

INDUCCIÓN *de* MUTACIONES:

Estado del conocimiento en el mejoramiento de
plantas en América Latina y el Caribe



Sergio de los Santos Villalobos
Coordinador

editorial
fontamara

**INDUCCIÓN DE MUTACIONES:
ESTADO DEL CONOCIMIENTO
EN EL MEJORAMIENTO DE PLANTAS
EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**

**INDUCCIÓN DE MUTACIONES:
ESTADO DEL CONOCIMIENTO
EN EL MEJORAMIENTO DE PLANTAS
EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**

**Sergio de los Santos Villalobos
(Coordinador)**

Primera edición: abril 2021

Reservados todos los derechos conforme a la ley

DR. © 2021 Sergio de los Santos Villalobos (Coordinador)

DR. © 2021 Editorial Fontamara, S. A. de C. V.

Av. Hidalgo No. 47-b, Colonia Del Carmen
Alcaldía de Coyoacán, 04100, CDMX, México

Tels. 5659-7117 y 5659-7978 Fax 5658-4282

Email: contacto@fontamara.com.mx

coedicion@fontamara.com.mx

www.fontamara.com.mx

ISBN Fontamara 978-607-736-684-3

Impreso y hecho en México

Printed and made in Mexico

Esta obra fue dictaminada con el método de doble ciego
por pares académicos especialistas en el tema.

AGRADECIMIENTOS

Se extiende un sincero agradecimiento a los autores y co-autores de esta obra, por su valiosa contribución. Además, se agradece al proyecto RLA5/068 “Improving Yield and Commercial Potential of Crops of Economic Importance (ARCAL CL)”, en el marco del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL), auspiciado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), por el financiamiento otorgado para consolidar en el empleo de la inducción de mutaciones en el mejoramiento de plantas en América Latina y el Caribe. Finalmente, se reconoce al Instituto Tecnológico de Sonora y todas las instituciones colaboradoras por el apoyo y respaldo al quehacer académico-científico de todos los involucrados en esta obra, el cual está encaminado a la generación de conocimientos, tecnologías y formación integral de recursos humanos con alta capacidad crítica y liderazgo para afrontar los retos actuales y venideros de nuestra sociedad.

Sergio de los Santos Villalobos
Coordinador

INSTITUCIONES COLABORADORAS

Brasil



Colombia



Costa Rica



Cuba



Ecuador



El Salvador



Guatemala



México



Paraguay



Perú



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA



Acuerdo Regional de Cooperación para
la Promoción de la Ciencia y la Tecnología
Nucleares en América Latina y el Caribe



NODO DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA NUCLEAR

PREFACIO

El mejoramiento de plantas por mutación se ha utilizado con éxito durante varias décadas, desde la primera demostración –en 1927 por John Lewis Stadler– del uso de los rayos X y el elemento radio (Ra) para producir variaciones genéticas en cultivos de cereales.

Esta técnica ha contribuido de manera significativa a la seguridad alimentaria y nutricional a nivel mundial, y a los ingresos de los agricultores durante las últimas siete décadas, mediante su aplicación en el desarrollo de variedades de cultivos con mayor rendimiento; variedades con comportamiento estable o mejorado ante fenómenos de cambio climático, como sequía, altas temperaturas, inundaciones, entre otros, y resistentes a las enfermedades y plagas prevalentes con crecientes intensidades y frecuencias de diseminación transfronteriza. Las mutaciones espontáneas forman la base de la evolución. En la historia del mejoramiento moderno de los cultivos, las mutaciones espontáneas en los genes de enanismo en el trigo y el arroz fueron los principales impulsores de la revolución verde en la década de 1960.

La variación genética inducida generada mediante mutágenos físicos y químicos en el material de siembra, como semillas sexuales y propágulos vegetativos, acelera la tasa de evolución espontánea y ofrece una gran cantidad de material vegetal diverso para seleccionar y desarrollar variedades de cultivos nuevos y mejorados. Las técnicas involucradas en la inducción de mutaciones y la selección de material vegetal mejorado y su desarrollo en nuevas variedades, así como los sistemas de innovación involucrados en la diseminación de semillas de calidad a los agricultores para su cultivo, continúan evolucionando con tecnologías y enfoques innovadores.

Si bien los rayos gamma siguen siendo la principal fuente de mutágenos para la mejora por mutaciones en la mayoría de los países del mundo, cada vez se presta más atención a los haces de electrones y los haces de iones pesados para la inducción de mutaciones. Además, la selección del material vegetal mejorado resultante de la mutagénesis inducida sigue siendo un área importante de investigación continua, debido a las siguientes razones: 1) debe adaptarse a las características de la planta que se desea mejorar; 2) continuamente se buscan eficiencias de tiempo y espacio mediante metodologías de fenotipado e instalaciones de alto rendimiento, y 3) el descubrimiento y uso de marcadores moleculares son cada vez más factibles, debido al uso de tecnologías genómicas y bioinformáticas con costos accesibles. Por otra parte, otras tecnologías de mejoramiento rápido, como los dobles haploides y su aplicación a diferentes especies de cultivos, están siendo cada vez más estudiadas y aplicadas en el mejoramiento por mutaciones.

Finalmente, si bien la mejora de las especies propagadas por semillas a través de la mutagénesis ahora es razonablemente perfecta y solo tiene que evolucionar con las tecnologías innovativas, el mejoramiento por mutaciones en especies propagadas vegetativamente –como banano, tubérculos y cultivos de árboles perennes– sigue siendo un desafío. Las técnicas *in vitro* y la generación de mutantes no quiméricos son críticas para la eficiencia de la mejora de dichas especies.

En América Latina y el Caribe, el mejoramiento por mutaciones se ha utilizado para mejorar una variedad de cultivos para diversos caracteres con el apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Los cultivos mejorados incluyen especies propagadas por semillas, como arroz, cebada, amaranto, quinua y trigo, así como cultivos de propagación vegetativa, como papa y camote.

Este libro es una recopilación de la investigación y los resultados del mejoramiento por mutaciones aplicados a estos diferentes cultivos en la región, y una discusión de las diferentes metodologías utilizadas.

