



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE FÍSICA

**“EFECTOS BIOLÓGICOS Y MÉTODO DE CONTROL DE
MICROORGANISMOS PATÓGENOS CON RADIACIÓN
IONIZANTE GAMMA EN *Chenopodium quinoa*”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICA

AUTORA: SUSANA ISABEL BALVOA CAGUANA

DIRECTORA: Biof. MARÍA FERNANDA HEREDIA MOYANO, MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

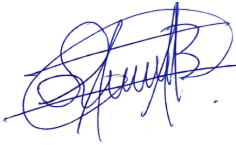
© 2021, Susana Isabel Balvoa Caguana

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Susana Isabel Balvoa Caguana, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de agosto de 2021

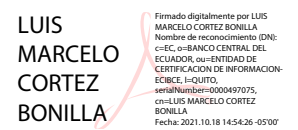

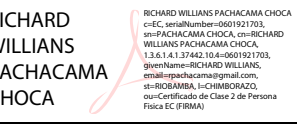


Susana Isabel Balvoa Caguana

030265858-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOFÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **“EFECTOS BIOLÓGICOS Y MÉTODO DE CONTROL DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS CON RADIACIÓN IONIZANTE GAMMA EN *Chenopodium quinoa*”**, realizado por la señorita: **SUSANA ISABEL BALVOA CAGUANA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|---|--|--------------|
| Mat. Luis Marcelo Cortez Bonilla, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  <p>Firmado digitalmente por LUIS MARCELO CORTEZ BONILLA Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, ou=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO, serialNumber=0009497075, cn=LUIS MARCELO CORTEZ BONILLA Fecha: 2021.10.18 14:54:26 -05'00'</p> | 2021-08-27 |
| Biof. María Fernanda Heredia Moyano, MSc. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN |  <p>Firmado electrónicamente por: MARIA FERNANDA HEREDIA MOYANO</p> | 2021-08-27 |
| Dr. Richard Williams Pachacama Choca, MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL |  <p>RICHARD WILLIAMS PACHACAMA CHOCA c=EC, serialNumber=0601921703, ou=PACHACAMA CHOCA, ou=RICHARD WILLIAMS PACHACAMA CHOCA, 1.3.6.1.4.1.37442.10.4=0601921703, givenName=RICHARD WILLIAMS, email=rpachacama@gmail.com, sn=RICHACAMA, l=CHIMBORAZO, ou=Certificado de Clase 2 de Persona Física EC (FIRMA)</p> | 2021-08-27 |

DEDICATORIA

A mis padres María Caguana y Manuel Balvoa, a mi abuela María Tránsito Santos y mis hermanos, por todo lo que representan en mi vida.

Susana Isabel

AGRADECIMIENTO

A mi madre María Tránsito Caguana por apoyarme siempre en mis decisiones académicas, por enseñarme a esforzarme a dar lo mejor en cada paso. Y mostrarme la importancia de una formación profesional.

A mi padre Manuel Balvoa, que con su disciplina y forma de ver el mundo ha influenciado enormemente en mi vida académica.

A mi abuelita María Santos, por resaltar la importancia de una preparación profesional y mantener nuestras raíces indígenas firmes.

A mi hermano mayor Hendry por ser un segundo padre para nosotros, por enseñarnos hacer frente a las adversidades, gracias por todo lo que has sido para mí.

A mi hermano Cristian por siempre alegrarme la existencia con sus ocurrencias y sus libros, y por el apoyo que me brinda cada día y principalmente por ser mi mayor soporte emocional.

A mi hermana Verónica por ser un apoyo incondicional y a veces ponerme en órbita.

A mi hermano Dumak Amaru por alegrar nuestra existencia e impulsarme a ser un buen ser humano sin saberlo.

A mis hermanos Tupac, Taiwa y Sumak Yuri por inspirarme a ser mejor cada día aún en la distancia.

A mi tía María Tránsito Balboa, que gracias a su apoyo incondicional y aún en la distancia, logro impulsar mi formación académica y en gran medida en lo personal.

Al Ingeniero Marco Chuma por compartir su experiencia universitaria, por apoyarme en los momentos más complicados en lo académico y personal y por ser mi guía muchas veces y lo más importante brindarme su amistad incondicional.

Al Ingeniero Moisés Gualapuro por su apoyo y de mucha paciencia en el proceso de desarrollo de este trabajo de investigación. Asimismo, por motivarme a seguir haciendo investigación y seguir aportando desde nuestros conocimientos tradicionales.

Al Departamento de Bienestar Estudiantil por permitirme ser parte de los becarios de la ESPOCH, y así complementar mi formación académica.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a los docentes de la carrera de Biofísica en especial a la Biof. María Fernanda Heredia, al Dr. Richard Pachamama, al Mat. Marcelo Cortez y al Dr. Omar Rodríguez por impartir conocimientos de calidad y formar profesionales para el desarrollo de nuestro país, además de ser un gran soporte personal en los momentos de mucha dificultad académica.

A mis amigos: Cristina, Estefanía, Ricardo, Stalin y Augusto, por ser mi apoyo incondicional en mi vida universitaria, brindarme su cálida amistad en todos los procesos de formación académica y ayudarme en las múltiples adversidades.

Susana Isabel

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | xii |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xiii |
| RESUMEN..... | xiv |
| SUMMARY..... | xv |
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|---|-----------|
| 1. MARCO REFERENCIAL | 2 |
| 1.1. Antecedentes | 2 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 4 |
| 1.3. Justificación | 5 |
| 1.4. Objetivos | 6 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 6 |
| 1.4.1.1. Objetivos específicos..... | 6 |
| 1.5. Marco teórico..... | 7 |
| 1.5.1. La quinua | 7 |
| 1.5.1.1. Breve descripción de la quinua..... | 7 |
| 1.5.1.2. Ciclo fenológico | 7 |
| 1.5.1.3. Composición Química..... | 9 |
| 1.5.1.4. Características bioquímicas..... | 9 |
| 1.5.1.5. Características genéticas-moleculares | 10 |
| 1.5.1.6. Principales microorganismos patógenos..... | 10 |
| 1.5.2. Métodos de control de patógenos..... | 11 |
| 1.5.2.1. Biológico | 11 |
| 1.5.2.2. Químico..... | 11 |
| 1.5.2.3. Otros métodos | 11 |
| 1.5.2.4. Físico..... | 12 |
| 1.5.3. Radiación..... | 12 |
| 1.5.3.1. Radiación no ionizante..... | 12 |
| 1.5.3.2. Radiación Ionizante | 12 |

| | |
|--|-----------|
| 1.5.4. Radiación Gamma aplicada a control de patógenos..... | 13 |
| 1.5.4.1. Radiobiología..... | 13 |
| 1.5.4.2. Microorganismos ante irradiación | 13 |
| 1.5.4.3. Radiosensibilidad de los patógenos..... | 14 |
| 1.5.4.4. Aplicación de rayos gamma..... | 14 |
| 1.5.4.5. Efectos estocásticos..... | 15 |
| 1.5.4.6. Efectos determinísticos..... | 15 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|-----------|
| 2. MARCO METODOLÓGICO..... | 17 |
| 2.1. Tipo de investigación | 17 |
| 2.2. Diseño de la investigación..... | 17 |
| 2.2.1. <i>No experimental</i> | 20 |
| 2.2.1.1. Identificación de variables..... | 20 |
| 2.2.1.2. Operalización de los objetivos | 20 |
| 2.2.1.3. Localización de estudio..... | 22 |
| 2.2.1.4. Población de estudio y/o tamaño de la muestra y/o método de muestreo..... | 22 |
| 2.2.1.5. Técnicas de recolección de datos..... | 22 |
| 2.2.1.6. Análisis Estadístico | 22 |

CAPÍTULO III

| | |
|--|-----------|
| 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 23 |
| 3.1. Radiación Ionizante Gamma en la agricultura | 24 |
| 3.2. El potencial uso de la radiación ionizante en la quinua..... | 32 |
| 3.3. Enfermedades de la quinua causadas por microorganismos patógenos | 33 |
| 3.4. Principales factores que afectan la radiosensibilidad de los organismos | 34 |
| 3.5. Efectos biológicos de la radiación gamma..... | 35 |
| 3.5.1. <i>Efectos genéticos</i> | 36 |
| 3.5.2. <i>Efectos a nivel molecular</i> | 40 |
| 3.5.3. <i>Efectos en el fenotipo</i> | 42 |
| 3.6. Comportamiento de la radiosensibilidad de los microorganismos patógenos | 44 |
| 3.7. Desarrollo de la propuesta..... | 45 |

| | |
|------------------------------|----|
| CONCLUSIONES | 48 |
| RECOMENDACIONES | 50 |
| GLOSARIO | |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tabla 1-2: | Operalización de los objetivos..... | 20 |
| Tabla 1-3: | Aplicaciones de radiación gamma a diferentes dosis | 25 |
| Tabla 2-3: | Efectos de la radiación gamma en semillas | 26 |
| Tabla 3-3: | Radiación gamma como técnica fitosanitaria en productos agrícolas. | 28 |
| Tabla 4-3: | Radiación gamma como método para inactivar virus..... | 31 |
| Tabla 5-3: | Efectos genéticos de la radiación ionizante gamma en diferentes sistemas vegetales..... | 39 |
| Tabla 6-3: | Efectos de la RI gamma en plantas in vivo | 43 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figura 1-1. | Fenología de <i>Chenopodium quinoa</i> | 8 |
| Figura 2-1. | Radioresistencia de microorganismos en orden decreciente | 14 |
| Figura 1-2. | Diagrama de recopilación y procesamiento de información bibliográfica..... | 19 |
| Figura 1-3. | Factores que afectan a la radiosensibilidad | 34 |
| Figura 2-3. | Representación sistemática de la radiolisis del agua y la trayectoria de acuerdo con el tipo de RI | 38 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 1-3.** Distribución de la obtención de los artículos científicos mediante tres maneras: algoritmo de minado, plataformas online y en el repositorio de la ESPOCH. ... 23
- Gráfico 2-3.** Curva de radiosensibilidad del pasto rosado *Milens repes* 27

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. MATRIZ DE ANÁLISIS DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

ANEXO B. INACTIVACIÓN DE LA BACTERIA E. COLI CON UNA DOSIS DE 1 kGY

ANEXO C. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PUBLICADA COMO ARTÍCULO
CIENTÍFICO

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación fue revisar los efectos biológicos en células vegetales causados por la radiación ionizante gamma y se relacionó en un método de control de microorganismos patógenos en quinua (*Chenopodium quinoa*). Se identificaron las aplicaciones de la radiación ionizante gamma en la agricultura. Los efectos de la radiación gamma se manifiestan a nivel genético y en el fenotipo causados por la interacción directa de los fotones con el ADN y de manera indirecta por las especies reactivas de oxígeno (ROS). Las plantas son especies radioresistentes, debido a que activan enzimas antioxidantes para contrarrestar el estrés oxidativo, mantienen estabilidad genómica ya que son organismos poliploides, inhiben las mutaciones y reparan el daño en el ADN por recombinación homóloga. Los efectos adversos o beneficiosos en una exposición in vivo, depende de la tasa de dosis suministrada y las características de las plantas como especie, estructura de tejido, etapa de desarrollo y genoma. Asimismo, se revisó el potencial uso de la quinua, un grano andino con altas cualidades nutricionales que presenta resistencia frente a factores bióticos y abióticos. Para la obtención de literatura científica de manera confiable y de calidad se adaptó un algoritmo de minado de datos en Google Colab basado en Phyton. Con base en la revisión, el control de microorganismos patógenos en las plantas de quinua más resistentes a la radiación podría efectuarse por el efecto de la producción del ROS, mismo mecanismo utilizado por las plantas para eliminar patógenos fúngicos. Se recomienda experimentaciones in vitro para medir la radiosensibilidad del patógeno, evaluar las enzimas antioxidativas en quinua y mejorar la variedad genética de la quinua ecuatoriana. La radiación ionizante gamma aplicada a la agricultura tiene potencialidad de mejoramiento genético y es la solución de las problemáticas que enfrenta esta área, poco explorada en Ecuador.

Palabras clave: <RADIACIÓN IONIZANTE>, <RAYOS GAMMA>, <EFECTOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE>, <CÉLULAS VEGETALES>, <QUINUA (*Chenopodium quinoa*)>, <PATÓGENOS>.



1673-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The objective of this research work was to review the biological effects on plant cells caused by gamma ionising radiation and related to a method of control of pathogenic microorganisms in quinoa (*Chenopodium quinoa*). Applications of gamma ionising radiation in agriculture were identified. The effects of gamma radiation are manifested at the genetic level and in the phenotype caused by the direct interaction of photons with DNA and indirectly by reactive oxygen species (ROS). Plants are radio resistant species because they activate antioxidant enzymes to counteract oxidative stress, maintain genomic stability as polyploid organisms, inhibit mutations and repair DNA damage by homologous recombination. The adverse or beneficial effects of in vivo exposure depend on the dose rate delivered and plant characteristics such as species, tissue structure, developmental stage, and genome. The potential use of quinoa, an Andean grain with high nutritional qualities and resistance to biotic and abiotic factors, was also reviewed. To obtain reliable and quality scientific literature, a data mining algorithm was adapted in Google Colab based on Phyton. Based on the review, the control of pathogenic microorganisms in the most radiation resistant quinoa plants could be effected by the effect of ROS production, the same mechanism used by plants to kill fungal pathogens. In vitro experiments are recommended to measure pathogen radio sensitivity, evaluate anti-oxidative enzymes in quinoa and improve the genetic variety of Ecuadorian quinoa. Gamma ionising radiation applied to agriculture has the potential for genetic improvement and is the solution to the problems faced in this area, which has been little explored in Ecuador.

Keywords: <IONISING RADIATION>, <GAMMA RAYS>, <IONISING RADIATION EFFECTS>, <VEGET CELLS>, <QUINOA (*Chenopodium quinoa*)>, <PATHOGENS>.

INTRODUCCIÓN

La radiación ionizante gamma es una tecnología efectiva para la inactivación de microorganismos patógenos y su uso es creciente en la industria agroalimentaria, se utiliza para controlar la germinación en semillas, conservar alimentos y eliminar microorganismos patógenos en frutas y verduras recién cortadas, además esta técnica utilizada a baja dosis estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por otra parte, los avances en esta tecnología se pueden orientar a estudios en cultivo de gran interés e importancia como es la quinua (*Chenopodium quinoa*) y promover la seguridad alimentaria mundial, dado que la quinua tiene cualidades nutricionales excepcionales y su cultivo puede adaptarse a condiciones de salinidad y sequedad. Por otro lado, tiene agentes patógenos que causan pérdidas en los cultivos y las infecciones pueden ocurrir en las diferentes etapas de crecimiento, por ejemplo, el pseudohongo *Peronospora variabilis* que llega a causar pérdidas entre el 60% al 90%. Los métodos de control químicos y biológicos son los más utilizados, sin embargo, sus aplicaciones tienen efectos perjudiciales en la salud del agricultor y el medio ambiente, por lo tanto, se requiere revisar y generar tecnologías alternativas que contrarresten los efectos negativos de la aplicación de los métodos tradicionales, especialmente en la resistencia de los microorganismos patógenos al control químico.

En el capítulo I, se desarrolla el marco referencial describiendo los antecedentes, el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos de la investigación, obteniendo información útil previo a la revisión sistemática para la identificación del potencial uso de la irradiación gamma en el cultivo de quinua, como una alternativa para el control de microorganismos patógenos.

Dentro del Capítulo II, se describe la metodología usada para la revisión literaria en la cual se adapta un algoritmo de Python para la búsqueda sistemática de artículos en los repositorios de revistas científicas del NCBI y el repositorio institucional ESPOCH. Además, se sintetiza la operacionalización de los objetivos.

En el Capítulo III, se presenta la revisión literaria enfocado en las aplicaciones de la radiación ionizante gamma en la agricultura, se describe los efectos biológicos a nivel genético y en el fenotipo de algunas plantas con exposiciones in vivo, también se describe los parámetros de radiosensibilidad de microorganismos, además se analiza el método de control de microorganismos patógenos con radiación ionizante gamma en quinua (*Chenopodium quinoa*).

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

En las últimas décadas, la quinua (*Chenopodium quinoa*), un grano andino de excelentes características nutricionales ha incrementado su importancia en la dieta global, asimismo su producción y su consecuente incidencia en la economía de los productores. Este cultivo es una alternativa potente para los países con una débil seguridad alimentaria. En el año 2013, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) declaró “El año internacional de la quinua” como un mecanismo para destacar su importancia. Según los datos estadísticos corporativos de la FAO (FAOSTAT), en el 2012 los países con mayor producción y exportación fueron; Perú, Bolivia y Ecuador con 41182, 38250, 816 toneladas métricas anuales respectivamente (FAO, 2014, p.2). La quinua también se cultiva en menor proporción en más de 70 países, entre ellos: Francia, Inglaterra, Suecia, Dinamarca, Holanda, Italia; además se ha adaptado con éxito en Kenia, India y Estados Unidos. Por ello para la elaboración de este estudio se tiene como base las siguientes investigaciones, detalladas a continuación.

La Organización Mundial de la Salud en 2003, con la finalidad de conservar en mejores condiciones los alimentos, reducir las pérdidas debido a la alteración y la descomposición, y combatir los microorganismos, indicaron que el empleo de las radiaciones ionizantes (RI) a dosis controladas reduce la infestación de los productos agrícolas por insectos y otros agentes patógenos. Los experimentos iniciales demostraron también que RI destruye las bacterias. En sus inicios esta técnica no fue industrializada por la dificultad de emplear un generador de RI adecuado. También en el 2002 el servicio de inspección de salud de plantas y animales, del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, por sus siglas en inglés (USDA/APHIS) aprobó el tratamiento fitosanitario por irradiación (Ordóñez et al., 2004: p.37).

Según Jan et al. (2012: p.18), en su artículo de revisión llamado, “Efectos de la radiación gamma en aspectos morfológicos, bioquímicos y fisiológico de las plantas y productores vegetales”, señalan que la radiación gamma es un tipo de RI que tiene mayor capacidad de penetración que la radiación alfa y beta. Esta, ioniza e interacciona con los átomos o moléculas para producir radicales libres en las células, dañando o modificando la estructura de las células vegetales; además, numerosos estudios señalan la afectación en la morfología, anatomía, bioquímica y fisiología de las plantas. Así mismo revelan que los efectos biológicos que

produce la RI en las células vegetales se determina de acuerdo con especie, variedad, etapa de crecimiento, cultivo y la tasa de dosis utilizada.

Por otra parte, Durante y Cucinotta (2008: p.465), afirman que, debido a la complejidad de los tejidos vegetales, éstas son más resistentes a los efectos nocivos y mutagénicos de la radiación ionizante. En el estado multicelular, las células y los tejidos se reparan. Esto sugiere que existe la posibilidad de irradiar las plantas sin afectar su normal funcionamiento.

Massa et al. (2017: p.2) realizaron una investigación titulada “Evaluaciones experimentales y numéricas sobre el calentamiento por microondas de la palma para el control de plagas del picudo rojo”, donde emplearon radiación de microondas para combatir al microorganismo picudo rojo que ataca a la palmera, utilizaron modelos matemáticos para controlar la temperatura de los tejidos de la planta, de tal manera que lograron generar una simulación del problema electromagnético-térmico y establecer parámetros para una óptima aplicación, los resultados del modelo concuerdan con la aplicación experimental.

El estudio demostró como resultado que en la investigación de campo obtuvieron una letalidad del patógeno del 100% de pupas y el 80% de adultos. Además, la radiación por microondas afectó al desarrollo de una nueva generación del patógeno. Esta solución resultó muy prometedora y eco compatible.

Por último, Fonseca et al. (2018: p.4), en su trabajo de la ”Evaluación de hongos ambientales y patógenos en quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) en tres cultivos de la provincia Centro de Boyacá” determinaron un alto nivel de fitopatógenos y micotóxicos genéticos, para ello, utilizaron muestra de tejido foliar previa a la floración, de campo abierto e invernaderos además obtuvieron que los microorganismos patógenos ocasionan manchas marrones verdosas, marchitamiento y amarillamiento en las hojas causando daño letal a la planta, consiguiente la disminución significativa de la producción. En este estudio determinaron que los microorganismos más letales para la quinua en general son los hongos y los pseudohongo.

1.2. Planteamiento del problema

La agricultura en la actualidad enfrenta desafíos como la resistencia de plagas de una gran variedad de cultivos, el efecto del cambio climático, degradación de los suelos, pérdida de diversidad de cultivos, entre otros. En los próximos años la agricultura requerirá de nuevas técnicas científicas y tecnológicas para enfrentar estos problemas. Además, en los próximos 30 años, será difícil abastecer a los 9700 millones de personas que estima la FAO si se sigue empleando los métodos y técnicas tradicionales.

Frente a esta problemática mundial, la ciencia y la tecnología son herramientas que han contribuido en gran medida al incremento de la productividad, mejores cualidades nutricionales y facilidades de abastecimiento a toda la población.

La física de radiaciones aplicadas es un campo con potencial para el mejoramiento genético y técnicas novedosas de control de microorganismos patógenos, plagas y para enfrentar el estrés ambiental.

El cultivo de quinua se considera un súper alimento, con propiedades nutritivas únicas. Pese al empleo de técnicas tradicionales de control de plagas y mejoras en el sistema de cultivos, se estima que un tercio de los sembríos de quinua se pierden por infecciones causadas por patógenos como: hongos, bacterias y parásitos. Para su control se utilizan agroquímicos o estrategias de control biológico. Los agroquímicos, como los fungicidas, controla a los patógenos, sin embargo, también afecta negativamente al ambiente, a los organismos no objetivos y las fuentes de agua (Del Puerto Rodríguez et al., 2014: p.378). Por otro lado, el control biológico tiene sus limitaciones debido a que pocos organismos tienen efectividad probada (Jiménez, 2009, p.24). En el cultivo de la quinua, el pseudohongo *Peronospora variabilis* es el principal patógeno y puede llegar a reducir el rendimiento entre un 30% y 60%, incluso en variedades de quinua más resistentes. Bajo condiciones favorables el hongo, pueden llegar a ocasionar pérdidas tan devastadoras como el 99% de las cosechas (Zurita y Quiroz, 2019: p.99).

Para mejorar el rendimiento de los cultivos, incrementar la efectividad de los tratamientos anti-patógenos y reducir efectos adversos de las intervenciones; se requiere indagar otros métodos potenciales para el control de plagas; por ejemplo, la radiación ionizante gamma que tiene la capacidad de inducir daño letal a los patógenos.

