



CIENCIAS AGRARIAS Y DE LA PESCA

Artículo original de investigación

Aplicaciones del ozono en la agricultura cubana

José Efraín González Ramírez ¹ <https://orcid.org/0000-0003-1841-8627>

Mayra Olga Bataller Venta ² <https://orcid.org/0000-0001-7619-7880>

Eliet Veliz Lorenzo ² <https://orcid.org/0000-0003-3253-4632>

Roberto Valdés Herrera ³ <https://orcid.org/0000-0003-3830-7756>

Orelvis Portal Villafaña ^{3,4} <https://orcid.org/0000-0002-5007-7634>

Milagros Basail Pérez ¹ <https://orcid.org/0000-0003-0486-8600>

Lidia Asela Fernández García ² <https://orcid.org/0000-0002-1043-5505>

Marlén Cárdenas Morales ³ <https://orcid.org/0000-0002-6387-9708>

Rosa Elena González Vázquez ¹ <https://orcid.org/0000-0003-3519-1444>

Vaniert Ventura Chávez ¹ <https://orcid.org/0000-0002-1470-5656>

Irán Fernández Torres ² <https://orcid.org/0000-0002-0780-7988>

¹ Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales. Santo Domingo, Villa Clara, Cuba

² Laboratorio de Tecnologías de Ozonización, Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La Habana, Cuba

³ Centro de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Villa Clara, Cuba

⁴ Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Villa Clara, Cuba

*Autor para la correspondencia: diagnostico@inivit.cu

Revisores¹

Justo Gonzalez Olmedo
Centro de Investigaciones en Plantas
Proteicas y Productos Bionaturales (CIPB)

Editor

Amanda Gómez Bahamonde
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

Traductor

Yoan Karell Acosta González
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

RESUMEN

Introducción. Importantes pérdidas agrícolas se han asociado a la mala calidad fitosanitaria de las semillas empleadas y al deterioro de los productos durante la poscosecha. La escasez del agua para el riego ha limitado los programas de desarrollo agrícola. El empleo del ozono podría constituir en una alternativa ambientalmente amigable y económicamente factible en el tratamiento de productos para el consumo humano y la recuperación de aguas residuales domésticas. **Métodos.** Se diseñaron y probaron los reactores para la aplicación segura y eficiente del ozono según los objetivos específicos. Se evaluaron dosis de ozono, tanto en atmósferas como en disolución acuosa y los tiempos necesarios para cada uno de los casos en estudio. **Resultados.** Se establecieron metodologías para el tratamiento de semillas de especies vegetales, así como explantes de ñame y malanga para la desinfección, el saneamiento y la potenciación de su capacidad de germinación. También para la desinfección de frascos y locales biotecnológicos. Se estandarizó un procedimiento para la recuperación de aguas residuales domésticas. Se establecieron metodologías para el beneficio poscosecha de tomate y frutabomba. **Conclusiones.** La aplicación de ozono ha redundado en metodologías económicamente factibles pues ha permitido acortar los tiempos empleados en los procesos, aumentar la calidad de los productos tratados y reducir los costos de almacenamiento. Además, ha resultado amigable con el medio ambiente al sustituir el empleo de químicos causantes de una mayor carga contaminante.

Palabras clave. conservación poscosecha; ozono; recuperación de aguas; tratamiento de semillas

¹ N. del E.: En este apartado figuran los nombres de los árbitros que accedieron a revelar su identidad, como expresión de apertura progresiva del proceso de revisión por pares. No aparecen aquellos que optaron por el anonimato.



Applications of ozone in Cuban agriculture

ABSTRACT

Introduction. Important agricultural losses are associated with poor phytosanitary seeds quality used and the products deterioration during postharvest. The water scarcity for irrigation limits agricultural development programs. Ozone use can become an environmentally friendly and economically feasible alternative for products treatment for human consumption and domestic wastewater recovery. **Methods.** Reactors allowing for the safe and efficient ozone application according to the specific objectives were designed and approved. Ozone doses were evaluated, both in atmospheres and aqueous solution, and the necessary timing in each of the cases under study. **Results and Discussion.** Methodologies were established for the plant seeds treatment as well as explants of yam and taro that allow for disinfection, sanitation and the enhancement of their germination capacity. Also for chambers and biotechnological flasks disinfection. A procedure for domestic wastewater recovery was standardized. Methodologies were established for tomato and papaya postharvest benefit. It is concluded that the application of ozone leads to methodologies economically feasible, with shorter time consumption, improved product quality, and lower storage costs. At the same time, they are environmentally friendly due to the substitution of chemical contaminant agents.

