3.7, los porcentajes de mortalidad del estadio de huevo se tabularon y de acuerdo a estos resultados se tomó un valor de dosis como referencia, este valor de dosis fue el que causó más del 50% de mortalidad de los individuos en el estadio de huevo.

Tabla 3.7. Dosis de radiación en Gy vs promedio del porcentaje de mortalidad en el estadio de huevos en el día 10 de observación

Dosis en Gy	Promedio del porcentaje de mortalidad de huevos a los 10 días
14	20,0
28	24,0
56	29,8
70	33,0
84	65,2
100	93,4
200	99,0
300	99,8
400	100,0
500	100,0

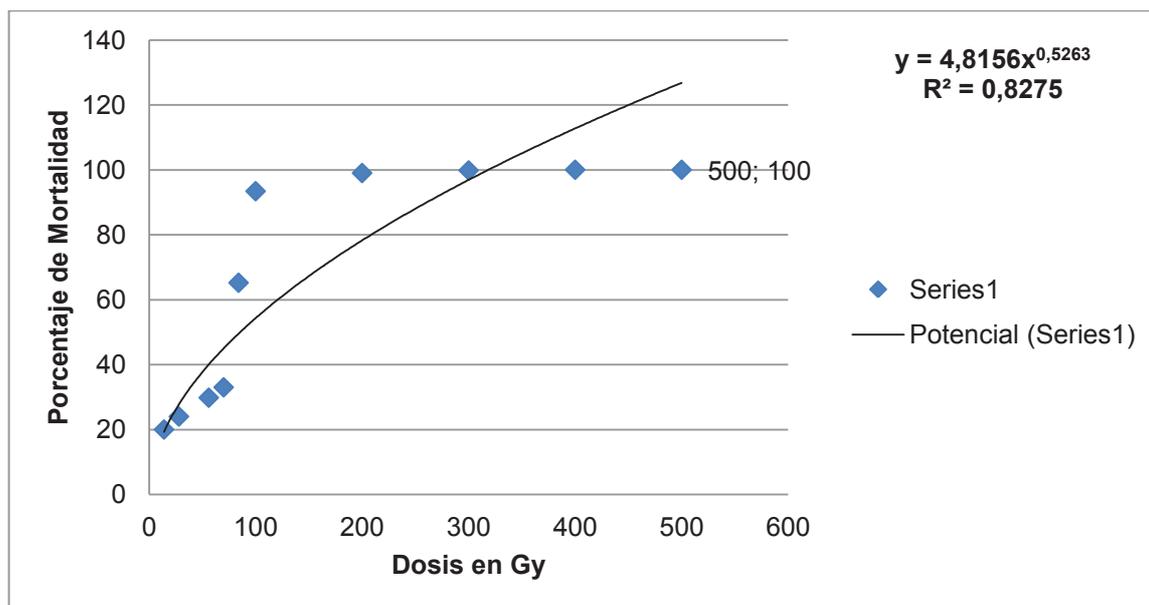


Figura 3.13. Test de radio sensibilidad para determinar la dosis letal óptima para huevos

Al partir de la ecuación de la recta:

$$y = 4,8156 x^{0,5265} \quad [3.7]$$

Se despeja para obtener el valor de x , y reemplazando el valor de $y = 50$.

$$50 = 4,8156 x^{0,5265}$$

$$x = \left(\frac{50}{4,8156} \right)^{\frac{1}{0,5265}}$$

$$x = 85,39 \text{ Gy}$$

Como se muestra en la figura 3.13 se calculó el valor de la recta para determinar el valor con el que se controla a un porcentaje significativo de los individuos y la tendencia indica que con esta dosis se puede mantener a los tubérculos libres de plaga por varios meses.

3.3.2 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS LETAL ÓPTIMA PARA EL ESTADIO DE LARVA

Luego de las observaciones y conteo de individuos, se determinó el promedio de mortalidad del estadio de larva luego de la exposición a radiaciones ionizantes con rayos gamma.

En la Tabla 3.8, se muestra el promedio del porcentaje de mortalidad en el estadio de larva de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*).

Al partir de la ecuación de la recta:

$$y = 50,943 x^{0,0956} \quad [3.8]$$

Despejando para obtener el valor de x , y reemplazando el valor de $y = 80$.

$$80 = 50,943 x^{0,0956}$$

$$x = \left(\frac{80}{50,943} \right)^{\frac{1}{0,0956}}$$

$$x = 112,25 \text{ Gy}$$

Tabla 3.8. Dosis de radiación en Gy vs promedio del porcentaje de mortalidad en el estadio de larva en el día 10 de observación

Gy	larvas_7días
100	86,2
200	70,4
300	91,4
400	94,4
500	93,6

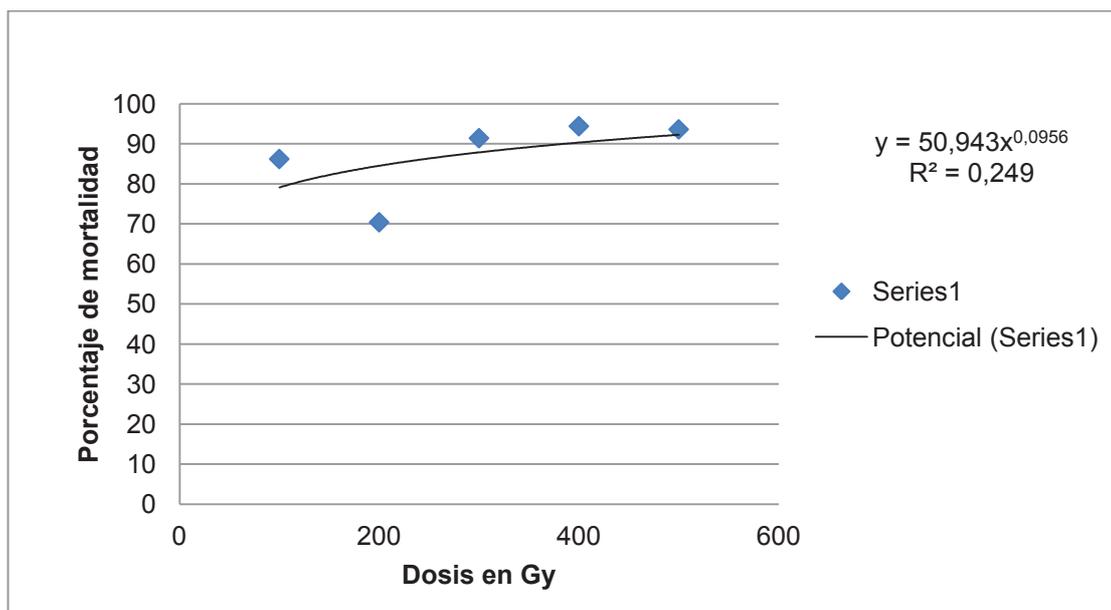


Figura. 3.14. Test de radio sensibilidad para determinar la dosis letal óptima para larvas

En la figura 3.14 se puede ver la distribución de los datos en la ecuación de la recta para el test de radio sencibilidad para el estadio de larva.

