

TRES DÉCADAS DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS NUCLEARES AL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA CUBANA.

Vicente León, Isel P. Pérez, Maydelin Dorado, Lissett Gutiérrez y Maria E Herrería.

**Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT)
Calle 2 esq. 1 Santiago de las Vegas, Ciudad de La Habana, Cuba, CP 17200.
Email: vleon@inifat.co.cu**

RESUMEN

El Primero de abril del 2004, la Estación Experimental Agronómica de Santiago de las Vegas cumplió su primer centenario. Dentro de este período, más de tres décadas se han destinado a realizar investigaciones agrícolas que emplean radiaciones ionizantes. En el presente trabajo se reflejan las ventajas de la aplicación de las técnicas nucleares en los estudios agrobiológicos y el papel destacado que ha alcanzado el INIFAT, no sólo en la utilización de estas técnicas, sino en el desarrollo de nuevas metodologías. Se ofrece una panorámica de la utilización de las técnicas nucleares a nivel nacional e internacional y de su inserción en el INIFAT. El propósito de este trabajo es contribuir a divulgar la importancia del empleo de las técnicas nucleares en la obtención de resultados científicos, así como estimular la continuidad de su aplicación. Con ello, queremos reconocer a todos aquellos que han participado activamente en el desarrollo de estas técnicas en la agricultura cubana.

THREE DECADES OF APPLYING THE NUCLEAR TECHNIQUES TO THE DEVELOPMENT OF CUBAN AGRICULTURE.

ABSTRAT

On April the first of 2004, the Agronomic Experimental Station arrives to its first century. More than three decades have been dedicated to agricultural research using ionising radiation. In this paper the advantages of using the nuclear techniques in agrobiological studies are shown, remarking the role of the INIFAT in the development of new methods. A view of the application of the nuclear techniques at national and international level is offered. The aim of this paper is to contribute to spread the importance of using the nuclear techniques in the scientific research and to promote the continuity of this application. We would like to acknowledge everyone who has actually participated in developing these techniques in Cuban Agriculture.

INTRODUCCIÓN

Cuando las personas piensan en la agricultura, suelen evocar los campos y los agricultores atendiendo a sus animales y sus cultivos. Cuando piensan en la ciencia y la tecnología nucleares, suelen evocar reactores nucleares. Pocas personas establecen una relación entre estos dos ámbitos.

En la actualidad la mayoría de los países no han recibido los beneficios directos de la energía producida por centrales nucleares. Sin embargo, los agricultores, los procesadores de los productos agrícolas, los consumidores y las autoridades gubernamentales, reciben beneficios de las prácticas, las tecnologías y los métodos analíticos que se valen o derivan de la aplicación de isótopos y radiaciones ionizantes, en favor del desarrollo alimentario y agrícola.

Durante los últimos cincuenta años, los isótopos y las radiaciones se han venido empleando para proporcionar soluciones prácticas a muchos de los problemas y dificultades que enfrenta el mundo en materia de desarrollo alimentario y agrícola, desde la perspectiva de la protección del medio ambiente.

Dentro de unos meses se conmemorarán los aniversarios 110 del descubrimiento de la primera radiación ionizante, los rayos X y de las primeras aplicaciones de la tecnología nuclear en la radiología diagnóstica y el tratamiento del cáncer (Levin et al. 2001).

A pesar del tiempo transcurrido, y de los riesgos que entraña su aplicación, las técnicas nucleares mantienen su vigencia porque son aún, instrumentos valiosos para resolver los problemas esenciales y acuciantes que afectan a la humanidad, mejorando su calidad de vida, porque se han perfeccionado y porque se han insertado en las tecnologías modernas.

VENTAJAS DEL USO DE LAS TÉCNICAS NUCLEARES

- Sensibilidad y especificidad únicas como marcadores.

Pueden utilizarse para medir, con una precisión superior a la de cualquier otro método convencional, los procesos que tienen lugar en los suelos, las plantas y los animales, los cuales rigen la utilización de los recursos y su conversión en productos útiles. El marcaje isotópico permite hacer un análisis preciso de cantidades minúsculas (partes por mil millones) y detectar compuestos químicos que no pueden extraerse con solventes analíticos convencionales, como sucede con la mayoría de los residuos de plaguicidas presentes en el suelo.

- Capacidad para provocar cambios en la estructura genética de las plantas.