Keywords: postharvest conservation; ozone; water recovery; seed treatment

INTRODUCCIÓN

Debido a su alta capacidad reactiva y a no producir residuales peligrosos, los tratamientos con ozono han resultado amistosos con el ambiente y económicamente factibles^(1,2) y se ha recomendado su empleo en el tratamiento de productos alimenticios con diversos objetivos. A pesar de haber sido un contaminante ambiental que ha causado grandes pérdidas a la agricultura,^(3,4) las plantas han sido capaces de asimilar pequeñas cantidades de ozono y emplearlas en su beneficio. El ozono en medios acuosos u orgánicos ha producido las especies reactivas de oxígeno EROs (superóxido O_2^-), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) e hidroxilo (OH),^(5,6,7) entre otras, las cuales han participado en varias rutas metabólicas.^(8,9) Las EROs pueden provocar daños irreversibles, pero también pueden tener efectos beneficiosos.^(7,10)

El presente trabajo pretende recoger las experiencias cubanas en aplicaciones de ozono al tratamiento de material de propagación vegetal de granos, viandas y gramíneas. En segundo lugar, en la obtención de aguas con calidad de riego a partir de aguas residuales y la validación de sus efectos en plantas y sustratos. Así como en el beneficio poscosecha de frutas y vegetales.

MÉTODOS

Aplicaciones del ozono al material de propagación

Frijol común, garbanzo, sorgo

Con el objetivo de determinar los efectos sobre la germinación de las semillas frijol común⁽¹¹⁾ y la morfología de las

plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. variedades BAT-304 y Delicias-264, garbanzo⁽¹²⁾ (*Cicer arietinum* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.) variedad UDG-11⁽¹³⁾ se aplicó un flujo de aire de 2 L min^{-1} con concentración de ozono de 40 mg m^{-3} proveniente generador marca Etron a semillas de las especies vegetales mencionadas durante 8, 16, 24, 48 y 72 h. Se colocaron, sobre placas de Petri, 35 g de semillas de frijol común y garbanzo y 20 g de semillas de sorgo.

Los ensayos de germinación se realizaron en bandejas de polietileno de 247 orificios. Se usó como sustrato una mezcla de suelo con humus de lombriz (3:1), una semilla por cada orificio. A los 14 días después de la siembra (dds) se contabilizaron las semillas germinadas. Se evaluó la longitud del tallo y de la raíz.

Papa y caña de azúcar

Para evaluar el efecto del ozono en la germinación de semillas de papa y caña de azúcar se diseñaron dos instalaciones distintas,⁽¹⁴⁾ así como la eficacia del ozono en el control de la pudrición blanda de semilla de papa. Se empleó un ozonizador AQOZO-LAB (Cuba).

Las semillas de papa cv. Russet Burbank se trataron aplicando ozono gaseoso a 100, 300 y 600 mg m^{-3} durante 45 min.⁽¹⁴⁾ Las semillas tratadas y el grupo control se almacenaron durante 3 meses a temperatura y humedad relativa no controladas. Para el estudio, se seleccionaron al azar 10 semillas (unidades) de cada grupo. Para cada unidad de muestreo se determinaron las siguientes variables: peso y alarga-

miento del brote apical a los 0, 1, 2 y 3 meses y semanalmente el número de brotes. Para evaluar el efecto del tratamiento con ozono sobre el control de la pudrición blanda se aplicó la metodología descrita en Valdés Herrera *et. al.* ⁽¹⁴⁾.

Para determinar los efectos sobre la germinación se seleccionaron tallos de 5 variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) de 9 meses y se aplicó lo descrito en Valdés Herrera *et. al.* ⁽¹⁴⁾ La concentración se monitorizó con un sensor (tipo ZOE 2-4P) conectado a un dispositivo de medición y control (D1C Dulcometer, ProMinent, EE. UU.).

Explantos de malanga y ñame para la micropropagación

Para determinar el efecto del ozono en la propagación *in vitro* de *Dioscorea sp.* ⁽¹⁵⁾ y de la malanga (*Colocasia esculenta* L.) ⁽¹⁶⁾ y el saneamiento de enfermedades asociadas a potyvirus ⁽¹⁷⁾ se probó la inmersión de segmentos nodales en agua ozonizada en un reactor diseñado y construido al efecto (figura 1). Se utilizó el equipo generador de ozono AQOZO AF-201 (figura 1) con alimentación de oxígeno comprimido a un flujo de 5,0 L min⁻¹. En cada caso se emplearon 24 explantes por tratamiento y 4 réplicas. La concentración del ozono se midió de forma similar al acápice anterior.

Para la desinfección de los segmentos nodales de *Dioscorea sp.* se aplicó la metodología descrita en Cabrera y González. ⁽¹⁷⁾ Para determinar el efecto sobre el saneamiento, a partir de plantas de *Dioscorea cv. Guinea* positivas a potyvirus se aplicó la metodología descrita en González Ramírez *et. al.* ⁽¹⁸⁾ Todos los diagnósticos se realizaron mediante ACP-ELISA. Se determinaron los porcentajes de saneamiento y eficiencia de cada tratamiento.