El valor de DL_{80} para el estadio de larva de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*), se determina debido a la resistencia de este estadio a dosis bajas.

3.3.3 DETERMINACION DE LA DOSIS LETAL ÓPTIMA EN EL ESTADIO DE PUPA DE LA POLILLA GUATEMALTECA DE LA PAPA TECIA SOLANIVORA

Luego de las observaciones y conteo de individuos, se determinó el promedio de mortalidad del estadio de pupa luego de la exposición a radiaciones ionizantes con rayos gamma, a partir de la tabla 3.9.

Se calculó la dosis letal óptima para los estadios ya que no está definido por el porcentaje adecuado de mortalidad de la plaga para que un tratamiento sea efectivo, por lo que con base en las referencias se determinó que eliminando al

70% de la población de la plaga se considerará un método de control aceptable con respecto a métodos de control químicos normalmente usados en los cultivos de papa, (Montesdeoca, 2005, p. 6).

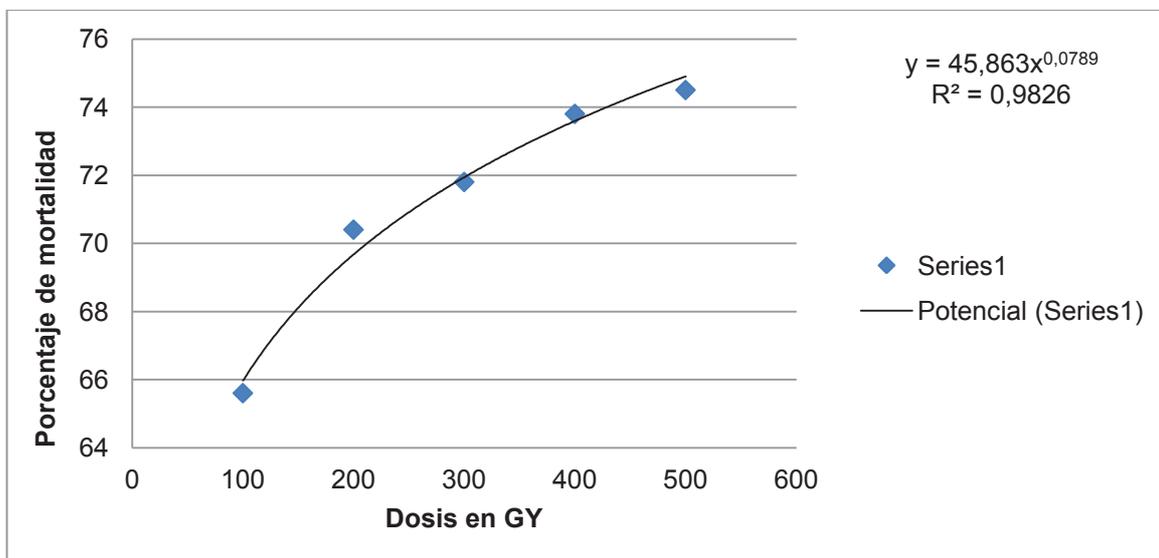


Figura 3.15. Test de radio sensibilidad para determinar la dosis letal óptima para pupas

En la figura 3.15 se puede ver el test de radio sensibilidad para determinar la dosis letal óptima en el estadio de pupa.

Tabla 3.9. Dosis de radiación en Gy vs promedio del porcentaje de mortalidad en el estadio de pupa en el día 10 de observación

Gy	pupas_10días
100	65,6
200	70,4
300	71,8
400	73,8
500	75,4

Al partir de la ecuación de la recta:

$$y = 44,751 x^{0,0838} \quad [3.9]$$

Despejando para obtener el valor de x , y reemplazando el valor de $y = 70$

$$70 = 44,751 x^{0,0838}$$

$$x = \left(\frac{70}{44,751} \right)^{\frac{1}{0,0838}}$$

$$x = 207,88 \text{ Gy}$$

El valor de DL_{70} para el estadio de pupa de la polilla guatemalteca de la papa (*Tacia solanivora*), se determina debido a la diferencia en la respuesta de la resistencia de este estadio a dosis bajas.

3.4 EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, ORGANOLÉPTICAS Y VIABILIDAD DEL TUBÉRCULO IRRADIADO COMO SEMILLA

3.4.1 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y VIABILIDAD COMO SEMILLA DEL TUBÉRCULO DE PAPA LUEGO DE LA APLICACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

Variables de Evaluación:

- Número de brotes o grelos
- Coloración del tubérculo irradiado con respecto al testigo

Para evaluar el factor de crecimiento de brotes o grelos se esperó 25 días, y no se evidencio la presencia de grelos, también se evaluó a los 35 días, y 45 días, sin encontrar crecimiento alguno de grelos.

Luego de todas estas evaluaciones se buscaron alternativas para tratar de incentivar el crecimiento de grelos, encontrándose una referencia en el manual de manejo de semillas de papa, publicado por el Centro Internacional de la papa que está ubicado en la Estación Experimental "Santa Catalina" INIAP, el cual recomienda mantener a los tubérculos a condiciones adecuadas de temperatura y humedad (Montesdeoca, 2005, p.7). Estas condiciones fueron aplicadas en una estufa marca STATOP 2SS de 0 °C a 300 °C, para generar un ambiente a 20 °C de temperatura y humedad relativa de 30% se mantuvo durante 7 días a los tubérculos irradiados.