En este trabajo, se revisa los efectos biológicos de la RI gamma en células vegetales y microorganismos patógenos; luego, en base a estos hallazgos, explorar potenciales experimentos in vitro e in vivo con el fin de establecer un método de control de microorganismos patógenos en quinua. Para ello se revisa la literatura sobre los efectos de la RI en las rutas metabólicas de las plantas y los patógenos. Asimismo, Se recopila información sobre las dosis de RI gamma que provocan cambios letales en el patógeno y los efectos adversos

en las células de los vegetales e incluso podrían presentar cambios potencialmente beneficiosos en la planta, de tal manera que se pueda relacionar con la quinua.

1.3. Justificación

La quinua es un grano integral andino con cualidades nutricionales excepcionales y con alto potencial para industrializar. De acuerdo con la FAO (2012) e INIAP (2015), en Ecuador existe un estimado de 2500 unidades productivas, que cultivan comercialmente este cultivo. Las pérdidas o los bajos rendimientos de los cultivos de quinua por infecciones con patógenos requieren ser tratados con métodos que sean amigables con el ambiente, debido a que el empleo de agroquímicos induce a los patógenos a crear resistencia, lo que implica aplicar agroquímicos de mayor toxicidad o elevar las tasas de exposición, causando toxicidad al medio ambiente y a los agricultores, asimismo, se tiene otros impactos de contaminación en el aire y la alteración de biodiversidad útiles. Por otro lado, el control biológico presenta desventajas por la complejidad de evaluar enemigos naturales y que su efectividad se ha visto que es muy específica y poco estudiada.

La radiación ionizante en la agricultura se ha centrado en el control biótico de patógenos, en condiciones controladas se considera como una técnica amigable con el medio ambiente ya que la radiación es una técnica física que no implica una contaminación al ambiente. La radiación ionizante (RI) gamma al ionizar los átomos y moléculas dependiendo de la energía depositada en el organismo, afecta a la estructura celular y al metabolismo. Las plantas sometidas a irradiación tienen mecanismos de defensa en contra de la radiación, mientras que para los patógenos resulta letal; estos efectos son dependientes de la dosis, y radiosensibilidad del organismo. Además, se ha reportado en la literatura que la radiación ionizante mejora la síntesis de clorofila y fotosíntesis en las plántulas.

El presente estudio servirá como base para plantear la implementación de experimentos in silico, in vitro e in vivo donde se evalúe la radiación ionizante gamma con diferentes tejidos de la quinua y diferentes microorganismos patógenos de este cultivo. En ellos se buscará determinar los parámetros experimentales donde se tenga bajos efectos secundarios en el metabolismo normal de la planta pero que sea letal para los microorganismos patógenos. Asimismo, los resultados de los experimentos basados en este estudio podrían ser insumos para plantear el mejoramiento genético de la quinua como la resistencia a factores bióticos y abióticos. Finalmente, este trabajo de revisión bibliográfica es viable porque se cuenta con acceso a las bases de datos de artículos académicos, libros y repositorios institucionales sobre la RI en plantas, células vegetales y microorganismos patógenos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Identificar el estado del arte de los efectos biológicos y el método de control de microorganismos patógenos con radiación ionizante gamma en *Chenopodium quinoa*.

1.4.2. Objetivos específicos

- Seleccionar fuentes de literatura científica especializada
- Identificar los avances del uso de la radiación ionizante gamma en la agricultura.
- Revisar los efectos biológicos de la radiación ionizante gamma en células vegetales reportados en publicaciones académicas.
- Identificar las variables a considerar cuando se emplea radiación ionizante gamma en plantas in vivo.
- Revisar los efectos adversos de RI en experimentos con plantas in vivo, reportados en publicaciones académicas.
- Relacionar el uso de la radiación ionizante gamma como método de control de microorganismos patógenos en *Chenopodium quinoa*.
- Interpretar las rutas metabólicas que se pueden mejorar o inhibir con la radiación gamma en *Chenopodium quinoa*.

1.5. Marco teórico

1.5.1. La quinua

1.5.1.1. Breve descripción de la quinua

La quinua es un superalimento, la planta es una dicotiledónea anual andino, de la familia Amarantaceae, su nombre científico es *Chenopodium quinoa*. La planta alcanza de 1 a 2.6 metros de altura, las hojas son anchas y polimorfas, es decir tiene diferentes formas en la misma planta, el tallo puede tener ramas, pero esta característica depende de la variedad y la densidad de sembrado. Las flores son pequeñas y carecen de pétalos, además son bisexuales y se auto fertilizan, produce frutos de 250 a 500 semillas por planta, cada grano mide aproximado de 2mm de diámetro (Rodríguez et al., 2017: p.14).

La variabilidad genética es una de las características sobresalientes de la quinua, esta cualidad hace que este cultivo sea óptimo en condiciones de estrés ambiental, además se adapta con facilidad a suelos salinos y secos. La variabilidad fenotípica se expresa en los colores de la planta, inflorescencia y semilla, formas de planta, valor nutritivo, producción y ciclo de cultivo. En relación al color del grano se tiene colores: amarillo, café y negro; además se ha logrado obtener quinua de grano blanco (Morillo y Castro, 2017: p.51). Otro aspecto que considerar es la genética molecular y bioquímica de las saponinas y mecanismo de defensa de la quinua.

1.5.1.2. Ciclo fenológico

Las fases de desarrollo son cambios externos que son visibles en el desarrollo de la planta, depende de los factores ambientales, sirve para efectuar control de plagas de enfermedades, identificación de épocas críticas, riego y pronósticos de cosecha. Para el desarrollo de la quinua se han determinado 12 fases marcadas y diferenciables (Mujica et al., 2015: p.13) como se muestra en la Fig.1-1.

1) Etapa inicial o emergencia. - Es cuando la plántula empieza a salir del suelo y expande sus hojas cotiledóneas. Ocurre de los 7 a 10 días de la siembra dependiendo de la humedad del suelo y los nutrientes (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).

2) Dos hojas verdaderas. - Etapa en la que dos hojas verdaderas, extendidas posean forma lanceolada ocurre de 15 a 20 días después de la siembra, también muestra un crecimiento rápido en las raíces, además puede soportar de 10 a 14 días sin agua (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).

3) Cuatro hojas verdaderas. - Cuando aparecen dos pares de hojas verdaderas extendidas y aún están presentes las hojas cotiledóneas de color verde ocurre de los 25 a 30 días después de la siembra, en esta etapa la plántula muestra resistencia al frío y la sequía. Las plagas que enfrenta son los masticadores de hojas (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).

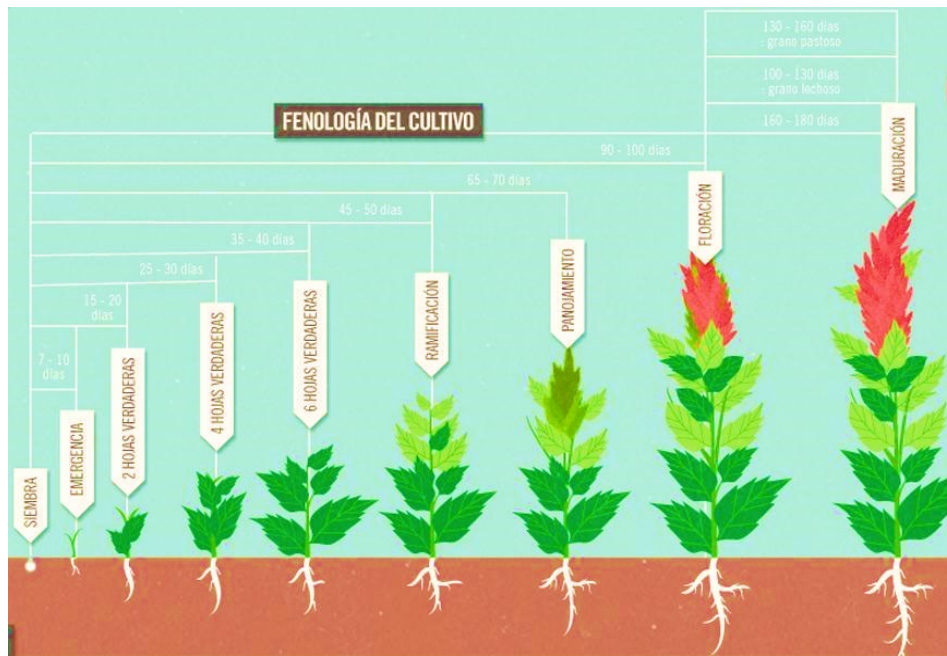


Figura 1-1. Fenología de *Chenopodium quinoa*

Fuente: (Llanos, 2017, p.76).

4) Seis hojas verdaderas. - Etapa en la cual se observan tres pares de hojas extendidas y el color de las hojas cotiledones son amarillos. Ocurre aproximadamente a los 35 a 45 días de siembra y desarrolla protección del ápice vegetativo, por las hojas adultas, principalmente en plantas que se encuentran a bajas temperaturas y el estrés por déficit hídrico o salino (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).

5) Ramificación. - Se encuentran ocho hojas verdaderas más desarrolladas, mientras que empiezan las hojas cotiledóneas causar leves daños en el tallo debido a su caída, en esta etapa los microorganismos patógenos aprovechan para infectar la planta, ocurre de los 45 a 50 días después de la siembra (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).

6) Inicio de panojamiento. - Ocurre cuando la disposición de las flores en forma de racimo (panoja) sobre la rama va emergiendo del ápice de la planta, se aglomeran hojas pequeñas en las tres cuartas partes del tallo, ocurre aproximadamente de los 55 a 60 días, después de la siembra, también se observa amarillamiento de las dos primeras hojas verdaderas y se aprecia engrosamiento y elongación del tallo (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).

- 7) Panojamiento. -Cuando la disposición de las flores racimosa es más evidente incrementando su longitud, ocurre de los 65 a los 70 días después de la siembra, en esta etapa inicia el grano lechoso (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).
- 8) Inicio de floración. - Cuando la flor hermafrodita apical (posee ambos órganos sexuales) se abre mostrando los estambres, ocurre a los 75 a 80 días de la siembra, en esta fase son sensibles a la sequía y heladas (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).
- 9) Floración. - Cuando el 50% de las flores se encuentran abiertas, en esta fase son muy sensibles a las heladas resistiendo hasta -2°C, la floración se identifica al medio día, el resto del tiempo permanecen cerradas. La planta en esta etapa empieza a eliminar las hojas inferiores que son inactivas fotosintéticamente, Altas temperaturas mayor a 38 °C produce aborto de flores, en zonas desérticas y calurosas (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).
- 10) Grano Lechoso. - Es cuando los frutos que se encuentran en los glomérulos de la panoja, al ser presionados salen y se observa un líquido lechoso, ocurre a los 100 a 130 días de la siembra, en esta fase son sensibles al recurso hídrico, disminuyendo el rendimiento (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).
- 11) Grano Pastoso. – Ocurre cuando los frutos al ser presionados tienen consistencia pastosa de color blanco. Ocurre a los 130 a 160 días de la siembra. En esta fase el insecto *Eurysacca quinoae* causa daños considerables en el cultivo (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).
- 12) Madurez fisiológica. En esta etapa el grano formado, cuando es presionado presenta resistencia. Ocurre a los 160 a 180 días, aproximadamente 6 meses después de la siembra. El intervalo entre la floración y la madurez fisiológica está el periodo de llenado del grano, además en esta etapa ocurre un amarillamiento completo de la planta (Mujica et al., 2015; Llanos, 2017).

1.5.1.3. Composición Química

La quinua ha sido reconocida por su alta calidad nutricional, está constituida por aproximadamente el 15% de proteínas, tiene un equilibrio en aminoácidos esenciales, además contiene minerales especialmente calcio, fósforo, hierro y por otra parte vitaminas como vitamina B, vitamina C, además contiene el 7% de lípidos que constituyen ácidos grasos polinsaturados, 68% carbohidratos y 5% de fibra. Estos porcentajes varían de acuerdo a la variedad de quinua, y la región donde se cultiva (Abugoch, 2009, pp.5-7).

1.5.1.4. Características bioquímicas

Los órganos vegetativos que constituyen a la planta están compuestos por una célula foliar en la que se desarrolla los procesos bioquímicos como la estabilidad mecánica de la pared celular y

los plasmodesmos que conectan a las células vecinas. Para el intercambio de metabolitos utilizan varios mecanismos de transporte, como los translocadores que catalizan los sustratos y los productos del metabolismo. Además, las acuaporinas permiten que las membranas sean permeables al agua. Otro proceso de gran importancia es la fotosíntesis, fuente de obtención de energía ATP (Hands, 2005, pp.4-12).

1.5.1.5. Características genéticas-moleculares

La quinua es una especie alotetraploide, es decir poseen 4 juegos de cromosomas no homólogos como resultado de cruzar dos especies de *Chenopodium* diploides diferentes para obtener la homología completa y la restauración de la fertilidad ($2n = 4x = 36$), con un número cromosómico básico de 9 cromosomas. El comportamiento del genotipo es cualitativo (Color) intervienen pocos genes, mientras que, en el cuantitativo como el rendimiento, es controlado por muchos genes, además esta depende de la influencia ambiental. La inflorescencia de la quinua puede ser amarantiforme o glomerulada, por lo general la última es dominante. El contenido de saponina es heredable, siendo recesivo el carácter dulce. La saponina se encuentra en la primera membrana y confiere sabor amargo al grano, siendo esta característica determinada por un gen dominante (Costa, 2014, p.25).

1.5.1.6. Principales microorganismos patógenos

Las enfermedades provocadas por microorganismos patógenos en el cultivo de quinua afectan la productividad y calidad del producto. Aunque existen múltiples métodos de control de patógenos se estima que anualmente se pierde el 3% de la producción.

La quinua es afectada por plagas de diferente tipo, como insectos, microorganismos y virus. Entre los insectos se tiene: gusanos de tierra, masticadores de follaje, minadores de follaje y picadores chupadores. Entre los microorganismos se tiene a los pseudohongos: *Peronospora variabilis* (Mildiu de la quinua), *Pseudomonas* sp. (Bacteriosis), *Cladosporium* sp. (Moho verde), *Phoma exigua* var. *foveata* (Podredumbre marrón del tallo); a los hongos: *Penicillium*, *Rizhopus*, *Aspergillus* y patógenos del género *Fusarium*, *Alternaria* y *Cladosporium*; y en menor proporción bacterias, virus y nematodos (Zurita y Quiroz 2019; Cruces y Callohuri, 2016).

Los patógenos que causa enfermedades en la quinoa son principalmente hongos; *Penicillium*, *Rizhopus*, *Aspergillus* y patógenos del género *Fusarium*, *Alternaria* y *Cladosporium* además pseudohongo, y en menor proporción bacterias, virus y nematodos (Fonseca et al., 2018: pp.4-16).

1.5.2. Métodos de control de patógenos

1.5.2.1. Biológico

Consiste en la acción de introducir enemigos naturales contra plagas o patógenos y malas hierbas, se emplea el uso de depredadores, insectos parásitos, hongos, bacterias, virus, nematodos. Este control resulta eficiente contra plagas importadas, se trae su enemigo natural desde su lugar de origen. Muchos de estos enemigos naturales han sido manipulados, y en la actualidad se usan como catálogos listos para ser aplicados. Algunos ejemplos: *Bacillus thuringiensis*, *Nomuraea rileyi*, *Beauveria bassiana*, *Verticillium sp.* Sin embargo, tiene limitaciones debido a que no existe una gamma de selección de microorganismo útiles y para cada cultivo, en otro aspecto se requiere de profesionales especialistas, además implica un costo elevado (Jiménez, 2009, pp.22-23).

1.5.2.2. Químico

El uso de plaguicidas se ha convertido en el método de control más común debido a su rapidez y efectividad en el control de plagas, enfermedades y malezas, sin embargo, estos traen complicaciones ambientales, agroecológicas y sobre la salud, entre estos tenemos: aumento de los problemas de resistencia, contaminación del ambiente, intoxicaciones agudas y crónicas (Jiménez, 2009, pp.22-23).

1.5.2.3. Otros métodos

Existen diversos métodos de control adicional, como el control cultural en la que crean condiciones desfavorables al desarrollo de plagas o patógenos, esta técnica es favorable al cultivo, es decir preparación de suelo, ajustes de fechas de siembra, rotación de cultivos, entre otras, Además se tiene control genético, consiste en manipular el cultivo para incrementar su resistencia o someter a los patógenos a intervención genética de masas de individuos con un genotipo seleccionado (Jiménez, 2009, pp.22-23). En este método entra la radiación ionizante gamma como agente mutagénico.

1.5.2.4. Físico

Se considera un método físico cuando se utiliza energía calorífica y radiación electromagnética para inactivar microorganismos patógenos como bacterias, hongos y nematodos, también para disecar semillas y esterilizar superficies.

1.5.3. Radiación

1.5.3.1. Radiación no ionizante

Microondas es un tipo de radiación no ionizante, con longitud onda entre un rango de 10 mm a 1m, estas ondas tienen la capacidad de hacer rotar o vibrar a las moléculas, este aumento en la energía cinética provoca calentamiento, en la actualidad esta tecnología se utiliza para tratar plagas agrícolas y de madera aprovechando la muerte térmica inducida en los patógenos que tienen una tolerancia menor que la planta hospedador (Massa et al., 2017: p.2).

1.5.3.2. Radiación Ionizante

La radiación ionizante se usa ampliamente para inactivar patógenos. Actúa principalmente destruyendo los ácidos nucleicos, pero causa menos daño a los componentes estructurales como las proteínas (Fertey et al., 2020: pp. 2-4).

- **Gamma**

La irradiación gamma es un método físico de descontaminación, porque mata bacterias al descomponer el ADN bacteriano, inhibiendo la división bacteriana. La energía de los rayos gamma interrumpe el metabolismo normal de patógenos que causan contaminación. Estos cambios inducidos por fotones a nivel molecular provocan la muerte de microorganismos contaminantes y provoca que los microorganismos sean incapaces de reproducirse. El proceso no crea residuos ni imparte radiactividad en el equipo de la colmena procesado (Kudo, 2011, p.217).

- **Ultravioleta UV-C**

La radiación ultravioleta de ciertas longitudes de onda daña el ADN de numerosos microorganismos e impide que se reproduzcan. De esta manera pueden eliminar bacterias, virus y hongos sin dejar residuos, a diferencia de los productos químicos (Turtoi, 2013, p. 326).

- **Emisión de electrones de baja energía**

La irradiación de electrones con baja energía (LEEI) tiene la capacidad de inactivar patógenos en líquidos, así como los métodos de irradiación gamma o actuales, pero a baja dosis y no

genera radiación dispersa como los rayos x. Altas concentraciones de virus (influenza, virus Zika y virus sincitial respiratorio), bacterias (*E. coli*, *B. cereus*) y las células eucariotas (línea celular NK-92) se inactivan eficazmente mediante LEEI (Fertey et al., 2020: p.2.).

1.5.4. Radiación Gamma aplicada a control de patógenos

1.5.4.1. Radiobiología

La radiobiología, estudia los fenómenos que suceden cuando un tejido vivo absorbe energía por las radiaciones ionizantes. Los organismos irradiados sufren lesiones y encienden mecanismos para reponerse de esas lesiones. Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son en concreto el resultado del esfuerzo de los seres vivos por controlar la energía absorbida como consecuencia de su interacción con algún tipo de RI. La radiobiología también estudia los sucesos que ocurren a nivel molecular luego de absorber energía (Piera i Pellicer, 2019, pp. 2-7).

Por otra parte, cada célula tiene un núcleo que contiene ADN que interacciona con otras moléculas como las histonas y conforman los cromosomas. El material genético de los cromosomas por medio de los mecanismos de transcripción y traducción controlan el crecimiento y desarrollo de las células que componen el complejo de tejidos que a su vez determinan las características del ser vivo. El daño en el ADN puede provocar una actividad metabólica anómala, por ejemplo, un crecimiento – réplica desenfrenada de células inducida por la radiación (Bushong, 2011, p.16).

1.5.4.2. Microorganismos ante irradiación

La radiación ionizante como fotón de energía destruye los microorganismos mediante el daño letal provocado en algún componente del organismo, frecuentemente en el material genético. Esta lesión impide la multiplicación y también pone fin a muchas funciones celulares. El daño en el material genético es debido a una colisión directa de la energía radiante en la composición atómica o molecular. Además, puede ionizar las moléculas vecinas, en muchos la hidrólisis del agua que interacciona con el material genético.

Además del daño en el material genético, la radiación produce otros efectos como resultado de la interacción directa e indirecta con diversos componentes celulares, como membranas, enzimas y elementos citoplasmáticos. Estas interacciones tienen acción letal por sí mismas, pero en la mayoría de los casos ocurre daños en el material genético. Estas interacciones ejercen un papel decisivo en la supervivencia de las bacterias lesionadas en un nivel subletal, la célula que no recibe un daño genético letal puede ser destruida mediante otros mecanismos de defensa del

organismo si se identifica que las lesiones complican o impiden supervivencia. La sensibilidad a la radiación de varios compuestos orgánicos es proporcional a su masa molecular. Sobre la base de este argumento, se ha estimado que una dosis de 0,1 kGy podría dañar el 0,005% de los aminoácidos, el 0,14% de las enzimas y el 2,8% del ADN en una determinada célula (Jan et al., 2012: p.18).

1.5.4.3. Radiosensibilidad de los patógenos

La radiosensibilidad o sensibilidad a la radiación, es inversamente proporcional al tamaño y a la complejidad del microorganismo. El virus es el organismo más resistente a la radiación ver Fig.2-1. La radiación ionizante inactiva al microorganismo dependiendo del daño que ocasione al material genético, consecuentemente causa lesiones en componentes moleculares como las membranas y enzimas. Además, la radiosensibilidad de los microorganismos depende de los mecanismos de supervivencia y la capacidad de reparación del ADN (Ordóñez, et al., 2004: p.11).