Shoba Sivasankar

Jefe de sección, fitomejoramiento y genética
División conjunta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares
en la Alimentación y la Agricultura
Viena, Austria

CAPÍTULO 5

ECUADOR: FITOMEJORAMIENTO DE CULTIVOS DE SEGURIDAD ALIMENTARIA, CEBADA Y PAPA

Javier Garófalo,^{1} Luis Ponce-Molina,¹ Patricio Noroña,¹
Diego Campaña,¹ Xavier Cuesta,² Jorge Rivadeneira,²
Cecilia Monteros,² Marcelo Racine,²
Jorge Coronel,³ Carlos Jiménez³*

Resumen

La cebada y la papa tienen una amplia adaptación ecológica en el callejón interandino de la Sierra ecuatoriana, y son considerados como productos de seguridad alimentaria, debido a su importancia social y económica, y ser la principal fuente de carbohidratos para la población. En las zonas de producción, estos cultivos presentan problemas a factores bióticos –enfermedades– y abióticos –clima y suelo–, por ende, la importancia del mejoramiento genético de plantas. La inducción de mutaciones ha permitido mejorar características puntuales en variedades de amplia adaptación. El INIAP ha incluido dentro de sus métodos de mejoramiento el uso de las mutaciones inducidas como alternativa para generar variación genética para el desarrollo de nuevas variedades. El trabajo realizado en la Estación Experimental Santa Catalina ha permitido generar germoplasma de cebada y papa con características de tolerancia a factores abióticos y bióticos. Este documento describe los esfuerzos realizados por el INIAP para la generación de variedades a través del uso de mutaciones inducidas.

¹ Programa de Cereales, Estación Experimental Santa Catalina, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP-Ecuador).

* javier.garofalo@iniap.gob.ec

² Programa de Raíces y Tubérculos, Estación Experimental Santa Catalina, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP-Ecuador)

³ Programa de Cereales, Estación Experimental Santa Catalina, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP-Ecuador)

Introducción

El 26 de octubre de 1956, las Naciones Unidas decidieron establecer una entidad que se dedique al fomento de la investigación y aplicación de las ciencias y la tecnología nuclear para fines pacíficos. Ecuador, por medio de sus delegados, se adhirió a esta decisión y ha formado parte del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). En los años cincuenta, se establece la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEA), encargada de realizar investigaciones en áreas como entomología, suelos, genética, medicina veterinaria y la conservación de alimentos (Larrea, 1986; OIEA, 2018).

Uno de los primeros proyectos de investigación agrícola en que participó el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), mediante la Estación Experimental Santa Catalina (EESC), fue Uso Eficiente del Agua y de Fertilizantes para tres Variedades de Trigo, en el período comprendido entre 1979 y 1984. Posteriormente, el INIAP participó en proyectos tales como “Efectos de Radiación de Gamma sobre la Conservación de los Tubérculos”, “Determinación de la Lámina Óptima de Agua en Riego por Surcos, en papa (*Solanum tuberosum*)” y “Efecto de la Humedad del Suelo y de la Radiación Gamma sobre Conservación de Tubérculos de Papa (*Solanum tuberosum*)” (Larrea, 1986)

Durante los años 2006 y 2010, el INIAP ejecutó el proyecto nacional ECU/5/023 Inducing Mutations in Agriculture with the Aid of Radiation, con el objetivo de obtener variabilidad genética en germoplasma de maíz, papa y cebada con potencial para ser usado en programas de mejoramiento. De 2016 a 2019, Ecuador, por medio del INIAP, participó en el proyecto ARCAL RLA/5/068 Improving Yield and Commercial Potential of Crops of Economic Importance (ARCAL CL).

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es el cuarto cereal más cultivado a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz (FAO, 2018). La razón de su importancia se debe a su amplia adaptación ecológica y a su diversidad de aplicaciones (Canal, 2012). Adicionalmente, su importancia social y económica se basa en su diversificado uso para el consumo humano y bebidas de malta. En el período comprendido entre 2010-2017, a nivel mundial, se cosecharon 48.5 millones de hectáreas en promedio (FAOSTAT, 2020) (Ponce-Molina *et al.*, 2020).

En Ecuador, después del maíz, la cebada es el cereal de más amplia distribución en la Sierra ecuatoriana, difundido ampliamente entre los 2400 y 3500 msnm. en el callejón interandino (Falconi *et al.*, 2013). El área potencial es de 200 mil hectáreas para su cultivo (Ponce-Molina *et al.*, 2020). Según las estadísticas del INEC-ESPAC, en 2018, la superficie dedicada al cultivo de cebada fue de 10 124 hectáreas, distribuidas entre las 10 provincias de la sierra, con una producción anual de 13 674 toneladas, mientras que las importaciones anuales superan las 66 mil toneladas. Cerca de

10 mil familias cultivan y dependen de este cereal. Uno de los principales problemas para la cebada es aquellos relacionados a factores bióticos –enfermedades– y abióticos –condiciones climáticas y de suelo.

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos alimenticios más importantes del mundo, después del arroz, trigo y maíz, en términos de consumo humano (Zhang *et al.*, 2017). Más de mil millones de personas en todo el mundo consumen papas, y la producción mundial del cultivo superó los 368 millones de toneladas en 2018 (FAO, 2020). En Ecuador, la producción nacional de papa, en 2018, fue de 26 9201 toneladas, cultivadas en 23 974 hectáreas, con un rendimiento promedio de 16.28 t ha⁻¹ (INEC, 2019).

El cultivo de papa se ve afectado por factores bióticos –plagas y enfermedades– y abióticos –sequía, bajas temperaturas, calor, entre otros– que afectan la producción y calidad (Al-Safadi y Arabi, 2003; Gabriel *et al.*, 2018). Una de las principales enfermedades que afecta al cultivo es *Phytophthora infestans*, causada por un oomicete, esta enfermedad puede causar pérdidas en el rendimiento superiores a 70 % (Sedláková *et al.*, 2011; Fry *et al.*, 2015; Lenman *et al.*, 2015). La mayoría de las variedades de papas cultivadas en Ecuador son susceptibles a tizón tardío, en las cuales realizan hasta 23 aplicaciones en variedades susceptibles como superchola (Unda *et al.*, 2013).

El INIAP encargado de la generación, desarrollo y adaptación de tecnologías agropecuarias en Ecuador, desde su creación en 1959, ha entregado alrededor de 40 variedades mejoradas de cebada y papa para los productores ecuatorianos. Para el desarrollo de nuevos materiales, el INIAP emplea métodos de mejoramiento convencionales –cruzamientos y retrocruzamientos–, así como la introducción de germoplasma foráneo y la generación de variabilidad empleando mutaciones inducidas. Las mutaciones inducidas son la principal técnica de mejoramiento usada para generar nueva variabilidad genética en especies de variabilidad estrecha o en especies exóticas adaptadas a condiciones específicas como es el caso de la cebada en Ecuador.

