

# Uso del ácido fítico para la inmovilización de actínidos

María Guadalupe Almazán Torres, Eduardo Ordoñez Regil,  
Guillermo Tovar Valdín, José Guadalupe Cruz González  
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares  
eduardo.ordonez@inin.gob.mx

## RESUMEN

*La energía nuclear continúa siendo una alternativa viable para la generación de electricidad en México y en el mundo, debido a la nula emisión de gases de efecto invernadero. No obstante, el impacto radiológico asociado con la presencia de una instalación nuclear sigue siendo una preocupación latente. La descarga de efluentes radiactivos de las instalaciones nucleares se realiza siempre bajo control y tratamiento previo para eliminar la radiactividad excesiva. Ante una eventual fuga de elementos radiactivos, particularmente algunos actínidos, se debe contar además con métodos de descontaminación apropiados para evitar su concentración y dispersión en el ambiente. Este estudio plantea el uso del ácido fítico como reactivo específico para la inmovilización de actínidos como el uranio y el plutonio. El objetivo es obtener datos termodinámicos que permitan desarrollar un método, viable y de bajo costo, para la remediación de efluentes contaminados. Para ello se requiere entre otras cosas, conocer y entender las interacciones del ácido fítico con cationes, específicamente con algunos actínidos, bajo ciertas condiciones experimentales.*

## PALABRAS CLAVE

Ácido fítico, actínidos, uranio, contaminación.

## ABSTRACT

*Nuclear power continues to be a viable alternative for the generation of electricity in Mexico and in the world, due to the zero emission of greenhouse gases. However, the radiological impact associated with the presence of a nuclear facility remains a latent concern. The discharge of radioactive effluents from nuclear facilities is always carried out under control and prior treatment to eliminate excessive radioactivity. In the event of an eventual leak of radioactive elements, particularly some actinides, appropriate decontamination methods must also be available to avoid their concentration and dispersion in the environment. This study raises the use of phytic acid as a specific reagent for the immobilization of actinides such as uranium and plutonium. The objective is to obtain thermodynamic data that allows developing a viable and low-cost method for the remediation of contaminated effluents. This requires, among other things, knowing and understanding the interactions of phytic acid with cations, specifically with some actinides, under certain experimental conditions.*

## KEYWORD

Phytic acid, actinides, uranium, pollution.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos que se han propuesto para limitar la movilización de los actínidos en agua y suelo, consiste en transformarlos de formas potencialmente móviles a formas termodinámicamente estables. Para lograr dicha transformación se agrega un reactivo específico para generar un precipitado que favorezca la formación de fases insolubles termodinámicamente estables.<sup>1</sup>

Recientes estudios han sugerido que el ácido fítico (IP6), un compuesto natural organofosforado, puede ser aplicado en forma soluble para la recuperación de sedimentos contaminados, cuando se somete a diversas reacciones que eventualmente dan lugar a la precipitación de metales.<sup>2</sup> El ácido mio-inositol-hexafóforico (IP6), conocido como ácido fítico, es un ácido orgánico que se encuentra presente en forma natural en cereales, nueces, legumbres y semillas. El ácido fítico en solución puede ser ionizado sucesivamente y quedar cargado negativamente en un amplia gama de pH, lo que le confiere una elevada capacidad para formar complejos con metales pesados, que bajo ciertas condiciones pueden precipitar.<sup>3</sup> Debido a estas características, el ácido fítico ha sido considerado como un buen candidato para la inmovilización de elementos radiactivos en efluentes contaminados.<sup>4</sup>

El uranio ha estado presente en la corteza terrestre desde su origen, encontrándose distribuido de manera heterogénea, contribuyendo así a la dispersión de la radiactividad natural en los diferentes medios, solo que su concentración y distribución en el ambiente depende del medio en el que se encuentra.<sup>5</sup> Bajo condiciones ambientales oxidantes el uranio se encuentra en su forma hexavalente como ión uranilo ( $\text{UO}_2^{2+}$ ).

El europio, que se presenta por lo general en su estado trivalente, ha servido como modelo para entender el comportamiento de algunos actínidos trivalentes de alta actividad como el Curio, Americio y Plutonio.<sup>6</sup>

Las propiedades de complejación del ácido fítico frente actínidos y otros metales están estrechamente relacionadas con su comportamiento en solución a partir de sus propiedades ácido-base en diferentes medios acuosos.<sup>7</sup> El estudio de sus propiedades ácido-base es por tanto fundamental para entender los procesos relacionados con éste ácido orgánico. Así pues, en el presente estudio se evalúan las propiedades ácido-base del ligando fitato en medio 0.1 M de  $\text{NaClO}_4$ , y se establecen las condiciones para la preparación de complejos fitato-uranio (VI) y fitato-europio (III) estables, que puedan ser fácilmente concentrados y recuperados.

## METODOLOGÍA

### Estudios de las propiedades ácido-base del ácido fítico y su interacción con cationes

#### Preparación de soluciones

Para los diferentes experimentos se prepararon diferentes soluciones usando reactivos grado analítico y agua desionizada, hervida y con burbujeo de nitrógeno para la eliminación de carbonatos.

Se preparó una solución 0.1 M de  $\text{NaClO}_4$  a partir de sales de perclorato de sodio, las cuales fueron disueltas en agua desionizada, hervida y en una

atmosfera de  $N_2$ . Para los experimentos de titulación se preparó una solución 0.1 M de NaOH a partir de una solución concentrada. De esta solución se tomó una alícuota y se diluyó con agua desionizada, hervida y con burbujeo de nitrógeno para la eliminación de los carbonatos. Esta solución fue valorada por triplicado con ftalato ácido de potasio, el cual se secó previamente durante 2 horas a una temperatura de  $70^\circ\text{C}$ .

La solución de uranio fue preparada a partir de cristales de nitrato de uranio hexahidratado,  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (UranylNitrat-6-hydrat, grado analítico Merk). En un vaso de precipitado se pesaron 1.25 g de los cristales y se disolvieron con 4 mL de ácido perclórico concentrado (12 M de  $\text{HClO}_4$ ) (Perchloric acid, 69-72 wt% J.T. Baker), la disolución se mantuvo en calentamiento durante una hora en la campana de extracción. Este procedimiento se repitió dos veces más hasta la evaporación total del nitrato. El concentrado fue aforado a 25 mL con agua desionizada, para obtener una solución 0.1 M de  $\text{UO}_2(\text{ClO}_4)_2$ . Finalmente, la solución fue ajustada a pH 2 con ácido perclórico para evitar la hidrólisis del catión.