Luego de este periodo se debía esperar aproximadamente una semana más para obtener semillas de papa con varios brotes o grelos, esto no sucedió luego de las observaciones realizadas a los 30 días y 60 días adicionales, por lo que se concluye que las dosis de radiación aplicadas afectaron la biología de los tubérculos, de manera que no podrían ser utilizados como semilla (Agro Ancash, 2008).

En la estufa se realizaron los controles de temperatura y humedad con la ayuda de un termo higrómetro, y un termómetro de mercurio ubicado en la parte superior de la estufa.

Luego de aplicar las dosis de radiaciones ionizantes a las papas infestadas, también se evaluó el posible cambio en las características físicas de la papa, como es su coloración, y la formación de brotes o grelos, el tamaño de brotes, o la dominancia apical de los brotes, todas estas comparaciones se las hizo con respecto a los testigos del proceso. En lo que se refiere a la coloración de los tubérculos irradiados con respecto a los testigos del proceso, no se identificó cambio alguno, este factor fue evaluado en todos los tubérculos irradiados a las distintas dosis.

Debido a que con los tratamientos aplicados, teóricamente se alarga la vida útil en el almacenamiento del producto irradiado, se plantea usar a la papa tratada con radiaciones ionizantes para el consumo humano.

Antes de destinar esta papa para el consumo humano se efectuó un análisis organoléptico de las papas irradiadas a distintas dosis.

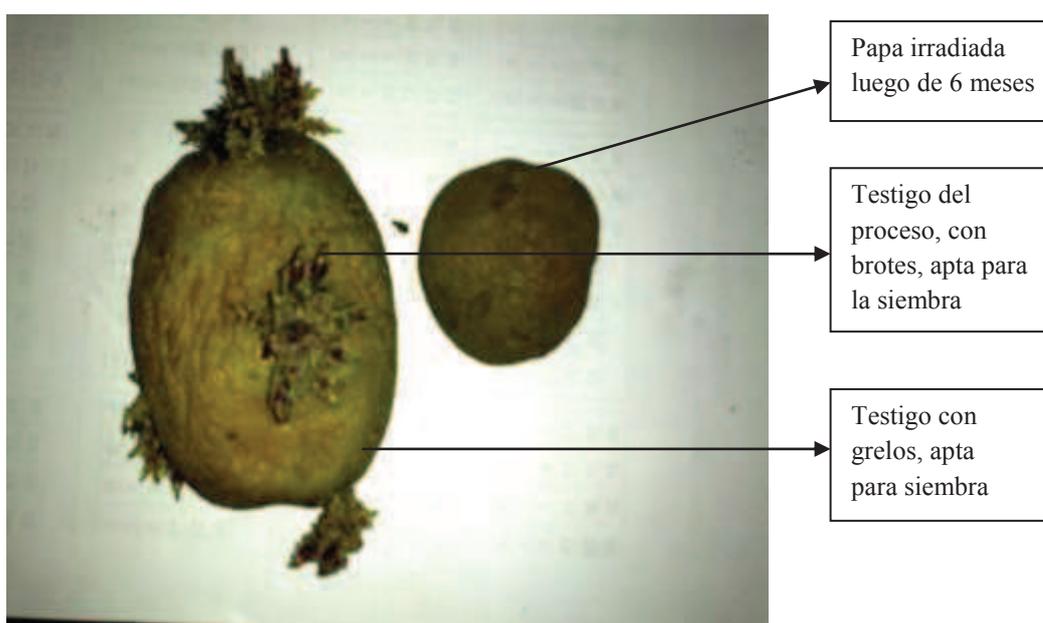


Figura 3.16. Comparación de testigo con producto irradiado luego de 6 meses

3.5 RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL ANÁLISIS SENSORIAL DE ACEPTABILIDAD

3.5.1 RESULTADO DEL ANÁLISIS SENSORIAL, EVALUACIÓN DE SABOR

En la tabla 3.10 se muestran los valores que se asignó a los rangos definidos para la encuesta del análisis sensorial de evaluación del sabor de la papa irradiada y no irradiada. Con los resultados obtenidos luego del análisis sensorial de aceptabilidad se aplicó la prueba de Mann-Whitney. Los datos del análisis se presentan en el anexo AV.1.

Tabla 3.10. Valoración y resultados del análisis sensorial de sabor

	VALORES ASIGNADOS	840	Rango real	705	Rango real
6	Me gusta mucho	9	20,0	8	16
5	Me gusta	9	30,0	10	33
4	Ni me gusta ni me disgusta	19	84,0	10	56
3	Me disgusta	23	75,0	9	45
2	Me disgusta mucho	20	10,5	4	48

Los cálculos se realizaron de la siguiente manera:

Prueba de hipótesis:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 \\ H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases} \quad [3.10]$$

Cálculo del valor de U:

$$u_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - \sum R_1 \quad [3.11]$$

$$u_1 = (50)(50) + \frac{50(50+1)}{2} - 1352 = 24,23$$

$$u_2 = (50)(50) + \frac{50(50+1)}{2} - 3698 = 77$$

$$u = \frac{n_1 n_2}{2} = \frac{(50)(50)}{2} = 1250$$

Cálculo de la desviación estándar de U:

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad [3.12]$$

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{(50)(50)(50+50+1)}{12}}$$

$$\sigma_u = 145,057$$

Cálculo del valor estadístico de la curva normal:

$$z = \frac{u_2 - u_1}{\sigma_u} \quad [3.13]$$

$$z = \frac{24,23 - 77}{145,047}$$

$$z = -0,360$$

Se rechaza H_0 , al 5% de significancia hay diferencia apreciada por los catadores en cuanto a la aceptabilidad del sabor de las muestras tratadas con radiación. La curva de análisis de varianza para validar el valor de z calculado, se observa en la figura 3.17.