Inducción de mutaciones en cebada

En 2007, dentro del esquema de mejoramiento mediante la inducción de mutaciones en el cultivo de cebada, inició la determinación de la DL₅₀ –pruebas de dosimetría–, considerando que la semilla es el material preferido para la irradiación. El objetivo fue determinar la dosis óptima de irradiación para inducir y generar mutaciones deseables en semillas de dos variedades de cebada; para ello, se evaluó el porcentaje de germinación, altura y vigor de plántulas, en laboratorio y campo.

La irradiación de la semilla se realizó por medio de rayos gamma de una fuente de ⁶⁰Co de un irradiador categoría I –irradiador básico, seguro y autoblandado–. El equipo

utilizado pertenece a la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR).

Los materiales de cebada que se utilizaron para la inducción de mutaciones fueron: la variedad mejorada de dos hileras (díptica) INIAP-Cañicapa 2003, de grano cubierto; y la variedad criolla de seis hileras (hexástica) Rita Pelada, de grano desnudo. La semilla empleada fue de alta calidad tanto física como biológica, con porcentajes de germinación superiores a 90 % y con 12 % de humedad.

Para determinar la dosis letal media (DL_{50}), se utilizaron cinco dosis: n1: 0 Gy (testigo); n2: 100 Gy; n3: 150 Gy; n4: 200 Gy, y n5: 250 Gy. Tomando como base la calibración de $14.13 \text{ Gy min}^{-1}$ del irradiador, los tiempos de irradiación variaron dependiendo de la dosis; para 100 Gy, se utilizó 7.08 minutos, 150 Gy: 10.62 minutos, 200 Gy: 14.15 minutos y 250 Gy: 17.69 minutos. La DL_{50} se implementó con base en 10 tratamientos –dos variedades y cinco dosis de irradiación–, y cada uno conformado por 80 gramos de semilla para la irradiación.

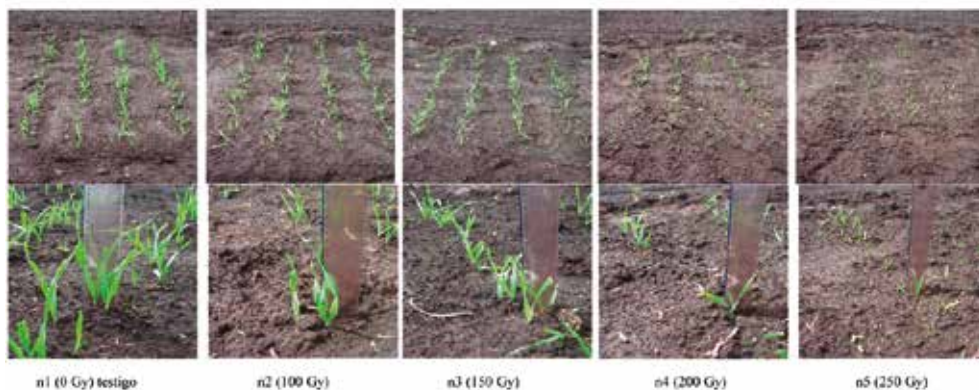
Las determinaciones de la DL_{50} se llevaron a cabo, durante 2007, en dos fases: en laboratorio y en campo. En laboratorio, la prueba de germinación se realizó en una cámara de germinación, con cuatro repeticiones, para lo cual en papel secante húmedo se colocaron 100 semillas por cada tratamiento, se dejó a una humedad de 90 % y temperatura de 22 °C. A los 8 días, se determinó el porcentaje de germinación. En campo, en camas de 1.50 m x 5 m; y se implementó el ensayo, sembrando 50 semillas por tratamiento, con cuatro repeticiones. A los 11 días posteriores a la siembra, se determinó el porcentaje de germinación y se contabilizó el número de semillas germinadas. La altura de plántula expresada en centímetros se determinó a los 19 días. De igual manera, se evaluó, por tratamiento, el vigor de las plántulas, para lo cual se usó la escala: MB= muy bueno, B= bueno, R= regular y M= malo.

En los resultados de laboratorio, para porcentaje de germinación, se observaron diferencias altamente significativas entre variedades, diferencias significativas entre dosis y ninguna significación estadística para la interacción variedades por dosis. El coeficiente de variación fue de 0.48 % con un promedio general de 82.2 %, con un coeficiente de variación de 0.48 %. INIAP-Cañicapa 2003 presentó 89.6 % y Rita pelada con 74.9 %, indicándonos que las variedades respondieron de diferente manera con los dosis de irradiación. La prueba Tukey a 5 % para dosis de irradiación determinó un solo rango de significación estadística, con porcentajes de germinación de 88.8 % (n1), 81.5 % (n2), 82.5 % (n3), 79.0 % (n4) y 79.5 % (n5).

En los resultados de campo para porcentaje de emergencia, se observaron diferencias altamente significativas para variedades, dosis y para la interacción variedades por dosis. El coeficiente de variación fue de 0.79 %, con un promedio general de

53.8 %. La alta significancia estadística para variedades y dosis indica que el porcentaje de emergencia no se expresó igual en las variedades, influyendo posiblemente dosis de irradiación. La prueba de Tukey a 5 % para dosis determinó tres rangos de significación estadística, ubicándose en el primer rango las dosis 0, 100 y 150 Gy con valores promedios entre 58.5 y 68.0 %, y en el tercer rango la dosis de 250 Gy con 33.8 % de porcentaje de emergencia. En la variable altura de planta, se observó que en las dosis de 200 y 250 Gy existió una reducción de 50 % de la altura, en comparación con el testigo que presentó un valor promedio de 14.5 cm; de igual manera se observaron diferencias en el vigor de planta, con excelente vigor para el testigo, y mal vigor para las dosis de 200 y 250 Gy (Figura 1).

Figura 1. *Altura de plántula de dos variedades de cebada en pruebas de DL_{50} EESC, 2007.*



Fuente: Programa Cereales, INIAP, 2007.

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la dosis letal media (DL_{50}) se encuentra entre las dosis de 100 y 150 Gy, que provocaron daños menores en las plantas, con ligeras diferencias fenotípicas, comparadas con el testigo, tanto en porcentaje de germinación como en altura y vigor, para las dos variedades.

Determinada la dosis óptima de 150 Gy, se irradió alrededor de 150 mil semillas de alta calidad, obteniendo la población M_1 , la cual se sembró en campo a una baja densidad, 75 kg ha^{-1} , con el objetivo de obtener plantas espaciadas unas de otras. Durante el ciclo del cultivo, se pudieron observar plantas que presentaron mutaciones clorofílicas, como plantas albinas, xanthas, clorinas, entre otras; además, se observaron plantas con cambios morfológicos en características fenotípicas, como tipo de espiga y altura de planta. Al momento de la cosecha, se seleccionó la espiga del brote principal de

cada planta que presentaba ciertas características fenotípicas y morfológicas deseables, como menor altura de planta, plantas erectas y vigorosas y espigas bien formadas y vigorosas. Las poblaciones M_2 a la M_6 se manejaron con métodos de selección masal (M_5 y M_6), individual (M_2 , M_3) y/o pedigree y mixta, o combinada (M_4). El método de selección dependió de la homogeneidad de las poblaciones mutantes.