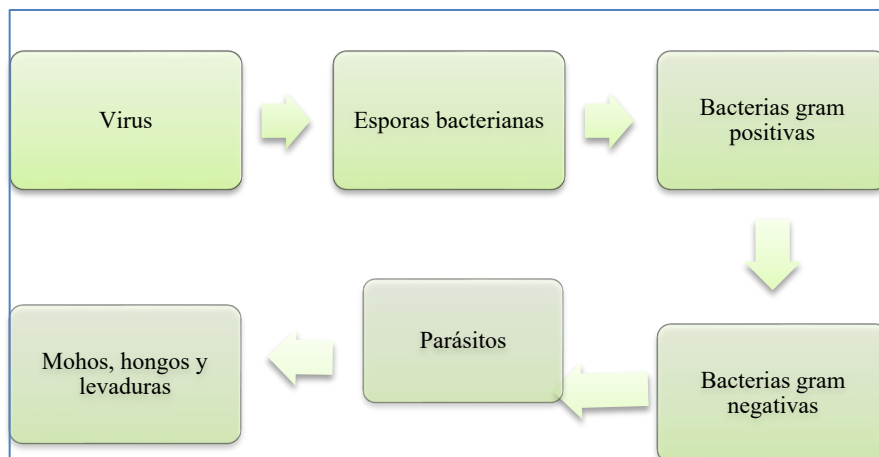


Figura 2-1. Radioresistencia de microorganismos en orden decreciente

Elaborado por: Balvoa, I. 2021.

Aparte de la radioresistencia intrínseca de cada microorganismo, son muchos los agentes y factores que influyen en la letalidad por la radiación ionizante, como la temperatura y actividad del agua. Puede decirse, en términos generales, que a medida que descenden estos dos parámetros aumenta la radioresistencia (Rose, 1992, pp.119-120).

1.5.4.4. Aplicación de rayos gamma

La irradiación gamma en alimentos es una tecnología de seguridad alimentaria prometedora que tiene un potencial significativo para controlar la descomposición del alimento y eliminar los

patógenos. La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO) ha estimado que aproximadamente el 25% de todos los alimentos del mundo en la producción se pierde después de la cosecha debido a insectos y microbios. La irradiación gamma se aplica para mitigar los patógenos en frutas frescas y vegetales esta técnica se considera como una herramienta segura y eficaz.

Para estos casos se utiliza dosis de radiación gamma que incluyen dosis de 1 a 10 kGy para la reducción de patógenos no formadores de esporas, retraso de la maduración y reducción de microorganismos de descomposición. La radiación ionizante es un medio no térmico eficaz para eliminar las bacterias patógenas en la superficie, el subsuelo y las regiones interiores de los productos frescos la mayoría de los patógenos son sensibles a la radiación y al agua (Kudo, 2011, p.217).

Los mecanismos de acción para la inactivación de los microorganismos patógenos empleando radiación ionizante gamma se describe de la siguiente manera:

La radiación ionizante divide las moléculas de agua en hidrógeno (H^+), radicales hidroxilos (OH^-) y oxígeno (O_2) y desactivan el ADN bacteriano, las proteínas y membranas celulares. Los rayos gamma inciden en la doble hélice del ADN y lo divide, lo que resulta en roturas de gravedad y el número de roturas determina la capacidad de las células bacterianas para repararse y recuperarse. El efecto letal de la irradiación sobre microbios se mide en valores de dosis absorbida (D_0). Un valor D_0 es la cantidad de radiación necesaria para matar el 90% de ese organismo. (Kudo, 2011, p.217)

Las células bacterias son más radiosensibles por ello frente a la acción de la radiación ionizante no pueden recuperarse, de tal manera que la afectación provoca letalidad, este mecanismo es poco estudiado para los microorganismos esporulados ya que por sus características intrínsecas las hacen más radioresistentes.

1.5.4.5. Efectos estocásticos

La célula irradiada sufre modificaciones en la molécula del ADN, estos efectos ocurren a tasas de exposición baja, la gravedad de estos depende del tipo de célula afectada y los mecanismos de supervivencia, se considera que no existe una dosis umbral de control, además estos efectos pueden ser hereditarios y somáticos (Puerta y Morales, 2020: p.69).

1.5.4.6. Efectos determinísticos

En los efectos determinísticos se produce muerte de un número sustancial de células y presenta una dosis umbral por debajo del cual el número de células afectadas no presenta lesiones significativas, en este tipo de efectos se relaciona la dosis con el número de células afectadas,

por lo tanto, la gravedad de la lesión es proporcional a la dosis recibida. Por otra parte, ocurren a dosis relativamente altas y su aparición suele ser inmediata o tras un corto periodo desde la irradiación (Puerta y Morales, 2020: p.67).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de titulación es de tipo cualitativo, con un objetivo teórico para identificar y determinar la radiación ionizante gamma como método potencial de control de microorganismos patógenos en quinua. Se implementará el método exploratorio y descriptivo para deducir los efectos biológicos de la radiación gamma tanto en el vegetal como en los microorganismos patógenos. Además, será de tipo no experimental debido a que no se manipula las variables y las conclusiones se obtendrán, en base a los resultados de la revisión de las publicaciones académicas. Por otra parte, este trabajo de investigación es de tipo interdisciplinario debido a que incorpora tres áreas de estudio: la botánica, la física y la biología. Desde la botánica para describir la estructura, propiedades, características y procesos vitales de la quinua; desde el enfoque de la física de radiaciones para comprender la interacción de energía y materia, en este caso entre los rayos gamma con la quinua y el microorganismo patógeno; y finalmente, desde la biología debido a que los efectos de la irradiación son de tipo genético, molecular, que a la vez se estudian en el área de radiobiología.

2.2. Diseño de la investigación

Para este trabajo de revisión la obtención de la literatura científica se centra en dos fuentes principales (ver fig. 1-2):

1) Los artículos se obtuvieron de la base de datos de PubMed suscritos al Centro Nacional para la Información Biotecnológico por sus siglas en inglés NCBI (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), mediante la adaptación de un algoritmo de minado de texto (web scraping) en Google Colab, desarrollado en Python por Paula Martín (https://github.com/paulamartingonzalez/Targeted_Literature_Reviews_via_webscraping). Este algoritmo permite extraer y almacenar artículos científicos en una hoja de cálculo de Excel en base a palabras claves (“query”). Además, la hoja de cálculo contiene para cada artículo el título, el identificador único del NCBI y el resumen, de tal manera que facilita al investigador organizar y clasificar los artículos de estudio.

Para ejecutar el código, se requiere una cuenta de usuario en el NCBI y obtener una llave personal (key), las instrucciones para obtener la llave personal se encuentran en el enlace (<https://ncbiinsights.ncbi.nlm.nih.gov/2017/11/02/new-api-keys-for-the-e-utilities/>).

Al ejecutar el código en el Google Colab (<https://colab.research.google.com/drive/1HoO7CaUN00qJYfc4TqVklLGZ9Q1HFglf>) se coloca el usuario personal de Google y API key en la sección que corresponde. Por otra parte, se detalla el procedimiento para ejecutar el algoritmo:

En la celda de códigos (1) se instalan las librerías necesarias para implementar el algoritmo. En la celda de códigos (2) se definen las funciones de las librerías requeridas para implementar el algoritmo. En la celda de códigos (3) se define la carpeta de trabajo, que tiene dentro de Google Drive. En la celda de códigos (4) coloca el usuario personal de Google.

En la celda de códigos (5) se coloca el API-Key personal del NCBI. En la celda de códigos (6) se definen las funciones Python que permitirá enlazar el algoritmo a la base de datos del NCBI. En la celda de códigos (7) se define la variable “my query” donde se escriben las palabras clave en inglés para la búsqueda de la bibliografía, para este estudio se utilizó tres grupos de palabras clave: radiación ionizante gamma en vegetales y efectos; *Chenopodium quinoa*, estructura, funciones vitales; microorganismos patógenos y radiosensibilidad.

En la celda de códigos (8) se tiene el código que utilizando las funciones de la celda (6) y las palabras clave de la celda (7) extrae la información del NCBI. El paso anterior extrae la información completa de cada artículo, la cual en la celda de códigos (9) es filtrado solo para el título, NCBI ID y el resumen. En la celda de códigos (10) se guarda la información extraída en el paso anterior a un archivo tipo Excel en una carpeta definida por el usuario dentro de Google Drive. El resultado del minado de datos (datos crudos) pasa a una siguiente fase donde se utilizan criterios de selección de las referencias.

Para seleccionar los artículos uno de los aspectos a considerar es el título, el cual, debe ser relevante y guardar relación directa con el tema de investigación, además del resumen y las palabras clave. Por otra parte, se debe analizar los resultados si son aplicables a los objetivos de estudio, de esta manera se logra un documento de Excel filtrado, denominado documentos procesados.

Por último, se elabora una matriz de análisis y síntesis de los artículos seleccionados en una hoja de Excel, organizada de la siguiente manera: año, autor, título, calificación, resumen, resultados, conclusiones, ideas claves e importantes (ver anexo 1).

2) Para complementar la información con estudios hechos en América Latina se recurrió a las plataformas digitales de instituciones privadas y públicas, revistas agropecuarias, repositorios y la base de datos de la biblioteca de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo como Knovel para la obtención de libros y capítulos.

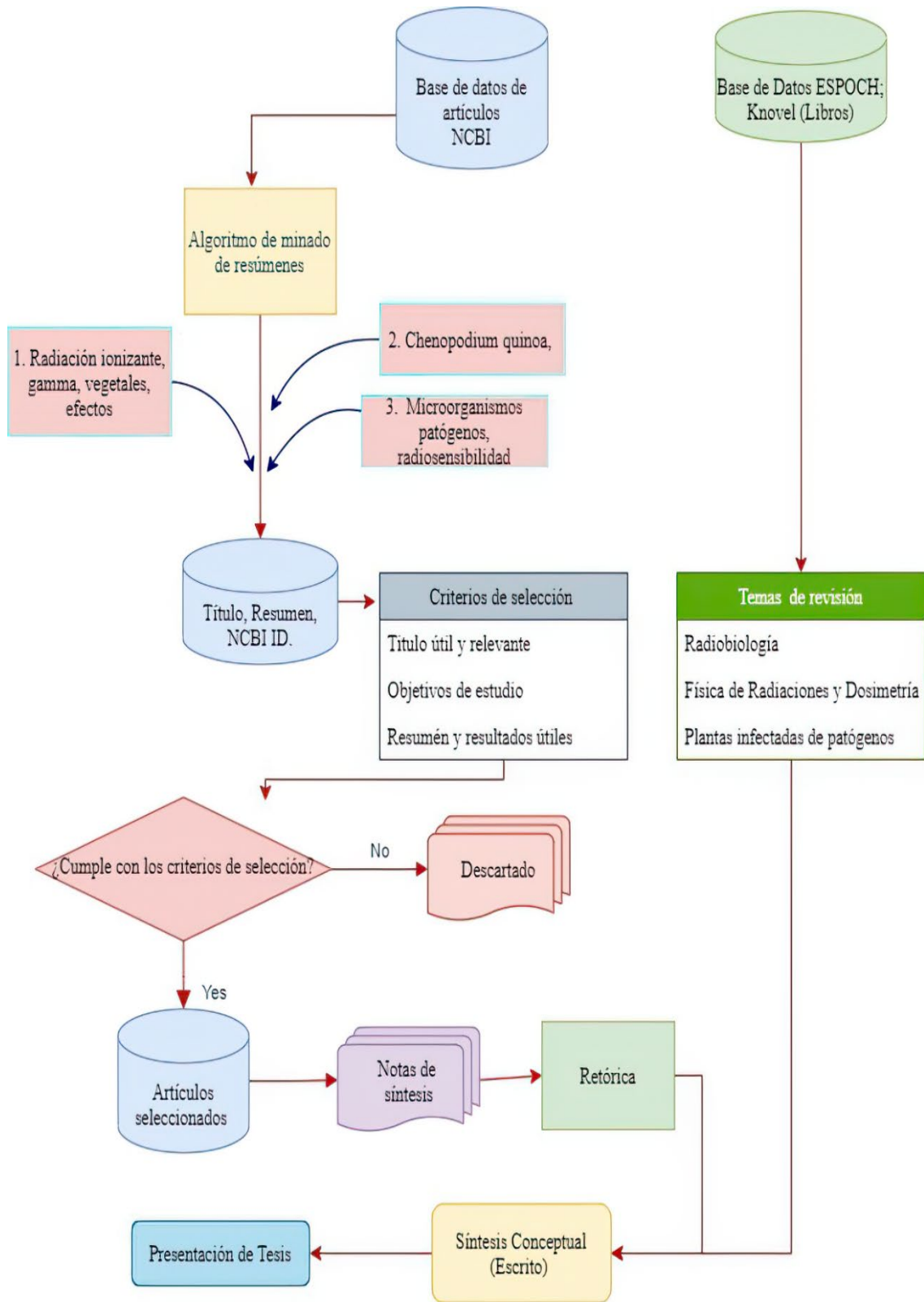


Figura 1-2. Diagrama de recopilación y procesamiento de información bibliográfica

Elaborado por: Balvoa, I. 2021.

2.2.1. No experimental

2.2.1.1. Identificación de variables

Debido a que es un trabajo de investigación de revisión bibliográfica no se identificaron las variables de estudio.

2.2.1.2. Operalización de los objetivos

Tabla 1-2: Operalización de los objetivos

| OBJETIVO GENERAL | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | CONCEPTO | INDICADOR | INSTRUMENTO |
|--|---|---|--|---|
| -Identificar el estado del arte de los efectos biológicos y el método de control de microorganismos patógenos con radiación ionizante gamma en <i>Chenopodium quinoa</i> . | -Seleccionar fuentes de literatura científica especializada | -La literatura científica es información confiable y de calidad que se encuentra en publicaciones académicas. | -Número de artículos que contienen información relevante, actualizada, precisa, contrastada y de calidad | -Interfaz de búsqueda de revistas especializadas, la base de datos del NCBI, y la base de datos de la biblioteca de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo |
| | - Identificar los avances del uso de la radiación ionizante gamma en la agricultura. | -La Radiación ionizante es un tipo de energía que ioniza o perturba la materia con la que interactúa. | -Aplicaciones de la radiación gamma en agricultura -Rango de energía | |
| | - Revisar los efectos biológicos de la radiación ionizante gamma en células vegetales reportados en publicaciones académicas. | -Los efectos biológicos de la radiación son alteraciones a nivel atómico, celular, molecular y tisular, en consecuencia, afecta al metabolismo vegetal. | -Cambios celulares -Cambios metabólicos. | |
| | -Identificar las variables a considerar | -Las variables son características | | |

| | | | | |
|--|---|--|--|--|
| | cuando se emplea radiación ionizante gamma en plantas in vivo. | que pueden adoptar diferentes valores y adquieren un valor cuando se relaciona con otras variables. | -Especie -Variedad -Estructura y composición química. -Etapa de crecimiento. | |
| | - Revisar los efectos adversos de RI en experimentos con plantas in vivo, reportados en publicaciones académicas. | -Los efectos adversos de la radiación gamma se produce cuando existe una alteración en la molécula del ADN. | -Nivel de efectos | |
| | -Relacionar el uso de la radiación ionizante gamma como método de control de microorganismos patógenos en <i>Chenopodium quinoa</i> . | -Método de control de patógenos es una técnica que inhibe o elimina microorganismos no deseados. | -Nivel de efectividad de letalidad a los microorganismos patógenos. - Resistencia de microorganismos patógenos de la quinua | |
| | -Interpretar las rutas metabólicas que se pueden mejorar o inhibir con la radiación gamma en <i>Chenopodium quinoa</i> . | -Es una sucesión de reacciones químicas, donde un sustrato inicial se transforma y da lugar a productos finales. | -Nivel de afectación de la RI en el metabolismo | |

Realizado por: Balvoa Caguana, Isabel, 2021.

2.2.1.3. Localización de estudio

El trabajo de titulación teórico se realizará en la ciudad de Riobamba, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Biofísica.

2.2.1.4. Población de estudio y/o tamaño de la muestra y/o método de muestreo

La población de estudio es el conjunto de artículos extraídos por “minado de datos” de la base de datos de PubMed (NCBI), los artículos obtenidos de las plataformas digitales de instituciones privadas y públicas, revistas agropecuarias, repositorios y los documentos académicos de la biblioteca de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El método de muestreo es en base a palabras claves y a los criterios de selección (ver figura 1-2). En la muestra final se tiene una matriz de análisis, con la totalidad de artículos, libros y capítulos.

2.2.1.5. Técnicas de recolección de datos

La técnica utilizada fue la adaptación de un algoritmo de minado de datos escrito en Python, obteniendo hojas de cálculo en Excel, utilizada para filtrar, ordenar y sintetizar los artículos científicos. Además, se obtuvo documentos académicos de manera directa de las plataformas digitales.

2.2.1.6. Análisis Estadístico

Se utiliza un análisis descriptivo para valorar los porcentajes de los artículos obtenidos por Google Colab en cada temática como la radiación ionizante gamma y efectos en los vegetales, las características de la quinua, y la radioresistencia de los microorganismos. Además de los encontrados en las plataformas virtuales como repositorios, revistas agronómicas específicas y los utilizados de la biblioteca virtual de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En esta revisión literaria se obtuvieron un total 80 artículos científicos. Mediante la implementación del algoritmo de minado de datos y la aplicación de los criterios de selección se obtuvo el 62% del total de los artículos, dentro de las subcategorías como en el eje de la radiación ionizante gamma en vegetales y plantas se obtuvo 63%, en el estudio de la quinua un 10%, y en lo que corresponde a la radiosensibilidad de los microorganismos patógenos un 21%. En cuanto a la literatura obtenida en las plataformas digitales, páginas institucionales y repositorios académicos, corresponde a un 26% y en el repositorio de la ESPOCH un 12%, la distribución de la obtención de la literatura científica se observa en la Gráfico 1-3.

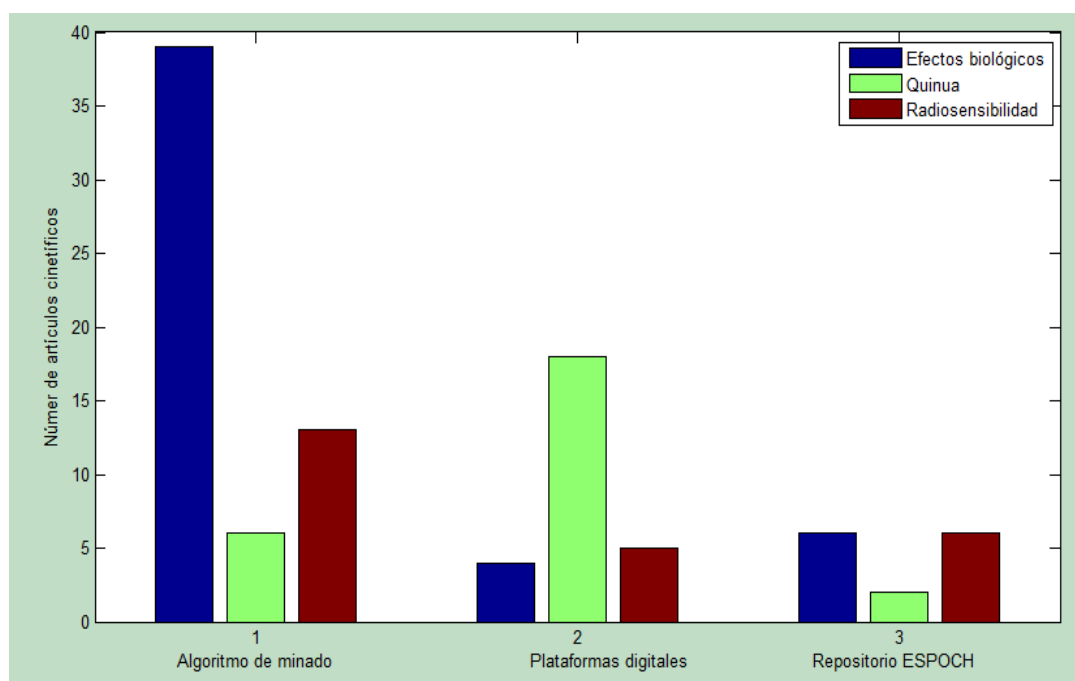


Gráfico 1-3. Distribución de la obtención de los artículos científicos mediante tres maneras: algoritmo de minado, plataformas online y en el repositorio de la ESPOCH.

Realizado por: Balvoa Caguana, Isabel, 2021.

3.1. Radiación Ionizante Gamma en la agricultura

Los rayos γ son ondas electromagnéticas (fotones), que tienen una longitud de onda pequeña menor a $1 \times 10^{-11} \text{m}$ y son altamente energéticas de aproximadamente 1.36 MeV (Yashar, 2018, p.587), se originan en el núcleo de los elementos pesados, por un proceso denominado transición nuclear cuando pasa de un nivel de energía a otro, semejante a lo que ocurre en los niveles de energía del átomo, como la fuente del Cobalto 60 (^{60}Co) que tiene una vida media de 5.27 años y se produce al bombardear Co^{59} natural estable con neutrones (Sandle, 2013, p.57), este se desintegra emitiendo una partícula beta con energía baja de 0,3 MeV y dos gama que emiten energías de 1.17 a 1.33 MeV siendo esta la energía útil para las aplicaciones (Zhang et al., 2018: p.608). La fuente de cobalto es utilizada en la investigación experimental en células vegetales, en exposiciones in vivo, en la tecnología de irradiación de alimentos y en radiología (Fan et al., 2014, pp.35-37 Amirikhah et al., 2019: p.7) Los rayos gamma interactúan con la materia mediante dos procesos significativos como el efecto Compton y el efecto fotoeléctrico ionizando átomos y moléculas (Obodovski, 2019, p.53), estos iones inestables forman radicales libres que pueden dar origen a nuevas moléculas, nuevos iones y compuestos químicos de tal manera que pueden ocasionar daño masivo en la molécula del ADN, inactivar enzimas y cambiar el metabolismo. Los efectos dependerá del alcance de irradiación y de la capacidad de las células irradiadas para reparar el daño (Kudo, 2011, p. 4).

En los últimos años el uso de la radiación ionizante gama en el campo de la agricultura ha incrementado exponencialmente a partir de los convenios establecidos en la comisión mixta entre la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). En ese sentido, la radiación ionizante se utiliza para determinar la eficacia de absorción de los abonos en las plantas, fijando a los abonos con los isotopos de fósforo y nitrógeno, también para optimizar la fijación biológica del nitrógeno y desarrollar variedades de cultivos con propiedades y características ventajosas (Kudo, 2011, p. 4).