La radiomutagénesis permite cambiar la constitución genética de una variedad de planta determinada, sin necesidad de cruzarla con otra variedad. De esta manera la variedad conserva todas sus características originales, pero se mejoran las características modificadas.

- Rapidez en la obtención de los resultados.

ALGUNAS APLICACIONES DE LAS TÉCNICAS NUCLEARES EN LA AGRICULTURA

1. Técnicas para el desarrollo de recursos:
 - Mejoramiento genético mediante la radioinducción de mutaciones.
 - Incremento de la calidad e inocuidad postcosecha de los alimentos mediante irradiación.
 - Estudio del metabolismo de las plantas utilizando trazadores isotópicos.
2. Técnicas para reducir las repercusiones que tiene el aumento de la productividad agrícola sobre el medio ambiente.
 - Utilización de los isótopos radiactivos y estables para detectar, medir o seguir el destino final de los fertilizantes aplicados al suelo, así como para determinar la disponibilidad de nutrientes del suelo y su uso en las plantas.
 - Técnica de los insectos estériles para la lucha contra las plagas de insectos.
3. Técnicas para la vigilancia y evaluación de la contaminación medioambiental
 - Estudio de metabolismo y de residuos de plaguicidas en los alimentos y el medio ambiente mediante radioisótopos.
 - Análisis de contaminantes radiactivos y no radiactivos en el medio ambiente con técnicas analíticas nucleares.
 - Estudios climatológicos mediante el análisis de las concentraciones de isótopos presentes en las precipitaciones.

APLICACIÓN EN LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS Y LA FISIOLÓGÍA VEGETAL

- Determinación de las mejores prácticas de gestión de los fertilizantes, es decir, el lugar para aplicar el fertilizante, el momento oportuno para hacerlo y las fuentes de fertilizantes adecuadas.
- Evaluación del proceso natural de fijación del nitrógeno.
- Identificación de genotipos que contribuyan a la absorción y el uso de los nutrientes, o sea, que obtengan el mismo rendimiento con menos cantidad de fertilizantes.
- Identificación de genotipos tolerantes o adaptados a condiciones de estrés, a partir del estudio de la trayectoria de compuestos metabólicos en las plantas mediante la técnica del carbono ^{14}C .
- Determinación de la humedad del suelo.

APLICACIÓN EN LA FITOGENÉTICA Y LA FITOTÉCNICA

- La radiomutagénesis contribuye a incrementar la biodiversidad, mediante la inducción rápida y eficaz de variación genética en las plantas.
- La radiomutagénesis y el cultivo in vitro pueden integrarse en la selección convencional para acelerar la reproducción de plantas por propagación vegetativa.
- Permite el mejoramiento de árboles forestales que demoran muchos años en producir frutos o semillas.

APLICACIÓN EN LA CALIDAD Y SEGURIDAD ALIMENTARIAS

- Desinfectar productos almacenados como granos, especias, frutas y vegetales desecados.
- Inhibir el crecimiento de brotes en las papas y cebollas almacenadas durante largo tiempo, lo que reduce la necesidad de emplear inhibidores químicos de inocuidad dudosa.
- Eliminar enfermedades transmitidas por alimentos.
- Desinfección para eliminar las plagas y enfermedades de los alimentos, sin dejar residuos.
- Extender la vida útil.
- Los métodos de análisis nuclear, como la cromatografía de gases con captura de electrones, la fluorescencia X y el radioinmunoanálisis (RIA), combinado con la utilización de compuestos marcados, son componentes indispensables de los mecanismos que emplean las organizaciones de control de la calidad de los alimentos.

PANORÁMICA INTERNACIONAL DEL DESARROLLO Y LA UTILIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS NUCLEARES EN LA AGRICULTURA

El desarrollo de estas técnicas ha estado vinculado estrechamente con los acontecimientos siguientes:

- En 1895, W.C. Roentgen descubre los rayos X.
- En 1896, H. Becquerel descubre la radiactividad natural.
- En 1898, María y Pierre Curie descubren el Radio, el Polonio y el Thorio. Desde 1903 hasta la década de los 70 se utilizó el Radio en los tratamientos radioterapéuticos de tumores malignos.
- A partir de los años 20 se comienzan a emplear los radioisótopos naturales en las investigaciones agrícolas.
- En 1927 Muller descubre el efecto mutagénico de las radiaciones ionizantes y utiliza los rayos X para inducir mutaciones.