En 2017, la población M_4 de cebada, conformada por 12 líneas, se la evaluó bajo diferentes épocas y dosis de cal en un suelo andisol ácido, con el objetivo de identificar líneas M_4 con tolerancia a la acidez. Las dosis de cal fueron: 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 9.0, 12.0, 15.0 y 18.0 t ha⁻¹. El experimento se implementó bajo un Diseño de Parcela Dividida (DPD) con tres repeticiones, en el cual la parcela grande corresponde al factor dosis de cal y las parcelas pequeñas a las épocas. El tamaño de la parcela grande fue de 90 m² y el de la parcela pequeña de 30 m².

En la variable porcentaje de emergencia, se observó que en las dosis más bajas de cal –mayor acidez– eran más bajos los valores de porcentaje de emergencia, 25 a 28 %. Para la variable altura de planta, se observó que en los niveles más altos de cal se registraron los valores altos de altura de planta, entre 85 y 95 cm. En cambio, para el rendimiento de grano, se observó que en las dosis más altas de cal se produjeron los mayores rendimientos. Con estos resultados, en forma general, se observó una clara influencia del encalado en las variables evaluadas, por lo que se logró tener información importante del comportamiento de las líneas en diferentes niveles de acidez. De las 12 líneas evaluadas, se seleccionaron tres líneas, que presentaron rendimientos entre los 1.2 a 1.5 t ha⁻¹ en suelos de pH 4.5, en comparación con líneas que no pudieron sobrevivir al mismo pH.

En 2018, con las 12 líneas mutantes de cebada M_5 , se evaluó el comportamiento agronómico y reacción a enfermedades, con el objetivo de identificar al menos una línea mutante que presentara alto rendimiento, calidad y resistencia a las principales enfermedades del cultivo –royas, escaldadura y virus–. El experimento se implementó bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con tres repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de 3.6 m² (3.0 m x 1.2 m).

Con base en los resultados obtenidos, se seleccionaron tres líneas mutantes de cebada: las líneas S-2, S-10 y S-12, por presentar alto rendimiento y peso hectolítrico. Estos materiales formaron parte de los ensayos en el ciclo 2019.

Tabla 1. Promedio de variables agronómicas y reacción a enfermedades de líneas mutantes de cebada evaluadas en un ensayo de rendimiento (ER1). EESC, 2018

Línea	Pedigree	t ha ⁻¹	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Tipo de grano ^b	P. striiformis (%)		P. hordei (%)	BYD (0-9) ²	R. secalis (%)
					Hoja	Espiga			
S-1	INIAP CAÑICAPA 2003	4.2	61.7	**	40 S	0	10 R	1	6-5
S-2	Cañicapa 150 Gy	4.6	63.8	**	40 S	0	TR	3	5-4
	E-CMU-10-001-3E-0E-0E								
S-3	Cañicapa 150 Gy	4.1	61.5	**	50 S	0	10 R	2	6-5
	E-CMU-10-001-6E-0E-0E								
S-4	Cañicapa 250 Gy	4.0	62.2	**	40 S	0	5 R	2	5-4
	E-CMU-10-002-2E-0E-0E								
S-5	Cañicapa 250 Gy	4.0	61.0	**	50 S	0	15 MR	2	5-4
	E-CMU-10-002-4E-0E-0E								
S-6	Cañicapa 250 Gy	4.1	60.4	**	50 S	0	10 R	1	5-5
	E-CMU-10-002-7E-0E-0E								
S-7	Cañicapa 250 Gy	3.6	57.8	**	70 S	0	10 R	2	7-5
	E-CMU-10-002-8E-0E-0E								
S-8	INIAP CAÑICAPA 2003	3.9	61.3	**	40 S	0	5 R	1	5-4
S-9	RITA PELADA	2.4	70.9	*	15 MR	0	40 S	2	5-4
S-10	Rita Pelada 150 Gy	5.1	58.8	*	15MR	0	50S	2	4-3
	E-CMU-10-003-1E-0E-0E								

(Continúa)

(Continuación)

S-11	Rita Pelada 150 Gy	3.9	56.1	*	20MS	0	40S	2	4-3
	E-CMU-10-003-4E-0E-0E								
S-12	Rita Pelada 150 Gy	4.2	55.3	*	10R	3	50S	2	4-3
	E-CMU-10-003-5E-0E-0E								
S-13	Rita Pelada 150 Gy	4.1	57.1	*	10R	0	50S	2	5-4
	E-CMU-10-003-6E-0E-0E								
S-14	Rita Pelada 150 Gy	5.1	56.5	*	15MR	0	60S	2	6-4
	E-CMU-10-003-7E-0E-0E								
S-15	RITA PELLADA	1.8	69.8	*	10R	0	50S	1	5-4
Promedio		3.9	61.0		32.8	0.2	25.9	1.8	5.1-4.1
Coeficiente Variación (%)		14.8	2.6						
P valor ^a		<0,0001**	<0,0001**						
DMS (p<0.05)		1.0	2.7						

^aNivel de significancia 5 %: (¶¶**) altamente significativo, (¶*) significativo, (n.s.) no significativo.

^bTipo de grano: (**) Grano muy bueno, redondo y blanco; (*+) Grano bueno, redondo y amarillo; (*) Grano bueno, largo y trilla bien.

¹Tipo de reacción: (R) resistente, (MR) medianamente resistente, (MS) medianamente susceptible, (S) susceptible.

²Escala de evaluación de BYDV: (0) trazas de amarillamiento, (5) amarillamiento extenso, (9) enanismo severo.

Fuente: Programa Cereales, INIAP, 2018.

En la Tabla 1, se observa alta significancia estadística para las variables de rendimiento y peso hectolítrico. El promedio general del ensayo fue 3.9 t ha⁻¹ (rendimiento) y 61.0 kg hl⁻¹ (peso hectolitrito). Las mejores líneas para la variable de rendimiento fueron: S-14, S-10 y S-2, con valores superiores al promedio general del ensayo. Para peso hectolítrico, las líneas S-9-, S-15 y S-2 presentaron los mejores resultados. En general, el tipo de grano de las líneas evaluadas fue muy bueno. Asimismo, se observaron la severidad y tipo de reacción de las líneas mutantes evaluadas frente a las principales enfermedades que afectan al cultivo. Las enfermedades de mayor incidencia fueron: roya amarilla, roya de la hoja y escaldadura, con promedios de 32.8, 25.9 y 5.1 % de severidad, respectivamente.