Para determinar el efecto sobre la micropropagación de plantas de *Colocasia sp. cv. NIVIT MC-2012*, ⁽¹⁹⁾ explantes del



Fig. 1. Reactor empleado para el tratamiento de explantes de *Dioscorea sp.* y *Colocasia sp.* con ozono disuelto en agua.

mismo según metodología descrita en Basail Pérez *et. al.* ⁽¹⁹⁾ se determinaron los porcentajes de brotación y de contaminación microbiana, así como los índices de multiplicación y el número total de plántulas *in vitro* hasta el cuarto subcultivo.

Desinfección de frascos y locales de cultivo *in vitro*

Los frascos empleados en los sistemas de inmersión temporal se lavaron con detergentes, previo a los tratamientos con ozono. Se aplicó la metodología de tratamiento y evaluación descrita en González Ramírez *et. al.* ⁽²⁰⁾ En el cuarto de cultivo la descarga del gas se efectuó en 8 puntos de control ambiental distribuidos en los 60 m³ del mismo. Se aplicó la metodología de tratamiento y evaluación descrita en González y Cabrera. ⁽²¹⁾

Aplicaciones del ozono en el riego agrícola

Recuperación de aguas residuales domésticas

Se evaluaron procesos de coagulación-floculación, filtración y ozonización en el tratamiento del agua residual municipal para su reutilización en el riego agrícola. Se evaluaron 3 coagulantes: sulfato de aluminio, sulfato férrico y policloruro de aluminio. Se aplicaron 2 concentraciones de ozono en el gas (20 y 40 mg L⁻¹), 2 flujos de gas (30 y 60 L h⁻¹) y 2 tiempos de contacto (15 y 30 min). ⁽²²⁾

Las muestras fueron sometidas a análisis microbiológicos con siembra, aislamiento e identificación de microorganismos. Además, se realizó el análisis de coliformes totales y fecales para la determinación del número más probable de unidades formadoras de colonias. A la vez, se determinó la presencia de micro- y macroelementos en el agua tratada.

Validación del efecto en posturas de papaya y en los sustratos empleados

Se evaluó el efecto de 3 calidades de aguas en el riego (agua de río, agua ozonizada y aguas residuales municipales tratadas con ozono ⁽²²⁾) a posturas de *Carica papaya* L. var. Maradol roja en 2 sustratos diferentes: suelo Pardo carbonatado + materia orgánica (50:50) y suelo Ferralítico. En cada uno de estos fue dividido en 3 grupos (30 plantas/grupo) sometidos a riego controlado (60-70 mL) con aguas de diferentes características.

Se caracterizó el desarrollo morfoagronómico de las posturas de papaya y agroquímicamente, el sustrato empleado ^(23,24) en el momento del trasplante.

Aplicaciones durante la poscosecha

Desinfección de tomates

Tomates maduros (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivar FA-180 fueron inoculados con *Escherichia coli* ATCC 25922 y

posteriormente lavados con agua ozonizada bajo 2 sistemas de agitación durante 15 y 30 min a concentraciones de ozono disuelto de 0,5 y 1,0 mg L⁻¹ y se evaluó la concentración del microorganismo en los tomates tratados y no tratados. ⁽²⁵⁾

Beneficio poscosecha de la papaya

Se evaluó la efectividad de la aplicación de tratamientos con ozono en el control del crecimiento de hongos patógenos, así como su efecto en la vida de anaquel durante la poscosecha de *C. papaya* var Maradol roja. ⁽²⁶⁾ Con los frutos se llevaron a cabo 3 experimentos, bajo diferentes esquemas de tratamiento en la fase gaseosa y en la fase líquida. Se emplearon concentraciones de ozono en el gas entre 500 mg m⁻³ y 1000 mg m⁻³ y concentración de ozono disuelto de 1 mg L⁻¹. Los frutos se almacenaron durante 10 días a temperatura y humedad relativa no controladas.

RESULTADOS

Aplicaciones del ozono al material de propagación

Frijol común, garbanzo, sorgo

El efecto del ozono sobre la velocidad de germinación y el porcentaje de germinación fue diferente para las variedades. En la BAT-304 a las 72 h de iniciado el experimento el porcentaje en todos los tratamientos fue del 100 %, lo cual fue muestra que el tiempo de exposición al ozono no afectó la germinación de las semillas. ⁽¹³⁾ En la variedad Delicias-264 los tratamientos no obtuvieron el 100 % de germinación, no obstante, de germinación fueron similares en los diferentes tratamientos. Las semillas expuestas durante 72 h al ozono tuvieron un 96,66 % de germinación.