Por otra parte, en las aplicaciones de irradiación gamma entorno a los agroalimentos y el control de microorganismos se utiliza a diferentes niveles de dosis de acuerdo con el objetivo de aplicación. La dosis está definida como la cantidad de energía absorbida por unidad de masa del material (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012, pp.5-13), descrita en la ecuación (1) su unidad de medida son Julios/kilogramo (J/kg) que es igual a un Gray (Gy). De acuerdo con el nivel de dosis se aplica rayos gamma para enfrentar algunos de los problemas en la agricultura como se muestra en la tabla 1-3.

$$dD = dE/dm \quad (1)$$

Donde D representa la dosis absorbida, dE diferencial de energía y dm diferencial de masa.

Tabla 1-3: Aplicaciones de radiación gamma a diferentes dosis.

| Nivel | Dosis absorbida | Aplicación |
|-------|-----------------|--|
| Bajo | 0.01-1 kGy | Evita la germinación y el retraso de la maduración. Induce variabilidad en semillas |
| Media | 1-10 kGy | Conserva productos agrícolas y reduce la carga de microorganismos como bacterias y hongos. |
| Alto | 10-50 kGy | Esteriliza y elimina virus. |

Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear, 2012.

Realizado por: Balvoa Caguana, Isabel, 2021.

Bajas dosis de radiación gamma evitan la germinación y brotes de raíces en las papas, ajos y cebollas, debido a que las células y los tejidos en ese proceso son radiosensibles de tal manera que inactiva las divisiones celulares, detiene la germinación y mantiene el producto en estado fresco. La dosis adecuada para la papa es de 0.06 a 0.15 kGy, para el ajo y la cebolla se requiere de 0.02 a 0.15 kGy (Kudo, 2011, p.222), con esta aplicación se reduce las pérdidas postcosechas.

Además, la radiación gamma permite la variabilidad genética intraespecífica para el mejoramiento de las plantas a través del efecto mutagénico cuando los rayos gamma interaccionan de manera directa con el ADN y provoca cambios en el genoma (Caplin y Willey, 2018, pp. 8-12) de tal manera que el organismo puede presentar nuevas características genotípicas y fenotípicas. La finalidad de esta aplicación es obtener organismos que tienen ventajas para evolucionar ante cambios ambientales y perpetuar las especies (Mokobia y Anomohanran, 2005: pp. 184-187). Asimismo, la evaluación de la radiación ionizante gamma en semillas busca determinar el nivel de dosis mínimo para producir efectos mutagénicos que mejore la calidad nutricional, mejore la adaptación a factores abióticos, disminuya el consumo del recurso hídrico, mejore la velocidad de germinación, aumente los pigmentos fotosintéticos y los efectos estimulantes en los rasgos agronómicos: la altura, la madurez precoz, la resistencia a las roturas de semillas, rendimiento, crecimiento y desarrollo de las plantas (Yasmin et al., 2020; Horn et al., 2016). En la tabla 2-3 muestra los efectos ventajosos de la irradiación en

semillas previa a la siembra. La planta Perenne presento un incremento en el contenido de pigmentos fotosintéticos, además la simbiosis con el hongo endófito *Epichloë*, se vio afectada disminuyendo la carga del microorganismo y el efecto mutagénico en la planta afecto al crecimiento y al desarrollo con una dosis de 50 Gy. La eliminación del hongo y la protección del material genético son una de las cualidades útiles a desarrollar en las variedades genéticas de las plantas que presentan resistencia a microorganismos patógenos. El mejoramiento en el grano andino como el amaranto y otros como la cebada y el trigo evidenciaron cambios en la morfología vegetal para una mayor producción de semillas y un incremento en el contenido de la clorofila. En el caso de la arveja (*Lactuca sativa*) los parámetros de crecimiento fueron efectivos por el incremento del contenido de clorofila en un 28% con una dosis de 30 Gy. Por otra parte, reportaron que semillas irradiadas de cebada tiene resistencia al hongo roya amarilla. Asimismo, la variedad desarrollada de trigo mostro resistencia al hongo roya negra (*Puccinia graminis*), enfermedad que causa pérdidas entre el 40% al 100% a nivel mundial en los cultivos (Li y Wang, 2009; Jiang et al., 2020).

Tabla 2-3: Efectos de la radiación gamma en semillas

| Dosis Absorbida (Gy) | Semillas | Efectos | Referencia |
|----------------------|--|--|-------------------------------|
| 50 | Planta Perenne | -Incremento de los pigmentos fotosintéticos | (Amirikhah et al., 2019: p.3) |
| 150 | <i>Lathyrus chrysanthus</i> Boiss (Flores) | -Aumento del porcentaje de germinación en un 62,4% | (Beyaz et al. 2016) |
| 30 | <i>Lactuca sativa</i> (Arveja) | - Aumento del porcentaje de germinación en un 25% - Aumento de índice de germinación en un 75% - Incremento del contenido de clorofila en un 28% | (Marcu et al., 2013: p.222) |
| 400 | <i>Amaranthus caudatus</i> (Amaranto) | -Mayor producción de semillas | (Gómez et al., 2009: p.329) |
| 300 | <i>Hordeum vulgare</i> (Cebada) | - Incremento de la clorofila en un 91% -Madurez Alterada -Mayor producción de semillas | (Gómez et al., 2009: p.333) |
| 250 | <i>Triticum aestivum</i> L. (Trigo) | -Alto rendimiento -Altura más corta | (Kim et al., 2019a: p.4) |

Realizado por: Balvoa Caguana, Isabel, 2021.

Los efectos mutagénicos tienen dependencia con la dosis aplicada y las condiciones fisiológicas de las semillas de cada especie vegetal. Las semillas muestran radioresistencia en comparación con organismos vegetativos en desarrollo. En general, la dosis utilizada para la estimulación de semillas previa a la siembra oscila en un rango de 0.01 a 1 kGy. Asimismo, las semillas irradiadas tienen a los microorganismos patógeno-perjudiciales.

Por otra parte, el punto de partida para realizar mejoramiento genético efectivo es determinar la dosis óptima a través de curvas de radiosensibilidad en diferentes variables: porcentaje de germinación, sobrevivencia, tamaño de hojas, resistencia a factores bióticos y abióticos, altura de la planta, entre otras. Para ello se requiere calcular la dosis letal media y se determina por regresión lineal de las gráficas dosis contra variable de evaluación (ver gráfica 1-3). Cuando la variable de evaluación se reduce en un 50 % existe mayor frecuencia de mutaciones útiles (Morela et al., 2002; citados en Corrales et al., 2019). Además, con dosis inferiores al 50% de la curva, tienen bajo impacto en el genoma. Corrales et al. (2017: pp.6-7) estimaron la dosis óptima en 304 Gy, para inducir nuevas características en la especie invasora *Milinis repens* (pasto rosado). Por otra parte, obtuvieron una dosis letal media de 56,60 Gy para *Eriochloa polystachya Kunth* (pasto jainero). En este caso obtuvieron mejores resultados con una dosis de 25 Gy, debido a que el rendimiento fue ligeramente mayor que el control, con una diferencia de 0.03. En cuanto a la longitud de la planta la diferencia fue de 1.85 cm mayor que las semillas no irradiadas (Gómez et al., 2020: p. 6). La dosis letal media varía de acuerdo con cada especie y la variable objetivo de evaluación.

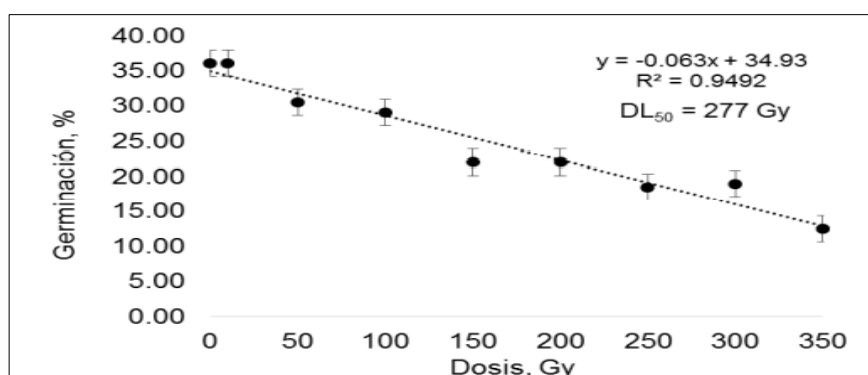


Gráfico 2-3. Curva de radiosensibilidad del pasto rosado *Milinis repens*

Fuente: Corrales et al., 2019.

A dosis media generalmente se emplea como técnica fitosanitaria, siendo una de las aplicaciones más importantes de la radiación ionizante gama debido a que conserva y prolonga el tiempo de

almacenamiento de los agroalimentos y mejora la calidad higiénica, reduciendo la población de microorganismos patógenos. Así como la *Salmonella* que produce tifoidea, asimismo la *Escherichia coli*, el *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* son causantes de las infecciones gastrointestinales (Vargas et al., 2015: p.123). Esta técnica previene las enfermedades transmitidas por alimentos debido a que la irradiación provoca daños en el ADN, de tal manera que alteran e inactivan el metabolismo de los patógenos (Jakubiec et al., 2015: pp.20-22) y esta técnica física no es térmica y no deja residuos tóxicos como los métodos tradicionales, por lo tanto ha resultado ser efectiva para controlar la proliferación de microorganismo patógenos.

En varias investigaciones descritas en la tabla 3-3, han inoculado microorganismos patógenos en varios productos agrícolas y han aplicado diferentes dosis para disminuir la carga microbiana en el producto con la finalidad de garantizar seguridad microbiana, como se detalla a continuación:

Tabla 3-3: Radiación gamma como técnica fitosanitaria en productos agrícolas.

| IRRADIACIÓN DE MICROORGANISMOS EN PRODUCTOS AGRÍCOLAS | | | | | | | |
|---|-----------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|
| Bacterias y Hongo | Dosis kGy | Carga microbiana Inicial (Log CFU/g) | Carga microbiana Final (Log CFU/g) | Temperatura °C | Producto | Tipo de experimento | Referencia |
| <i>Escherichia coli</i> | 2 | 7.31 | 3.04 | 10°,20° | Pepino | In vitro | (Young et al., 2006: p.652) |
| | 3 | 7.31 | DL | ,30° | | | |
| | 2 | 7.37 | 3.24, 3.51 | 10°,20° | Espinaca condimentada | In vitro | (Gomes et al., 2009: p.241) |
| | 3 | 7.37 | DL | ,30° | | | |
| | 1 | 7.0 | 3.0 | 15° | Hojas de Lechuga | In vitro | (Song et al., 2019: p.98) |
| | 5 | - | DL | 20°.30° | Nueces | In vivo | |
| <i>Salmonella Typhimurium</i> | 2 | 7.38 | 3.03 | 10°, 20°, 30° | Pepino | In vitro | (Young et al., 2006: p.652) |
| | 3 | 7.38 | DL | | | | |
| | 2 | 7.30 | DL | 10°, 20°, 30° | Espinaca condimentada | In vitro | (Young et al., 2006: p. 652) |
| 3 | 7.30 | DL | | | | | |
| | 5 | - | DL | 20°-30° | Nueces | In vivo | (Song et al., 2019: p.99) |
| <i>Listeria</i> | 5 | - | DL | 20°- | Nueces | In vivo | (Song et al., |

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|------|------|----------|-----------------------|----------|-----------------------------|
| <i>monocytogenes</i> | | | | 25° | | | 2019: p.99) |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 2 | 7.51 | 3.38 | 10°, | Pepino | In vitro | (Young et al., 2006: p.653) |
| | 3 | 7.38 | DL | 20°, 30° | | | |
| | 2 | 7.30 | 315 | 10°, | Espinaca condimentada | In vitro | |
| | 3 | 7.30 | DL | 20°, 30° | | | |
| <i>Listeria ivanovii</i> | 2 | 7.25 | DL | 10°, | Pepino | In vitro | |
| | 3 | 7.25 | DL | 20°, 30° | | | |
| | 2 | 7.30 | 31.0 | 10°, | Espinaca condimentada | In vitro | |
| | 3 | 7.30 | DL | 20°, 30° | | | |
| <i>Bacillus cereus</i> | 1.5 | 6.20 | DL | 20°-30° | Grano de Arroz | In vivo | (Shankar et al., 2020: p.5) |
| <i>Paenibacillus amylolyticus</i> | 1.5 | 5.0 | DL | 20°-30° | Grano de Arroz | In vivo | |
| <i>Aspergillus niger</i> | 2,4 | 4.5 | DL | 20°-30° | Granos de arroz | In vivo | (Shankar et al., 2020: p.4) |

Realizado por: Balvoa Caguana, Isabel, 2021.

La inactivación de la bacteria *E. coli* en algunos productos se describe a continuación; en pepino irradiaron una dosis de 2 kGy reduciendo 4.27 Log CFU/g, la misma proporción de reducción ocurrió a distintos niveles de temperatura (10°, 20°, 30°) sin embargo a una dosis de 3 kGy se redujo la carga bacteriana por debajo del límite de detección (DL) 2 Log CFU/g o 100 CFU/g, también la irradiación para la espinaca condimentada con una dosis de 2 kGy reduce 4.13 Log CFU/g en una temperatura de 10 ° y 20°, sin embargo a una temperatura de 30° bajo la misma dosis reduce 3.38 Log CFU/g y una dosis de 3 kGy es capaz de reducir por debajo de los límites detectables. En 20 gramos de hojas de lechugas verde y morada con una irradiación de 1 kGy redujeron la carga bacteriana de 7 a 3 Log CFU/g, esta dosis no fue suficiente para inactivar al patógeno, pero se redujo significativamente (ver anexo 1). En el caso de la irradiación de nueces a temperatura ambiente con una dosis de 5 kGy lograron resultados por debajo del límite de detección

como indica la Tabla 3-3. Además la bacteria *Escherichia coli O157H7* es una de las cepas más estudiada debido a que es el segundo agente causal de infección en productos frescos y puede causar intoxicación alimentaria principalmente en adultos y niños (Gomes et al., 2009: p.238). Para inactivar *S. Typhimurium* en pepino y espinaca condimentada por debajo de límite de detección se requiere de una dosis de 3 kGy mientras que en el caso de las nueces se requiere de 5 kGy por la naturaleza del producto. También para disminuir la carga bacteriana a 100 CFU/g de *S. aureus* y *L. ivanovii*, en los productos de pepino y espinaca condimentada se requiere de una dosis de 3 kGy. En los granos de arroz para disminuir a carga bacteriana de *Bacillus cereus* y *Paenibacillus amylolyticus* de 6.20 a 2 Log CFU/g y 5.0 a 2 Log CFU/g respectivamente, se requiere de una dosis de 1.5 kGy y para inactivar el hongo *Aspergillus niger* de 4.5 log UFC/g al límite de detención se irradia con 2,4 kGy.

En general la aplicación de dosis media de 1 a 5 kGy disminuye los microorganismos que contaminan los alimentos, en este nivel de dosis los efectos no son significativo en las cualidades sensoriales. Por otra parte Heredia et al. (2012: p.808), en sus estudios realizados en cutículas de tomate revelan que la radiación ionizante a bajas dosis no ocasiona modificaciones químicas significativas, sin embargo, observaron una disminución en la capa protectora, cerosa epicular a dosis altas. El alcance de estas modificaciones es lo suficientemente pequeño, por ello proponen el uso de irradiación a dosis bajas como un tratamiento eficaz para la conservación de la fruta. Además la RI gamma combinada con otras técnicas de control de bacterias y hongos, como los aceites esenciales, resulta ser más eficiente, debido a la disminución de la dosis y la cantidad de productos químicos de control (Shankar et al., 2020: p.5). Además estudios realizados por Fan y Sokorai (2008: pp.369-372), en las verduras recién cortadas como: lechuga, perejil, cebolla, brócoli, espinaca, apio, tomate y zanahoria toleran una dosis de 1 kGy sin afectar la apariencia, textura, aroma, con leves diferencias en la concentración de Vitamina comparando con las de control 0 kGy, por ejemplo para las zanahorias una reducción de 92.6 a 88.6 µg/g, para el brócoli de 925.9 a 902.3 µg/g y en el caso de la espinaca 264.8 a 197.8 µg/g, la tendencia de reducción se mantiene para las demás verduras , dando resultados efectivos para la conservación de productos comerciables que requieran de gran tiempo de almacenamiento. En el caso del grano de la quinua en la etapa de almacenamiento disminuye su valor nutricional por los microorganismos patógenos como bacterias y mohos.

Tabla 4-3: Radiación gamma como método para inactivar virus.

| INACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------------|----------------|------------------|---------------------|-------------------------------|
| Virus | Dosis (kGy) | Carga viral Inicial (Log10) | Carga viral Final (Log10) | Temperatura °C | Producto | Tipo de experimento | Referencia |
| Virus del Mosaico del tabaco | 40 | - | DL | - | Hojas | In vivo | (Jeong y Choi, 2017, p. 2024) |
| Norovirus | 20 | 2.43 | 1.19 | 37 | Células de Fresa | In vitro | (Molina et al., 2020: pp.3-5) |

Realizado por: Balvoa Caguana, Isabel, 2021.

Dosis altas de radiación gamma inactiva patógenos virales que causan enfermedades mortales en las plantas ocasionando grandes pérdidas económicas en la agricultura, como el virus del mosaico del tabaco. En condiciones in vitro, un tratamiento de 40 kGy en las hojas inoculadas no mostraron ningún síntoma adverso y se redujo la carga viral a niveles no detectables consecuente de la degradación de la proteína de la cubierta viral. Por otra parte resulto útil para la inactivación del Norovirus (ver tabla 4-3), causante de enfermedades gastrointestinales, ya que disminuyeron la carga viral en un 93,6% con una dosis de 20 kGy, en este nivel la célula de fresa experimentó una leve separación de la pared celular y la membrana citoplasmática (Molina et al., 2020: pp.3-5).

Por otra parte, se intenta industrializar la técnica de la irradiación gamma en cajas de fresas empaquetadas, empleando dosis de 0.1 kGy para inactivar el desarrollo y la reproducción de los insectos adultos como *Bemisia tabaco* y *Trialeurodes vaporariorum*. Además, demostraron que la eclosión de los huevos de las dos especies se inhibió. Las moscas blancas emergentes de la ninfa son las más resistentes ya que se reducen con una dosis de 0.2 kGy (Cho et al., 2019: pp.3-5).

La aplicación industrial en la conservación de los agroalimentos para las exportaciones representa ventajas, ya que disminuye el consumo de productos conservantes químicos y tóxicos como el bromuro de metilo que afectan a la salud de las personas y ocasiona un impacto negativo en el ambiente, otro ejemplo es el gas bromo metilo (BrM) que es uno de los contaminantes para la capa de ozono (Vargas et al., 2015: p.124).

3.2. El potencial uso de la radiación ionizante en la quinua

La quinua pertenece a la especie *Chenopodium quinua*, familia Amaranaceae, posee características de una planta halófila y está dentro de los cultivos naturalmente resistentes al estrés (Zhang et al., 2018: p.991).

Este grano andino tiene cualidades nutricionales completas debido a que es el único vegetal que contiene todos los aminoácidos esenciales, proteínas, vitaminas, minerales, fibra, ácidos grasos (Jacobsen, 2003; Abdelaleem y Elbassiony, 2020; Fuentes et al., 2019). Este grano está libre de gluten por lo tanto resulta útil para las personas que padecen de la enfermedad celíaca (Jarvis et al., 2017: p.307). Por otra parte, es ampliamente utilizada en la medicina ancestral como antiinflamatorio, analgésico y desinfectante, además el polvillo que se genera luego de la desaponificación se utiliza como balanceado para los animales. Estas cualidades le hacen un cultivo de gran interés económico y de alta demanda mundial para la seguridad alimentaria (Mujica y Jacobsen, 2006: p.450).

La variedad genética de la quinua permite adaptarse a diversos ambientes agroecológicos y la variabilidad fenotípica se expresa en el tamaño, forma y colores, longitud de tallo, color de panoja, rendimiento por la forma de inflorescencia, ciclos productivos (Rojas et al., 2016: p.115). Algunas de las variedades responden con eficiencia ante condiciones de estrés abiótico como sequía, salinidad, heladas, radiación solar y estrés biótico causado por plagas y enfermedades (Ortiz, 1998; citado en Julio et al., 2012).

La quinua ha sido utilizada como parte de la dieta de los astronautas de la Agencia Espacial Europea que orbitan en la Estación Espacial Internacional. En este sentido los productos andinos como la quinua ofrecen un amplio campo de investigación para introducir estos cultivos a la exploración espacial de larga duración en condiciones de microgravedad y una intensa exposición a la radiación ionizante (Zabel et al., 2016: p.5). Las nuevas tecnologías en la agricultura permite proponer este tipo de cultivos en condiciones de estrés, en especial el cultivo hidropónico que produce buena semilla y con mayor velocidad de crecimiento (FAO, 2015, p.1).

Por otra parte, las variedades ecuatorianas tienden a producir granos blancos lo que indica bajo contenido de saponina (Delgado et al., 2019: p.14). Asimismo, tienen gran capacidad de rendimiento y tienen características morfológicas similares, dificultando el mejoramiento genético por selección (Lynch et al., 2016; Abdelaleem y Elbassiony, 2020). La variedad “INIAP Tunkahuan” fue colectada de la provincia de Carchi de Ecuador, tiene bajo contenido de saponina (0.06%), una altura de 0.9 a 1.8 m, semiprecoz, resistente a la radiación UV y se adapta hasta los 3200 m.s.n.m. Otra variedad importante es la introducida de Bolivia “INIAP pata de venado” que tiene un 0.01% menor de contenido de saponina y se adapta a zonas altas y frías de 3.000 a 3600 m.s.n.m por el

tamaño relativamente pequeño (< 1m) frente otras variedades. Estas variedades mejoradas por medio de selección han sido de gran utilidad para el aumento de producción sin embargo, por este método no han encontrado variedades resistentes a enfermedades foliares ocasionadas por hongos (Peralta y Mazón, 2013: pp.6-8). En el banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) tuvieron alrededor de 271 entradas nacionales (Gandarrillas et al., 1989: p.5). En el periodo 2014-2015 se encontraron un total de 275 accesiones (Delgado et al., 2019: p.1) mientras que a nivel mundial se encuentran 16.422 accesiones, de gran interés para el mejoramiento genético (Allende, 2017, p.24). Por ello Jarvis et al. (2017: p.309) secuenció y obtuvo el tamaño del genoma de 1482 MB insumo necesario para investigaciones insilico, programas de experimentación en mejoramiento de productividad y la resistencia a eventos naturales extremos.