Durante 2019, se evaluaron las tres líneas mutantes de cebada en ensayos multiamiente, en tres localidades de las provincias de Pichicha y Tungurahua, con el objetivo de seleccionar una línea que presente alto rendimiento, calidad y resistencia a las principales enfermedades. El ensayo estuvo conformado por tres materiales mutantes de cebada y dos testigos progenitores (INIAP-Cañicapa 2003 y Rita pelada). El ensayo de investigación se implementó en tres localidades –Pedro Moncayo, Mejía y Pelileo –ubicadas en dos provincias de la Sierra ecuatoriana –Pichincha y Tungurahua–. Los experimentos se implementaron bajo un Diseño de Bloques Completos Al azar (DBCA), con tres repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de 3.6 m² (3.0 m x 1.2 m).

En el Anova para rendimiento, se observó alta significancia para líneas y ninguna significancia para localidades y para la interacción localidad por material. El promedio de 2.69 t ha⁻¹, con un coeficiente de variación de 24.1 %. Para la variable peso hectolítrico, se observó alta significancia estadística para localidades y líneas, y significancia estadística para la interacción localidad por material; con un promedio de 62.5 kg hl⁻¹ y un coeficiente de variación de 2.24 %. Los materiales presentaron un promedio de rendimiento similar de 2.68 t ha⁻¹ en las tres localidades. Para el factor localidades, se observaron dos rangos de significancia estadística, ubicándose, en el primer rango, las localidades de Tungurahua y Tabacundo; mientras que en el segundo rango se ubicó la localidad EESC.

En la tabla 2, para la variable rendimiento, se observa que el material CMU-19-002, presentó el mayor valor con 3.12 t ha⁻¹, mientras que el valor más bajo fue para el progenitor Rita Pelada con 1.98 t ha⁻¹. Por otra parte, en la variable peso hectolítrico, el valor más alto fue para el material Rita Pelada, con 70.47 kg hl⁻¹. El promedio general de vigor fue de 1 (bueno), hábito de crecimiento 2 (semierecto), altura de planta de 108 cm y tipo de paja 1 (bueno). En lo referente a reacción a enfermedades, se observó que la mayor severidad se observó en *Puccinia striiformis*, con un valor promedio de 26 %, seguido por *Puccinia hordei*, con 13 %. Para el resto de enfermedades, se observaron valores bajos de incidencia.

Tabla 2. Promedio de variables agronómicas y severidad a enfermedades de líneas mutantes de cebada en ensayos multi-ambientes, 2019

Línea	Pedigree	Rendimiento t ha ⁻¹	Peso hectolitrico (kg hl ⁻¹)	Vigor	Hábito	Altura planta (cm)	Tipo paja	P. striiformis (%)		P. hordei (%)	BYDV (0-9) ²	R. secalis (%)
								Hoja	Espiga			
CMU-19-001	Cañicapa 150 Gy	2.93 ab	62.63 b	1	2	108	1	25	10	13	1	5-5
	E-CMU-10-001-3E-0E-0E-0E											
CMU-19-002	Cañicapa 250 Gy	3.12 a	61.2 b	1	2	110	1	28	11	11	1	5-5
	E-CMU-10-002-2E-0E-0E-0E											
CMU-19-003	Rita Pelada 150 Gy	2.4 bc	56.84 c	1	1	109	2	23	9	13	1	4-5
	E-CMU-10-003-5E-0E-0E-0E											
INIAP-CAÑICAPA 2003		3.01 ab	61.37 b	1	2	112	1	27	5	8	1	5-5
RITA PELADA		1.98 c	70.47 a	2	2	102	3	26	5	21	2	5-5
PROMEDIO		2.69	62.50	1	2	108	1	26	8	13	1	5-5

* Promedios con diferente letra son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$)

Fuente: Programa Cereales, INIAP, 2019.

A la par de las evaluaciones agronómicas y reacción a enfermedades, se realizó la evaluación participativa de los materiales mutantes de cebada. La línea con mayor aceptación y seleccionada por parte de los agricultores fue la CMU-19-003, seguido por el material parental INIAP-Cañicapa 2003. El material parental Rita Pelada fue la de menor aceptación. El principal criterio de selección por parte de los agricultores fue el tipo de grano y altura de planta.

Inducción de mutaciones en papa

La generación de mutantes se realizó a partir de plántulas de papa de la variedad superchola (*Solanum tuberosum*) cultivadas *in vitro*; se obtuvieron explantes de yemas apicales y axilares que fueron colocadas en 20 cajas Petri con agua desionizada estéril; cada caja Petri contenía 50 explantes, en total fueron 500 explantes provenientes de yemas axilares y 500 explantes de yemas apicales. El proceso de irradiación se efectuó con una fuente de ^{60}Co perteneciente al Departamento de Ciencias Nucleares de la Escuela Politécnica Nacional. Los explantes fueron sometidos a la dosis óptima determinada de 35 Gy para los explantes de yemas apicales y 30 Gy para los explantes de yemas axilares. Posteriormente, los explantes irradiados seleccionados se colocaron en un medio básico de cultivo Murashige & Skoog (M&S). Se realizaron tres micropropagaciones sucesivas cada 45 días. Los mutantes sólidos provenientes de yemas axilares y apicales identificados fueron sembrados en frascos de vidrio de un diámetro de 10 cm con medio básico de cultivo M&S. Cada frasco contenía 5 cortes de yemas, separados de 2 a 3 cm entre cortes. Las condiciones de crecimiento *in vitro* fueron de 24 °C, 16 horas de luz. Cuando las plántulas presentaron entre 3 a 4 hojas completamente desarrolladas se efectuó la inoculación.

Para las inoculaciones de *Phytophthora infestans*, se utilizó un aislamiento de una raza compleja con 11 genes R de *P. infestans* obtenida en la Estación Experimental Santa Catalina de la provincia de Pichincha. La activación, multiplicación, preparación y aplicación del inóculo de *P. infestans* se realizaron de acuerdo con la metodología establecida por Gamboa *et al.* (2019).