El tratamiento con ozono estimuló la germinación de la semilla garbanzo. Al aumentar el período de exposición al ozono aumentó el porcentaje de germinación en los tratamientos, aunque estos no alcanzaron el 100 % de germinación. ⁽¹⁴⁾ Al comparar longitud de las raíces y de los tallos de las plántulas no existieron diferencias significativas entre los tratamientos.

El porcentaje de germinación fue inferior al 100 % en todos los tratamientos evaluados incluyendo el control. En el tratamiento con ozono por 72 h la germinación fue del 87 %, superior al control en el que se obtuvo el 84 %.

Papa y caña de azúcar

La dosis de ozono de 20 mg kg⁻¹ h⁻¹ durante 45 min permitió una mejor conservación de las semillas de papa cv. Red Scarlet sin que se apreciaran efectos negativos sobre ninguno de los parámetros morfoagronómicos evaluados. ⁽¹⁶⁾ Pudo establecerse; además un control sobre la pudrición blanda causada por *Erwinia* sp. cuya incidencia se redujo al 5,2 % con

diferencias significativas sobre los grupos no tratados con ozono.

La inmersión en agua ozonizada 2,0 mg L⁻¹ durante 30 min favoreció la desinfección de las semillas de caña y la germinación de las yemas en las 5 variedades de caña empleadas. ⁽¹⁶⁾

Explantos de ñame y malanga para la micropropagación

La inmersión de los segmentos nodales en agua ozonizada resultó eficaz en el proceso de desinfección debido a que el ozono actuó directamente o indirectamente sobre el material vegetal a través de la acción de las EROs. ⁽⁹⁾ La aplicación de ozono disuelto en agua permitió que los explantes de *Dioscorea* cultivar Guinea brotaran más rápidamente los desinfectados con el hipoclorito de sodio. ⁽¹⁷⁾

De acuerdo a nuestro conocimiento, esta investigación constituyó el primer informe de la aplicación de ozono para el saneamiento de los virus en *Dioscorea* spp.

Con la inmersión en agua ozonizada 2 mg L⁻¹ durante 15 min, se logró un 100 % de plantas producidas *in vitro* regeneradas en la etapa de iniciación, se eliminaron las pérdidas por contaminación y se obtuvieron plántulas de mayor calidad, por lo que aumentó el coeficiente de multiplicación en los posteriores subcultivos. ^(18,27) La desinfección aplicada permitió elevar en más de 3 veces la cantidad de material vegetal producido, aumentando la eficiencia económica del proceso.

Los tratamientos de desinfección con ozono disuelto en agua ofrecieron mejores resultados –sin diferencias estadísticas entre ellos– que el tratamiento control con hipoclorito de sodio. El diámetro de los pseudotallos resultó superior en los tratamientos con 2 mg L⁻¹ de ozono disuelto en agua. Esto redundó en el aumento de la calidad de las plantas producidas *in vitro* y, por tanto, en el aumento de los coeficientes de multiplicación. ⁽¹⁹⁾

Desinfección de frascos y locales de cultivo *in vitro*

Con concentraciones entre 20-25 mg L⁻¹ de ozono con tiempos de tratamiento entre 25-30 min se logró una correcta desinfección de los frascos de cultivo. No aparecieron contaminaciones visibles durante las 72 h posteriores al tratamiento ni durante el período (30 días) de crecimiento del mismo. Los materiales vegetales de ñame (*Dioscorea* spp.), malanga (*Xanthosoma* spp.) y plátano (*Musa* spp.) mostraron una respuesta biológica satisfactoria. Luego de la aplicación de 0,8⁻¹ g m⁻³ de ozono durante 12 h no se observaron unidades formadoras de colonias por placa en los muestreos ambientales en las cámaras de cultivo. Se pudo constatar la efectividad del ozono frente a un amplio rango de microorganismos sobre los que actuó con rapidez. ⁽²¹⁾

Aplicaciones del ozono en el riego agrícola

Recuperación de aguas residuales domésticas

La tabla 1 muestra la caracterización bioquímica y mineral del agua residual doméstica recuperada mediante tratamiento físico-químico que incluyó ozonización.

Validación del efecto en posturas de papaya y en los sustratos empleados

El crecimiento de las posturas se puede visualizar en la figura 2. En el vivero de sustrato suelo Pardo con carbonato+MO, el grupo de plantas con mejor crecimiento resultó ser el regado con aguas residuales domésticas tratadas (51 % incremento en la altura), seguido por el de agua ozonizada (10 % incremento en la altura), acortando del tiempo de vivero en 8 y 3 días respectivamente con respecto al control. ^(23,28)

En el vivero de sustrato suelo Ferralítico rojo, el grupo de plantas con mejor crecimiento resultó ser el regado con aguas residuales domésticas (65,1 % incremento en la altura), los otros grupos no alcanzaron los valores óptimos para trasplante. Las determinaciones de los distintos elementos químicos arrojaron como resultado que no mostraron diferencias notables entre los tratamientos con respecto al testigo.