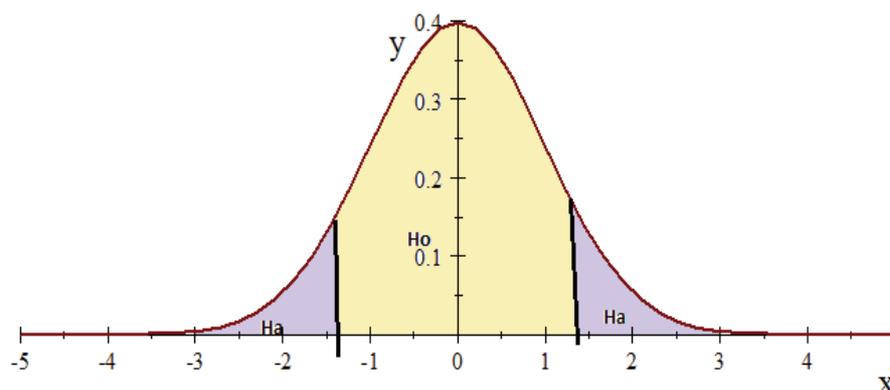


Figura 3.17. Curva de análisis de varianza en resultados de sabor para validar el valor de z calculado

Luego del ensayo realizado para evaluar el sabor se puede determinar que los panelistas encontraron diferencia en las muestras irradiadas, pese a no ser catadores entrenados los panelistas sabían cuál es el sabor tradicional del tubérculo, por lo que se puede decir que se debe buscar una dosis menor a 100 Gy que no afecte las características organolépticas en el tubérculo y a su vez afecte a la supervivencia de la plaga en el estadio de huevo.

3.5.2 EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS SENSORIAL DE TEXTURA

Los resultados del análisis sensorial de textura se presentan en el anexo AV.2. Se realizó la prueba de hipótesis para obtener las conclusiones del análisis sensorial de textura, los valores que se les asignó a cada uno de los rangos se muestran en la tabla 3.11.

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 \\ H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases}$$

Tabla 3.11. Valoración y resultados del análisis sensorial de textura

	VALORES ASIGNADOS	804	Resultado	755	Resultado
2	Me gusta mucho	4	8	16	32
3	Me gusta	10	30	12	36
4	Ni me gusta ni me disgusta	7	28	9	36
5	Me disgusta	22	110	9	45
6	Me disgusta mucho	7	42	4	24

Cálculo del valor de U:

$$u_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - \sum R_1$$

$$u_1 = (50)(50) + \frac{50(50+1)}{2} - 2300 = 1475$$

$$u_2 = (50)(50) + \frac{50(50+1)}{2} - 1428 = 2347$$

$$u = \frac{n_1 n_2}{2} = \frac{(50)(50)}{2} = 1250$$

Cálculo de la desviación estándar de U:

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}$$

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{(50)(50)(50+50+1)}{12}}$$

$$\sigma_u = \sqrt{216.75}$$

$$\sigma_u = 145,057$$

Cálculo del valor estadístico de la curva normal:

$$z = \frac{u_2 - u_1}{\sigma_u}$$

$$z = \frac{1475 - 2347}{145.047}$$

$$z = -6,011$$

Se rechaza H_0 , al 5% de significancia hay diferencia apreciada por los catadores en cuanto a la textura de las muestras tratadas con radiación. La curva de análisis de varianza para validar el valor de z calculado, se observa en la figura 3.18.

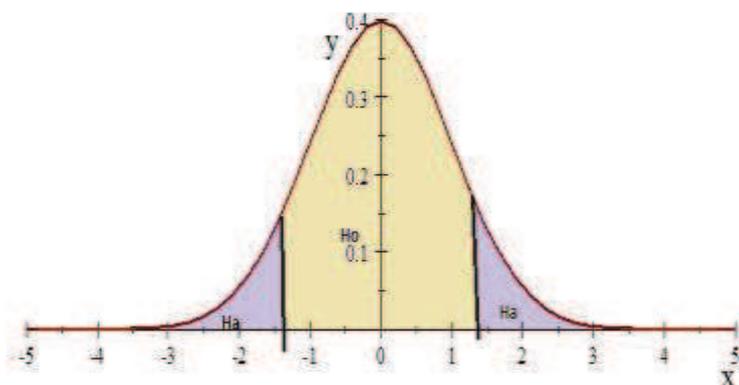


Figura 3.18. Curva de análisis de varianza en resultados de sabor para validar el valor de z calculado

En la evaluación de la característica de textura, los panelistas encontraron diferencia, esto se debe a que los procesos de irradiación ionizante ocasionan desprendimiento de almidones, se puede buscar una dosis inferior a 100 Gy para

que no afecte las características organolépticas de los tubérculos pero que a su vez se afecte a la plaga de *Tecia solanivora*.

Se realizó el análisis sensorial para evaluar si las radiaciones ionizantes gamma afectaron en la textura del tubérculo, los tubérculos usados para el análisis fueron expuestos a dosis de 100 Gy, esta dosis afectó en la textura haciendo que la papa al ser cocida pierda su firmeza en la pulpa haciéndola poco agradable al consumidor final.

El efecto de pérdida de firmeza en la pulpa de la papa puede deberse a que las radiaciones ionizantes en dosis altas puede provocar el desprendimiento de almidones.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Las dosis de radiaciones ionizantes afectaron la viabilidad de los tubérculos para ser usados como semilla, ya que no existió presencia de brotes o grelos a las distintas dosis en las que se tuvo un porcentaje de mortalidad significativo.
- Con la aplicación de las radiaciones ionizantes con rayos gamma con fuente de Co-60 se logró el objetivo de controlar la población de la plaga en porcentajes significativos.
- La respuesta de los diferentes estadios irradiados con rayos gamma fueron diferentes, cada estadio tuvo diferentes porcentajes de resistencia, en el caso del estadio de huevo que fue el objetivo de estudio tuvo poca resistencia y se logró afectar a un porcentaje significativo de la población tratada.
- Para determinar si se puede usar a este tubérculo como semilla se hizo una comparación con los testigos de la investigación y se determinó que no son viables como semilla, ya que no alcanzaron el número necesario de grelos.
- Se realizó un análisis organoléptico para determinar si la dosis letal óptima puede ser usada para alargar la vida útil del producto y que este pueda ser usado para el consumo humano en fresco. El resultado fue que la dosis letal óptima no afecta mayormente las características y el producto es apto para el consumo humano.
- Las características físicas de los tubérculos irradiados no cambiaron ni se observó deformaciones, al contrario se conservó de mejor manera que los testigos de la investigación.

- Se determina que la dosis letal óptima es 85,39 Gy, ya que al matar a la mitad de la población de la plaga se controla significativamente la proliferación del insecto y a su vez se preservará al tubérculo para alargar el tiempo de vida útil en percha.
- El uso de radiaciones ionizantes con rayos gamma con fuente de Co-60 es un método efectivo para controlar este tipo de plaga y al mismo tiempo es un método probado para alargar la vida útil de varios productos en percha.