- En 1934 Irene y Frederic Juliot-Curie descubren la radiactividad artificial al someter al Aluminio a la acción de las partículas alfa. Esto permitió utilizar también los radioisótopos artificiales en las investigaciones agrícolas. Los que se obtuvieron inicialmente en pequeñas cantidades mediante ciclotrones.
- En 1942 se construyó y se operó exitosamente el primer reactor en los Estados Unidos.
- En 1946 comenzó la producción exitosa de isótopos radiactivos artificiales en el Laboratorio Nacional de Oak Ridge, lo que ocasionó un cambio cualitativo en el desarrollo de las técnicas nucleares.
- En 1950 se dispuso de fuentes de irradiación gamma, las cuales desplazaron a los rayos X como agente mutagénico (Tabla 1) (Micke, 1990).

La tabla 1 muestra la cantidad de variedades mutantes obtenidas con diferentes agentes.

Tabla 1. Cantidad de variedades mutantes obtenidas con diferentes agentes.

Mutante	Propagadas		Total
	Por Semillas	Vegetativamente	
Rayos γ	366	204	570
Rayos X	65	227	292
Neutrones	36	13	49
Otras radiaciones	15	7	22
Agentes químicos	81	14	95

- El 29 de julio de 1957 se crea el Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. Este Organismo contribuyó significativamente al desarrollo de la energía nuclear con fines pacíficos al proporcionar soluciones prácticas a muchos de los problemas y dificultades que enfrenta el mundo en materia de desarrollo alimentario y agrícola y a transferir la tecnología nuclear a los países en desarrollo. El Organismo ha capacitado a miles de estudiantes y profesionales en las técnicas nucleares y ha ayudado y ayuda con programas de asistencia técnica y programas coordinados de investigación a dichos países; a crear una infraestructura que permita introducir y desarrollar las técnicas. A partir de octubre de 1964 se incorporó a este accionar la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO creándose la División Mixta de Técnicas Nucleares para la Alimentación y la Agricultura. Al cumplirse el trigésimo aniversario de la prestación de servicios a escala mundial, se señaló que en no poca medida, los progresos alcanzados en estas técnicas se deben a la

colaboración de estas dos Organizaciones (Sigurbjornsson y Vose, 1994). La tabla 2 muestra como la infraestructura creada y la transferencia de tecnología nuclear por parte de la División Mixta, ha contribuido a su aplicación en los países en desarrollo (Micke, 1990).

Tabla 2. Cultivares de mutantes desarrollados en grupos de países en porcentaje del total.

	1969	1974	1987	1990 (Junio)
Número de cultivares	77	147	844	1363
Europa (incl. URSS)	59.7	54.8	38.5	41.9
América del Norte	20.8	16.7	8.6	6.9
Asia y Oceanía	16.9	27.1	51.5	44.5
América Latina	2.6	1.4	0.8	4.6
África	0	0	0.6	2.1
Países desarrollados	84.4	80.5	51.0	50.3
Países en desarrollo	15.6	19.5	49.0	49.7

En 1969, se reportó en un simposium organizado por el OIEA y la FAO, la obtención de 117 cultivares mediante mutaciones inducidas (IAEA, 1969). La mayoría de estos son el fruto de unos 40 años de investigaciones fundamentales. Veinte años después, sin embargo, se reportaron 10 veces más mutantes, de 117 ascendió a 1 500. De estos más del 90% se derivó de mutaciones radioinducidas (Micke, et al, 1985). En 1999 la cifra se incrementó a 1 800. La mayoría de estas son usadas como nuevas variedades.

Durante 1998, en el marco del Programa de cooperación técnica, funcionaban casi 180 proyectos en la esfera de la agricultura y la alimentación, incluidos un proyecto interregional y 15 regionales. Los desembolsos efectuados en esos proyectos, representaron el 16% de los gastos totales.

En los albores del nuevo siglo, la transferencia de tecnología para el desarrollo nuclear pacífico, se encuentra considerablemente fortalecida. Gracias a la labor realizada por conducto del O.I.E.A., los países en desarrollo y los países industrializados, tomaron medidas conjuntas, durante el pasado decenio (1990-2000), con el objetivo de aumentar la eficacia y la eficiencia del programa de cooperación técnica del Organismo, que está al servicio de los intereses de los 130 Estados Miembros en las diversas etapas del desarrollo nuclear.