Analizando los contenidos de potasio residuales (tabla 2) en los sustratos que fueron regados con agua de reuso y teniendo en cuenta que este tratamiento alcanzó incrementos de peso fresco por planta aproximadamente del 200 % con relación a los otros grupos, se evidenció un marcado aporte

de este macroelemento en el agua residual en su forma asimilable, favorecido por estar disuelto en agua. ^(24, 29)

Aplicaciones durante la poscosecha

Desinfección de tomates

Los resultados de la inactivación indicaron que existieron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las condiciones experimentales evaluadas durante el lavado con ozono. Los valores de inactivación de *E. coli* con el empleo del ozono fueron significativamente diferentes al resto de las condiciones del diseño experimental cuando se utilizó una concentración de ozono disuelto de 1 mg L- durante 15 y 30 min. ^(25,30)

Beneficio poscosecha de la papaya

Las frutas que fueron lavadas con agua solamente resultaron las primeras en cambiar de color mientras que las lavadas con agua ozonizada fueron las últimas en las que se manifestó este proceso. En el resto de los tratamientos no se observó diferencias significativas. ^(26,31,32) Esta diferencia indicó un retardo en el proceso de maduración de las frutas. Este efecto puede deberse a la acción inhibitoria del ozono sobre el etileno. El efecto de conservación a largo plazo entre los lavados con agua ozonizada y con el fungicida comercial Amistar ha propuesto una alternativa al empleo de productos químicos importados en esta importante etapa del cultivo de la papaya.

Tabla 1. Comparación de aguas residuales domésticas generadas en la comunidad del INIVIT, sin tratar y tratadas por el esquema de coagulación-floculación-filtración-ozonización

Parámetro	Unidades	Aguas sin tratamiento	Aguas Tratadas	Normas de reuso	
				EPA*	OMS**
pH	-	7,8	7,35	6-9	-
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg O2/ L	380,2	95,1	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg O2/ L	190,4	16,2	< 30	-
Sólidos suspendidos	mg/ L	234,3	0	< 30	-
Pseudomona sp	UFC/ mL	1,5 x 10 ³	1	-	-
Shigella/Salmonella	UFC/ mL	1,0 x 10 ³	0	-	-
Coliformes fecales	NMP/ 100 ml	2,1 x10 ⁶	11	< 200	< 1000
Nitrógeno total	mg/ L	76,1	51,0	-	-
Nitrato	mg/ L	0,058	0,602	-	-
Fósforo total	mg/ L	9,69	1,98	-	-
Carbono orgánico total	mg/ L	176,41	119,0	-	-

Normativas sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola * Agencia de protección ambiental (EE. UU.) ** Organización Mundial de la Salud

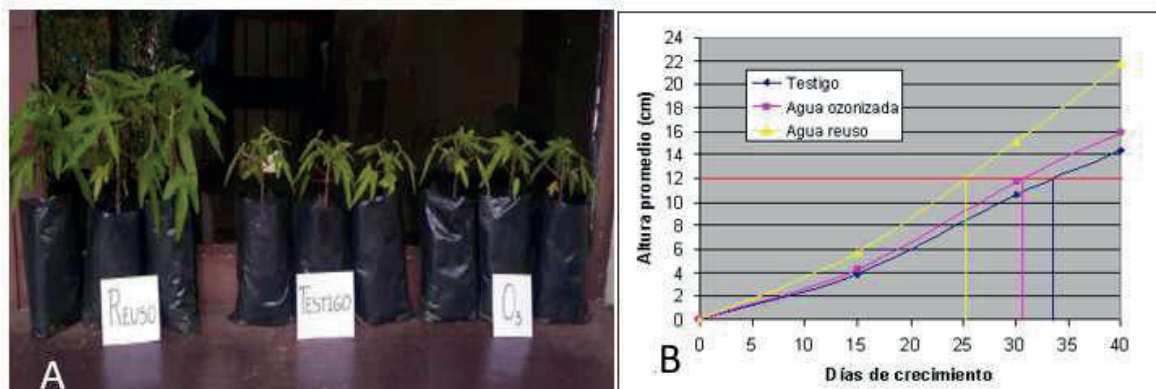


Fig. 2. A) Posturas de fruta bomba al momento del trasplante; B) Crecimiento de las posturas vs días después de la brotación.