4.2 RECOMENDACIONES

- El uso de las radiaciones ionizantes como método de control de plagas en el Ecuador debe ser aplicado con más frecuencia y apoyo, porque se pueden obtener buenos resultados que serán seguros para el consumidor final y rentable para el productor.
- Este método puede ser aplicado para asegurar el control fitosanitario de los tubérculos de exportación, con la aplicación de una dosis más alta que la dosis letal óptima se podría asegurar la ausencia de plagas y la inhibición de brotes o grelos.
- Para este tipo de investigación con plagas, lo más importante es mantener las condiciones ambientales controladas y proporcionarles el alimento necesario para que no exista distorsión en los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agro Ancash. (2008). *Principales Plagas de la Papa y Medidas para su Control*. Recuperado de: <http://www.agroancash.gob.pe/public/articulos/aip2008/temas/plagas.htm>. (Octubre, 2010).
2. Burchard, L. (2003). Análisis organoléptico de alimentos. Recuperado de <http://www.docstoc.com/docs/1566097/AnalisisOrganolptico>. (Enero, 2011).
3. Cali, M. Análisis sensorial de los alimentos. Entrevista a Nora Barda. Recuperado de http://www.inta.gov.ar/altovalle/info/biblo/rompecabezas/pdfs/fyd48_entrev.pdf. (Enero, 2011).
4. CIP. (Centro Internacional de la Papa). (2008). Año internacional de la Papa. Recuperado de <http://www.potato2008.org/es/lapapa/index.html>. (Febrero, 2010).
5. CNEA (Instituto Panamericano de Protección de Alimentos y Zoonosis). (2004). Seminario: Irradiación y calidad sanitaria de alimentos. Recuperado de <http://caebis.cnea.gov.ar/aplicaciones/alim/Irra1.html>. (Septiembre, 2010).
6. Fresh Plaza. (2008). Radiaciones ionizantes en alimentos. Recuperado de <http://www.consumaseguridad.com>. (Agosto, 2010).
7. GCIIA. (Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiación de Alimentos). (2002). La irradiación de alimentos: hechos y realidades. Secretaría del GCIIAA. División mixta FAO/OIEA de técnicas nucleares en la agricultura y la alimentación. Viena, Austria.

8. Herrera, F. (1998). La polilla guatemalteca de la papa: Biología, Comportamiento y prácticas de Manejo Integrado. Recuperado de <http://www.redepapa.org/polilla.pdf>. (Junio, 2009).
9. ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1998. La Polilla Guatemalteca de la Papa. Biología, Comportamiento y prácticas de Manejo Integrado. Segunda edición. Recuperado de <http://www.todopapa.com.ar/pdf/polillaguatemalteca.pdf>, (Julio, 2010).
10. INIAP. (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias)(2008). PAPA. Recuperado de http://www.crystal_chemical.com/papa.htm. (Septiembre, 2009).
11. INIAP. (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias). Dirección de producción y servicios. (2008). Recuperado de <http://www.iniap-ecuador.gov.ec>. (Septiembre, 2010).
12. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares México. (2009). *Irradiación de Alimentos*. U.N.A.M. Recuperado de <http://www.sagan.gea.org/hojaLredradiacion/paginas/Radiaci%F3ndealimentos.html>. (Febrero, 2010).
13. Lagares, P. y Puerto, J. (2009). Población y Muestras. Técnicas de Muestreo. Universidad de Sevilla. No. 2.2.
14. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia., CORPOICA., ICA., FEDEPAPA. (1998). *La Polilla Guatemalteca de la Papa, Biología, Comportamiento y prácticas de Manejo Integrado*. Segunda edición.
15. Montesdeoca, F. (2005). Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de calidad. Editorial INIAP. Primera Edición.

16. Muñoz., Florinella. (1993). Uso de radiaciones gamma para el control cuarentenario de frutas infestadas con larvas de *Anastrepha fraterculus*. Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico. EPN, Quito, Ecuador.
17. Narvaiz, P. (2004). Seminario de Irradiación y calidad sanitaria de alimento alimentos. <http://caebis.cnea.gov.ar/aplicaciones/alim/Irra1.html>. (Septiembre, 2009).
18. Niño, L. (2004). Revisión sobre la Polilla de la Papa *Tecia solanivora* en Centro y Suramérica. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de Venezuela. Suplemento revista latinoamericana de la papa.
19. OFIAGRO. (2008). Diagnóstico de la situación actual de la cadena agroalimentaria de la papa en el Ecuador.
20. Palacios M., (1997). Principales Plagas de la Papa: La Polilla de la Papa y La Mosca Minadora. Centro Internacional de la Papa. No. 3.7.
21. Pollet, A., Onore G., Chamorro F., Barragán A. (2004). Avances en Investigación y manejo integrado de la polilla guatemalteca de la papa, *Tecia solanivora*. Centro de biodiversidad y ambiente. Escuela de Biología. P.U.C.E. Séptima edición.
22. Rincón, D., López, A. (2004). Dimorfismo sexual en pupas de *Tecia solanivora* (Povolný) (Lepidóptera: Gelechiidae). Pontificia Universidad Javeriana. Programa Manejo Integrado de Plagas MIP. Centro de Investigación Tibaitatá. CORPOICA. 5 (1).
23. SICA. (1999). La Papa en el Ecuador. Recuperado de <http://www.sica.gov.ec/cadenas/papa/docs/importancia.html>. (Febrero, 2010).

24. SICA. (2008). La Polilla Guatemalteca de la Papa. Recuperado de <http://www.sica.gov.ec/cadenas/papa/docs/papa-sesa.html>. (Febrero, 2010)
25. SERNAC. (2004). Irradiación de los alimentos. Información al consumidor sobre el significado del tratamiento con energía ionizante. Recuperado de <http://www.sernac.cl/download>. (Septiembre, 2010).
26. SISAGRO. (2006). Diagnóstico de la situación actual de la cadena agroalimentaria de la papa en el Ecuador.
27. S.D.A. (Secretaría de Desarrollo Agropecuario). (2009). Sistema Q
Producto: Papa. Recuperado de <http://www.campomexiquensegobmx/sp/SisproPapa/html/caracteristicas.html> (Diciembre, 2011).
28. Vaca, C. (1985). Preservación de los Alimentos por irradiación. Departamento de Ciencias Nucleares. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
29. Villavicencio, Fernanda. (2009). Generación de mutantes de papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad "superchola", con resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*), mediante exposición a radiaciones ionizantes gamma, con fuente de Co-60. Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero agroindustrial. EPN. Quito, Ecuador.
30. Witting, E. Evaluación sensorial: Una metodología actual para la tecnología de los alimentos. Recuperado de http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmacuticas/wittinge01/index.html. (Enero, 2011).