Para la selección *in vitro*, los mutantes sólidos se inocularon con una suspensión de 0.5×10^4 zoosporas/ml de inóculo de *P. infestans*. Después de 8 días, las plantas fueron evaluadas para *P. infestans*. Para la evaluación de los mutantes *in vitro* a *P. infestans*, se utilizó la escala utilizada por Huang *et al.* (2005), donde: 1 = lesión extendida con una esporulación masiva; 2 = poca extensión de la lesión o poca esporulación; 3 = lesión sin extensión con poca esporulación; 4 = lesión sin extensión, rastros de necrosis, sin esporulación; 5 = sin síntomas

En campo se evaluaron 116 plantas mutantes que presentaron resistencia a tizón tardío en condiciones de laboratorio. Se utilizaron 5 variedades testigo INIAP-Santa Catalina, INIAP-Fripapa como resistentes e INIAP-Gabriela, superchola y uvilla como susceptibles a *P. infestans*. El diseño experimental utilizado fue látices parcialmente balanceado 11x11 con tres repeticiones. Se utilizó la prueba de Tukey al 5 % para los tratamientos que presentaron diferencias estadísticas. Las variables evaluadas fueron severidad a tizón tardío, expresada en valores de área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) y rendimiento en kilogramos por planta (RP) (Cuesta *et al.* 2015). La severidad a *P. infestans* se evaluó cada 7 días; en total, se realizaron 12 lecturas.

Como resultados, los individuos seleccionados como mutantes sólidos correspondieron al 75 % originados de yemas apicales (1 319 mutantes), mientras 25 % fueron deformes (434 mutantes) y 69 % seleccionados de yemas axilares (2145 mutantes) con 31 % de deformes (976 mutantes). En total, se generaron 3 464 mutantes sólidos y 1 410 mutantes deformes. Las yemas apicales y axilares provenientes de superchola *in vitro* irradiadas con fuente ^{60}Co generaron una población de mutantes sólidos. Bado *et al.* (2016) mencionan que este método de cultivos *in vitro* de papa irradiados con una fuente de ^{60}Co es una alternativa eficaz para generar variación genética.

En la reacción a *Phytophthora infestans* de mutantes *in vitro*, se evaluaron 1 319 mutantes sólidos a *P. infestans in vitro* provenientes de yemas apicales. Dentro del grupo, se identificó que 38 % presentaron una respuesta de resistencia a *P. infestans*, ubicándose en la escala 4 y 5, con 316 y 182 mutantes respectivamente, mientras 62 % de los mutantes mostraron una reacción de susceptibilidad, posicionándose en la escala 1 y 2, con 451 y 370 mutantes. Los mutantes sólidos provenientes de yemas axilares evaluados fueron 2 145, de los cuales 20 % mostraron una respuesta de resistencia a *P. infestans*, localizándose en la escala 4 y 5, con 179 y 261 mutantes respectivamente, mientras 80 % de las yemas axilares mostraron susceptibilidad, ubicándose en la escala 1 y 2 con 1044 y 1482 mutantes respectivamente. En total, se evaluaron 3 464 mutantes sólidos, provenientes de yemas apicales y axilares, solo 27.08 % (938 mutantes) presentaron resistencia a *P. infestans*. Gosal *et al.* (2001), en su evaluación *in vitro* de mutantes provenientes de dos variedades, presentaron valores similares con 42 y 36 % de mutantes con resistencia a *P. infestans*, mientras Al-Safadi *et al.* (2003) en su evaluación *in vitro* a *P. infestans* en mutantes provenientes de tres variedades, obtuvieron menos de 5 % de mutantes con resistencia a tizón tardío.

El análisis de la varianza para ABCPE y RP estableció diferencias significativas a 1 % de probabilidad. El promedio general fue de 3 261.31 y 0.60 para ABCPE y kg planta⁻¹, respectivamente. El coeficiente de variación para ABCPE fue de 15.92 % y 45.60 % para rendimiento por planta (tabla 3).

Tabla 3. ANOVA para ABCPE y RP en la evaluación de mutantes con resistencia a *P. infestans* en la variedad Superchola, EESC, Pichincha

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	
		ABCPE	RP
Total	362	-	-
Repetición	2	5.82 ^{ns}	38.96 ^{ns}
Mutantes	120	2.51 ^{**}	2.10 ^{**}
Bloque ajustado	10	2.01 ^{**}	4.59 ^{**}
Bloque a	132	2.52 ^{**}	2.84 ^{**}
Error	230		
CV (%)		15.92	45.60
PG		0.60	3261.31

** Significativa al 1 %; ^{ns} no significativo; CV = coeficiente de variación; PG = promedio general; ABCPE = área bajo la curva de progreso de la enfermedad; RP = rendimiento por planta

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % para ABCPE se detectaron 8 rangos, las variedades INIAP-Santa Catalina, INIAP-Fripapa y los mutantes m67, m92, m39 que se ubicaron en los primeros tres rangos con valores menores a 2 536.25 unidades de ABCPE, mientras el mutante m75 se ubicó en el último rango con 4 829.52 unidades de ABCPE (tabla 4). Los tres mutantes (m67, m92, m39) mostraron la mejor respuesta a *P. infestans* lo que representan 2.59 % de los mutantes evaluados (116 mutantes). Kowalski y Cassells (1999) obtuvieron un porcentaje mayor de mutantes con resistencia a tizón tardío (7 %), provenientes de una variedad comercial. Dentro de las variedades testigo, superchola y uvilla fueron los más susceptibles a *P. infestans* con valores de 3 716.86 y 4 237.14 unidades de ABCPE respectivamente. Existió variación en la respuesta de los mutantes a *P. infestans*; sin embargo, no se encontraron mutantes con mayor resistencia a la mostrada por la variedad testigo INIAP-Santa Catalina.

Tabla 4. Promedio y prueba de Tukey al 5 % para ABCPE, RP (kg planta⁻¹) en materiales mutantes y variedades testigo de papa. EESC, Pichincha