3.3. Enfermedades de la quinua causadas por microorganismos patógenos

La quinua es invadida por microorganismos patógenos como los hongos, bacterias, nematodos y virus en sus diferentes etapas fenológicas. La infección por estos patógenos afecta al follaje, tallos y florescencia (panoja) que provocan caída de hojas y afecta directamente al rendimiento de tal manera que se produce grandes pérdidas económicas (Zurita y Quiroz, 2019: p. 98).

Los hongos son causantes de las enfermedades severas a nivel mundial y en todas las variedades de la quinua, debido a que se adaptan a las diferentes condiciones ambientales, es decir altas y bajas temperaturas, zonas secas y húmedas. La afectación en gran medida se presenta en las hojas, afecta directamente al proceso de fotosíntesis, a los procesos fisiológicos e inhibe el crecimiento y el desarrollo de la planta (Villarreal y Andrade, 2011 ; Gómez y Aguilar, 2016). Por otra parte el Mildiu es una enfermedad foliar causada por el hongo *Peronospora variabilis* *G ã um*, llega a reducir el rendimiento del cultivo en las variedades más resistentes entre 33 a 58% (Zurita et al., 2014; citados en Leon, 2016) y en las variedades más susceptibles en un 99% (Kumar et al., 2014: pp 12-15). Dentro de los síntomas presentan manchas irregulares puntuales de color amarillo en las hojas, incrementando su coloración en función de la capacidad de infección del patógeno. El control químico es solo preventivo y resulta demasiado costoso. Existen otros hongos como la punta negra (*Phoma exigua*), mancha ojival del tallo (*Phoma cava*) y mancha irrúmpete del tallo (*Micropoema sp*) (Bonifacio et al., 2015: p.34) que son igual de perjudiciales para el correcto desarrollo de la quinua.

Por otra parte, la incidencia de las bacterias sobre los cultivos de quinua se da con poca frecuencia, sin embargo, en el Perú han reportado que el tizón bacteriano afecta al periodo de maduración del grano lo que implica nuevas estrategias de control bacteriano. La propagación de esta bacteria se da

cuando la planta sufre daños físicos por viento, granizado, lluvia y humedad. Asimismo, el cultivo de la quinua es susceptible a los ataques de nemátodos en sus raíces (Aguilar et al., 2020: p.557). Es así como la quinua está expuesta a microorganismos patógenos en las diferentes etapas fenológicas, por hongos en mayor porcentaje y en menor medida las bacterias y los nematodos.

3.4. Principales factores que afectan la radiosensibilidad de los organismos

El daño biológico que provoca la radiación ionizante depende de la dosis y está relacionada con cantidad de ionizaciones producidas en un determinado volumen, también se considera la energía impartida por trayectoria (dE/dL), denominada Transferencia de Energía Lineal por sus siglas en inglés (LET) que varía de acuerdo, con el tipo de radiación ionizante (Corpuscular o electromagnética). La radiación gamma es un tipo de energía electromagnética y el alcance es mayor que el de las partículas cargadas, por ende, tiene un bajo LET. Los rayos gamma de Co^{60} tiene una LET de 0,3 (Bushong, 2011, p.514).

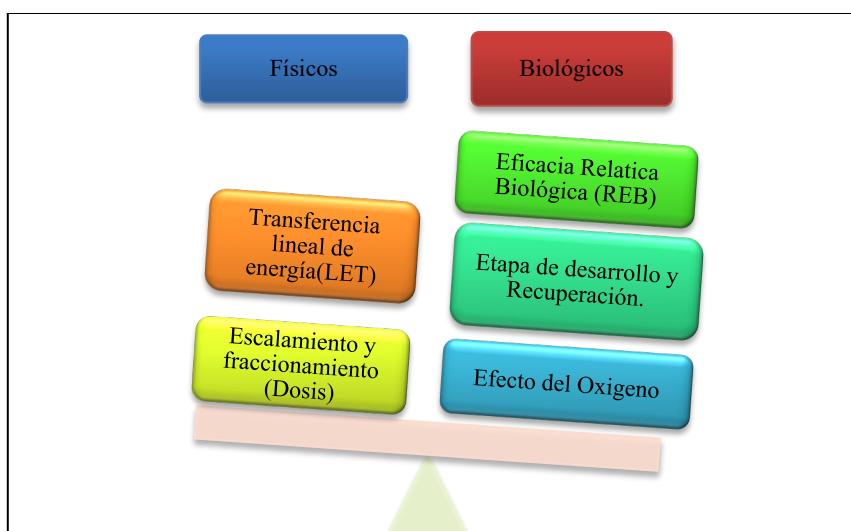


Figura 1-3. Factores que afectan a la radiosensibilidad

Fuente: (Bushong, 2011, pp. 554-556).

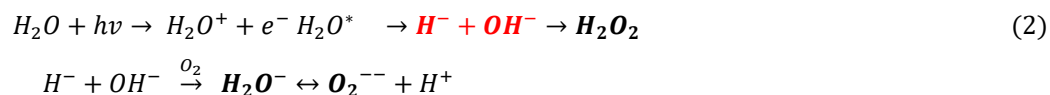
Otro factor influyente es la tasa de dosis, ya que para minimizar los efectos se suministra dosis bajas en tiempos prolongados. Por otra parte, la eficacia para producir una respuesta biológica, se conoce como eficacia biológica relativa (RBE), es decir que depende del tipo de tejido del blanco, involucrando directamente las características de la planta como; especie, cultivo, etapa de desarrollo, morfología, fisiología, arquitectura de los tejidos y la organización del genoma (De Micco

et al., 2011: p.2). Los factores de la Fig. 1-3 son los que determinan los efectos mutagénicos beneficiosos o perjudiciales (Bushong, 2011, p.514).

3.5. Efectos biológicos de la radiación gamma

Las plantas han desarrollado mecanismos para protegerse del estrés ambiental ya que no pueden escapar de ella, han evolucionado de tal manera que pueden soportar altas dosis de radiación efectuando pequeños ajustes bioquímicos y fisiológicos (Kim et al., 2012: p.11232), por ello, son más resistentes a la radiación ionizante que cualquier otro organismo vivo, la mayoría de las plantas toleran dosis de 50 Gy mientras que para el ser humano la dosis letal es de 5 Gy, además existen plantas más resistentes que toleran hasta 1000 Gy (Kim et al., 2019: p.14). Por otra parte, la radiación ionizante gamma induce estrés e influye en la genética de toda la planta para generar variedades genéticas que potencialmente puedan mejorar el cultivo de la quinua y expandir la producción a nivel global (Naito et al., 2005: p.886).

Los rayos gamma interactúan con los átomos y moléculas de las células, especialmente con el agua y produce radicales libres que alteran los componentes celulares vegetales. En las células vegetales se encuentra aproximadamente el 80% de moléculas de agua en el citoplasma (Kovács y Keresztes 2002, p.200), en este sentido el efecto de la radiación en esta molécula provoca radiolisis disociando los componentes químicos como indica la ecuación (2), dando origen a sustancias altamente oxidativas y reacciones en cadena, conocidos como sustancias reactivas de oxígeno (ROS) que incluyen productos primarios como el radical hidroxilo (OH^\cdot), productos secundarios como el superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (Hong et al., 2014; Kim et al., 2015; Gudkov et al., 2019; Caplin y Willey, 2018; Ludovici et al., 2020; Kovács y Keresztes, 2002).



Por otra parte, las plantas generan sustancias ROS en estado iónico como el radical hidroxilo (OH^\cdot) y anión superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$), mientras que en el estado molecular incluye el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el oxígeno en estado excitado ($^1\text{O}_2$). Estos compuestos en niveles bajos son utilizados para el normal funcionamiento y desarrollo de la planta. Asimismo, son fuentes para mejorar los mecanismos de respuesta en condiciones de estrés y en particular en la defensa de patógenos. Por lo tanto, las sustancias ROS son utilizadas como mensajeros para el mantenimiento de las células madre, la división y la proliferación celular (Huang et al., 2019; Benezet et al., 2008; Carvajal, 2019). Además

las sustancias ROS inducen respuestas para contrarrestar el ataque al microorganismo patógeno como la muerte celular, el efecto directo al patógeno, el incremento de los polímeros de la pared celular y la activación de genes que responden al patógeno (Benezet et al., 2008: p.57).

La correlación entre la acumulación de sustancias ROS y el establecimiento de defensas sugiere que las ROS tienen una función tóxica para el patógeno y activan genes en las células donde se producen los mecanismos de defensa como la estimulación de la producción de la fitoalexinas que son compuestos antimicrobianos de hongos y bacterias. Por otro lado, las plantas más resistentes a cualquier patógeno tiene altas concentraciones de fitoalexinas que una planta susceptible (Jeandet et al., 2013: p.14139).

Sin embargo, el desequilibrio entre la acumulación y la eliminación de las sustancias ROS, pueden modificar y oxidar componentes moleculares, causar daños en las moléculas del ADN, provocar cambios en las rutas metabólicas lo que implica desequilibrio hormonal, afectación en el intercambio de gases en las hojas y en la actividad enzimática de la fisiología vegetal (Kim et al., 2012: p. 11233). En definitiva, los niveles aumentados de ROS deben ser detectados y eliminados por sistemas de defensas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos para la regulación de las funciones originales de la planta (Huang et al., 2019; Benezet et al., 2008).

3.5.1. Efectos genéticos

La radiación ionizante gamma puede inducir cambios estructurales y funcionales en la molécula del ADN. Las variaciones fenotípicas a nivel macroscópico se deben por los daños causados en esta molécula y las alteraciones de la expresión genética pueden ser de tres maneras; (1) Intragenico o mutación genética puntual, que afecta solo a un gen por cambio o sustitución de una base. (2) Intergenético o mutación cromosómica estructural que afecta a varios genes y la modificación puede ser de diferentes maneras como la duplicación, la delección, la inversión y la traslocación. (3) En el último nivel cambios en el número de cromosomas o mutación genómica.

Uno de los causantes de las alteraciones en el ADN son las especies reactivas de oxígeno (ROS), que son compuestos resultantes de la radiólisis del agua y la fotólisis que son las reacciones de la luz en la fotosíntesis. El daño en la molécula de ADN puede ser inducida de manera indirecta por las sustancias ROS que provocan estrés oxidativo del 70% al 80% y la acumulación puede incidir en la estructura de la cromatina. También, la afectación puede ser de forma directa donde el fotón interactúa en la doble hebra de ADN que provoca roturas y daño masivo y por lo general ocurre del 20% al 30% como se muestra en la Fig. 3-2. Las investigaciones realizadas en células vegetales confirman que la afectación letal por irradiación a dosis altas es la fragmentación de la doble hebra

de ADN (Caplin y Willey, 2018; Jung et al., 2019; Sidler et al., 2015) lo que implica una afectación directa al metabolismo de la planta.

Los efectos genéticos de la quinua inducido por la radiación gama no han sido reportadas en la literatura, sin embargo se hace una descripción a nivel de células vegetales como en *Arabidopsis* que es una especie emparentada con la quinua por pertenecer a la división Magnoliophyta que hace referencia a las plantas con flores, además pertenecen a la clase Magnoliops que tiene la característica de ser dicotiledónea (Cardozo et al., 2006: p.36).

En *Arabidopsis* el daño causado por RI induce la activación del gen ATM que identifica los daños en la doble hebra y produce enzimas de reparación, además que detiene el ciclo celular y provoca apoptosis, de tal manera que luego de la irradiación mantiene la información genética. La respuesta del organismo vegetal frente a la radiación crónica presenta síntomas semejantes a la senescencia foliar que es el oscurecimiento en las hojas como resultado del daño en el aparato fotosintético. La respuesta ante el estrés inducido activa el gen SAG2 que provoca el aumento de la actividad antioxidante debido a la acumulación de las sustancias ROS y ejecuta cambios en la estructura de la cromatina y cambios en los genes de expresión (Naito et al., 2005; Sidler et al., 2015). Del mismo modo, en las muestras de las hojas de *Arabidopsis* la expresión del gen SAG2 aumento gradualmente desde el día 10 hasta el día 45 (Sidler et al., 2015: p.219). Por otra parte la metilación del ADN regula la expresión genética y los genes que pueden controlar la respuesta celular a la radiación (Alghamian et al., 2017: p.331).

Uno de los mecanismos que implementan las células vegetales para contrarrestar los efectos oxidativos de las especies reactivas de oxígeno (ROS) es aumentar la actividad de los sistemas antioxidantes enzimáticos como: peroxidasa (POD), catalasa (CAT), Ascorbato peroxidasa (APX), super peróxido dismutasa (SOD) y el glutatión reductasa (GR) y moléculas pequeñas de antioxidantes no enzimáticas como el ácido ascórbico (AsA) y el glutatión reducido (GSH) de tal manera que neutraliza los radicales libres (Caplin y Willey, 2018; Kim, Jo, et al., 2019; Fan et al, 2014; Ludovici et al., 2020; Manova y Gruszka, 2015).

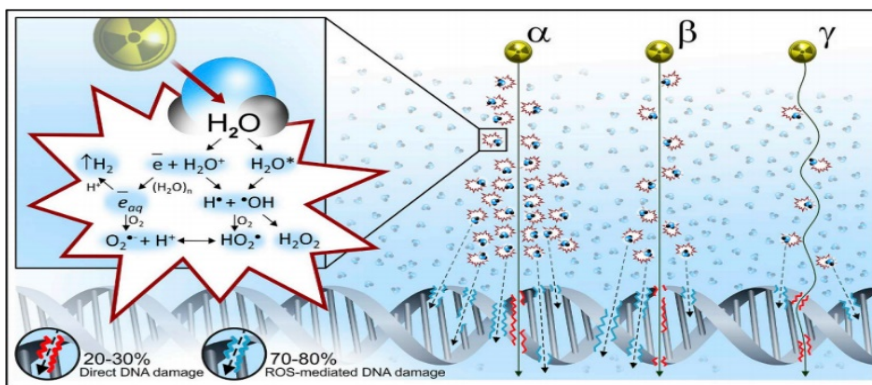


Figura 2-3. Representación sistemática de la radiólisis del agua y la trayectoria de acuerdo con el tipo de RI.

Fuente: Gudkov et al. (2019: p.10).

Además, el cambio en la configuración estructural de los cromosomas produce muerte celular debido a que afecta al proceso de mitosis que ocurre tanto en la célula animal como en la célula vegetal. Este efecto causaría daño letal para la célula animal. En el caso de las células vegetales, las plantas poliploides que tienen varios juegos de cromosomas pueden ocultar las mutaciones por la presencia de las múltiples copias que examinan el gen. Experimentos realizados en el trigo (*Triticum aestivum*) y la cebada (*Hordeum vulgare*) contra mutaciones inducidas, evidenciaron que la poliploidía confiere una estabilidad fenotípica (De Micco et al., 2011; Cao et al., 2009; Kodym y Afza, 2003).

Otro efecto inducido a nivel genético son las aberraciones cromosómicas que ocurren en eventos postirradiación y depende de las roturas de la doble cadena de ADN y la capacidad de reparación del organismo (Ryu et al., 2018: p.95).

En la tabla 5-3 se describe los efectos genéticos en diferentes etapas fenológicas y en diferentes cultivos. En semillas y plántulas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) y la mala hierba (*Arabidopsis thaliana*) usando transgénicos, demostraron que el mecanismo de reparación del ADN es por recombinación homogénea logrando restaurar la función genética. Después de la exposición a la radiación gamma aguda o crónica, observaron restauración de la mala hierba (*Arabidopsis thaliana*), y el evento fue más evidente en las plántulas debido a un metabolismo activo. Los investigadores reportan que ante una irradiación crónica con dosis superiores a 0.5 kGy, las muestras tienen mayor inestabilidad genómica, mientras que las muestras expuestas con irradiación aguda con dosis menores a 0.5 kGy no alteran la estructura genómica. El nivel de efecto tiene dependencia con la tasa de dosis absorbida.

Tabla 5-3: Efectos genéticos de la radiación ionizante gamma en diferentes sistemas vegetales.

| ESPECIE | SISTEMA VEGETAL | EFEECTO | REFERENCIA |
|--|----------------------|--|-----------------------------------|
| Mala hierba (<i>A. Thaliana</i>) Tabaco (<i>N. Tabacum</i>) | Semillas y plántulas | Recombinación homologa | (Kovalchuk et al, 2000: p.4432) |
| Tabaco Tex-Mex (<i>N. plumbaginifolia</i>) | Protoplastos | Supervivencia de la célula | (Derks y Hall, 1992, p.2257) |
| Tabaco (<i>N. Tabacum</i>) | Protoplastos | Supervivencia de la célula | (Hell, 1983, p.140) |
| Tabaco (<i>N. Tabacum</i>) | Protopastos | No repara el daño en la doble cadena del ADN | (Manova y Gruszka, 2015, p.5) |
| Arroz (<i>O. Sativa</i>) | Semillas | Aberración cromosómica | (Li et al., 2019: p.3746) |
| Arveja (<i>P. sativum</i>) | Plántulas | Micronucleido | (Amirikhah et al., 2019: p.8) |
| Tabaco (<i>N. tabacum</i>) | Semillas | Aberración cromosómica en los diferentes tamaños de las raíces | (Zanzibar y Sudrajat, 2016, p.98) |
| Trigo duro (<i>T. durum</i>) | Semillas | Aberraciones cromosómicas en la generación M1 | (Cao et al., 2009: p.315) |

Realizado por: Balvoa Caguana, Isabel, 2021.

Además, Kovalchuk et al. (2007, p.104.) demostraron que la respuesta de un grupo de planta sometidas a irradiación ionizante con dosis crónica aumentaba los índices de recombinación homologa para reparar los daños y mientras que con una dosis aguda mantuvieron la estabilidad del genoma. La respuesta citogenética con dosis mayores a 0.5 kGy, muestra pequeñas aberraciones cromosómicas de las semillas del arroz (*Oryza sativa*), trigo (*Triticum durum*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*) aunque fueron difíciles de caracterizar, debido a que el cariotipo de las plantas es más complejo y los cromosomas de las diferentes especies son similares en tamaño, forma y patrón de bandas (Schubert et al., 2001: citados en De Micco et al., 2011).

Por otra parte, la exposición a los protoplastos del tabaco (*Nicotiana tabacum*) con una LET entre 80 y 310 keV/μm, con una eficiencia relativa biológica (RBE) para una supervivencia celular del 10% y con una dosis absorbida de 47,2 Gy demostraron que no influyo en el desarrollo fisiológico normal debido a la supervivencia celular. Asimismo, los resultados de este estudio muestran un

aumento en el daño de la doble hebra del ADN cuando incrementa la tasa de dosis de radiación gamma. Es así como con una LET máximo de 124 a 241 keV/ μm , una RBE alrededor de 1,65 no afecto a la supervivencia celular por lo tanto confirma mayor radioresistencia de las células vegetales en comparación con los sistemas celulares del reino animal.

Otro efecto producido por la radiación ionizante gamma es el micronúcleo que son pequeños cuerpos de material nuclear que surgen de fragmentos cromosómicos o cromosomas completos y no son incorporados en la membrana nuclear en el momento de los daños en la división celular (De Micco et al., 2011; p.6). En el caso de las plántulas de arveja (*Pisum sativum*) la acumulación relativa de los micronúcleos debido a la exposición a altas dosis de radiación demostró dependencia directa con la calidad de dosis. Este hecho confiere resistencia a las células vegetales debido a la intensa actividad celular en un estado postirradiación.

La quinua tiene variedades diploide y tetraploide (Jarvis et al., 2017: p.308) que tiene la capacidad de reparar el ADN e inhibir la radiomutación. En un estado postirradiación las células vegetales responden eficientemente con mecanismos de recombinación homologa, aumenta la actividad de enzimas antioxidadas y expresa genes para regular la respuesta a la radiación. Para la quinua los mecanismos de protección del genoma deben ser semejantes a la especie *Arabidopsis thaliana*, sin embargo, los efectos tienen dependencia directa con la tasa de dosis y las características de las especies vegetales.

3.5.2. Efectos a nivel molecular

En los efectos a nivel molecular y celular de las plantas no existe una respuesta estándar a la radiación ionizante gamma, sin embargo, existen patrones que es necesario considerar para las pruebas que se pretenda realizar en quinua. Por un lado, la organización de los tejidos vegetales la convierten en un organismo radioresistentes debido a la actividad multicelular que permite la reparación de células y tejidos. Por otra parte, bajos niveles de sustancias ROS estimulan la biosíntesis de proteínas lo que indica fortalecimiento de la pared celular de tal manera que se relaciona con la estimulación de los fitoalexinas que son fitohormonas necesarias para el crecimiento vegetal (Huang et al., 2019; Jeandet et al., 2013, Achari y Kowshik, 2018).

Además, la incidencia de los radicales libres en aumento y desequilibrio causan daños en la composición molecular, en el metabolismo lo que implica una alteración en las rutas metabólicas por lo tanto el alcance de los efectos se manifiesta de manera diferente en la morfología, anatomía, bioquímica y fisiología de la planta (Jan et al., 2012: p.22).

Los cambios en la estructura celular por la irradiación rayos gamma a dosis alta provoca ruptura en la laminilla media de la pared celular, afectando al desarrollo y la función de los plástidos, en consecuencia, daños en el aparato fotosintético, dilatación a los tilacoides, modulación al sistema antioxidante y la acumulación de compuestos fenólicos. En mala hierba (*Arabidopsis thaliana*) la actividad antioxidante mostro dependencia con la tasa de dosis (Van de Walle et al., 2016: p.217). También el estrés oxidativo causado por las sustancias ROS en las proteínas inhibe el proceso de traducción, afectando a los componentes claves del metabolismo primario, que determinan el funcionamiento de la célula y la síntesis de metabolitos secundarios (Gudkov et al., 2019: p.8). La alteración en este proceso resulta en la modificación de la fisiología del organismo.

Además, la oxidación de las proteínas reduce su vida útil y disminuyen los niveles de proteasomas, encargadas de la degradación de proteínas dañadas, como consecuencia la producción y concentración de las proteínas aumenta sin ser necesariamente funcional, evidenciando problemas y daños en los genes. Asimismo en el proceso de transcripción el daño causado por el estrés oxidativo origina alteraciones en la correlación de ARNm y los ribosomas (Gicquel et al., 2012; citados en Gudkov et al., 2019).