ANEXOS

ANEXO I

FOTOGRAFÍAS DE LAS PAPAS INFESTADAS CON POLILLA GUATEMALTECA DE LA PAPA A LO LARGO DEL ESTUDIO



Figura AI.1 Papa infestada con adultos de polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora*

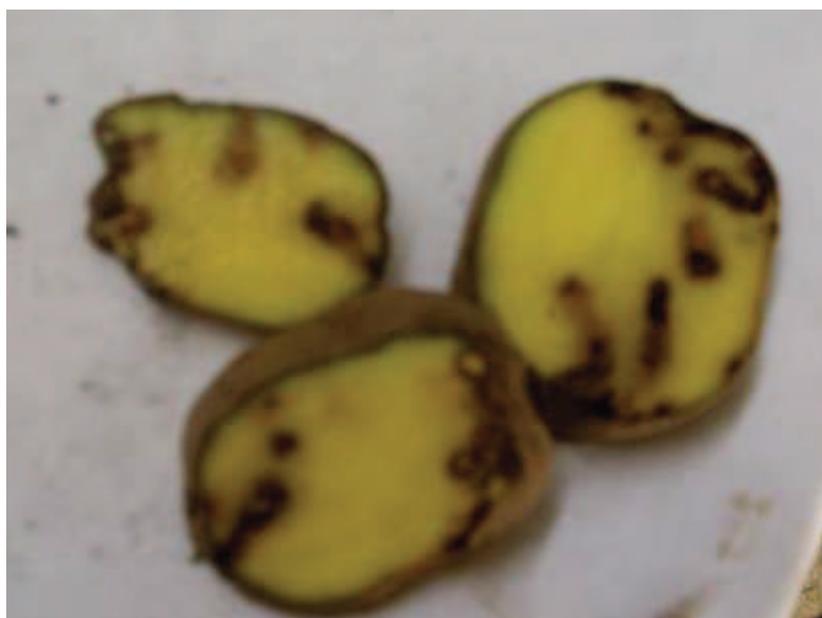


Figura AI.2 Papa infestada con larvas de *Tecia solanivora*, antes de ser irradiada

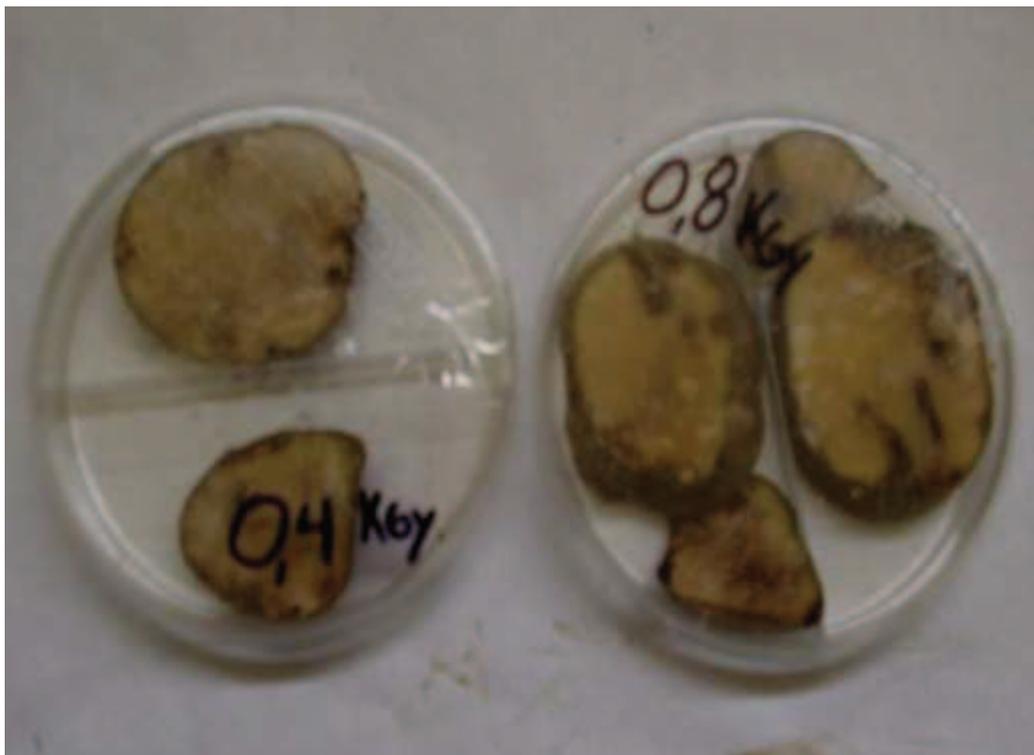


Figura AI.3 Papas infestadas con larvas luego de la irradiación a 400 Gy y 800 Gy