Genotipos	ABCPE	RP	Genotipos	ABCPE	RP	Genotipos	ABCPE	RP
I-Sta. Catalina	1638.88a	1.09 ab	m32	3084.74 a-g	0.57 abc	m116	3401.96 b-h	0.38 abc
I-Fripapa	2304.69 ab	0.72 abc	m63	3086.54 a-g	0.63 abc	m70	3404.18 b-h	0.52 abc
m67	2373.31 abc	0.70 abc	m107	3089.55 a-g	0.50 abc	m1	3436.73 b-h	0.72 abc
m92	2522.07 a-d	0.73 abc	m52	3097.66 a-g	0.32 abc	m74	3443.41 b-h	0.72 abc
m39	2536.24 a-d	1.02 abc	m103	3110.44 a-g	0.56 abc	m35	3450.19 b-h	0.70 abc
m57	2583.76 a-e	0.30 abc	m110	3113.40 a-g	0.73 abc	m51	3466.42 b-h	0.85 abc
m113	2610.05 a-f	1.00 abc	m16	3117.79 a-g	0.50 abc	m104	3479.71 b-h	0.60 abc
m25	2626.14 a-f	0.82 abc	m86	3132.67 a-g	0.72 abc	m80	3501.92 b-h	0.52 abc
m8	2661.35 a-f	0.45 abc	m41	3141.97 a-g	0.58 abc	m17	3508.03 b-h	0.37 abc
m58	2692.00 a-f	0.82 abc	m81	3148.38 a-h	0.27 bc	m56	3510.17 b-h	0.78 abc
m117	2709.69 a-f	0.27 bc	m47	3148.99 a-h	0.90 abc	m53	3531.11 b-h	0.53 abc
m77	2716.60 a-f	0.40 abc	m96	3171.58 a-h	0.79 abc	m48	3568.36 b-h	0.78 abc
m11	2723.96 a-f	0.72 abc	m4	3176.69 a-h	0.57 abc	m15	3569.84 b-h	0.28 abc
m89	2736.12 a-f	1.05 abc	m38	3178.65 a-h	0.30 abc	m98	3631.96 b-h	0.63 abc
m112	2757.30 a-f	0.82 abc	m65	3200.22 a-h	1.15 a	m105	3642.09 b-h	0.52 abc
m49	2757.30 a-f	1.12 ab	m30	3200.61 a-h	0.42 abc	m40	3654.79 b-h	0.97 abc
m13	2778.92 a-f	0.81 abc	m62	3201.52 a-h	0.62 abc	m19	3703.32 b-h	0.32 abc

m111	2790.44 a-f	0.55 abc	m12	3226.16 a-h	0.47 abc	m85	3712.00 b-h	0.37 abc
m43	2798.96 a-f	0.62 abc	m9	3229.18 a-h	0.47 abc	m109	3716.49 b-h	0.28 abc
m55	2806.70 a-f	1.03 abc	I-Gabriela	3235.66 a-h	0.30 abc	Superchola	3716.86 b-h	0.85 abc
m120	2809.37 a-f	0.65 abc	m26	3248.74 a-h	0.78 abc	m6	3717.94 b-h	0.58 abc
m73	2814.27 a-f	0.75 abc	m66	3252.00 a-h	0.70 abc	m28	3731.48 b-h	0.41 abc
m7	2830.67 a-f	0.80 abc	m45	3260.23 a-h	0.98 abc	m95	3749.01 b-h	0.75 abc
m100	2885.27 a-f	0.37 abc	m64	3263.34 a-h	0.78 abc	m68	3761.29 b-h	0.38 abc
m82	2889.57 a-f	0.60 abc	m44	3263.46 a-h	0.60 abc	m106	3762.99 b-h	0.63 abc
m83	2915.43 a-f	0.65 abc	m37	3275.50 a-h	0.22 c	m76	3778.66 b-h	0.47 abc
m46	2933.25 a-f	0.77 abc	m36	3286.74 a-h	0.47 abc	m18	3780.87 b-h	0.27 bc
m23	2939.61 a-f	0.70 abc	m34	3298.76 a-h	0.60 abc	m31	3837.26 b-h	0.90 abc
m10	2942.65 a-f	0.72 abc	m2	3299.64 a-h	0.62 abc	m60	3899.86 b-h	0.33 abc
m94	2963.57 a-f	0.45 abc	m72	3304.09 a-h	0.68 abc	m115	3965.68 b-h	0.23 c
m22	2985.89 a-f	0.50 abc	m119	3321.96 b-h	0.50 abc	m69	3972.43 b-h	0.20 c
m79	2992.32 a-f	0.49 abc	m21	3326.85 b-h	0.67 abc	m33	4001.49 c-h	0.67 abc
m97	3000.48 a-f	0.80 abc	m24	3335.11 b-h	0.20 c	m121	4067.44 d-h	0.26 bc
m59	3022.15 a-f	0.80 abc	m42	3349.73 b-h	1.15 a	m108	4103.35 d-h	0.35 abc
m71	3024.59 a-f	0.38 abc	m61	3363.10 b-h	0.73 abc	m88	4154.72 d-h	0.25 bc
m5	3032.32 a-f	0.39 abc	m14	3364.03 b-h	0.40 abc	Uvilla	4237.14 e-h	0.40 abc

(Continúa)

(Continuación)

m29	3036.12 a-f	0.38 abc	m20	3375.94 b-h	0.63 abc	m93	4286.72 fgh	0.77 abc
m91	3041.42 a-g	0.77 abc	m27	3380.96 b-h	0.53 abc	m114	4723.74 gh	0.33 abc
m87	3049.65 a-g	0.72 abc	m101	3382.33 b-h	0.68 abc	m75	4829.52 h	0.47 abc
m54	3061.45 a-g	0.63 abc	m90	3393.50 b-h	0.32 abc			
m3	3074.96 a-g	0.45 abc	m50	3400.01 b-h	0.60 abc			

¹Letras diferentes indican diferencias estadísticas según Tukey al 5 %; RP = rendimiento por planta; ABCPE = área bajo la curva de progreso de la enfermedad; I= INIAP.

Fuente: Programa de papa, INIAP, 2019.

En la prueba de Tukey a 5 % para rendimiento por planta, se establecieron 3 rangos; los mutantes m42 y m65 se ubicaron en el primero con 1.15 kg planta⁻¹. La variedad INIAP-Santa Catalina y el mutante m49 se ubicaron en el segundo con rendimientos entre 1.09 y 1.12 kg⁻¹ planta, respectivamente, mientras los mutantes m115, m37, m69 y m24 se encontraron en el último rango con rendimientos inferiores a 0.24 kg planta⁻¹. Las variedades susceptibles superchola, uvilla e INIAP-Gabriela presentaron rendimientos de 0.85, 0.40 y 0.30 kg planta⁻¹, respectivamente (tabla 4). Los mutantes m42, m65 y m49, al comparar el rendimiento con superchola –variedad que provienen los mutantes–, presentaron un incremento en el rendimiento entre 24.11 y 26.09 %. Resultados similares los obtuvo Salomón *et al.* (2017), al evaluar mutantes provenientes de una variedad irradiada con fuente ⁶⁰Co (30Gy), presentaron un incremento de 43.86 % del rendimiento por planta comparado con la variedad de origen de los mutantes. Se observó variación en el rendimiento en comparación con las variedades resistentes y susceptibles; se identificaron mutantes con potencialidad para seguir sus evaluaciones dentro del esquema de mejoramiento.

Conclusiones

El uso de radiación con fuente de ⁶⁰Co es una técnica válida para el mejoramiento genético de cebada y papa, porque permite generar variación genética en la búsqueda de resistencia a factores bióticos y abióticos, así como la obtención de individuos con características deseables de productividad y calidad.