Resulta que la radiación gamma penetra en toda la célula vegetal influyendo en la actividad fotosintética que está relacionada con el estado fisiológico de la planta y han reportado afectación por irradiación como en el caso de las plantas del trigo (*Triticum aestivum*), que disminuyó los pigmentos fotosintéticos; la clorofila y los carotenoides para desarrollar dos tipos de protectores; la antocianina y los flavonoides. Por otra parte, en la mala hierba (*Arabidopsis thaliana*, una especie dicotiledónea activa la biosíntesis de la antocianina que regula dos grupos como los genes de biosíntesis temprana por sus siglas en inglés (EGB) y los genes de biosíntesis tardía (LGB) (Hong et al., 2014: p.1226) como mecanismo de control de los pigmentos fotosintéticos y protectores de la planta, lo que indica una regulación solida en resistencia a los efectos de la radiación ionizante gamma (Alghamian et al., 2017, p.331).

La radiación gamma estimula la ruta metabólica de la biosíntesis de los compuestos antibióticos, fúngicos y bacterianos debido a la acción de las sustancias ROS que actúan como moléculas mensajeras en respuesta al estrés biótico y abiótico de tal manera que los ROS deben mantenerse en equilibrio con los sistemas antioxidantes lo que implica la aplicación de dosis bajas, en este nivel la biosíntesis de aminoácidos y proteínas se estimula para el fortalecimiento de la pared celular es decir el crecimiento vegetal, además la estimulación de la biosíntesis de los flavonoides juega un papel importante en la protección de los sistemas vegetativos frente al estrés ambiental. Por otra parte, a dosis relativamente altas se inhibe el metabolismo energético que afecta al aparato fotosintético, dilatación de los tilacoides y al sistema antioxidante, que potencialmente pueda

inducir muerte celular programada. En definitiva, las rutas metabólicas de la quinua pueden ser estimuladas o inhibidas de acuerdo con la dosis suministrada (Okuda et al., 2008; Altman et al., 2013). Las rutas metabólicas de la quinua se encuentran en la base de datos de KEGG (<https://www.genome.jp/pathway/cqi01100+110690489>) recurso necesario para las experimentaciones insilico.

3.5.3 Efectos en el fenotipo

Los efectos causados por la radiación son apreciables en el cambio de la morfología de la planta, estos cambios tienen efectos beneficiosos o perjudiciales de acuerdo con la calidad de dosis y las características de la planta objetivo. En las investigaciones experimentales *in vivo* han reportado efectos beneficiosos como la estimulación del crecimiento y desarrollo en las hojas primarias, aumento de la altura, diferencias en los índices de semillas y en el rendimiento (Kim et al., 2012; Gudkov et al., 2019). Por otra parte, reportan efectos perjudiciales como senescencia foliar, disminución del tamaño de las hojas y la altura (ver tabla 6-3). Además los diferentes efectos en una especie se deben a la radiosensibilidad y a los diferentes niveles de ploídia que controlan las diferentes organizaciones genéticas como los poligenéticos y los sistemas genéticos único (Corrales et al., 2019: p.2).

Los efectos de la radiación en la planta de trigo (*Triticum aestivum*) fueron estudiados en dos parámetros de acuerdo con el rango de dosis, y el periodo de exposición, uno de los factores para evaluar el efecto en el fenotipo fue la altura. En el tratamiento de 2 semanas se redujo en un 43.50%, en 4 semanas en 45.20% y en las 6 semanas una reducción de un 25.8%, en este caso disminuyo de acuerdo con el tiempo de exposición. El cambio en el color de las hojas está relacionado con la elevada concentración de la antocianina que es una sustancia hidrosoluble relacionado con la pigmentación de las hojas. Además, identificaron que los niveles de clorofila y carotenoides disminuyen en comparación con las plantas no irradiadas. Por otra parte, la planta de trigo (*Triticum aestivum*) activo una variedad de antioxidantes para protegerse de las especies oxidativas (ROS) como: peroxidasa de ascorbato (APX), peroxidasa (POD), superoxidasa dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT). Por lo tanto, la actividad antioxidante aumento gradualmente durante el periodo de exposición a la radiación gamma (Hong et al., 2014: pp. 1221-1223).

La irradiación en las plantas de orquídea fue evaluada para mostrar efectos inducidos por la dosis absorbida y la tasa de exposición. Los resultados reportan que la tasa de supervivencia disminuyó en el 40% a 20 Gy, en 20% a 40 Gy, en 25% a 60 Gy, en 24% a 80 Gy; en 30% a 100 Gy; en 10 %

120 Gy en un tiempo de exposición de una hora fueron evaluados después de 6 meses de la irradiación.

Tabla 6-3: Efectos de la RI gamma en plantas in vivo.

| ESPECIE | FAMILIA | EFEECTO | DOSIS ABSORBIDA (GY) | TASA DE DOSIS / TIEMPO DE EXPOSICIÓN | REFERENCIA |
|--|-------------|--|------------------------|---|---------------------|
| Trigo (<i>Triticum aestivum</i>) | Poaceae | -Disminuye la altura -Cambios de color en las hojas -Aumento de enzimas antioxidantes | 50 | 0.5Gy/h -2 semanas 0.25 Gy/h- 4 semanas 0.16 Gy/h- 6 semanas | (Hong et al., 2014) |
| Orquídea (<i>Cymbidium</i>) | Orchidaceae | -Crecimiento depende de la dosis -Disminución en la tasa de supervivencia | 16.1, 23.6, 37.9, 40.0 | 1, 4,8, 16, 24 h / exposición | (Kim et al. 2019b) |
| Arroz salvaje de Manchuria (<i>Zizania latifolia</i>) | Poaceae | - Disminución en la altura -Inhibición del crecimiento -Disminución en el número de hojas, tallos -Contenido de clorofila -Actividades antioxidantes | 25 50 100 | Etapas de 6 hojas 150 a 200 plántulas Tasa de dosis de 1,0 Gy/min | (Fan et al., 2014a) |

Realizado por: Balvoa Caguana, Isabel, 2021.

En general los parámetros variaron dependiendo la duración de la irradiación, es decir menor tiempo de exposición, menor fue el impacto en la tasa de crecimiento y supervivencia. La tasa de regeneración disminuyó en su totalidad a dosis mayores a 60 Gy en la evaluación de 9 meses post irradiación. Asimismo, la tasa de regeneración se redujo en un 60% con una dosis de 25 Gy en un tiempo de exposición de 8 horas, y la regeneración en un 15% con una dosis de 20 Gy en un tiempo

de exposición de 1 hora. Los efectos en los parámetros evaluados depende de la dosis y el tiempo de exposición (Kim et al., 2019, p.8-10).

Los efectos de la RI gamma evaluados en el arroz salvaje de Manchuria (*Zizania latifolia*) a las 3 semanas post irradiación encontraron que no existen cambios en la altura de la planta, pero a las 5 semanas post irradiación observaron disminución de la altura de 5 a 3 cm con una dosis de 50 Gy, en comparación con el control. El crecimiento de las plantas se detuvo a una dosis de 100 Gy, sin embargo, a una dosis de 25 Gy no hubo afectación al parámetro de crecimiento. Por otra parte, el contenido de clorofila disminuyó en todas las plantas irradiadas, después de las 5 semanas post irradiación como las plantas expuestas a 100 Gy que disminuyeron el nivel de clorofila en un 72%. Asimismo, los autores indican que se requiere de más estudios para comprender cómo los antioxidantes y las enzimas regulan la defensa celular de la planta contra la irradiación gamma, debido a que las enzimas antioxidantes APX aumentaron su actividad mientras se redujeron las enzimas POD, SOD Y CAT.

3.6. Comportamiento de la radiosensibilidad de los microorganismos patógenos

La radiosensibilidad es fundamental para establecer una dosis efectiva que disminuya la carga de los microorganismos patógenos. El efecto de la radiación ionizante gamma en los microorganismos es la inactivación de la célula que desencadena una serie de procesos bioquímicos, y en primera instancia inhibe la síntesis de proteínas, mecanismo por el cual pierde la capacidad de formar colonias e inhibe la proliferación celular, el proceso puede ser instantáneo dependiendo de la dosis irradiada, el efecto es la rotura de la doble hebra de ADN. Por lo tanto, en un estado postirradiación existe el descenso en la capacidad respiratoria, daños en los componentes celulares y síntomas de muerte celular. La ecuación (4) indica que la radiosensibilidad dependerá de la capacidad del microorganismo para detener la degradación radioinducida del ADN (Tallentire, 1980, p.87).

Las curvas de supervivencia se ajustan a la siguiente ecuación:

$$\frac{N}{N_0} = 1 - \left(1 - \exp\left(-\frac{D}{D_0}\right)\right)^m \quad (4)$$

Donde N/N_0 representa la fracción de células supervivientes, en función de la dosis absorbida (D) y D_0 representa la radiosensibilidad del microorganismo, además es la cantidad de energía absorbida que produce el efecto observado junto con el parámetro m , que se relaciona con el número de elementos que se debe inactivar en la célula, para que se produzca el efecto. La radiosensibilidad intrínseca del microorganismo depende de la especie, tipo de cepa y del medio material.

No se han reportado datos de radiosensibilidad en microorganismos emparentados a los patógenos de la quinua, pero se puede obtener la radiosensibilidad de *Peronospora Variabilis* o cualquier otro microorganismo, de forma experimental, evaluando la curva dosis/respuesta, trazando la cantidad de sobreviviente en escala logarítmica (Log UFC/g) en el eje “y”, contra la dosis de radiación en el eje “x” en (Gy). Por regresión lineal se obtiene la ecuación que describe la curva, por ende, la pendiente de la curva será la radiosensibilidad del patógeno D_0 .

Por otra parte, la ecuación (4) indica que la inactivación de microorganismos por radiación sigue un comportamiento exponencial, lo que significa que independientemente de la dosis suministrada, no se eliminará por completo la carga microbiana, ya que existe la probabilidad finita de que el patógeno sobreviva, es decir solamente se reduce a límites no detectables.

De acuerdo a Rose (1992, p.117) la dosis en el cual se observan efectos adversos en el reino fungí es aproximadamente menor a 35 Gy, aunque la dosis varía de acuerdo al tipo y la etapa de desarrollo del microorganismo patógeno.

3.7. Desarrollo de la propuesta

La radiación gamma causa efectos mutagénicos en las bacterias y hongos, disminuyendo efectivamente la carga microbiana en un rango de dosis de 0.1 a 5 kGy en diversos productos agrícolas postcosecha (tabla 3-3), sin mostrar efectos adversos. Por otra parte, los efectos perjudiciales en plantas in vivo en general se manifiestan con dosis mayores a 0.1 kGy (tabla 6-3).

El hongo de mayor afectación en las hojas de la quinua es el hongo *Peronospora Variabilis*, en el reino fungí la dosis estimada por Rose es de aproximadamente 0.035 kGy y los efectos adversos de las plantas in vivo han reportado con dosis de hasta 0.1 kGy. Esto sugiere la posibilidad de irradiar plantas de quinua infectadas por el patógeno sin causar efectos adversos. Por otra parte, los efectos adversos de la radiación dependen en gran medida de la especie y la calidad de dosis (Gudkov et al., 2019: p.9). La quinua es un organismos resistente a la radiación, debido a sus características intrínsecas de resistencia a diversos factores abióticos y cuenta con variedades de quinua altamente resistentes a la radiación ultravioleta B (UV-B) (Huaranca et al., 2018: p.1). Asimismo, debido a que crecen y se desarrollan en latitudes altas donde la radiación cósmica es mayor, también sobrevive en periodos largas sequías y temperaturas gélidas. Esto es un indicativo de la resistencia de la quinua a los factores bióticos.

Por otra parte, los agentes protectores ya sea por enzimas oxidativas u hormonas vegetales, regulan mejor el estrés abiótico que en otras especies (Fuentes et al, 2019; Jarvis et al., 2017; Abdelaleem y Elbassiony,

2020;Huaranca et al., 2018). Adicional las variedades de quinua son especies poliploides que pueden inhibir la mutación radioinducida (Jarvis et al., 2017; Abdelaleem y Elbassiony, 2020) y los mecanismos de protección del genoma de las células vegetales deberían ser semejantes a lo que se reporta en la literatura, en ese caso pueden reparar el ADN por recombinación homóloga, metilación y síntesis de enzimas antioxidantes como APX, POD, SOD Y CAT para contrarrestar los efectos oxidativos de las sustancias ROS. Asimismo, activan genes que regulan los daños producidos en el ADN e intervenir en el ciclo celular para producir muerte celular programada. La especie dicotiledónea *Arabidopsis* que esta emparentada con la quinua han reportado que ante la irradiación gamma activan dos tipos de genes (EGB) y (LBG) que generan pigmentos protectores como la antocianina. Además, el mecanismo de las plantas frente a la acción invasiva del hongo consiste en la producción de peroxidasas que generan sustancias ROS para atacar al patógeno de forma directa. También estas sustancias inducen respuestas para contrarrestar el ataque al microorganismo patógeno como la muerte celular programada, el incremento de los polímeros de la pared celular y la activación de genes que responde a la eliminación del patógeno. Asimismo, el peróxido de hidrógeno activa a las enzimas antioxidantes para prevenir daños en la planta (Andersen et al., 2018: p.9).

Por otra parte, bajos niveles de sustancias ROS estimulan la producción de fitoalexinas que son compuestos antimicrobianos. La quinua presenta bajos niveles de actividad microbiana contra las bacterias y hongos (Park et al., 2017: p.197), lo que sugiere la necesidad de estimular la producción de fitoalexinas para convertir a la quinua en una planta resistente a cualquier patógeno.

Asimismo, la producción de sustancias ROS son del 70% al 80% ocasionadas por la RI gamma, podría ser utilizada para mejorar el ataque al microorganismo patógeno. Por otra parte, las plantas transgénicas con altos compuestos inhiben la germinación de esporas fúngicas (Andersen et al., 2018: p.10). La radiación gamma de este modo podría inducir variedades resistentes a enfermedades, específicamente para controlar la proliferación del hongo *Peronospora Variabilis*. Las sustancias ROS acumuladas y en exceso producen senescencia y muerte celular, lo efectos objetivos para este caso se tiene con dosis bajas lo que implica que debe existir un equilibrio entre la producción y la eliminación por sistemas de defensas antioxidantes. Resulta que las rutas metabólicas de la quinua se pueden inhibir o estimular de acuerdo con la dosis aplicada, a dosis baja estimula la biosíntesis de proteínas y aminoácidos que representa el crecimiento y desarrollo vegetal efectivo.

Por otra parte sería importante indagar métodos de control cambiando la fuente de irradiación con una visión de experimentación in situ, redireccionando la investigación con la radiación ionizante ultravioleta, podría ser potencial para el control de microorganismos patógenos en plantas in vivo, ya que las longitudes de onda son cortas ,por ende menos energéticas que los rayos gamma, además

que los avances de la ciencia y la tecnología han permitido obtener lámparas germicidas industrializadas que potencialmente se podrían aplicar para disminuir la carga de microorganismos patógenos como el *Peronospora Variabilis* que se encuentran infectando las hojas de la quinua.

La quinua modula diferentes mecanismos de defensa, estudios reportan que frente a la irradiación de UV-B, con un tiempo de exposición de 30 y 60 min, y una irradiancia de $1,69 \text{ J/s}^{-1}\text{m}^{-2}$ logró mantener su actividad fotosintética y no mostró efectos en el contenido de clorofila, carotenoides, y flavonoides y de manera eficazmente aumentó su capacidad antioxidativa (Huaranca et al., 2018: p. 1).

Iniciar las investigaciones en la quinua es de gran interés, por la posibilidad de insertar este producto en lugares inhóspitos dada las cualidades de resistencia a los factores abióticos, además por su importancia nutricional ya que tiene todos los aminoácidos esenciales, un equilibrio de carbohidratos y proteínas. En este sentido, es importante para proponer la quinua como un alimento nutricional, y de bajos recursos de producción, para las futuras exploraciones espaciales. Por otra parte, la radiación ionizante gamma es una técnica útil para el almacenamiento de productos postcosecha como se evidenció en la sección de aplicaciones, además otra potencial aplicación en quinua es la reducción de contenido de saponina.

Inducir mejoras utilizando semillas de las variedades de quinua ecuatorianas usando la fuente de cobalto 60, podría ser una gran alternativa para generar variedades resistentes de precisión y mejorar otras características genóticas de interés mostrados en la Tabla 2-3. Además, las semillas de quinua infectadas por esporas de *Peronospora Variabilis* potencialmente podría ser tratadas con rayos gamma para controlar y disminuir la carga microbiana (Aguilar et al., 2020: pp.556-560).

CONCLUSIONES

Se identifico el estado del arte de los efectos biológicos en células vegetales en el nivel genético, celular, molecular y en el fenotipo en varias especies de planta, la respuesta biológica para enfrentar el estrés inducido por la radiación depende de las características del organismo vegetal y el nivel de dosis suministrada. El control de microorganismos patógenos es eficiente para inactivar a los microorganismos patógenos en productos agrícolas, además que las sustancias ROS serían la clave para inactivar al *Peronospora Variabilis* de la quinua.

Se seleccionó artículos científicos de manera eficiente, confiable y de calidad mediante el algoritmo de minado de datos que se implementó en Google Colab. Además, se obtuvo literatura de los repositorios digitales tanto de la ESPOCH como de las instituciones públicas relacionadas al área de la agricultura.

Se identifico las aplicaciones de la radiación ionizante gamma en la agricultura en diferentes niveles de aplicación de dosis. A nivel bajo (0-1 kGy) para prevenir la germinación, mejorar el tratamiento de semillas e inducir mejoramiento genético. A nivel medio (1 a 10 kGy) para eliminar microorganismos patógenos en productos agrícolas que garantiza la higiene microbiana y prolonga el tiempo de almacenamiento y a niveles altos (>20 kGy) para la esterilización de microorganismo resistentes como el virus.

Se reviso los efectos biológicos de la radiación ionizante gamma que incluye efecto directo, cuando el fotón logra incidir en el ADN y de forma indirecta por la generación de las sustancias oxidativas (ROS) que causan efectos en la biosíntesis de proteínas, reducen los niveles de clorofila, carotenoides y flavonoides. Asimismo, aumentan las enzimas antioxidativas, afectando la parte fisiológica del vegetal de tal manera que afecta a los metabolitos primarios y secundarios.

Los parámetros para considerar en una irradiación in vivo son las características de las plantas como especie, tejidos, etapa de desarrollo, arquitectura genética, nivel de dosis y el tiempo de exposición.

Se reviso los efectos adversos de la radiación que ocurren a dosis de exposición crónica, a nivel genético cuando se produce roturas en la doble hebra del ADN, aberraciones cromosómicas y producción de micronúcleos. Asimismo, a nivel molecular cuando el estado oxidativo inhibe las rutas metabólicas por último en el fenotipo cuando presenta cambios en la altura de la planta, longitud de hojas, porcentaje de supervivencia, acumulación de antitoxina y alteración en la fotosíntesis.

De acuerdo con la revisión literaria la radiación gamma puede tener efectos letales en el microorganismo patógeno. Por otra parte, bajos niveles de sustancias ROS pueden actuar de manera

directa, activar genes en respuesta al patógeno y estimular la producción de sustancias fitoalexinas. Asimismo, las sustancias ROS son importante para el crecimiento y desarrollo vegetativo. Esto sugiere la posibilidad de que la planta infectada por el patógeno *Peronospora variabilis* utilice el ROS para inhibir las esporas. Además, los efectos mutagénicos en la planta pueden ser contralados por recombinación homóloga, metilación del ADN, activación de genes protectores y aumentando las enzimas antioxidadas. Además, la resistencia de la quinua a factores abióticos podría minimizar los efectos adversos de la radiación.

Las rutas metabólicas de la quinua pueden ser estimuladas o inhibidas de acuerdo con la dosis suministrada, a dosis bajas estimula la ruta metabólica de la biosíntesis de los compuestos antibióticos, la biosíntesis de aminoácidos y proteínas, la biosíntesis de flavonoides. Mientras que a dosis altas se inhibe el metabolismo energético que afecta al aparato fotosintético, dilatación de los tilacoides y al sistema antioxidante.

RECOMENDACIONES

Una vez realizada la revisión bibliográfica si se desea realizar la parte experimental se recomienda: Evaluar la radiosensibilidad del microorganismo *Peronospora variabilis* internalizando el hongo en las hojas e irradiar a dosis de nivel bajo (0 a 0.5 kGy), para obtener una curva de sobrevivencia, evaluando el porcentaje de disminución de la carga bacteriana en función de la dosis absorbida.

Irradiar plantas in vivo para describir sus efectos a dosis baja, con una visión para la adaptación de prototipos de cultivos para las exploraciones espaciales, ya que la quinua es un alimento altamente nutritivo y resistente a factores abióticos.

Mejorar la variedad de la quinua ecuatoriana, ya que Ecuador es el tercer país en exportar quinua. La tecnología y la capacitación de nuestros agricultores limita ampliarse en mercados internacionales.

Un estudio de las variedades de la quinua de Ecuador es fundamental ya que tienen bajo contenido de saponina, esta cualidad es altamente demandada por el consumidor, además implementar la técnica de irradiación en la harina de quinua para disminuir el contenido de saponina resulta prometedor.

Se recomienda la alternativa de control patogénico in situ, sin mayores cambios genéticos es el uso radiación ultravioleta UV por la adaptación natural de las plantas de quinua, asimismo las facilidades de implementar este tipo de fuente a una tasa de dosis baja además han reportado en la literatura que no existe cambios en los componentes moleculares de la quinua.

GLOSARIO

Dicotiledónea: Es una clasificación taxonómica que indica que las primeras hojas de las plantas forman parte del germen de la semilla, esta condición le da características específicas a esta división (Kawai y Okada, 2020, p.4)

Fitosanitaria: Técnicas utilizadas para disminuir los patógenos y mantener el estado funcional de los productos agrícolas, dentro de estas se encuentran control biológico, químico, genético y físico (Larrea, 2001, p.97)

Foliares: Área de una planta específicamente la parte superficial de las hojas y tallos (Mujica et., 2015, p.10).

Fotolisis: Reacciones químicas causados por la incidencia de fotones de luz que provocan la generación de sustancias reactivas de oxígeno, productos de la fotosíntesis, la acumulación de las estas sustancias produce muerte celular (Obodovski, 2019, p.45).

Halófito: Adaptación y resistencia de las plantas a condiciones de estrés como la salinidad, altas temperaturas y dosis de radiación, esta cualidad les permite adaptarse a diversos pisos climáticos y sus mecanismos son investigados para mejoramiento genético (Jarvis et al., 2017, p.309)

Hidroponía: Técnica utilizada en la agricultura para cultivar sin emplear el suelo, sustituyendo con sustratos, a la vez que se ajusta a los cultivos de precisión y vertical (Peralta, 2013, p.40).