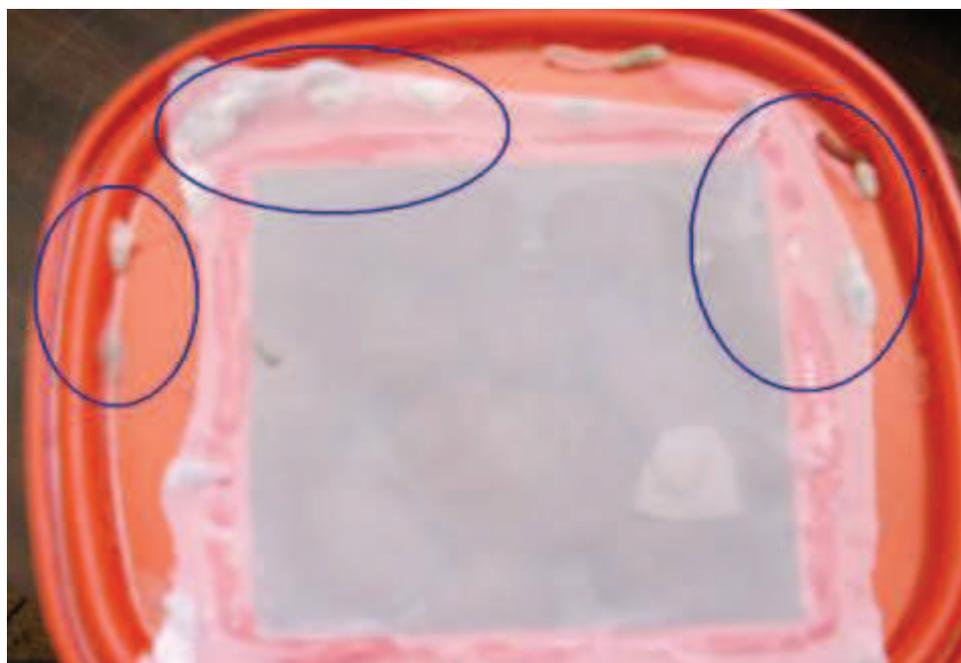


Figura AI.4 Tapa del porta muestras con papas infestadas con pupas de *Tecia solanivora* antes de la irradiación



Figura AI.5 Papas infestadas con pupas luego de la irradiación

ANEXO II

PARTES DEL TUBÉRCULO DE PAPA

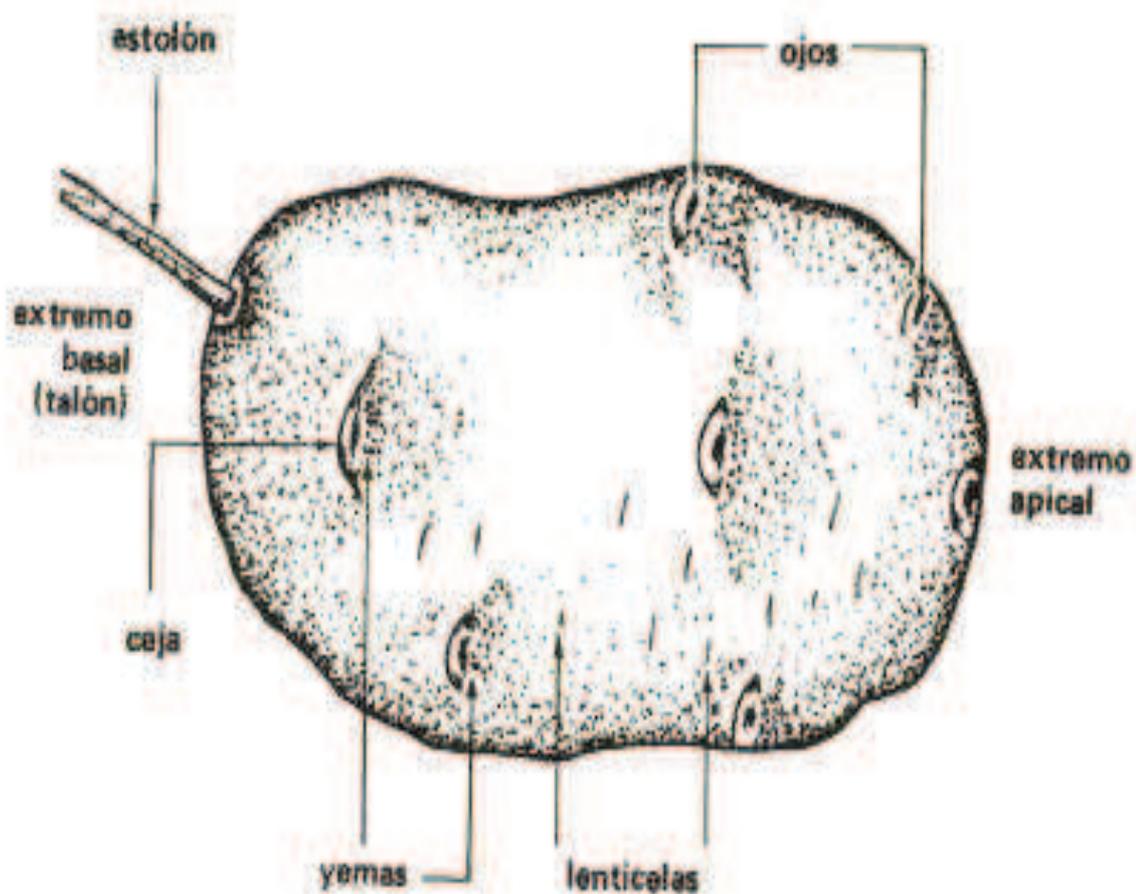


Figura AII.1 Partes de un tubérculo de papa

ANEXO IV

**TABLAS DE DATOS DEL ANÁLISIS ANOVA DE LOS ESTADIOS DE
POLILLA GUATEMALTECA DE LA PAPA**

Tabla AIV.1 Tabla de resultados del anova de dos factores aplicados a los huevos

Análisis ANOVA de dos factores sin replicación				
Resumen	Conteo	Suma	Variación	Promedio
14	15	176	11,7	86,9
28	15	206	13,7	115,5
56	15	252	16,8	181,6
70	15	299	19,9	226,5
84	15	635	42,3	1 068,5
100	15	914	60,9	1 999,5
200	15	978	65,2	2 279,9
300	15	990	66,0	2 335,0
400	15	1 000	66,7	2 381,0
500	15	1 000	66,7	2 381,0
0 días	10	0	-	-
7 días	10	643	64,3	1 467,3
10 días	10	676	67,6	1 440,9
0 días	10	0	-	-
7 días	10	624	62,4	1 555,6
10 días	10	654	65,4	1 387,2
0 días	10	0	-	-
7 días	10	617	61,7	1 557,8
10 días	10	653	65,3	1 337,8
0 días	10	0	-	-
7 días	10	603	60,3	1 549,1
10 días	10	653	65,3	1 229,6
0 días	10	0	-	-
7 días	10	642	64,2	1 367,7
10 días	10	685	68,5	1 137,4