La solución de europio (III) fue preparada a partir de cristales de nitrato de europio penta-hidratado,  $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . El procedimiento para preparar esta solución fue el siguiente: los cristales fueron disueltos con un poco de agua desionizada y 1 mL de  $\text{HClO}_4$ . Después se calentó hasta llegar a su evaporación y que solo quedara el concentrado, el cual es de aspecto aceitoso. Este procedimiento se repitió dos veces más. Finalmente el concentrado, se diluyó con agua desionizada hasta un volumen de 50 mL en un matraz aforado.

Finalmente, para la preparación de las soluciones de trabajo se tomaron alícuotas de ácido fítico (mio-inositol hexaphosphoric acid, 40-50 wt% solución acuosa, BOC Sciences) y de la solución de europio (III), y se diluyeron en 30 mL de la solución 0.1 M de  $\text{NaClO}_4$ .

### Estudio potenciométrico

Para el estudio de las propiedades ácido-base del ácido fítico, así como su interacción con los cationes, el uranio (VI) y el europio (III), se realizaron diferentes titulaciones potenciométricas.

Las curvas de titulación potenciométrica fueron realizadas en un titulador automático, Radiometer Titrilab 90 adjunto a una autobureta ABU901. El equipo se programó considerando adiciones de NaOH de 1 o 2  $\mu\text{L}$  hasta un volumen de 20 mL y un criterio de estabilidad 0.024 unidad de pH/min, mismo que se cumplió en un tiempo promedio de 15-20 minutos. Cabe mencionar que el potenciómetro fue calibrado a tres estándares (4, 7 y 10) obteniendo una sensibilidad promedio de 95.6 a 98%.

#### a) Titulación potenciométrica del ácido fítico

Se efectuaron titulaciones potenciométricas de soluciones de ácido fítico de concentraciones 0.001 M, 0.002 M y 0.005 M en medio 0.1 M de  $\text{NaClO}_4$  (30 mL), con una solución 0.1 M de NaOH. Las titulaciones se efectuaron en una celda de doble camisa de 50 mL de capacidad, manteniendo la temperatura a  $25 \pm 0.2^\circ\text{C}$  mediante un baño termostático, agitación magnética suave y constante;

y bajo una atmósfera inerte de  $N_2$  para evitar la presencia de  $CO_2$ . Para llevar la solución a un equilibrio de  $pH=2\pm 0.2$  se dejó agitar durante 15 min.

### **b) Titulación potenciométrica del sistema fitato-uranio (VI)**

Para evaluar la interacción entre el ácido fítico y el uranio (VI), se realizaron tres titulaciones potenciométricas de soluciones de ácido fítico-uranio (VI) con concentraciones 2:1, 1:1 y 1:2, en medio 0.1 M de  $NaClO_4$ . Las titulaciones potenciométricas se realizaron con 30 mL de esta solución empleando celdas de vidrio de doble camisa, usando un baño termostático para mantener el proceso a  $25^\circ C$ , con una agitación magnética suave y constante, y bajo una atmósfera inerte de  $N_2$  para evitar la presencia de  $CO_2$ . Las soluciones fueron tituladas con una solución 0.1 M de NaOH, usando el titulador automático Radiometer Titrablab 90 descrito anteriormente.

### **c) Titulación del sistema potenciométrica fitato-europio (III)**

Las soluciones de trabajo fueron tituladas con la solución estándar 0.1 M de NaOH en un titulador automático TritabLab 90, usando un baño termostático para mantener el proceso a la temperatura de  $25^\circ C$ . Se realizaron varias titulaciones de soluciones de ácido fítico-europio (III) con concentraciones molares: 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 2:1, 3:1, 4:1 en medio 0.1 M de  $NaClO_4$ .

### **Preparación de complejos de ácido fítico con los cationes**

Los complejos fitato-uranio (VI) y fitato-europio (III) fueron preparados mezclando soluciones de ácido fítico y del catión (uranio o europio). En tubos de polipropileno (15 mL) se adicionó la solución de ácido fítico y se ajustó el pH (entre 4 y 10) usando una solución concentrada de NaOH. Los tubos se mantuvieron en agitación durante 24 horas. Posteriormente se adicionó en cada tubo la solución de uranio o de europio. Los tubos se mantuvieron en reposo y a temperatura de  $25^\circ C$ , inicialmente durante siete días. El control de pH se realizó durante todo el proceso, obteniéndose registros del valor de pH de las soluciones antes del contacto con el catión, al contacto con el catión y el pH al final del proceso. Asimismo se hicieron registros sobre la formación de precipitados en todos los sistemas.

## **DISCUSIÓN Y RESULTADOS**

### **Estudio potenciométrico**

#### **Ácido fítico**

Las curvas de titulación potenciométrica del ácido fítico a concentraciones 0.002 M y 0.005 M en medio 0.1 M de  $NaClO_4$  son comparadas en la figura 1. Ambas curvas revelan tres regiones protonadas, evidenciando la presencia de hidrógenos ionizables. En general para las dos curvas, la disociación ocurre en el intervalo de pH 2 a 6, pH 6 a 10 y pH 10 a 12, observándose en los puntos de inflexión.