Inflorescencia: Etapa de la planta dicotiledónea en que las flores toman disposición sobre las ramas lo que implica floración de quinua (Mujica, 2006, p.450).

Panoja: La floración de la quinua en forma de racimo donde se carga el grano y se mide el rendimiento de producción de la quinua, a la vez que se relaciona con los sistemas de desarrollo y crecimiento (Mujica, 2006, p.451).

Plántulas: Etapa de desarrollo vegetativo de la quinua donde empieza a aparecer las primeras hojas (Gandarrillas, 1989, p.12)

Proteasomas: Enzimas encargadas de la degradación de proteínas que presentan daños leves y severos, esta actividad enzimática es necesario para la protección de las células vegetales en un ambiente oxidativo (Jiang et al., 2020, p.6)

Radiolisis: Proceso fotoquímico que mediante el haz de fotones descompone la molécula del agua en componente altamente reactivos de tal manera que se origina las sustancias ROS (Gudkov et al., 2019, p.8).

Saponina: Es el principal factor antinutricional de las semillas de quinua, están contenidas en la cáscara y son las responsables del sabor amargo. Las variedades de quinua dulce tienen bajo nivel de saponina (<0,11%) y por el contrario las quinua amargas presentan (>0,11%) (Ahumada et al., 2016, p.440)

Senescencia foliar: Proceso de envejecimiento de la planta, en este caso la pérdida de pigmentos fotosintéticos de las hojas como consecuente del daño nocivo, por lo general las cosas comienzan a perder coloración y tienden a colores oscuros (Sidler et al., 2015: p.220).

BIBLIOGRAFÍA

ABDELALEEM, M. y ELBASSIONY, K. Evaluation of phytochemicals and antioxidant activity of gamma irradiated quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Brazilian Journal of Biology* [en línea],2020, (Brasil) 6984(017), pp. 1-8. [Consulta: 18 diciembre 2020]. ISSN 1519-6984. Disponible en: DOI 10.1590/1519-6984.232270.

ABUGOCH, J. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research* [en línea],2009,(United State of America) 567(4),pp. 1-31. [Consulta: 2 de Noviembre 2020]. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1).

AGUILAR, R., MORE, M., MALDONADO, E., y RUTTE, R. Inductores de defensa en el control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gaum) en el cultivo de quinua: Detección , epidemiología , síntomas , características y control. *Scientia Agropecuaria* [en línea], 2020, 11(4), pp. 555-563. [Consulta: 5 de Noviembre 2020]. Disponible en: DOI 10.17268/sci.agropecu.2020.04.11.

AHUMADA, A., ORTEGA, A., CHITO, D. y BENÍTEZ, R. Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas* [en línea],2016, (Colombia) 45 (3) , pp. 438-469. [Consulta: 15 de Noviembre 2020]. ISSN 0034-7418. Disponible en: DOI 10.15446/rcciquifa.v45n3.62043.

ALGHAMIAN, Y., ABOU ALCHAMAT, G., MURAD, H. y MADANIA, A. Effects of γ -radiation on cell growth, cell cycle and promoter methylation of 22 cell cycle genes in the 1321NI astrocytoma cell line. *Advances in Medical Sciences* [en línea], 2017, (India) 62(2), pp. 330-337. [Consulta: 20 de diciembre de 2020]. ISSN 18984002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.advms.2017.03.004>.

ALLENDE, M. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE ACCESIONES DE QUINUA PARA ESTIMAR VARIABILIDAD GENÉTICA (*Chenopodium quinoa* Willd) [En línea](Trabajo de Titulación).(Maestría) Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. pp.1-63. [Consulta: 2 de diciembre de 2020]. Disponible en:

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2935>.

ALTMAN, T., TRAVERS, M., KOTHARI, A., CASPI, R. y KARP, P. A systematic comparison of the MetaCyc and KEGG pathway databases. *BMC Bioinformatics* [en línea], 2013,(United States of America) 14(1), pp. 2-15.[Consulta: 15 de marzo 2021]. ISSN 14712105. Disponible en: DOI 10.1186/1471-2105-14-112.

AMIRIKHAH, R., ETEMADI, N., SABZALIAN, M.R., NIKBAKHT, A. y ESKANDARI, A. Physiological consequences of gamma ray irradiation in tall fescue with elimination potential of *Epichloë* fungal endophyte. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], 2019, (India) 182 (1), pp. 1-10.[Consulta: 2 de febrero de 2021]. ISSN 10902414. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109412>.

ANDERSEN, E., ALI, S., BYAMUKAMA, E. y YEN, Y. Disease Resistance Mechanisms in Plants. *Genes* [en línea],2018, (United State of America) 339(9), pp. 2-30. [Consulta: 28 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6071103/>.

BENEZER, M., CASTRO, E. y GARCÍA-PINEDA, E. La Producción de Especies Reactivas de Oxígeno Durante la Expresión de la Resistencia a Enfermedades en Plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología* [en línea], 2008, (México) 26(1), pp. 56-61.[Consulta: 28 de febrero de 2021]. ISSN 2007-8080. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092008000100009.

BEYAZ, R., KAHRAMANOGULLARI, C.T., YILDIZ, C., DARCIN, E.S. y YILDIZ, M. The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. under in vitro conditions. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2016, (Turquía) 162-163, pp. 129-133. [Consulta: 6 de enero de 2021]. ISSN 18791700. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.05.006>.

BONIFACIO, A., MUJICA, A. y ALVAREZ, A. *Mejoramiento genetico, germoplasma y produccion de semilla*. FAO [blog]. 2015. [Consulta: 24 de noviembre de 2020].Disponible en: www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro03/cap6.htm#43

BUSHONG, S. *Manual de Radiología para técnicos*. 9ª ed. Barcelona-España: Elsevier, 2010. ISBN 9780323048378. pp.430-450.

CAO, Y., BIE, T., WANG, X. y CHEN, P. Induction and transmission of wheat-Haynaldia villosa chromosomal translocations. *Journal of Genetics and Genomics* [en línea], 2009, (China) 36(5), pp. 313-320.[Consulta: 20 de diciembre 2020]. ISSN 16738527. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S1673-8527\(08\)60120-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1673-8527(08)60120-4).

CAPLIN, N. y WILLEY, N. Ionizing radiation, higher plants, and radioprotection: From acute high doses to chronic low doses. *Frontiers in Plant Science* [en línea],2018, (Inglaterra) 9 (1), pp. 1-20.[Consulta: 20 de diciembre de 2020] ISSN 1664462X. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00847>.

CARDOZO, A., y TORRECILLA, P. Botánica sistemática, fundamentos para su estudio [en línea] (Trabajo de titulación). Maestría Universidad Central de Venezuela, Venezuela. 2006. pp. 33-36[Consulta: 4 de enero de 2021]. Disponible en: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Botanica/Botanica_Sistematica/GUIA_DE_BOTANICA_SISTEMATICA_I.pdf.

CARVAJAL CARVAJAL, C. 2019. Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo. *Medicina Legal de Costa Rica* [en línea], 2019, (Costa Rica) 36 (1), pp. 91-100. [Consulta: 16 de enero de 2021]. ISSN 1409-0015. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152019000100091.

CHO, S., KOO, H., SHIN, S., KIM, H., PARK, J., YOON, Y., y KIM, G. Gamma-Ray Irradiation Control of Whiteflies Bemisia tabaci (Hemiptera: Aleyrodidae) and Trialeurodes vaporariorum in the Exportation of Fresh Strawberries. *Journal of Economic Entomology* [en línea],2019, (China) 112 (4), pp. 1611-1617.[Consulta: 20 de diciembre de 2020]. ISSN 1938291X. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jee/toz083>.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR. *La protección radiológica en la industria, la agricultura, la docencia o la investigación/ CSN* [blog]. 2012. [Consulta: 25 de noviembre de 2020]

Disponible en: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf%0A>.

CORRALES LERMA, R., ÁLVAREZ HOLGUÍN, A. y GÓMEZ SIMUTA, Y. Radiación gamma para inducción de mutagénesis en pasto rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka]. *Acta Universitaria Scielo* [en línea], 2019, (México) 29 (1), pp. 1-10.[Consulta: 4 de Marzo de 2021.] ISSN 0188-6266. Disponible en: <https://doi.org/10.15174/au.2019.1847>.

COSTA, S. Variabilidad genética de *Chenopodium quinoa* Willd . en el Noroeste Argentino y su relación con la dispersión de la especie [en línea] (Trabajo de titulación).(Doctorado) Universidad Nacional de la Plata, La plata, Argentina.2014. pp. 23-26. [Consulta: 25 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/43830>

CRUCES, L., y CALLOHAURI, Y. *Guía de identificación y control* [blog]. 2016.[Consulta:15 de diciembre de 2020]. Disponible en: www.fao.org/publications.

DE MICCO, V., ARENA, C., PIGNALOSA, D. y DURANTE, M. Effects of sparsely and densely ionizing radiation on plants. *Radiation and Environmental Biophysics* [en línea], 2011, (Italia) 50(1), pp. 1-19. [Consulta: 4 de marzo de 2021]. ISSN 0301634X. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00411-010-0343-8>

DEL PUERTO, A., SUÁREZ, S., y PALACIO, D. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* [en línea], 2014, (Cuba) 52 (3), pp. 372-387. [Consulta: 20 de noviembre de 2020]. ISSN 15613003. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010

DELGADO, H., TAPIA, C., NARANJO, E., BORJA, E. y MARTÍN, J.Variación de la agrobiodiversidad en variedades tradicionales de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) de la Región Andina de Ecuador. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias* [en línea], 2019, Ecuador 47(1). pp.15-17. [Consulta: 16 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5572>

DERKS, F., y HALL, R. Effect of gamma irradiation on protoplast viability and chloroplast DNA damage in *Lycopersicon peruvianum* with respect to donor recipient protoplast fusion. *Environmental and experimental botany*, vol. 32, n° 3 (1992),(Inglaterra) pp. 255-264.

FAN, J., SHI, M., HUANG, J., XU, J., WANG, Z. y GUO, D. Regulation of photosynthetic performance and antioxidant capacity by ^{60}Co γ -irradiation in *Zizania latifolia* plants. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2014, (China) 129 (1), pp. 33-42. [Consulta: 20 de diciembre de 2020] ISSN 18791700. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.11.013>.

FAN, X. y SOKORAI, K. Effect of ionizing radiation on furan formation in fresh-cut fruits and vegetables. *Journal of Food Science* [en línea], 2008, (China) 73 (2), pp. 2-60.[Consulta: 11 enero 2021]. ISSN 00221147. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18298720/>.

FAO. *Tendencias y perspectivas del comercio internacional de quinua* [blog]. 2014. [Consulta en: 2 de enero de 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3583s.pdf>.

FAO. *La quinua cruza la frontera del espacio exterior* [blog]. 2015. [Consulta: 6 marzo 2021]. 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/283431/>.

FERTEY, J., THOMA, M., BECKMANN, J. y ULBERT, S. Automated application of low energy electron irradiation enables inactivation of pathogen- and cell-containing liquids in biomedical research and production facilities. *Scientific Reports* [en línea], 2020, (Alemania) 10 (1), pp. 1-14.[Consulta: 20 de diciembre de 2020]. ISSN 20452322. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69347-7>.

FONSECA I., MANJARRES, E. Y BENAVIDEZ, M. Evaluación de hongos ambientales y patógenos de quinua (*Chenopodium quinoa* wild) en tres cultivos de la provincia centro de Boyacá (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad de Boyacá, Tunja, Colombia. 2018. pp. 4-16.[Consulta: 2 de enero de 2020] Disponible en: http://rdigitales.uptc.edu.co/memorias/index.php/enc_fac_cien/enc_fac_cien/paper/viewFile/2777/2842.

FUENTES, C., PEREZ, D., BERGENSTAHL, B., CARBALLO, S., SJÖÖ, M. y NILSSON, L. Physicochemical and structural properties of starch from five Andean crops grown in Bolivia. *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], 2019, (Suecia) 125 (1), pp. 829-838.

[Consulta: 20 de noviembre de 2020]. ISSN 18790003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.120>.

GANDARRILLAS, H., NIETO, C. y CASTILLO, R. *RAZAS DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd) EN ECUADOR* [blog]. 1989. [Consulta: 25 de enero de 2021]. Disponible en: <http://quinuaecuador.imaginarartes.com/index.php/publicaciones>.

GOMES, C., DA SILVA, P., MOREIRA, R., CASTELL, E., ELLIS, E. y PENDLETON, M. Understanding E. coli internalization in lettuce leaves for optimization of irradiation treatment. *International Journal of Food Microbiology* [en línea], 2009, (United States of America) 135 (3), pp. 238-247.[Consulta: 20 de diciembre de 2020]. ISSN 01681605. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.08.026>.

GÓMEZ, L., EGUILUZ, A., JIMENEZ, J., FALCONÍ, J. y HEORS AGUILAR, E. Barley (*Hordeum vulgare*) and Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Improvement by Mutation Induction in Peru. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [en línea], 2009, pp. 330-332. [Consulta: 4 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/i0956e/I0956e.pdf>.

GÓMEZ, J.C., AGUIRRE, L., GOMEZ, L., BORJA, W., ÁLAVA, J. y VERA, L. Medium Lethal Dose of Gamma Rays to Induce Mutations in Caribgrass. *Manejo y Alimentación* [en línea], 2020, (Ecuador) 32 (1), pp. 2-19. [Consulta: 29 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e3398>.

GÓMEZ PANDO, L. y AGUILAR CASTELLANOS, E. *Guía de cultivo de la quinua* [blog]. 2016.[Consulta: 2 de febrero de 2021].Disponible en: <https://bivica.org/files/quinua-cultivo-guia.pdf>.

GUDKOV, S., GRINBERG, M., SUKHOV, V. y VODENEEV, V. Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2019, (Rusia) 202(1), pp. 8-24. [Consulta: 20 de noviembre]. ISSN 18791700. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.02.001>.

HANDS, H. *Plant Biochemistry*. 3^o ed. California-Estados Unidos:Elsevier Academic Press, 2005. [consulta: 29 de noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123849861/plant-biochemistry>.

HELL, K. Survival of *Nicotiana tabacum* L. Cv. Wisconsin-38 plants regenerated from gamma-irradiated tissue cultures. *Science Direct* [en línea], 1983, (Brasil) 23(2), pp.139-142. [Consulta: 20 de diciembre de 2020]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(83\)90031-X](https://doi.org/10.1016/0098-8472(83)90031-X).

HEREDIA, J., DE LARA, R., DOMÍNGUEZ, E., BENAVENTE, J. y BENÍTEZ, J. Chemical-physical characterization of isolated plant cuticles subjected to low-dose γ -irradiation. *Chemistry and Physics of Lipids* [en línea], 2012, (España) 165(8), pp. 803-808.[Consulta: 20 de febrero de 2021]. ISSN 00093084. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2012.10.003>.

HONG, M., KIM, J., YOON, Y., KIM, S., AHN, J., JEONG, I., KANG, S., SEO, Y. y KIM, D. The effects of chronic gamma irradiation on oxidative stress response and the expression of anthocyanin biosynthesis-related genes in wheat (*Triticum aestivum*). *International Journal of Radiation Biology* [en línea], 2014, (China) 90(12), pp. 1218-1228.[consulta: 20 de diciembre de 2020]. ISSN 13623095. Disponible en: <https://doi.org/10.3109/09553002.2014.934930>.

HORN, L., GHEBREHIWOT, H. y SHIMELIS, H. Selection of novel cowpea genotypes derived through gamma irradiation. *Frontiers in Plant Science*[en línea], 2016, (Sudafrica) 7(2), pp. 1-13. [consulta: 20 de diciembre de 2020]. ISSN 1664462X. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00262>.

HUANG, H., ULLAH, F., ZHOU, D., YI, M. y ZHAO, Y. Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses. *Frontiers in Plant Science* [en línea], 2019, (China) 10(2), pp. 1-10. [consulta: 20 de diciembre de 2020]. ISSN 1664462X. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00800>.

HUARANCCA , T., SCARTAZZA, A., CASTAGNA, A., COSIO, E.G., RANIERI, A. y GUGLIELMINETTI, L. Physiological effects of short acute UVB treatments in *Chenopodium quinoa* Willd. *Scientific Reports* [en línea], 2018, (Alemania) 8(1), pp. 1-12.[Consulta: 20 de

diciembre de 2020]. ISSN 20452322. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18710-2>.

ORDÓÑEZ, J., JUÁREZ, M. y ZURERA, A. *Aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos* [blog]. 2004.[Consulta: 18 de noviembre de 2020]. Disponible en: https://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/revistas_comite_cientifico/comite_cientifico_2.pdf.

JACOBSEN, S. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International* [en línea], 2003, (Perú) 19 (1-2), pp. 167-177. [Consulta: 18 de diciembre de 2020]. ISSN 87559129. Disponible en: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018883>.

JAN, S., PARWEEN, T., SIDDIQI, T. y MAHMOODUZZAFAR, X. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environmental Reviews* [en línea], 2012, (China) 20 (1). pp. 17-39. [Consulta: 18 de diciembre de 2020].Disponible en: <https://doi.org/10.1139/a11-021>.

JARVIS, D., HO, Y., LIGHTFOOT, D., MAUGHAN, P. y TESTER, M. The genome of *Chenopodium quinoa*. *Nature* [en línea], 2019, (China) 542(7641), pp. 307-312. [Consulta: 18 de diciembre de 2020]. ISSN 14764687. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nature21370>.

JEANDET, P., CLÉMENT, C., COUROT, E. y CORDILIER, S. Modulation of phytoalexin Biosynthesis in Engineered Plants For Resistance. *International journal of molecular sciences* [en línea], 2013, (Francia) 14 (1), pp. 14137-14159. [Consulta: 18 de diciembre de 2020].Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms140714136>.

JEONG, R. y CHOI, H. Inactivation of tobacco mosaic virus using gamma irradiation and its potential modes of action. *Acta Virologica* [en línea], 2017, (China) 61 (2), pp. 223-225. [Consulta: 20 febrero 2021]. ISSN 0001723X. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28523930/>.

JIANG, C., KAN, J., ORDON, F., PEROVIC, D. y YANG, P. Bymovirus-induced yellow mosaic diseases in barley and wheat: viruses, genetic resistances and functional aspects. *Theoretical and Applied Genetics* [en línea], 2020, (China) 133(5), pp. 1-13. [Consulta: 20 febrero 2021]. ISSN 14322242. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03555-7>.

JIMÉNEZ M. Métodos de Control de Plagas [en línea] (Trabajo de Titulación).(Doctorado) Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 2009. pp. 22-23.[Consulta: 10 de Enero de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/2457/>

JULIO, G., LUNA, N., VARGAS, A., MAGNE, J., TORRES, J. y BONIFACIO, A. Quinoa de valle (*Chenopodium quinoa* Willd.): fuente valiosa de resistencia genética al mildiu (*Peronospora farinosa* Willd.). *Journal of the Selva Andina Research Society* [en línea], 2012, (Bolivia) 3(2), pp. 27-44.[Consulta: 28 de diciembre de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942012000200004&lng=es.

JUNG, I., AHN, J., JUNG, S., HWANG, J., HONG, M., CHOI, H. y KIM, J. Overexpression of rice jacalin-related mannose-binding lectin (*OsJAC1*) enhances resistance to ionizing radiation in *Arabidopsis*. *BMC Plant Biology* [en línea], China) vol. 19, no. 1, pp. 1-16. ISSN 14712229. DOI 10.1186/s12870-019-2056-8.

KAWAI, K. y OKADA, N. Leaf vascular architecture in temperate dicotyledons: correlations and link to functional traits. *Plant* [en línea], 2020, (Alemania) 25 (2), pp. 3-12.[Consulta: 25 de enero 2021]. ISSN 14322048. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03295-z>.

KIM, D., HONG, M., PARK, C. y SEO, Y. The effects of chronic radiation of gamma ray on protein expression and oxidative stress in *Brachypodium distachyon*. *International Journal of Radiation Biology* [en línea], 2015, (China) 91(5), pp. 407-419.[Consulta: 15 de enero de 2021] ISSN 13623095. Disponible en: <https://doi.org/10.3109/09553002.2015.1012307>

KIM, S., JO, Y., RYU, J., HONG, M., KANG, B. y KIM, J. Effects of the total dose and duration of γ -irradiation on the growth responses and induced SNPs of a *Cymbidium* hybrid. *International Journal of Radiation Biology* [en línea], 2019, (China) 96(4), pp. 545-551.[Consulta: 20 de febrero de 2021]. ISSN 13623095. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1704303>.

KIM, H., KIM, Y., LEE, H., JO, Y., KIM, J. y KANG, S. Biological effects of three types of ionizing radiation on creeping bentgrass. *International Journal of Radiation Biology* [en línea], 2019, (China) 95(9), pp. 1-6. [Consulta: 15 de enero de 2021].ISSN 13623095.Disponible en:

<https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1619953>.

KIM, S., SONG, M., LEE, K., HWANG, S., JANG, C., KIM, J., KIM, S., HA, B., KANG, S. y KIM, D. Genome-wide transcriptome profiling of ROS scavenging and signal transduction pathways in rice (*Oryza sativa* L.) in response to different types of ionizing radiation. *Molecular biology reports* [en línea], 2012, (China) 39(12), pp. 11231-11248.[Consulta en línea: 20 de febrero de 2021] ISSN 15734978.Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11033-012-2034-9>.

KODYM, A. y AFZA, R. Physical and chemical mutagenesis. *Methods in molecular biology* [en línea], 2003, California 236(2), pp. 189-204.[Consulta: 20 de febrero de 2021]. ISSN 10643745. Disponible en: <https://doi.org/10.1385/1-59259-413-1:189>.

KOVÁCS, E. y KERESZTES A. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron*[en línea], 2002, (Hungria) 33 (2), pp. 199-210. [Consulta: 5 de Marzo].ISSN 09684328. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0968-4328\(01\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0968-4328(01)00012-9).

KOVALCHUK, I., MOLINIER, J., YAO, Y., ARKHIPOV, A. y KOVALCHUK, O. Transcriptome analysis reveals fundamental differences in plant response to acute and chronic exposure to ionizing radiation. *Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* [en línea], 2007, (Canada) 624(1-2), pp. 101-113. [Consulta: 5 de Marzo]. ISSN 00275107. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2007.04.009>.