En general, las tendencias muestran que se incrementa el uso de las tecnologías nucleares en los países en desarrollo, a medida que las infraestructuras locales mejoran y aumenta la transferencia de tecnología.

En la esfera de la agricultura y la alimentación, se hace hincapié en que los Estados Miembros promuevan el desarrollo y la adopción de las tecnologías nucleares y biológicas que aumenten la capacidad nacional e internacional para

determinar y palear las limitaciones a la seguridad alimentaria sostenible. Esta actividad se realiza conjuntamente con la FAO.

Metas y objetivos estratégicos

La estrategia de mediano plazo establece metas y objetivos específicos para el período 2001-2005 y especifica los medios propuestos para alcanzar dichos objetivos.

Los 130 Estados Miembros del Organismo, tienen diferentes intereses, necesidades y aptitudes en cuanto al uso de las tecnologías nucleares, que de por sí cambian con el tiempo. Además, los adelantos registrados en otras esferas técnicas, han tenido un efecto –positivo y negativo- en las ventajas comparativas de las tecnologías nucleares. El triple reto del O.I.E.A. a plazo medio es:

- Comprender cómo cambian las necesidades e intereses de los Estados Miembros para ser capaces de dar respuestas centradas en las tecnologías nucleares adecuadas.
- Contribuir a la evaluación objetiva del uso de las tecnologías nucleares y ayudar a los Estados Miembros en la aplicación segura de las tecnologías que siguen ofreciendo ventajas comparativas;
- Desempeñar un papel catalítico en el esfuerzo internacional por mantener e incrementar el conocimiento, la comprensión y la pericia en la esfera nuclear, sobre todo mediante la recopilación y difusión de la información científica y la transferencia de tecnología.

Se prevé un ulterior aumento de la eficacia y eficiencia de las actividades de transferencia de tecnología, como meta prioritaria de la estrategia de mediano plazo del O.I.E.A. Ello hará que las tecnologías nucleares contribuyan más a satisfacer las necesidades e intereses de un creciente número de Estados Miembros (Barretto y Rogov, 2000).

PANORÁMICA NACIONAL DEL DESARROLLO Y LA UTILIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS NUCLEARES EN LA AGRICULTURA

- El primer intento por promover el uso pacífico de la energía nuclear en Cuba se remonta a 1947. El 8 de noviembre de ese año se publica que: El Presidente Grau San Martín firmó el Decreto 4054 (2) mediante el cual dejaba constituida la Comisión Nacional de la Energía Nuclear a Usos Civiles, adscripta al Instituto Nacional de Hidrología y Climatología del Ministerio de Salubridad y Asistencia Social (Castro, 1990).

Hacia mediados de la década del 50 no habían sido logrados ni uno solo de los propósitos de la Comisión debido a que no se disponía de la infraestructura, en general que soportara la introducción de las técnicas nucleares. El Gobierno Revolucionario sentó gradualmente las bases de nuestras ciencias y tecnologías nucleares, entre otras:

- En 1962 se creó el Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología

- En 1965 se constituye el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CENIC) y con esto se da nuevos pasos hacia la aplicación de las técnicas nucleares a la biomedicina y otras áreas de investigaciones.
- En 1966, la Comisión Nacional de la Academia de Ciencias inició los contactos con las instituciones correspondientes de la Unión Soviética.
- El 8 de Enero de 1969 fue inaugurado el Instituto de Física Nuclear conocido posteriormente como Instituto de Investigaciones Nucleares, el cual se encargó inicialmente de formar especialistas en la esfera nuclear, así como coadyuvar a la introducción y desarrollo de las técnicas nucleares. En los años 70 se instaló una fuente de irradiación Gamma que brindó este servicio a varias entidades; en el caso del INIFAT se irradiaron muestras de germoplasma vegetal. Además esta Institución aportó varios especialistas, formados allí al INIFAT, al comienzo de los años 80. Ellos jugaron posteriormente un rol destacado en la aplicación de las radiaciones ionizantes y los radioisótopos.
- En la década del 70 se constituyó la Comisión Nacional para el Uso Pacífico de la Energía Atómica, la primera entidad dirigida a coordinar las actividades relacionadas con la temática.
- Numerosas instituciones tales como: Los Institutos de Endocrinología, Hidroeconomía y de Ciencias Agrícolas (INCA), comenzaron a utilizar las técnicas radioisotópicas y el uso de fuentes de radiaciones ionizantes.
- A partir de 1973 Cuba ingresó al trabajo de la Comisión Permanente del CAME para la colaboración en la esfera de la utilización de la energía atómica para fines pacíficos. Esto conllevó al establecimiento de vínculos de cooperación que aportaron grandes contribuciones a la esfera nuclear en Cuba, tanto en lo científico-técnico como en lo económico. Además, se iniciaron los primeros proyectos de asistencia técnica con la colaboración del Programa Ordinario del OIEA y del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Como fruto de esta colaboración fue donado a Cuba el irradiador Gamma Cell-500 por el PNUD. Este equipo ha sido utilizado para irradiar muestras del INIFAT.
- A principios de 1980 se reestructuró la esfera nuclear y se constituyeron la Comisión de Energía Atómica de Cuba (CEAC) y la Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares (SEAN).
- En la década de los 80 se crearon los Centros de: Estudios Aplicados al Desarrollo de la Energía Nuclear (CEADEN), Información de la Energía Nuclear (CIEN), Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) y el Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares (ISCTN).
- En 1987 se instaló una planta de radiación de alimentos, adquirida mediante un programa de asistencia técnica del OIEA. En ella se han irradiado papas, cebollas y frijoles (Micke, 1990).