Los datos obtenidos a partir de las titulaciones potenciométricas fueron tratados con el programa computacional SUPERQUAD, con el fin de refinar las

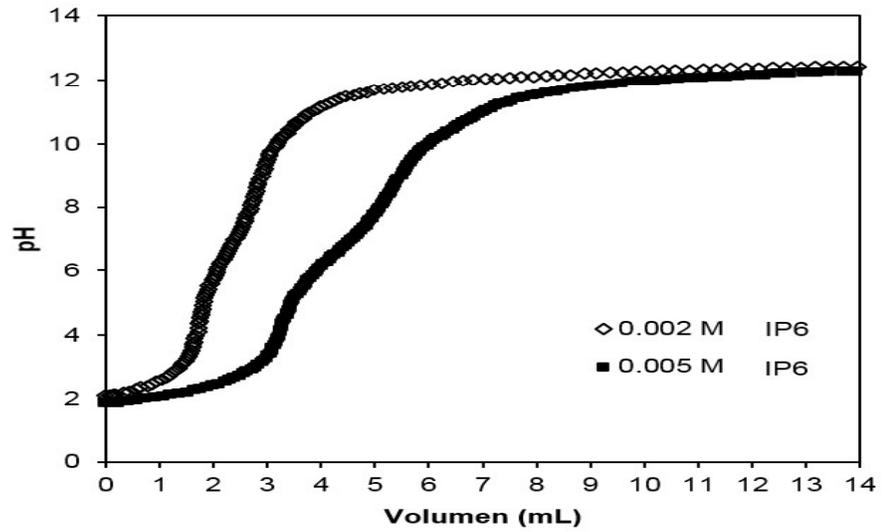
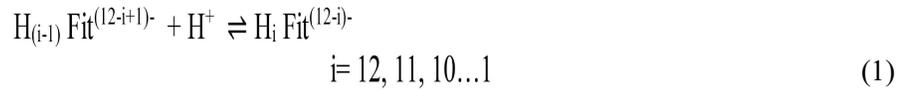


Fig. 1. Titulación potenciométrica de soluciones (◇) 0.002 M y (■) 0.005 M de ácido fítico en medio 0.1 M de NaClO<sub>4</sub>, titulado con 0.1 M de NaOH.

constantes de protonación del ácido fítico. El ácido fítico presenta doce protones que pueden ser disociados sucesivamente como sigue:



$$\beta_i = \frac{[H_iFit^{(12-i)-}]}{[H_{i-1}Fit^{(12-i+1)+}][H^+]} \quad (2)$$

En la tabla I se presentan las constantes de protonación del ácido fítico a las diferentes concentraciones en medio 0.1 M de NaClO<sub>4</sub> a 25°C. Se observa que los valores obtenidos a las diferentes concentraciones de ácido fítico son cercanos y siguen la misma tendencia ( $\log \beta_1 > \log \beta_2 > \log \beta_3 > \log \beta_4 > \log \beta_5 > \log \beta_6$ ). Li y colaboradores<sup>8</sup> determinaron las constantes de protonación del ácido fítico usando la misma sal de fondo, pero a valores de fuerza iónica altos (0.15 M, 1 M y 3 M de NaClO<sub>4</sub>), observando una tendencia peculiar en el caso de las primeras 3 constantes:  $\log \beta_1 > \log \beta_2 < \log \beta_3$ . La misma tendencia fue observada en medio 5 M, 3 M, 1 M, 0.5 M y 0.1 M de NaCl.<sup>9</sup> Una tendencia similar a la obtenida en este estudio ( $\log \beta_1 > \log \beta_2 > \log \beta_3$ ) fue observada en medio 0.1 M, 0.5 M, 3.0 M de KCl, 0.1 M, 0.5 M, 1 M y 3 M de LiCl<sup>9</sup>, en medio 0.1 M de KCl (De Carli, 2006) y en medio 0.1 M, 0.5 M y 1.0 M de CsCl.<sup>10</sup> Cabe mencionar que en la mayoría de los estudios que se han publicado, los autores reportan solamente las primeras 7 y en algunos casos 8 constantes de protonación para el ácido fítico. Esto podría ser explicado por la interacción del ácido fítico con el contraion de la sal de fondo a valores de pH bajos.

Tabla I. Constantes de protonación del ácido fítico en 0.1 M de NaClO<sub>4</sub> a 25 ° C

IP6	Log β <sub>1</sub>	Log β <sub>2</sub>	Log β <sub>3</sub>	Log β <sub>4</sub>	Log β <sub>5</sub>	Log β <sub>6</sub>	Log β <sub>7</sub>
0.002 M	10.728	9.061	6.887	6.545	5.078	5.078	3.368
0.005 M	11.776	9.878	7.182	7.122	4.265	4.265	-
media	11.25±0.7	9.47±0.6	7.03±0.2	6.83±0.4	4.67±0.6	4.67±0.7	3.4±0.01

### Sistema fitato-uranio (VI)

La reacción del ácido fítico con el ion uranilo o uranio (VI) es inmediata, al ponerlos en contacto se observó la formación de un precipitado color amarillo. La figura 2 compara las curvas de titulación del ácido fítico en presencia del ion uranilo en diferentes concentraciones equimolares. Las curvas de titulación son similares a las observadas en la titulación del ácido fítico sin el catión, revelando tres regiones protonadas en las mismas regiones de pH. Este resultado indica que no todo el ácido fítico ha reaccionado con el ión uranilo.

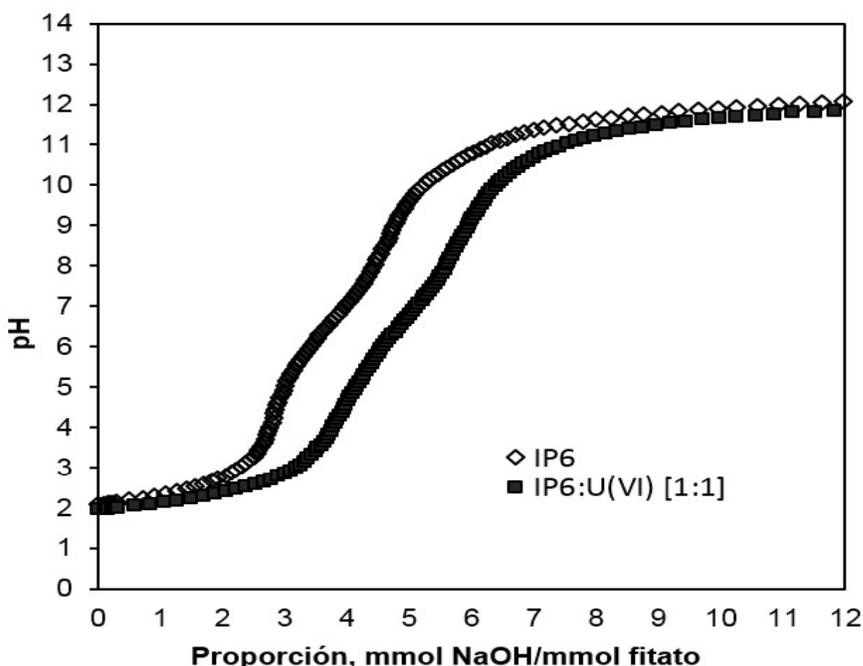


Fig. 2. Curva de titulación de 0.002 M de ácido fítico en (◇) ausencia y en (■) presencia de uranio (VI) a temperatura de 25 °C, fuerza iónica constante 0.1 de NaClO<sub>4</sub>.