Tabla 2. Determinaciones de elementos (mg g^{-1}) en el sustrato al momento del trasplante. Suelo Pardo mullido carbonatado + MO (50:50)

	Tratamientos		
	Control	H ₂ O ozonizada	H ₂ O reuso
Mat. orgánica (mg/g suelo)	5,26	5,21	5,64
pH H ₂ O	7,6	7,6	7,5
Potasio (mg/mL)	2,5602	2,5481	2,6417
Calcio (mg/mL)	7,7532	8,1714	8,2966
Magnesio (mg/mL)	0,6864	0,7070	0,7160
Sodio (mg/mL)	0,4929	0,4132	0,5190
Hierro (mg/mL)	1,3775	1,4194	1,4288
Manganeso (mg/mL)	0,8885	0,8867	1,0333
Cobre (mg/mL)	0,0658	0,0607	0,0608

DISCUSIÓN

Aplicaciones del ozono al material de propagación frijol común, garbanzo, sorgo

La exposición al ozono al que fueron sometidas las semillas no afectó la germinación de las mismas. ⁽¹⁵⁾ Por otra parte, permitió la protección de las mismas al ataque de organismos fitopatógenos.

Papa y caña de azúcar

Los tratamientos con ozono han resultado ser más económicos y menos agresivos al medio ambiente que el empleo de químicos con estos objetivos.

Explantos de ñame y malanga para la micropropagación

Las EROs aumentan la capacidad de oxidación del ozono y amplían el rango de pH de acción del mismo. ^(9,10) De acuerdo a nuestro conocimiento, esta investigación ha constituido el primer informe de la aplicación de ozono para el saneamiento de los virus en *Dioscorea spp.*

La combinación del efecto de desinfección y la estimulación al tejido vegetal del ozono disuelto en agua permitió aumentar en más de 3 veces durante el mismo tiempo (110 días), el número de explantes para su distribución, como material inicial, al sistema de biofábricas de Cuba.

Desinfección de frascos y locales de cultivo in vitro

Los materiales vegetales del ñame (*Dioscorea spp.*), la malanga (*Xanthosoma spp.*) y el plátano (*Musa spp.*) mostraron una respuesta biológica satisfactoria. Este método redujo el consumo de energía eléctrica y ofreció la posibilidad de emplear en los sistemas de cultivo semiautomatizados frascos de cultivo más baratos. ⁽²⁰⁾

Aplicaciones del ozono en el riego agrícola

Recuperación de aguas residuales domésticas

El agua obtenida cumplió las normas de calidad de agua de riego agrícola de la Organización Mundial de la Salud y de la Agencia Protectora del Ambiente de Estados Unidos. No

contenía, prácticamente, ninguna contaminación por minerales pesados (tabla 1); además los contenidos de minerales de importancia agronómica como N-P-K han resultado importantes, por lo cual ha contribuido no solo a la nutrición de las plantas sino también al mejoramiento de los suelos. ^(22,29)

Validación del efecto en posturas de papaya y en los sustratos empleados

Los crecimientos del nivel de materia orgánica en los sustratos regados con agua recuperada, al culminar la etapa de vivero resultaron significativos, sobre todo si tenemos en cuenta que fueron precisamente las posturas regadas con esta agua las que más crecieron. Por tanto, mejoró las condiciones nutricionales del sustrato y favoreció el adecuado desarrollo de las raíces del cultivo a través del mejoramiento de las condiciones del suelo. No se observó disminución en ninguno de los macros o microelementos evaluados.

Aplicaciones durante la poscosecha

Desinfección de tomates

El empleo del ozono para el beneficio poscosecha de los tomates resultó una alternativa económica y ecológica.

Beneficio poscosecha de la papaya

El efecto de conservación a largo plazo de lavados con agua ozonizada durante el beneficio postcosecha del cultivo de la papaya propuso una alternativa al empleo de fungicidas químicos importados.

Conclusiones

Los tratamientos con ozono han favorecido la germinación y conservación de semillas botánicas, (frijol común, sorgo y garbanzo) y agámicas (papa y caña de azúcar). La inmersión en agua ozonizada de explantes de malanga y ñame ha redundado una mayor eficiencia durante su micropropagación. Se logró la desinfección de frascos y locales empleados durante la micropropagación mediante atmósferas ozonizadas. Se logró obtener agua de calidad para riego agrícola que; además, demostró aportes nutricionales a posturas de frutabomba y a los sustratos empleados. Se logró la conservación poscosecha de tomate y papaya sustituyendo fungicidas químicos contaminantes ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Msayleb N, Kanwar R, Wu H, van Leeuwen (Hans) J. Soil ozonation for nematode disinfestation as an alternative to methyl bromide and nematicides. *Scientific Pages of Environmental Studies*. 2017; 1:11-9.
2. Megahed A, Aldridge B, Lowe J. The microbial killing capacity of aqueous and gaseous ozone on different surfaces contaminated with dairy cattle manure. *PLoS ONE*. 2018;13:e0196555.