LAS TÉCNICAS NUCLEARES EN EL INIFAT

La aplicación de las Técnicas Nucleares en el INIFAT se remonta a 1972, cuando los ingenieros Elsa M. Isasi y Sixto Abreu Ferrer, bajo la asesoría inicial del Ingeniero Merko T. Yankulov de la Academia Agrícola de Bulgaria, emplearon los rayos Gamma del Co-60 y una solución de etil-metan-sulfonato (EMS) para inducir mutaciones en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) (Isasi y Abreu, 1983).

Estas investigaciones transcurrieron en el período de 1972 a 1975, cuando comenzaban a difundirse el conocimiento y desarrollo de estas técnicas en el país.

Sin embargo, no es hasta finales de los años 80, que comienzan a investigarse de forma sistemática, para su posible introducción en la solución de diversos problemas que se presentan en la agricultura. A este objetivo contribuyó el:

GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS NUCLEARES A LA AGRICULTURA (GIATNA)

Este Grupo se constituyó en 1987, con el INIFAT como centro de referencia. Con su creación se encauzaron los esfuerzos individuales y se estrechó la colaboración entre las diferentes instituciones que aplicaban las radiaciones ionizantes y los isótopos en Cuba. Se aglutinaron más de 200 investigadores de 44 instituciones nacionales, pertenecientes a los Ministerios de la Agricultura, de Educación Superior, del Azúcar, de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, de la Alimentación y de Educación. Ellos se reunían cada dos años, para celebrar los talleres correspondientes. A partir de entonces se comenzaron a aplicar de forma sistemática las radiaciones ionizantes y los isótopos en las siguientes temáticas:

- Radiomutagénesis y radioestimulación.
- Diagnóstico del daño de semillas por rayos X.
- Nutrición vegetal y fertilidad del suelo.
- Uso eficiente del agua.
- Nutrición, reproducción y salud animal.
- Control de plagas.

En el INIFAT se trabajó sólo en las tres primeras:

1. Radiomutagénesis y radioestimulación.

La temática con mayores avances fue la radiomutagénesis, porque en primer lugar puede aplicarse sin contar con un laboratorio destinado a tales fines. En el país existen instalaciones de radiación suficientes que permiten el tratamiento del material vegetal, para su posterior selección. Aunque hubo que invertir aproximadamente una década en lograr eliminar del conocido método radio mutacional en Cuba, aquellas dificultades que frenaban su aplicación por los mejoradores. Fue necesario trabajar en los aspectos metodológicos durante muchos años. En este sentido se logró reducir la inmensa población recomendada

por la literatura, a una pequeña población manejable por nuestros mejoradores acorde a las condiciones del país (Labrada y Pérez T., 1997).

Se llegó a demostrar la mayor resistencia de los cultivos cubanos a las radiaciones en comparación con otros países y se encontró un intervalo de dosis mutacional propio, por ejemplo: el frijol (Pérez T. 1988), tomate (Pérez T. 1983), pimiento (Pérez T., et al. 1984) entre otros.