La figura 3 compara las curvas de titulación potenciométrica del sistema fitato-uranio (VI) en concentraciones molares 1:1, 2:1 y 1:2. En esta figura se observa que cuando existe una mayor concentración del ligando fitato, la curva de titulación presenta los puntos de inflexión característicos de la disociación del ácido fítico. Este resultado demuestra que el ácido fítico en exceso interacciona débilmente con el uranio y no llega a precipitar, muy probablemente debido a la competencia entre las moléculas de ligando fitato, las cuales sólo llegan a solvatar al ión uranilo. Es por ello que el ácido fítico reacciona totalmente al ser titulado con el hidróxido de sodio. Al contrario, cuando hay un exceso de uranio (VI) los puntos de inflexión casi no se aprecian, lo que muestra claramente que todo o la mayor parte del ácido fítico reacciona con el ion uranilo y precipita. De acuerdo con el estudio potenciométrico, el ligando fitato y el ión uranilo reaccionan completamente, formando complejos sólidos, cuando se combinan en una relación molar 1:2 siendo la más adecuada para la recuperación de uranio de efluentes contaminados.

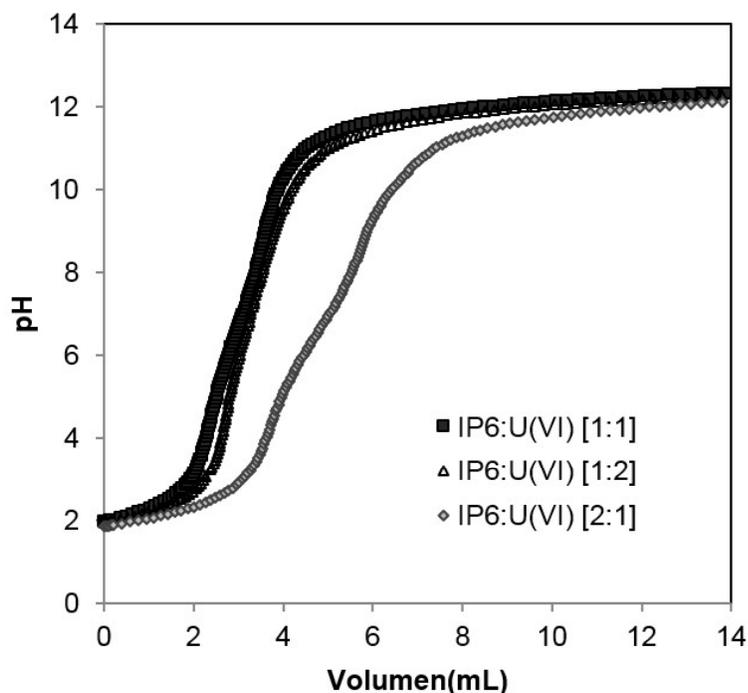


Fig. 3. Curvas de titulación potenciométrica del sistema fitato-uranio (VI) en una relación: (\*) 1:1, (◇) 2:1 y (Δ) 1:2 a una concentración mínima de 0.002 M en medio 0.1 M de NaClO<sub>4</sub> a 25 °C, titulada con 0.1 M de NaOH.

### Sistema fitato-europio (III)

En la tabla II se resumen las concentraciones molares de ácido fítico y europio (III) usadas en los experimentos de titulación potenciométrica. En las figuras 4 a 9 se comparan las curvas de titulación del ácido fítico y del sistema fitato-europio para las diferentes relaciones molares usadas. En todos los casos se observó la formación de un precipitado blanco al contacto de la solución de ácido fítico con el catión. En los sistemas con exceso de ligando fitato (figuras 4 a 6), la curva de titulación es similar a la curva obtenida para el ácido fítico solo. Bajo estas condiciones la interacción del ácido fítico con el catión es mínima, lo que explica la escasa formación de precipitado.

Tabla II. Concentraciones molares usadas en la titulación del sistema IP6-Eu (III).

Concentración (M)		Relación IP6:Eu(III)	Precipitación
IP6	Eu(III)		
0.004	0.001	4:1	Poca
0.003	0.001	3:1	Poca
0.002	0.001	2:1	Poca
0.001	0.001	1:1	Poca
0.001	0.002	1:2	Poca
0.001	0.003	1:3	Abundante
0.001	0.004	1:4	Abundante

En los sistemas con exceso de catión se observa un comportamiento distinto (figuras 7 a 9). La pendiente de la curva de titulación del sistema fitato-europio a una relación molar 1:2, esta menos inclinada que la observada en la curva del ácido fítico solo. Con el aumento de la concentración del catión (1:3, 1:4), la curva de titulación del sistema fitato-europio está por abajo de la curva de titulación del ácido fítico solo, lo que sugiere una alta interacción del ligando fitato con el ion europio. Cabe señalar que en estas condiciones se observó una mayor cantidad de precipitado.