Tabla AIV.2 Tabla de resultados anova de dos factores para larvas

Análisis ANOVA de dos factores sin replicación estadio de larva						
Resumen	Conteo	Suma	Variación	Promedio		
100	15	825	55	1 639,4		
200	15	769	51,2	1 892,3		
300	15	886	59	1 881,5		
400	15	903	60,2	1 960,8		
500	15	907	60,4	1 975,5		
0 días	5	0	0,0	0,0		
3 días	5	445	89,0	16,5		
7 días	5	387	77,4	1 883,8		
0 días	5	0	0,0	0,0		
3 días	5	426	85,2	19,7		
7 días	5	454	90,8	16,7		
0 días	5	0	0,0	0,0		
3 días	5	424	84,8	13,7		
7 días	5	440	88,0	18,5		
0 días	5	0	0,0	0,0		
3 días	5	407	81,4	31,3		
7 días	5	434	86,8	12,2		
0 días	5	0	0,0	0,0		
3 días	5	408	81,6	11,3		
7 días	5	465	93,0	11,5		
RESULTADOS DEL ANOVA						
Fuente de Variación	SS	df	MS	F	P-valor	F critico
Filas	948,0	4	237	1,8	0,1	2,5
Columnas	12 3703	14	8 835	68,7	5,08E-30	1,8
Error	7 192,8	56	128			
Total	131 844	74				

Tabla AIV.3 Tabla de datos obtenidos luego de anova de dos factores, estadio de pupas

Análisis ANOVA de dos factores sin replicación estadio de larva						
Resumen	Conteo	Suma	Variación	Promedio		
100	15	603	40,2	971,7		
200	15	664	44,2	1 151		
300	15	656	43,7	1 147		
400	15	640	42,6	1 068		
500	15	672	44,8	1 235		
0 días	5	0	0,0	0,0		
5 días	5	316	63,2	77,2		
10 días	5	308	61,6	104,3		
0 días	5	0	0,0	0,0		
5 días	5	274	54,8	197,7		
10 días	5	298	59,6	104,3		
0 días	5	0	0,0	0,0		
5 días	5	307	61,4	116,8		
10 días	5	357	71,4	169,8		
0 días	5	0	0,0	0,0		
5 días	5	349	69,8	52,7		
10 días	5	431	86,2	7,7		
0 días	5	0	0,0	0,0		
5 días	5	299	59,8	67,7		
10 días	5	296	59,2	299,7		
RESULTADOS DEL ANOVA						
Fuente de Variación	SS	df	MS	F	P-valor	F critico
Filas	198,7	4	49	0,606	0,6	2,5
Columnas	7343,9	14	5245	63,9	3,00E-29	1,8
Error	4 593	56	82			
Total	7 8231	74				

ANEXO V

Tabla AV.1 Tabla de resultados del análisis sensorial de sabor

# de observación	Muestra 840 (100Gy)	Muestra 455	Muestra 840 (100Gy) Rango real	Muestra 455 Rango real
1	2	5	10,5	82
2	2	4	10,5	58
3	3	4	32	58
4	3	5	32	82
5	2	4	10,5	58
6	3	4	32	58
7	4	5	58	82
8	2	4	10,5	58
9	2	5	10,5	82
10	3	4	32	58
11	2	5	10,5	82
12	3	4	32	58
13	2	5	10,5	82
14	3	4	32	58
15	3	5	32	82
16	3	4	32	58
17	4	5	58	82
18	2	4	10,5	58
19	2	4	10,5	58
20	3	5	32	82
21	3	4	32	58
22	3	6	32	96
23	2	5	10,5	82
24	3	4	32	58
25	4	4	58	58
26	2	4	10,5	58
27	3	5	32	82
28	4	5	58	82
29	2	5	10,5	82
30	3	6	32	96
31	2	6	10,5	96
32	3	5	32	82
33	4	6	58	96
34	3	5	32	82
35	3	4	32	58
36	3	5	32	82
37	2	5	10,5	82
38	2	4	10,5	58
39	4	4	58	58
40	2	4	10,5	58
41	2	6	10,5	96
42	2	4	10,5	58
43	2	6	10,5	96
44	3	6	32	96
45	3	6	32	96
46	3	6	32	96
47	2	5	10,5	82
48	3	5	32	82
49	4	4	58	58
50	3	4	32	58
Total			1 352	3 698

Tabla AV.2 Tabla de resultados del análisis sensorial de textura

# de Observación	Muestra 840 (100Gy)	Muestra 455	Muestra 840 (100Gy) Rango real	Muestra 455 Rango real
1	5	6	34	10
2	3	6	79.5	10
3	3	6	79.5	10
4	3	6	79.5	10
5	3	5	79.5	34
6	2	5	94	34
7	2	5	94	34
8	2	6	94	10
9	2	5	94	34
10	3	6	79.5	10
11	5	5	34	34
12	3	5	79.5	34
13	4	5	60	34
14	4	5	60	34
15	3	5	79.5	34
16	4	6	60	10
17	4	5	60	34
18	4	5	60	34
19	4	4	60	60
20	4	4	60	60
21	3	6	79.5	10
22	5	5	34	34
23	5	5	34	34
24	4	4	60	60
25	3	6	79.5	10
26	3	5	79.5	34
27	4	5	60	34
28	4	5	60	34
29	4	5	60	34
30	3	6	79.5	10
31	3	6	79.5	10
32	2	6	94	10
33	2	5	94	34
34	2	5	94	34
35	2	6	94	10
36	3	4	79.5	60
37	3	6	79.5	10
38	3	6	79.5	10
39	5	6	34	10
40	5	4	34	60
41	5	6	34	10
42	2	6	94	10
43	2	6	94	10
44	4	5	60	34
45	4	4	60	60
46	6	4	94	60
47	4	5	60	34
48	2	5	94	34
49	2	4	94	60
50	3	6	79.5	10
TOTAL			2 300	1 428

ANEXO VI

HOJA DE LA ENCUESTA PARA EL ANÁLISIS SENSORIAL

Tenga usted un buen día, a continuación usted recibirá 2 muestras de papas cocinadas.

Por favor analice y ponga una cruz donde corresponda.

Muestra

840

Muestra

755

SABOR

Me gusta mucho	Me gusta mucho
Me gusta	Me gusta
Ni me gusta ni me disgusta	Ni me gusta ni me disgusta
No me gusta	No me gusta
Me disgusta mucho	Me disgusta mucho

TEXTURA

Me gusta mucho	Me gusta mucho
Me gusta	Me gusta
Ni me gusta ni me disgusta	Ni me gusta ni me disgusta
No me gusta	No me gusta
Me disgusta mucho	Me disgusta mucho

GRACIAS