3. Pandiselvam RS, Subhashini EP, Banuu P, Ramesh SV, Shahi S. Ozone based on food preservation: A promising technology for enhance food safety. *Ozone: Science & Engineering*. 2018; 41:17-34.
4. Khataee A, Fazli A, Fathinia M, Vafaei F. Simultaneous elimination of two species of algae from contaminated water through ozonation process: mechanism and destruction intermediates. *Ozone: Science & Engineering*. 2019; 1:35-45.
5. Li K, Jacob DJ, Liao H, Shen L, Zhang Q, Bates KH. Anthropogenic drivers of 2013-2017 trends in summer surface ozone in China. *Proceedings of the National Academic of Sciences of the United States of America*. 2019; 116:422-7.
6. Hong C, Mueller ND, Burney JA, Zhang Y, Agha-Kouchak A, Moore FC, Qin Y, Tong D, Davis SJ. Impacts of ozone and climate change on yields of perennial crops in California. *Nature Food*. 2020; 1:166-72.
7. Piechowiak T, Skóra B, Balawejder M. Ozone treatment Induces changes in antioxidative defense system in blueberry fruit during storage. *Food and Bioprocess Technology*. 2020; 13:1240-5.
8. Tran D, Kadono T, Molas ML, Errakhi R, Briand J, Biligui B, Kawano T, Bouteau F. A role for oxalic acid generation in ozone-induced signalization in Arabidopsis cells. *Plant, Cell and Environment*. 2019; 36:569-78.
9. González Ramírez JE. Ozone effects on plants: Two opposite sides of the same coin. *Biomedical Journal of Sciences & Technical Research*. 2019; 19:14305-7.
10. Mittler R. ROS are good. *Trends in Plant Science*. 2017; 22:11-9.
11. Jwa NS, Hwang BK. Convergent evolution of pathogen effectors toward reactive oxygen species signaling networks in plants. *Frontiers in Plant Sciences*. 2017; 8:1687.
12. Waszczak C, Carmody M, Kangasjarvi J. Reactive oxygen species in plant signaling. *Annual Review of Plant Biology*. 2018; 69:5.1-5.28.
13. Impene Combo IB, Valdés Herrera R, Pozo Velázquez E, Cárdenas Morales M. Efecto del ozono (O₃) sobre semillas almacenadas del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Centro Agrícola*. 2017; 44:43-8.
14. Valdés Herrera R, Pozo Velázquez E, Cárdenas Morales M, Jiménez Ferrer L, Pérez C, Rodríguez-Rojas R. Efecto del ozono sobre el vigor de semillas de Garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Centro Agrícola*. 2012; 39:21-6.
15. Machado I, Valdés Herrera R, Cárdenas Morales M. Efecto del ozono (O₃) sobre el vigor de las semillas de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) variedad UDG-11. *Centro Agrícola*. 2015; 42:11-6.
16. Bataller M, Veliz E, Riverol Y, Fernández LA, Salomón JL, Camilo FA, Fernández I. Effect of ozone on sprouting of potato and sugarcane seeds: A sustainable alternative of disinfection. *Ozone: Science & Engineering*. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01919512.2020.1848518>
17. Cabrera Jova M, González Ramírez JE. Ozone as an alternative for disinfection of explants during in vitro mass plant propagation. *Ozone: Science & Engineering*. 2014; 36:435-9.
18. González Ramírez JE, Cabrera Jova M, Robaina Jiménez A, Rodríguez Pérez D, González Cadalso A, Portal O. Water-dissolved ozone mediates potyvirus sanitation during in vitro propagation of *Dioscorea cayenensis* subsp. *rotundata* (Poir.) Miège. *Ozone: Science & Engineering*. 2020; 42: 89-94.
19. Basail Pérez M, González Ramírez JE, Ventura Chávez V, González Vázquez RE, Portal O. Water-dissolved ozone mediates optimization of taro micropropagation. *Ozone: Science & Engineering*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2021.1984207>