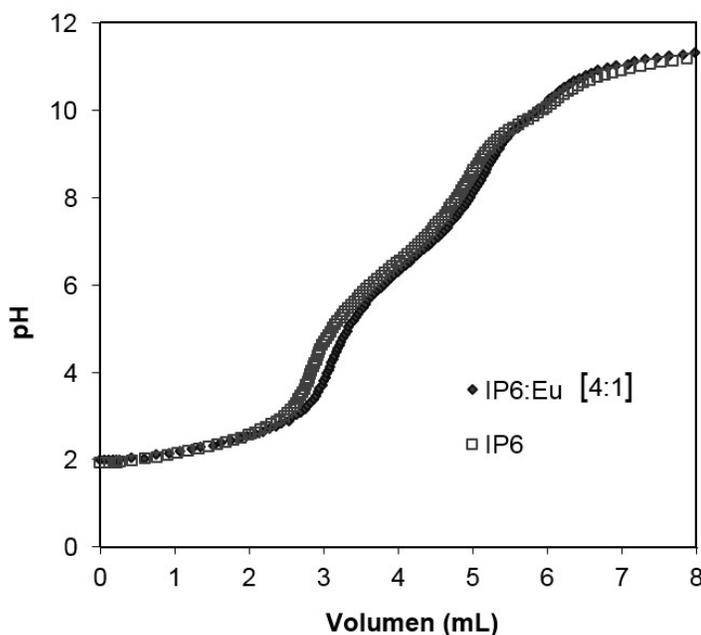


Fig. 4. Titulación potenciométrica de soluciones (□) 0.004 M-0.001M fitato-europio (III) y (◊) 0.004 M de ácido fítico en medio 0.1 M de  $\text{NaClO}_4$ , titulado con 0.1 M de NaOH.

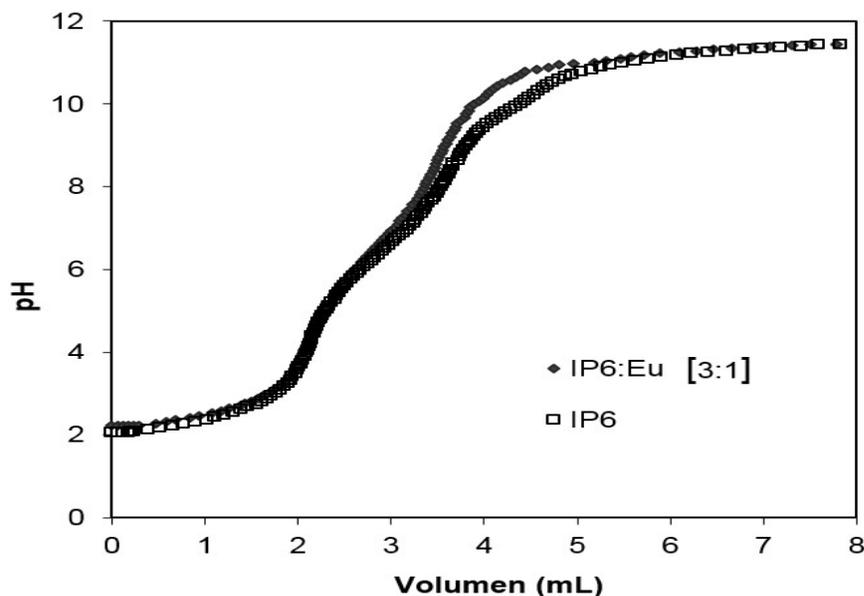


Fig. 5. Titulación potenciométrica de soluciones (□) 0.003 M-0.001M fitato-europio (III) y (◊) 0.003 M de ácido fítico en medio 0.1 M de  $\text{NaClO}_4$ , titulado con 0.1 M de NaOH.

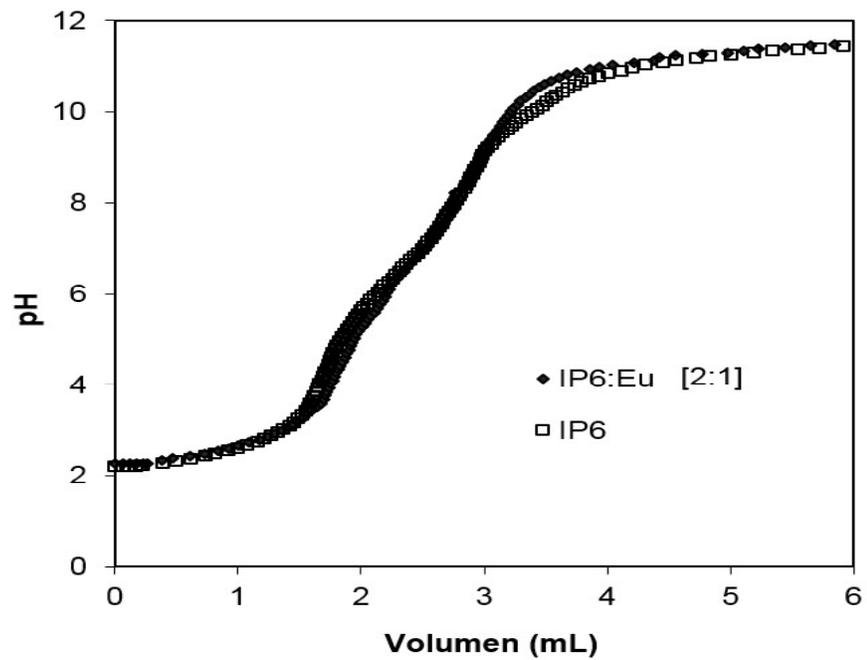


Fig. 6. Titulación potenciométrica de soluciones (◻) 0.002 M-0.001M fitato-europio (III) y (◈) 0.002 M de ácido fítico en medio 0.1 M de NaClO<sub>4</sub>, titulada con 0.1 M de NaOH.