2. Diagnóstico de daño en las semillas por rayos X.

En este problema, el INIFAT realizó una transferencia de tecnología donde los tiempos de exposición se ajustaron a nuestro cultivos y condiciones para el diagnóstico de daño interno en las semillas, tales como llenados del grano, micro roturas y mal formaciones del embrión entre otros.

Se detectó daño interno en semillas de acelga, col, lechuga, rábano y zanahoria (Calderón et al, 2004)

3. Nutrición vegetal, fertilidad del suelo y fisiología vegetal.

En este problema hubo necesidad de crear una infraestructura, es decir la construcción y remodelación de laboratorios, una casa de cristales y una parcela experimental de campo, además de adquirir el equipamiento necesario. En buena medida esto se logró mediante programas de colaboración técnica.

Se aplicó la técnica de los isótopos estables y radiactivos para solucionar algunos de los problemas, como por ejemplo el fraccionamiento del fertilizante nitrogenado en el cultivo del arroz, para lo cual se empleó el N-15; esto permitió recomendar una mejor forma de fraccionar el fertilizante, con lo que se logró incrementos entre 0,5 y 1 ton/ha. Este resultado fue escalado a nivel de empresa arrocera. Otras investigaciones en las que el N-15 ha aportado buenos resultados han sido la evaluación de la capacidad fijadora de cepas *Rhizobium* en el cultivo de la soya y *Azotobacter* en el cultivo del tomate.

El ^{32}P también encontró su aplicación para conocer la eficiencia de algunos fertilizantes y la evaluación de fuentes naturales de fósforo (Álvarez et al. 1990), así como de la capacidad solubilizadora de fósforo del suelo y de fuentes naturales (Álvarez y Nuviola, 1988 a,b) y de dos biofertilizantes en el cultivo del tomate y maíz. (Gutiérrez et al. 1998).

El carbono 14 se ha usado para evaluar procesos fisiológicos en trigo, como el crecimiento, la translocación de fotoasimilados y la respiración (Cruz et al., 1995; 1999). Estos eventos se han estudiado especialmente durante el llenado de los granos, con el propósito de conocer los factores que afectan el rendimiento de este cultivo en condiciones tropicales como las de Cuba (Cruz Aguado et al. 1999a; 1999b; 2001). Este isótopo se ha utilizado también en el estudio del metabolismo y residuos de plaguicidas (Gutiérrez et al. 1995).

PRINCIPALES RESULTADOS ALCANZADOS POR EL INIFAT

Se han realizado tesis para optar por diferentes grados científicos:

- Dos tesis presentadas en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas: (Pérez Talavera, 1988 y González Núñez, 1996)
- Una tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Biológicas (Cruz Aguado, 2000).
- Dos tesis para optar por el Título Académico de Maestro en Ciencias (Pérez Tabares, 1998 y Gutiérrez, 1998).
- Dos tesis de Diploma para el Título de Licenciado en Bioquímica y Licenciado en Microbiología.

Se han inscrito 37 resultados de investigación, que utilizan las técnicas nucleares en temáticas tales como: la radioinducción de mutaciones, la fertilización, la nutrición en diferentes tipos de sustratos y el metabolismo del carbono en las plantas.

Se han desarrollado 5 metodologías, relacionadas con la obtención de radiomutantes en diferentes especies y el uso del ^{14}C en la determinación de los procesos fisiológicos que limitan el rendimiento.

Como resultado de estas metodologías se cuenta con:

- Una tabla de radiosensibilidad gamma de variedades de especies vegetales de importancia agrícola. (Parte I), que contiene 82 variedades de unas 24 especies (Pérez Talavera, 1988b).
- Una tabla de radiosensibilidad gamma de variedades de especies vegetales de importancia económicas. (Parte II); contiene 21 cultivares de 10 especies vegetales de reproducción vegetativa y 6 cultivares de 3 especies de reproducción por semilla botánica. (Pérez Talavera et al, 2002).
- Más de 20 radiomutantes de diferentes especies, entre los que se destacan los radiomutantes de arroz, ajo, trigo, frijol y maní.

En el caso del arroz se cuenta con variedades tolerantes al estrés hídrico y salino, los cuales están introducidos en la producción agrícola de la Provincia de Gramma, en el programa de popularización del arroz (González et al 1998). Los radiomutantes de ajos están incluidos dentro del instructivo de la especie, se comportan satisfactoriamente y demuestran resistencia a la *Alternaria porri*.