KUDO, H. *Radiation applications*. 3^o ed.Tokio- Japón: Springer NatureS, 2011. [consulta 20 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.springer.com/gp/book/9789811073496>.

LARREA, O. Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. *Biocontrol Science and Technology* [en línea], 2001, (Costa Rica) 13(6), pp. 96-99.[Consulta: 2 de enero de 2021]. ISSN 09583157. Disponible en: <http://www.sidalc.net/repdoc/a2120e/a2120e.pdf>

LEON TTACCA, B. Biocontrol del mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum.) de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con cepas de *Trichoderma* sp. con capacidad endofítica [en línea] (Trabajo de Titulación). (Doctorado) Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 2016. pp. 3-87.[Consulta: 28 de enero de 2021].Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6601>.

LI, F., SHIMIZU, A., NISHIO, T., TSUTSUMI, N. y KATO, H. Comparison and characterization of mutations induced by gamma-ray and carbon-ion irradiation in rice (*Oryza sativa* L.) using whole-genome resequencing. *G3: Genes, Genomes, Genetics* [en línea], 2019, (China) 9(11), pp. 3743-3751. ISSN 21601836. Disponible en: <https://doi.org/10.1534/g3.119.400555>

LI, H. y WANG, X. *Thinopyrum ponticum* and *Th. intermedium*: the promising source of resistance to fungal and viral diseases of wheat. *Journal of Genetics and Genomics* [en línea], 2009, (China) 36 (9), pp. 557-565. ISSN 16738527. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S1673-8527\(08\)60147-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1673-8527(08)60147-2).

LLANOS, M. Bacterias solubilizadoras de fosfato del género bacillus en suelos de la provincia de el collao (puno) y su efecto en la germinación y crecimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de invernadero [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 2017. pp. 5-96. [Consulta: 20 de febrero de 2021]. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3705/LLanos_Machaca_Maritza_Yolanda.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

LUDOVICI, G., OLIVEIRA DE SOUZA, S., CHERICI, A., CASCONI, M., D'ERRICO, F. y MALIZIA, A. Adaptation to ionizing radiation of higher plants: From environmental radioactivity to Chernobyl disaster. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2020, (Alemania) 222 (1), pp. 106375. ISSN 18791700. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106375>.

LYNCH, M., ACKERMAN, M., GOUT, J., LONG, H., SUNG, W., THOMAS, W. y FOSTER, P. Genetic drift, selection and the evolution of the mutation rate. *Nature Reviews Genetics* [en línea], 2016, (China) 17(11), pp. 704-714. [Consulta: 20 de febrero de 2021]. ISSN 14710064. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/nrg.2016.104>.

MANOVA, V. y GRUSZKA, D. DNA damage and repair in plants – From models to crops. *Frontiers in Plant Science* [en línea], (Rusia) 6(1), pp. 1-26. [Consulta: 24 de enero de 2021]. ISSN 1664462X. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00885>.

MARCU, D., CRISTEA, V. y DARABAN, L. Dose-dependent effects of gamma radiation on lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata) seedlings. *International Journal of Radiation Biology* [en línea], 2013, (Rumania) 89(3), pp. 219-223. [Consulta: 28 de enero de 2021]. ISSN 09553002. Disponible en: <https://doi.org/10.3109/09553002.2013.734946>.

MASSA, R., PANARIELLO, G., PINCHERA, D., SCETTINO, F., CAPRIO, E., GRIFFO, R. y MIGLIORE, M.D. Experimental and numerical evaluations on palm microwave heating for Red Palm Weevil pest control. *Scientific Reports* [en línea], 2017, (Italia) 7 (1), pp. 1-8. [Consulta: 5 de marzo de 2021]. ISSN 20452322. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep45299>

MOKOBIA, C., y ANOMOHANRAN, O. The effect of gamma irradiation on the germination and growth of certain Nigerian agricultural crops. *Journal of Radiological Protection* [en línea], 2005, (Nigeria) 25(1), pp. 181-188. [Consulta: 3 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/0952-4746/25/2/006>.

MOLINA, A., FÉLIX, L., SILVA, E. y MATA, V. Evaluation of gamma irradiation for human norovirus inactivation and its effect on strawberry cells. *International Journal of Food Microbiology* [en línea], 2020, (Inglaterra) 330(1), pp. 63-85. [Consulta: 7 de enero de 2021]. ISSN 18793460. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32502761/>.

MORILLO, A. y CASTRO, R. CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE UNA COLECCIÓN DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd). *Bioteconoloía en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2017, (Colombia) 15(2), pp.4-49. [Consulta: 7 de enero de 2021].ISSN 1692-3561. Disponible en: <http://orcid.org/0000-0003-3125-0697>

MUJICA, A., CANAHUA, A. y SARAVIA, R. *Capítulo II Agronomía del Cultivo de la Quinua* [blog]. 2015. [Consulta: 2 de marzo de 2021]. Disponible en: www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contentido/libro03/cap2.htm#7

MUJICA, A. y JACOBSEN, S. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de los Andes Centrales* [en línea], 2006, (Bolivia) 23(1), pp. 449-

457.[Consulta: 6 de febrero de 2021]. Disponible en: [http://www.beisa.dk/Publications/BEISA Book pdfer/Capitulo 27.pdf](http://www.beisa.dk/Publications/BEISA_Book_pdf/Capitulo_27.pdf).

NAITO, K., KUSABA, M., SHIKAZONO, N., TAKANO, T., TANAKA, A., TANISAKA, T. y NISHIMURA, M. Transmissible and nontransmissible mutations induced by irradiating *Arabidopsis thaliana* pollen with γ -rays and carbon ions. *Genetics* [en línea], 2015, (Japón) 169 (2), pp. 881-889. ISSN 00166731. Disponible en: <https://doi.org/10.1534/genetics.104.033654>.

OBODOVSKIY, I. *Nuclei and Nuclear Radiations* [blog]. 2019. [Consulta: 8 de marzo 2021]. Disponible en: <https://www2.lbl.gov/abc/wallchart/teachersguide/pdf/Chap03.pdf>.

OKUDA, S., YAMADA, T., HAMAJIMA, M., ITOH, M., KATAYAMA, T., BORK, P., GOTO, S. y KANEHISA, M. KEGG Atlas mapping for global analysis of metabolic pathways. *Nucleic acids research* [en línea], (Alemania) 32(1), pp. 423-426. ISSN 13624962. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/nar/gkn282> .

PARK, J., LEE, Y., KIM, Y. y YOON, K.S., 2017. Antioxidant and antimicrobial activities of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds Cultivated in Korea. *Preventive Nutrition and Food Science*, vol. 22, no. 3, pp. 195-202. ISSN 22878602. DOI 10.3746/pnf.2017.22.3.195.

PERALTA E. y MAZÓN, N. INIAP: La quinua en Ecuador. *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* [blog]. 2013. [Consulta: 2 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2433/1/iniapscD13.pdf>.

PIERA I PELLICER, J. *Radiobiología* [blog]. 2019. [Consulta: 23 de enero de 2021]. Disponible en: <http://www.luciabotin.com/publicaciones/radiobiologia.pdf>

PUERTA, J. y MORALES, J. Biological effects of ionising radiation. *Revista Colombiana de Cardiología* [en línea], 2020, (Colombia) 27(1), pp. 61-71.[Consulta: 28 de febrero de 2021] ISSN 01205633. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.005>.

RODRÍGUEZ , A., EMILIA, I. y RAMOS, L. *Chenopodium quinoa* Willd. ¿Por qué nos interesa conocerla? [en línea](Trabajo de Titulación).(Pregrado) Universidad de La Laguna, Tenerife,

España. pp.5-26.[Consulta: 17 de enero de 2021]. Disponible en: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/8687>.

ROJAS, W., VARGAS M. y PORCEL, A. La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria Genetic diversity of quinoa: Potential uses for breeding and agroindustry. *Plants* [en línea], 2016, *Bolivida* 3(2), pp. 114-124. [Consulta: 4 de enero de 2021]. ISSN2518-6868. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/riarn/v3n2/v3n2_a01.pdf.

ROSE, K. Lower limits of radiosensitivity in organisms, excluding man. *Journal of Environmental Radioactivity* (en línea), 1992, *Francia* 15(2), pp. 113-133.[Consulta: 4 de marzo de 2021]. ISSN 0265931X. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(91\)90047-J](https://doi.org/10.1016/0265-931X(91)90047-J).

RYU, T., KIM, J., KIM, J. y KIM, J. Transcriptome-based biological dosimetry of gamma radiation in *Arabidopsis* using DNA damage response genes. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2018, (China) 181(2), pp. 94-101. [Consulta: 4 de marzo de 2021]. ISSN 18791700. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.11.007>.

SANDLE, T. *Sterility, Sterilisation and Sterility Assurance for Pharmaceuticals* [en línea], Cambridge-UK: Woodhead Publishing Limited, 2013. [Consulta: 20 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/sterility-sterilisation-and-sterility-assurance-for-pharmaceuticals/sandle/978-1-907568-38-1>.

SHANKAR, S., FOLLETT, P., AYARI, S., HOSSAIN, F., SALMIERI, S. y LACROIX, M. Microbial radiosensitization using combined treatments of essential oils and irradiation- part B: Comparison between gamma-ray and X-ray at different dose rates. *Microbial Pathogenesis* [en línea], 2020, (Canadá) 143 (1), pp. 104118.[Consulta: 3 de marzo de 2021].ISSN 10961208. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104118>.

SIDLER, C., LI, D., KOVALCHUK, O. y KOVALCHUK, I. Development-dependent expression of DNA repair genes and epigenetic regulators in *arabidopsis* plants exposed to ionizing radiation. *Radiation Research* [en línea], 2015, (Canadá) 183 (2), pp. 219-232.[4 de enero de 2021] ISSN 19385404. Disponible en: <https://doi.org/10.1667/RR13840.1>.

SONG, W., KIM, Y. y KANG, D.Effect of gamma irradiation on inactivation of Escherichia coli O157:H7, Salmonella Typhimurium and Listeria monocytogenes on pistachios. *Letters in Applied Microbiology* [en línea], 2019, (China) 68(1), pp. 96-102. [Consulta: 9 febrero 2021]. ISSN 1472765X. DOI 10.1111/lam.13095. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30412302/>.

TALLENTIRE, A.The spectrum of microbial radiation sensitivity. *Radiation Physics and Chemistry* [en línea], 1980, Francia5(1), pp. 83-89.[Consulta 20 de enero de 2021]. ISSN 01465724. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0146-5724\(80\)90101-6](https://doi.org/10.1016/0146-5724(80)90101-6).

TURTOI, M. Ultraviolet light treatment of fresh fruits and vegetables surface: A review. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* [en línea], 2013, (Rumania) 19(3), pp. 325-337.[Consulta: 30 de febrero de 2021]. Disponible en: https://www.journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/22340L53_Vol_19_3__2013_325-337.pdf.

VAN DE WALLE, J., HOREMANS, N., SAENEN, E., VANDENHOVE, H. y CUYPERS, A. Arabidopsis plants exposed to gamma radiation in two successive generations show a different oxidative stress response. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2016, (Bélgica) 165 (2), pp. 270-279. [Consulta: 3 de febrero de 2021]. ISSN 18791700. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.10.014>.

VARGAS, J., VIVANCO, M., MALDONADO M., LINARES, P. y QUISPE, M. Aplicaciones de la radiación gamma en frutas y hortalizas . Perspectivas agroindustriales para el espárrago peruano. *Ipen* [en línea], 2015, Perú 1(1), pp. 1-6.[Consulta: 4 de enero de 2021]. Disponible en: http://dspace.ipen.gob.pe/bitstream/ipen/433/1/_123-128_%20%20aplicaciones%20de%20la%2000Radiacion%20gamma%20en%20frutas%20y%20hortalizas.pdf.

YASHAR, C. *Basic principles in gynecologic radiotherapy* [en línea]. 9º Ed. Elsevier Inc. 2018.[Consulta: 3 de marzo de 2021].Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-40067-1.00023-1>.

YASMIN, K., ARULBALACHANDRAN, D., DILIPAN, E. y VANMATHI, S. Characterization of 60CO γ -ray induced pod trait of blackgram-A promising yield mutants. *International Journal of*

Radiation Biology [en línea], 2020, (India) 96(7), pp. 1-8.[Consulta: 26 de enero de 2021]. ISSN 13623095. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/09553002.2020.1748738>.

YOUNG, L., JO, C., HWA SHIN, D., GEUN KIM, W. y WOO BYUN, M. Effect of γ -irradiation on pathogens inoculated into ready-to-use vegetables. *Food Microbiology* [en línea], 2006, (China) 23(7), pp. 649-656.[Consulta: 27 de febrero de 2021]. ISSN 07400020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.12.001>.

ZABEL, P., BAMSEY, M., SCHUBERT, D. y TAJMAR, M. Review and analysis of over 40 years of space plant growth systems. *Life Sciences in Space Research* [en línea], 2016, (Alemania) 10, pp. 1-28. [Consulta: 3 de marzo de 2021]. ISSN 22145532. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lssr.2016.06.004>.

ZANZIBAR, M. y SUDRAJAT, D. Effect of gamma irradiation on seed germination, storage, and seedling growth of *Magnolia champaca* L. *Indonesian Journal of Forestry Research* [en línea], (Indonesia) 3(2), pp. 95-106.[Consulta: 20 de enero de 2021]. ISSN 23557079. Disponible en: <https://ejournal.forda-mof.org/ejournal-litbang/index.php/IJFR/article/view/748>.

ZHANG, H., LI, Y. y ZHU, J. Developing naturally stress-resistant crops for a sustainable agriculture. *Nature Plants* [en línea], 2018, (China) 4(12), pp. 989-996.[Consulta: 13 de febrero de 2021]. ISSN 20550278. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41477-018-0309-4>.

ZURITA, A. y QUIROZ, C. *Plagas y enfermedades En El Cultivo de la quínoa* [blog].2015. [Consulta: 20 de diciembre de 2020] . Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/6734/NR41423.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

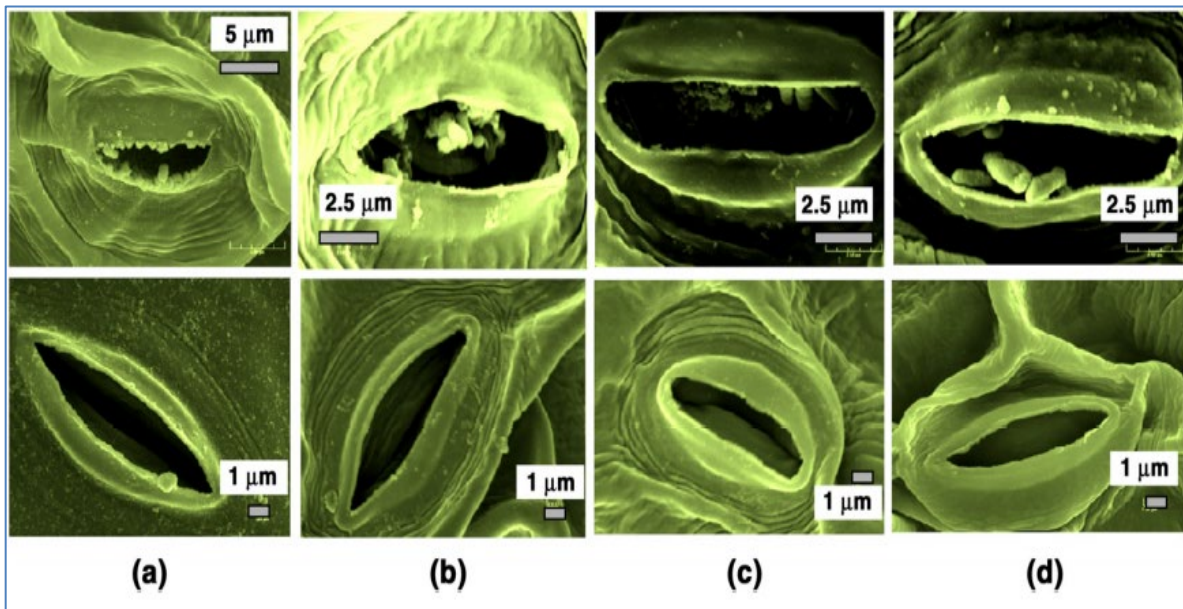
ANEXOS

ANEXO A. MATRIZ DE ANÁLISIS DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

| AÑO | AUTOR | ID | TÍTULO | RESUMEN | CALIFICACIÓN | MÉTODO | RESULTADOS | CONCLUSIONES | IDEAS CLAVES | IDEAS DESARROLLADAS |
|------|-------------------|----------|---|---|--------------|--|--|--|---|---|
| 2020 | Madueño et al. | 3296294 | Evaluación de la irradiación gamma para la inactivación de bacterias en humus y su efecto sobre la calidad de la fruta | Inactivación del <i>Escherichia coli</i> por irradiación gamma en un sustrato orgánico y su efecto sobre la actividad microbiana en un sustrato orgánico y su efecto sobre la actividad microbiana en un sustrato orgánico. | 5 | Utilizar un equipo microondas para detectar el virus, lo cual se hizo con el equipo de un laboratorio y se realizó la prueba de la actividad de la muestra. La muestra se hizo con el equipo de un laboratorio y se realizó la prueba de la actividad de la muestra. La muestra se hizo con el equipo de un laboratorio y se realizó la prueba de la actividad de la muestra. | En el día de 2019, 15:00, 18:00, 19:00, 20:00, 21:00, 22:00 y 23:00. La muestra se hizo con el equipo de un laboratorio y se realizó la prueba de la actividad de la muestra. La muestra se hizo con el equipo de un laboratorio y se realizó la prueba de la actividad de la muestra. | La radiación gamma es efectiva para inactivar totalmente al <i>Escherichia coli</i> en sustrato orgánico. | La radiación gamma es efectiva para inactivar totalmente al <i>Escherichia coli</i> en sustrato orgánico. Se utilizó un equipo de un laboratorio y se realizó la prueba de la actividad de la muestra. La muestra se hizo con el equipo de un laboratorio y se realizó la prueba de la actividad de la muestra. | Utilizar Fuente de Cobalto-60. Equipar de POR |
| 2009 | Fernández et al. | 1180720 | Reducción de la calidad y actividad microbiana de <i>Escherichia coli</i> control de la calidad de la fruta | Utilizar una dosis de 10 kGy para reducir el número de bacterias y su actividad microbiana en un sustrato orgánico y su efecto sobre la actividad microbiana en un sustrato orgánico. | 5 | Las muestras fueron controladas en un control de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 500, 510, 520, 530, 540, 550, 560, 570, 580, 590, 600, 610, 620, 630, 640, 650, 660, 670, 680, 690, 700, 710, 720, 730, 740, 750, 760, 770, 780, 790, 800, 810, 820, 830, 840, 850, 860, 870, 880, 890, 900, 910, 920, 930, 940, 950, 960, 970, 980, 990, 1000. | La actividad microbiana se redujo significativamente en comparación con el control. La actividad microbiana se redujo significativamente en comparación con el control. | Con una dosis de 10 kGy se redujo la actividad microbiana de <i>Escherichia coli</i> en sustrato orgánico. La actividad microbiana se redujo significativamente en comparación con el control. | La actividad microbiana se redujo significativamente en comparación con el control. | |
| 2009 | Fernández Sabarot | 11249720 | Efecto de la radiación ionizante sobre la actividad microbiana de <i>Escherichia coli</i> en sustrato orgánico y su efecto sobre la actividad microbiana en un sustrato orgánico. | Efecto de la radiación ionizante sobre la actividad microbiana de <i>Escherichia coli</i> en sustrato orgánico y su efecto sobre la actividad microbiana en un sustrato orgánico. | 7 | Utilizar una dosis de 10 kGy para reducir el número de bacterias y su actividad microbiana en un sustrato orgánico y su efecto sobre la actividad microbiana en un sustrato orgánico. | La actividad microbiana se redujo significativamente en comparación con el control. La actividad microbiana se redujo significativamente en comparación con el control. | La actividad microbiana se redujo significativamente en comparación con el control. La actividad microbiana se redujo significativamente en comparación con el control. | Efecto de la radiación ionizante sobre la actividad microbiana de <i>Escherichia coli</i> en sustrato orgánico. La actividad microbiana se redujo significativamente en comparación con el control. | Ninguno |

Anexo A: Hoja de Excel estructura para la síntesis y retórica de los artículos científicos.

ANEXO B. INACTIVACIÓN DE LA BACTERIA E. COLI CON UNA DOSIS DE 1 KGY



Anexo B: Se observa estructura de la hoja de lechuga inoculado con E. coli, en la fila 2 se observa la reducción de la colonia del microorganismo a una dosis de un 1 kGy. Señalando la efectividad de la radiación ionizante, y no existe diferencias entre los resultados de las variedades de la lechuga (a) iceberg, (b) Boston, (c) hoja verde y (d) hoja roja inoculada.

ANEXO C. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PUBLICADA COMO ARTÍCULO CIENTÍFICO

Casa Editora del Polo (CASEDELPO), hace constar que:

El artículo científico:

“La radiación ionizante gamma y usos actuales en ciencias agrícolas, oportunidades para los cultivos andinos: Breve revisión”

De autoría:

Susana Isabel Balvoa Caguana, María Fernanda Heredia Moyano, Moisés Rubén Gualapuro Gualapuro, Vilma Nohemi Yanchapanta Bastidas

Ha sido publicado en el **Vol. 6, No 6, Junio 2021**, de la revista Polo del Conocimiento con ISSN 2550-682X, indexada y registrada en las siguientes bases de datos y repositorios: **Latindex Catálogo v2.0, MIAR, Google Académico, ROAD, Dialnet, ERIHPLUS.**

Disponible en:

URL: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2761>

Y para que así conste, firmo la presente en la ciudad de Manta, a los 01 días del mes de junio del año 2021.



Dr. Víctor R. Jama Zambrano
DIRECTOR

Anexo C: La revisión bibliografía realizada en el proyecto de investigación, específicamente el capítulo III, fue la base para escribir y publicar un artículo científico.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 13 / 10 / 2021

| |
|--|
| INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S) |
| Nombres – Apellidos: <i>Susana Isabel Balvoa Caguana</i> |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL |
| Facultad: <i>Ciencias</i> |
| Carrera: <i>Física</i> |
| Título a optar: <i>Biofísica</i> |
| f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i> |

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.13
16:44:20 -05'00'



1673-DBRA-UTP-2021