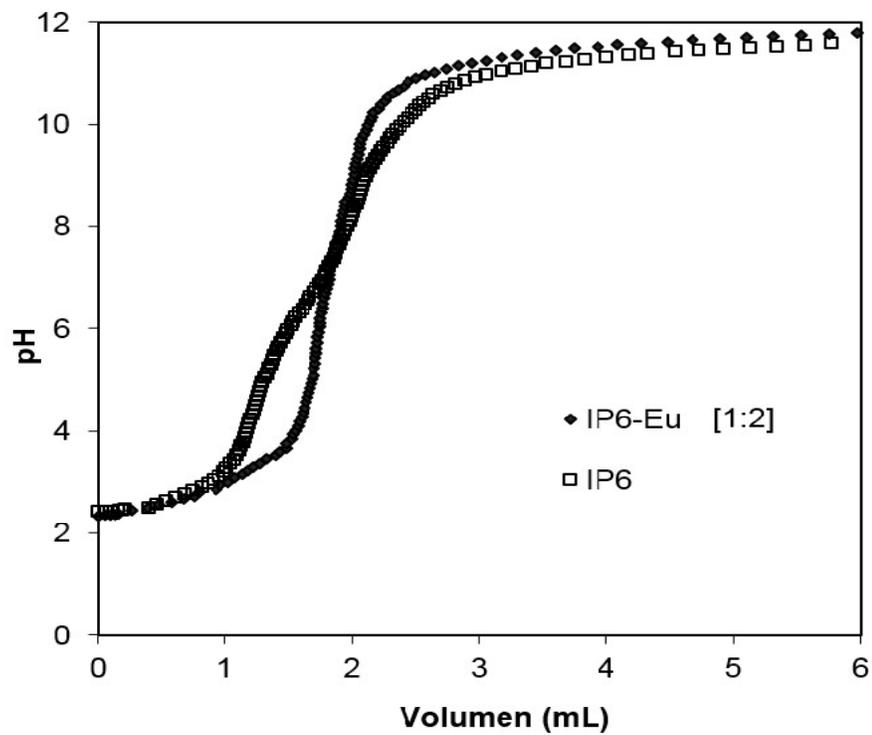


Fig. 7. Titulación potenciométrica de soluciones (◻) 0.001 M-0.002M fitato-europio(III) y (◈) 0.001 M de ácido fítico en medio 0.1 M de NaClO<sub>4</sub>, titulada con 0.1 M de NaOH.

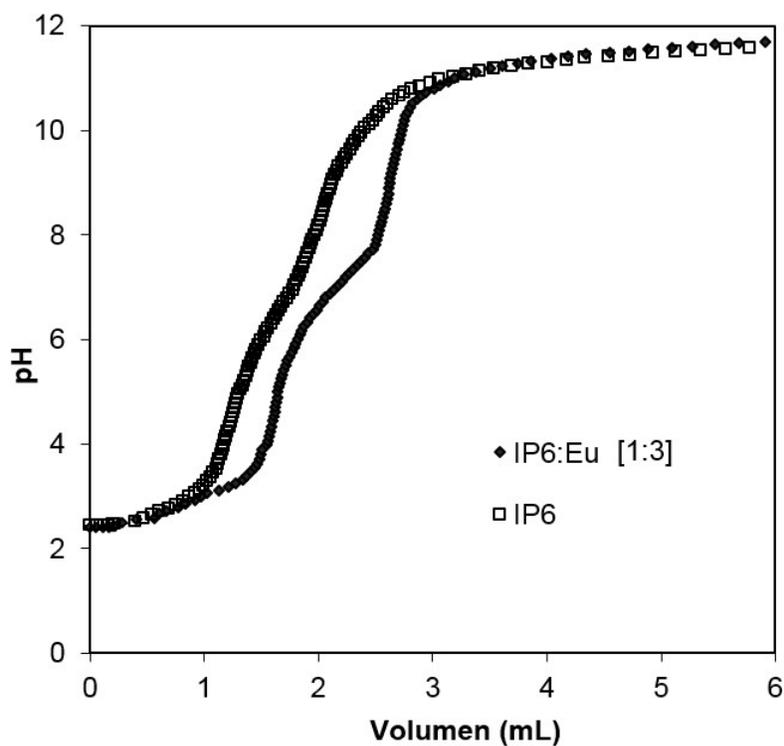


Fig. 8. Titulación potenciométrica de soluciones (□) 0.001 M-0.003M fitato-europio (III) y (◊) 0.001 M de ácido fítico en medio 0.1 M de NaClO<sub>4</sub>, titulado con 0.1 M de NaOH.

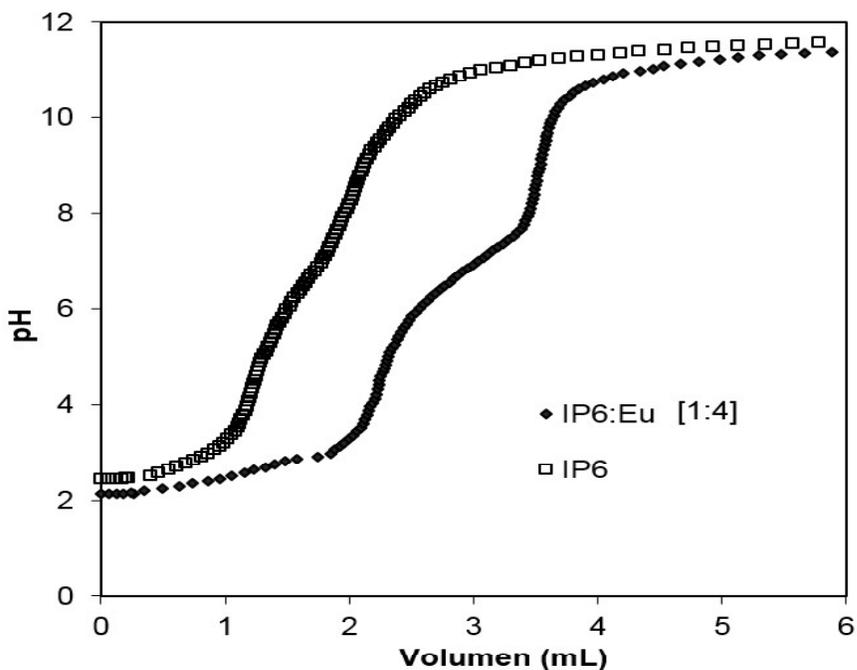


Fig. 9. Titulación potenciométrica de soluciones (□) 0.001 M-0.004M fitato-europio (III) y (◊) 0.001 M de ácido fítico en medio 0.1 M de NaClO<sub>4</sub>, titulado con 0.1 M de NaOH.

## Preparación de complejos

### Complejos fitato-uranio (VI)

Se sabe que el ácido fítico es altamente complejante del ion U(VI), lo que conduce a la formación de complejos fitato-uranio. De acuerdo con el estudio potenciométrico realizado previamente, el ácido fítico reacciona en un rango de pH comprendido entre 2 y 11. Por lo que, para estudiar la interacción del ácido fítico con U(VI), se realizaron experimentos a pH cercanos a los puntos de inflexión observados en las curva de titulación del ácido fítico.