Existen siete variedades radiomutantes de trigo (*Triticum aestivum* L.), las cuales presentan características agronómicas adecuadas a las condiciones edafoclimáticas de nuestro país, con resistencia a la salinidad y sequía. Están introducidos en diferentes Provincias del país, en las que se destacan Pinar del Río, La Habana, Ciudad de La Habana, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Gramma, con muy buena aceptación por los productores y con rendimientos en condiciones rústicas superiores a 2 ton/ha.

En el caso del frijol se obtuvieron 5 líneas radiomutantes, dos con tolerancia a la roya de grado 3, lo que permitió recuperar la variedad comercial. En la campaña 1994-1995, superaron en rendimiento a la variedad nacional "CC-25-9" en un 11 y 13% respectivamente. También hay dos de las líneas que presentan tolerancia al mosaico dorado.

Se presenta una nueva variedad de maní "INIFAT-63", obtenida por radioinducción (Fundora et al, 2004) a partir de la variedad comercial "Cascajal Rosado" con mayor potencial de rendimiento y una alta capacidad de nodulación. Anualmente se producen entre 25 y 30 kg de semilla original de esta variedad y entre 500 y 940 kg de semilla básica, en la Sede Central y las Unidades de Semilla (USE) del INIFAT, respectivamente.

Creación de una infraestructura y cultura de seguridad radiológica (León y Álvarez, 1995), que posibilitan la aplicación de los radioisótopos y los rayos X.

REFERENCIAS

- Álvarez Villanueva, F.C.; Nuviola Montoya, A. (1988a).** Empleo de métodos de los indicadores radiactivos en investigaciones del sistema suelo-planta-fertilizante con particular énfasis en el ^{32}P . GIATNA. II Taller "Las radiaciones y los isótopos en la agricultura" La Habana, Resúmenes. p.32.
- Álvarez Villanueva, F.C.; Nuviola Montoya. (1988b).** Evaluación de rocas fosfóricas como fuente de fósforo para los cultivos mediante el empleo de trazadores radiactivos (^{32}P). GIATNA. II Taller "Las radiaciones y los isótopos en la agricultura" La Habana, Resúmenes. p.28.
- Álvarez Villanueva, F.C.; Nuviola Montoya, A.; Palacio Odio, Z. Y Fernández García, N. (1990)** Cinética de la desorción del fósforo en suelos cubanos con el empleo del ^{32}P como trazador radiactivo. Cien. Agr., 40: 126-134.
- Barretto, P.M.C.; Rogov, A.(2000)** Pilares del desarrollo. Realidades y tendencias de la transferencia de tecnología del O.I.E.A. Bol. O.I.E.A. vol. 42 (1) 8-16, 2000.
- Calderón, S.; Micó, M y Torres M. (2004).** Método de detección de daño interno en semillas de hortalizas. XIV Congreso Científico INCA. p.204.
- Castro Díaz-Balart, F.(1990),** Energía Nuclear y Desarrollo. Realidades y desafíos en los umbrales del Siglo XXI. Editorial Ciencias Sociales, La Habana, 1990 331
- Cruz Aguado, J.A., Palacio Odio, Z.; Trujillo, J. y Calderón, S. (1995).** Crecimiento, translocación de ^{14}C -fotosintatos y respiración en dos variedades de trigo. GIATNA. V Taller Las Radiaciones y los Isótopos en la Agricultura. II Taller de las Técnicas Físicas en la Agricultura. La Habana, Resúmenes. 18.
- Cruz Aguado J.A.; Pérez Cabeza I.; Dorado M. y Camejo M.O. (1999a).** Uso del ^{14}C en el estudio de la relación fuente-sumidero en trigo durante el llenado de

los granos. II Simposio Internacional Las Técnicas Nucleares y Conexas y su Aplicación en la Agricultura, Industria y Medio Ambiente. NURT 99. La Habana, 26-29 Oct. 1999. Resumen: 64.

Cruz Aguado J.A.; Reyes F.; Rodés R.; Pérez I. y Dorado M. (1999b). Effect of source-to-sink ratio on partitioning of dry matter and ^{14}C -photoassimilates in wheat during grain filling. *Annals Bot.* 83: 655-665.

Cruz Aguado J.A.; Rodés R.; Ortega E.; Pérez I.P.; Dorado M. (2001). Partitioning and conversión of ^{14}C -photoassimilates in developing grains of wheat plants grown under field conditions in Cuba. *Field Crop Res.* 69: 191-199.