Referencias

- AL-SAFADI, B. y Arabi, M. (2003). *In vitro* induction, isolation and selection of potato mutants resistant to late blight. *J. Genet & Breed*, 57, 364-359.
- BADO, S., Rafiri, M. A., El-Achouri, K., Sapey, E., Nielen, S., Ghanim, A. M. A., Forster, B. P., & Laimer, M. (2016). *In vitro* methods for mutation induction in potato (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 15(39), 2132-2145
- CANAL, G. (2012). *Análisis de la variabilidad genotípica de cebada cervecera en rendimiento, porcentaje de proteína y calibre en distintos ambientes* (Tesis de especialidad en Cultivos de Granos). Buenos Aires, Argentina.
- CUESTA, X., Rivadeneira, R. & Monteros, C. (2015). *Mejoramiento genético de papa: conceptos, procedimientos, metodologías y protocolos*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- FALCONÍ, E., Garófalo, J., Llangarí, P. y Espinoza, M. (2013). El cultivo de cebada: guía para la producción de semilla de calidad. Boletín Divulgativo N° 390. INIAP-Ecuador.
- FAO. (2020). FAOSTAT Statistics Database 2018. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO] International Atomic Energy Agency [IAEA]. (2020). *Mutant Varieties Data base*. Recuperado de <https://mvd.iaea.org/#!Home>
- GAMBOA, S., Perez, W., Andrade-Piedra, J. & Forbes, G. (2019). Laboratory manual for *Phytophthora infestans* work at CIP. Lima, Perú: International Potato Center.
- GABRIEL, J., Ruiz, I. & Cuesta, X. (2018). Ampliando la frontera agrícola de la papa (*Solanum tuberosum* L.) para disminuir los efectos del cambio climático. *Universidad y Sociedades*, 10(1):46-51. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>
- GOSAL, S. S., Das, A., Gopal, J., Minocha, J. L., Chopra, H. R., & Dhaliwal, H. S. (2001). *In vitro* induction of variability through radiation for late blight resistance and heat tolerance in potato (IAEA-TECDOC--1227). International Atomic Energy Agency (IAEA).
- HUANG, S., Vleeshouwers, V., Visser, R. & Jacobsen, E. (2005). An accurate in vitro assay for high-throughput disease testing of *Phytophthora infestans* in potato. *Plant Dis.*, 89,1263-1267.
- INSITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INEC). (2019). Encuesta y superficie y producción agropecuaria continua. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- KOWALSKI, B. & Cassells, A. (1999). Mutation breeding for yield and *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary folia resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.:

- cv Golden Wonder) using computerized image analysis in selection. *Potato Research*, 42,121-130.
- FRY, W., Birch, P., Judelson, H., Grünwald, N., Danies, G., Everts, K., Gevens, A., Gugino, B., Johnson, D., Johnson, S. *et al.* (2015). Five reasons to consider *Phytophthora infestans* a Reemerging Pathogen. *Phytopathology*, 105, 966-981.
- LARREA, E. (1986). *Aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en el Ecuador. Perspectivas de desarrollo* [Informe académico, Instituto de Altos Estudios Nacionales]. Recuperado de <http://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/4203>
- LENMAN, M., Ali, A., Mühlenbock, P., Carlson-Nilsson, U., Liljeroth, E., Champouret, N., Vleeshouwers, V. & Andreasson, E. (2015). Effector-driven marker development and cloning of resistance genes against *Phytophthora infestans* in potato breeding clone SW93-1015. *Theor Appl Genet*, 129, 105-115. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s00122-015-2613>
- ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (OIEA). (2018). *Historia OIEA* [Text]. IAEA. Recuperado de <https://www.iaea.org/es/el-oiea/historia>
- PONCE-MOLINA, L., Noroña, P., Campaña, D., Garófalo, J., Coronel, J., Jiménez, C. & Cruz, E. (2020). La cebada (*Hordeum vulgare* L.): generalidades y variedades mejoradas para la sierra ecuatoriana. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- SEDLÁKOVÁ, V., Dejmalová, J., Hausvater, E., Sedlák, P., Doležal, P. & Mazaková, J. (2011). Effect of *Phytophthora infestans* on potato yield in dependence on variety characteristics and fungicide control. *Plant, Soil and Environment*, 57,486-491.
- UNDA, J., Suquillo, J., Sevillano, C., Pumisacho, M., Ochoa, J. & Barrera, V. (2013). Diagnóstico del manejo de Tizón tardío en la provincia del Carchi, Ecuador. Riobamba, Ecuador: V Congreso Ecuatoriano de la papa.
- SALOMÓN, J., González, M., Castillo, J. & Varela, M. (2017). Comportamiento de “Barna”, cultivar de papa (*Solanum tuberosum* L.) ante diferentes dosis de rayos gamma de Fuente cobalto 60. *Cultivos Tropicales*, 38(4),127-130.
- ZHANG, S., Zheng, X., Reiter, R., Feng, S., Wang, S., Liu, S., Jin, L., Li, Z., Datla, R. & Ren, M. (2017). Melatonin Attenuates Potato Late Blight by Disrupting Cell Growth, Stress Tolerance, Fungicide Susceptibility and Homeostasis of Gene Expression in *Phytophthora infestans*. *Frontier in Plant Science*, 8, 1993. DOI: 10.3389/fpls.2017.01993

En la actualidad, se proyecta que la producción de alimentos debe duplicarse en el año 2050 para satisfacer la demanda de una población en continuo crecimiento. El mejoramiento genético es un componente crucial para garantizar la seguridad alimentaria global, ya que permite incrementar el rendimiento, la calidad nutricional, la resistencia a plagas y enfermedades, y la tolerancia a condiciones climáticas adversas. En este sentido, la inducción de mutaciones es una herramienta eficaz y ampliamente utilizada en el mejoramiento genético de plantas, teniendo un gran éxito a nivel mundial ya que oficialmente ha permitido la liberación de más de 3 332 variedades mutantes en más de 240 especies.



En esta obra se plasman las investigaciones y los resultados más sobresalientes en el mejoramiento genético por inducción de mutaciones, aplicado a especies propagadas por semillas (arroz, cebada, amaranto, quinua, trigo, entre otros) y a cultivos de propagación vegetativa (papa, camote, plátano y caña de azúcar). En este libro participaron profesionales e investigadores expertos en las diferentes áreas del mejoramiento genético de plantas mediante la inducción de mutaciones, quienes están adscritos a prestigiosas instituciones en América Latina y el Caribe.

ISBN: 9-786077-366843