Las condiciones experimentales para la preparación de los complejos fitato-uranio (VI) se resumen en la tabla III. En la mayoría de los tubos se observó la formación inmediata de un precipitado color amarillo al adicionar la solución de uranio. Para todos los valores de pH estudiados se observó la ausencia de precipitado en el sistema con exceso de ligando fitato (relación molar 2:1). Este resultado es totalmente congruente con lo observado en el estudio potenciométrico. Siendo el ácido fítico el reactivo limitante, se fue incrementando la concentración de uranio con el fin de estimar la cantidad máxima de uranio que precipitó con el ácido fítico. El porcentaje de uranio (VI) en el precipitado se determinó a partir de su cuantificación por la técnica de centelleo líquido usando la siguiente relación:

$$\%U(VI)_{pp} = \frac{[U(VI)]_{inicial} - [U(VI)]_{final}}{[U(VI)]_{inicial}} * 100 \quad (3)$$

La concentración de uranio inicial,  $[U(VI)]_{inicial}$ , se determinó en una solución estándar de uranio (VI) preparada en condiciones similares sin el ácido fítico. La concentración de uranio final,  $[U(VI)]_{final}$ , se midió en el sobrenadante después de siete días de interacción. La incertidumbre asociada en la determinación del porcentaje de uranio en el precipitado fue de 5%, de acuerdo a los experimentos de reproducibilidad efectuados.

### Complejos fitato-europio (III)

Considerando los resultados obtenidos en el estudio potenciométrico, se eligió preparar los complejos fitato-europio (III) usando una relación de concentración 1:3, y variando el pH entre 4 y 10. Las condiciones experimentales para la preparación de los complejos fitato-europio se resumen en la tabla IV. En todos los tubos se observó la formación inmediata de un precipitado color blanco, resultado de la interacción del ácido fítico con el europio (III). Después de siete días de interacción, el volumen del precipitado aumento considerablemente.

El porcentaje de europio (III) en el precipitado se determinó a partir de su cuantificación por la técnica de fluorescencia usando la ecuación (3). La concentración de europio inicial,  $[Eu(III)]_{inicial}$ , se determinó en una solución estándar de europio (III) preparada en condiciones similares, sin el ácido fítico. La concentración de europio final,  $[Eu(III)]_{final}$ , se midió en el sobrenadante después de siete días de interacción. Para validar el método de cuantificación se trazó una recta de calibración obteniéndose un factor de correlación de 0.98.

Después de siete días de interacción, el porcentaje de Eu (III) que precipitó con el ácido fítico fue en promedio del 91% para valores de pH de 4 a 8 (tabla II). A pH 10 el porcentaje fue del 82%.

Tabla III. Condiciones para la preparación de complejos fitato-uranio (VI).

pH ( $\pm 0.3$ )	Relación IP6 :U(VI)	% U(VI) en el precipitado	Observaciones
3.0	2:1	<2	Ausencia de precipitado
	1:1	28.2	Precipitado escaso
	2:1	71.09	Precipitado abundante
4.0	2:1	<2	Ausencia de precipitado
	1:1	31.1	Poco precipitado
	1:2	87.8	Precipitado abundante
	1:3	71.8	Precipitado abundante
	1:4	64.0	Precipitado abundante
5.5	2:1	<2	Ausencia de precipitado
	1:1	89.6	Precipitado abundante
	1:2	94.7	Precipitado abundante
	1:4	83.7	Precipitado abundante
	1:8	64.2	Precipitado
7.0	2:1	0.0	Ausencia de precipitado
	1:1	10	Poco precipitado
	1:2	26.3	Poco precipitado
	1:4	81.5	Precipitado abundante
8.5	2:1	0.0	Ausencia de precipitado
	1:1	5.6	Escaso precipitado
	1:2	38.5	Poco precipitado
	1:5	28.9	Poco precipitado
	1:10	7.2	Escaso precipitado

La diferencia en el porcentaje puede ser debido a diferentes factores, como el error experimental, que se puede subsanar con nuevas réplicas. Otro factor podría ser la especiación del ion europio en solución, ya que a pH 10 la especie hidroxilada  $(\text{EuOH})^{2+}$  es predominante. En esas condiciones los complejos formados pueden ser de diferente naturaleza y quizá menos estables.

## CONCLUSIONES

La curva de titulación potenciométrica del ácido fítico en medio 0.1 M de  $\text{NaClO}_4$ , a 25°C, presenta tres regiones protonadas en un intervalo de pH 2 a 12 encontrándose totalmente desprotonado a pH 13.

Las primeras constantes de protonación del ácido fítico en medio 0.1 M de  $\text{NaClO}_4$  a 25°C, fueron determinadas con los datos potenciométricos, y refinadas con el programa SUPERQUAD. Estas constantes tienen una tendencia en orden decreciente ( $\log \beta_1 > \log \beta_2 > \log \beta_3 > \log \beta_4 > \log \beta_5 > \log \beta_6$ ), similar a las que se reporta en la bibliografía aunque en diferente medio y fuerza iónica.

El estudio potenciométrico del sistema ácido fítico-uranio (VI) a diferentes concentraciones molares (2:1, 1:1 y 1:2) reveló que cuando hay un exceso de ácido fítico la curva de titulación potenciométrica es similar a la obtenida en ausencia de uranio (VI), además no se observa la formación de precipitado.

Tabla IV. Condiciones experimentales para la preparación de complejos fitato-europio (III).

pH (±0.3)	Relación IP6 :Eu(III)	% Eu (III) en el precipitado	Precipitación
4.0	1:3	92.2	Abundante precipitado
6.0	1:3	90.2	Abundante precipitado
8.0	1:3	92.1	Abundante precipitado
10.0	1:3	82.3	Poco abundante

Por el contrario, cuando hay exceso de uranio (VI) los puntos de inflexión observados en la curva de titulación del ácido fítico son apenas perceptibles, debido a que gran parte del ácido fítico precipita con el uranio (VI) durante su titulación.