Fundora Mayor, Z., Labrada A.; Alpízar J.; Hernández M.; Soto J.A.; Abreu S.; Reyes E y de Armas D.(2004). Informe de archivo entregado para Informe del proyecto ARCAL para América Latina y el Caribe.

Gonzalez Nuñez, L.M. (1996) Uso de la radioinducción de mutaciones en la obtención de genotipos de arroz tolerantes a la salinidad. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INIFAT. La Habana. 160 pp.

Gutiérrez, L.; Álvarez, F.C.; Cruz, J.A.; Trujillo, J. (1995). Absorción y translocación de ^{14}C -diurón en cultivo de soya. GIATNA. V Taller Las Radiaciones y los Isótopos en la Agricultura. II Taller de las Técnicas Físicas en la Agricultura. La Habana, Resúmenes. 24.

Gutiérrez, L.; Álvarez, F.C. ; Álvarez H.; Palacio Odio Z. Y Fonseca D. (1998). Evaluación de la capacidad solubilizadora de fósforo de dos fertilizantes en cultivos de tomate y maíz mediante la técnica del trazador radiactivo ^{32}P . XI Seminario Científico del INCA. La Habana, 17-20 nov. 1998. Resúmenes: 186.

International Atomic Energy Agency (1969) Induced Mutations in Plants (Proc. Symp. Pullman, 1969), IAEA, Viena (1969).

Isasi, E.M. y Abreu Ferrer, S. (1983). Influencia del tratamiento mutagénico de un híbrido intervarietal de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Report. Invest. INIFAT 12 (ACC). Ciudad Habana, febrero.

Labrada Remón, A. Pérez Talavera, S. (1997). La Agricultura Cubana y las Técnicas Nucleares. *Nucleus* No 22: 35-38.

León Betancourt, V. y Álvarez, F.C. (1995). La Protección Radiológica en el INIFAT. V Taller de las Radiaciones y los Isótopos en la Agricultura. GIATNA. C. Habana. Resúmenes: 79.

Levin , V, Meghzifene, A, Izewska, J. Tatsuzaki, H.(2001) Mayor atención del cáncer. Aumenta la necesidad en los países en desarrollo. *Bol. OIEA* Vol.2 (2001)25.

- Micke, A.; Maluszynski, M.; Donini, B.;**(1985) Plant cultivar derived from mutation induction or the use of induced mutants in cross-breeding, Mutat. Breed. Rev. No3(1985)
- Micke, A.;** (1990) Better Seeds for Better Crops IAEA Yearbook 1990. Part B: Applications of Nuclear Techniques and Research 1990, IAEA, Viena, B25-B37.
- Pérez Tabares, F. M. (1998)** Estudio de la radiosensibilidad del boniato (Ipomoea batatas L.) para el mejoramiento por radiomutagenesis. Tesis para optar por el Título Académico de Maestro en Ciencias Biológicas. INIFAT: La Habana.121 pp.
- Pérez Talavera, S. Labrada Remón, A. Moya, C., Echevarría, D., Amores, H. y Hernández, L. (1983)** Radiosensibilidad de diferentes variedades de tomate a los rayos gamma del ⁶⁰Co. Cien. Agr. No 16, 55.
- Pérez Talavera, S. Labrada Remón, A. y Hernández, L. (1984).** Radiosensibilidad de cultivares cubanos de pimiento. Cien. Agr. No 19.
- Pérez Talavera, S. (1988)** Estudio de la radiosensibilidad de variedades de especies de importancia agrícola cultivadas en Cuba. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INIFAT. La Habana. 148 pp.
- Pérez Talavera, S. (1988)** Variación de la radiosensibilidad de las semillas de frijol en dependencia de la procedencia geográfica. Cien. Agric. No.33 (1988) 83.
- Pérez Talavera, S., Pérez Tabales, F. M ., Guerra Izquierdo,M., López , L. M., Muñoz Pérez, Y., Díaz Esquivel, R. M. (2002)** Tabla de radiosensibilidad gamma de variedades de especies vegetales de importancia económicas. (Parte II). Alimentaria, 329 :85.
- Sigurbjornsson, B.; Vose, P.(1994)** Técnicas Nucleares para el desarrollo agrícola y alimentario: 1964-1994 .Bol. OIEA Vol. 36, No 3 (1994).