20. González Ramírez JE, Cabrera Jova M, Veliz E. Ozone disinfections of culture flasks used in semiautomated system for in vitro propagation of plants. *Agricell Report*. 2011; 57:4-5.
21. González Ramírez JE, Cabrera Jova M. Ozone disinfections of in vitro culture chambers. *Agricell Report*. 2011; 57:6-7.
22. Veliz Lorenzo E, Llanes JG; Fernández García LA; Bataller Venta M. Tratamiento primario avanzado y ozonización de aguas residuales municipales para su reutilización en riego agrícola. *Revista CENIC-Ciencias Biológicas*. 2012; 43:1-2.
23. González Ramírez JE, González Vásquez RE, Veliz E, Ruiz Martínez L, Mollineda Trujillo Á, Rodríguez Pérez D, Pozo Velázquez E. Morfofisiología de posturas de papaya irrigadas con tres calidades diferentes de agua. *Centro Agrícola*. 2012; 39:31-7.
24. González Ramírez JE, Veliz E, Ruiz Martínez L, Mollineda Trujillo Á, Rodríguez Pérez D. Validación del potencial agronómico de las aguas residuales domésticas. Aplicación en viveros de papaya en suelo ferráltico rojo. *Centro Agrícola*. 2012; 39:5-12.
25. Bataller Venta M, Santa Cruz Broche S, Fernández Torres I, García Pérez M, Veliz Lorenzo E, Ramos Rodríguez Y, Menéndez Cepero S. Ozone application for postharvest disinfection of tomatoes. *Ozone: Science & Engineering*. 2010; 32:361-71.
26. Bataller Venta M, González Ramírez JE, Veliz Lorenzo E, Fernández LA. Ozone applications in the postharvest of papaya (*Carica papaya* L.): An alternative to Amistar fungicide. *Ozone: Science & Engineering*. 2012; 34:151-5.
27. González Ramírez JE, Cabrera M, Robaina A, Rodríguez D, Portal O. Use of ozone and electric current to obtain virus-free yam explants. *Agricell Report*. 2017; 69:4-6.
28. González Ramírez JE, Castro Medina E, Veliz E, González Vásquez RE, Rodríguez Pérez D. Empleo de agua ozonizada en el beneficio postcosecha de la Frutabomba (*Carica papaya* L.). *Agricultura Tropical*. 2017; 3:38-51.
29. Bataller M, Veliz E, Fernández García LA, Fernández I, Hernández Castro CD, Espinosa Lloréns MC. Effect of ozone on secondary effluent treatment for reuse in agriculture. *International Journal of Environmental Engineering*. 2014; 6:100-8.
30. Bataller Venta M, González Ramírez JE, Veliz Lorenzo E, Nápoles González D, Álvarez Álvarez C. Empleo del ozono en la poscosecha de fruta bomba var Maradol-roja. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 2010; 41:1-11.
31. Santa Cruz S, Fernández I, Bataller M, Veliz E, (2010) Empleo de agua ozonizada en el manejo poscosecha de tomates. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 20:44-48
32. Veliz Lorenzo E, Guadalupe Llanes J, Fernández García LA, Bataller Venta M. Reúso de aguas residuales domesticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 2009; 40:35-44.

Agradecimientos

Se agraden las contribuciones de Manuel Cabrera Jova INIVIT, Erenis Castro Medina INIVIT, Luis Ruiz Martínez INIVIT, Annia Robaina Jiménez INIVIT, Aramis González Cadalso INIVIT; Daniel Rodríguez Pérez INIVIT; Ángel Mollineda Trujillo CIAP, Lisandra Jiménez Ferrer CIAP, Rosabel Rodríguez Rojas CIAP, Carlos Pérez CIAP, Isilda Braz Impene Combo CNIC, Ilenia Machado Montalvo CIAP; Edilberto Pozo Velázquez CIAP; Annarella Chea González CIAP, Jorge Luis Salomón Díaz (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas), Félix A. Camilo (Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar), Caridad Álvarez Álvarez CNIC, Carlos D. Hernández CNIC y Yalexmi Ramos Rodríguez CNIC, Yenei Riverol CNIC, José Guadalupe Llanes CNIC María Del Carmen Espinosa CNIC, Sandra Santa-Cruz CNIC.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en relación con la investigación presentada.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: José Efraín González Ramírez, Mayra Bataller Venta, Eliet Veliz Lorenzo y Roberto Valdés Herrera

Curación de datos: Milagros Basail Pérez, Orelvis Portal Villafaña, Lidia A. Fernández García, Vaniert Ventura Chávez, Rosa Elena González Vásquez e Irán Fernández Torres

Investigación: José Efraín González Ramírez, Mayra Bataller Venta, Eliet Veliz Lorenzo, Roberto Valdés Herrera, Milagros Basail Pérez, Lidia Asela Fernández García,

Redacción-borrador original: José Efraín González Ramírez y Orelvis Portal Villafaña

Redacción-revisión y edición: José Efraín González Ramírez, Mayra Bataller Venta, Eliet Veliz Lorenzo, Orelvis Portal Villafaña, Milagros Basail Pérez y Roberto Valdés Herrera

Financiación

Los autores declaran que las fuentes de financiamiento fueron obtenidas del proyecto P131LH003076 perteneciente al Programa Sectorial de salud animal y vegetal.

Cómo citar este artículo

González Ramírez JE, Bataller Venta MO, Veliz Lorenzo E, Valdés Herrera R, *et. al.* Aplicaciones del ozono en la agricultura cubana. *AnAcadCienc Cuba* [internet] 2022 [citado en día, mes y año]; 12(3): e1120. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1120>

Recibido: 22/05/2022
Aprobado: 15/08/2022