La interacción del ácido fítico con el europio tuvo un comportamiento diferente. El estudio potenciométrico del sistema fitato-europio (III) se realizó a diferentes relaciones molares, observándose en todos los casos diferencias en las curvas de titulación. En los sistemas con exceso de ligando fitato, la interacción con el catión fue mínima, observándose escaso precipitado. Al contrario, los sistemas con exceso de ion europio existe una alta interacción y se observa la formación de una gran cantidad de precipitado. Se prepararon complejos fitato-europio (III) a pH 4, 6, 8 y 10 y concentración molar 1:3. En estas condiciones, excepto a pH 10, la interacción del ligando fitato con el ion europio fue alta, obteniéndose grandes cantidades de precipitado.

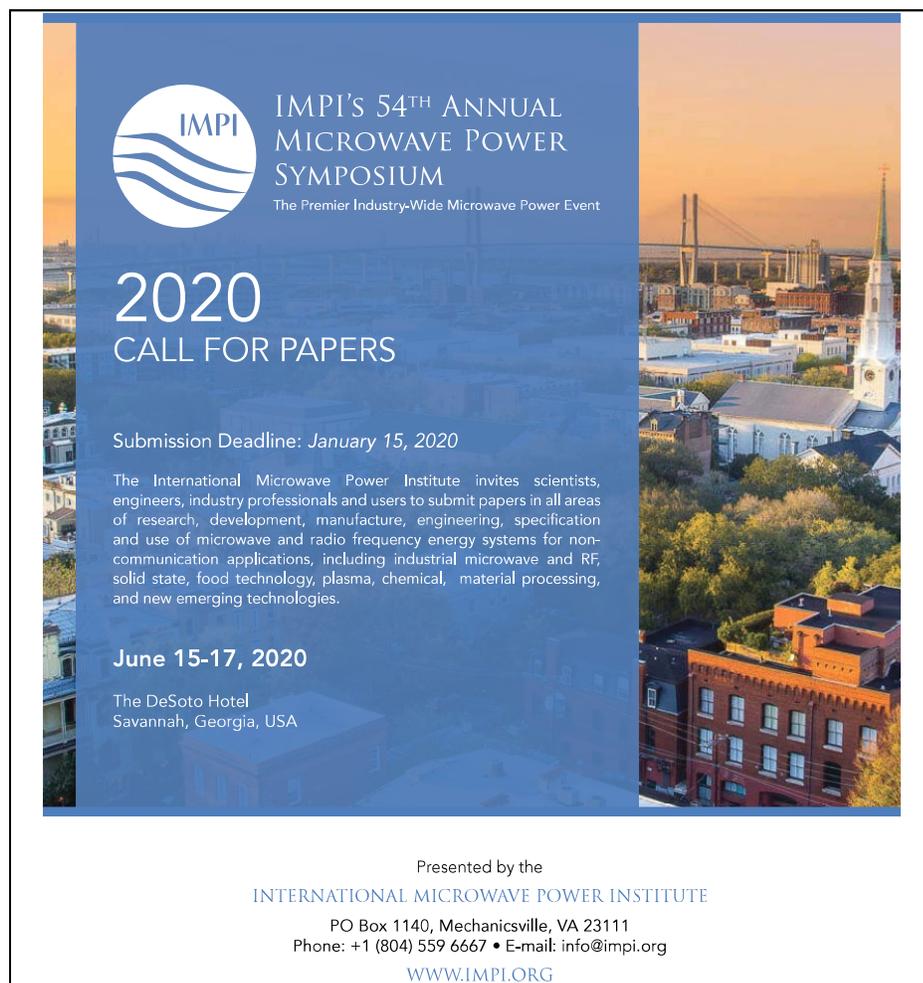
Tomando en cuenta los resultados del estudio potenciométrico se sintetizaron complejos fitato-uranio [1:2] y fitato-europio [1:3] con buenos porcentajes de recuperación.

El estudio aporta nuevos datos sobre la interacción del ácido fítico con cationes divalentes y trivalentes de interés nuclear, a partir de los cuales se establecen las bases para el desarrollo de métodos efectivos para la recuperación de efluentes contaminados.

## REFERENCIAS

1. Betts, K. (1997). Phytic acid immobilizes radionuclides. *American Chemical Society*, 31(6), 263.
2. Burriel Martí, F., Lucena Conde, F., Arribas Jimeno, S., & Hernández Méndez, J. (1985). *Química Analítica Cuantitativa*. España: Thomson Editores.
3. Seaman, J. C., Hutchison, J. M., Jackson, B. P., & Vulava, V. M. (2003). In situ Treatment of Metals in Contaminated Soils with Phytate. *Environ*, 153-161.
4. Jensen, M.P., K.L. Nash, L.R. Morss, E.H. Appelman, and M.A. Schmit, 1996. Immobilization of actinides in geomeia by phosphate precipitation. Humic and fulvic acids: Isolation, structure and environmental role. *ACS Symp. Ser.* 651:272–285.
5. Osmond J.K., Cowart J.B. “Natural Uranium and Thorium Series Disequilibrium: New Approaches to Geochemical Problems”. *Nuclear Science Applications*, 1(1982)303-352.

6. Grabowski, P. & Bem, H., 2012. Uranium isotopes as a tracer of groundwater transport studies. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, pp. 1043-1048.
7. Finck N., Drot R., Lagarde G., Mercier-Bion F., Catalette H. and Simoni E. "Temperature effects on the interaction mechanisms between U(VI) and Eu(III) and ZrP<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: experiment and modeling". *Radiochim. Acta* 96, (2008) 11-21.
8. Li, N., Wahlberg, O., Puigdomenech, I., & Öhman, L. (1989). Equilibria between phytate and protons in 3 M NaClO<sub>4</sub> medium. *Acta Chem. Scand*, 331-339.
9. De Stefano, C., Milea, D., Pettignano, A., & Sammartano, S. (2003). Speciation of phytate ion in aqueous solution. Alkali metal complex formation in different ionic media. *Anal Bioanal Chem*, 1030-1040.
10. De Carli, L., Rosso, N. D., Schnitzler, E., & Carneiro, P. I. (2006). Estudo da Estabilidade do complexo ácido fítico e o íon Ni(II). *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 19-26.



The poster features a blue background with a white IMPI logo on the left, which consists of a circle with three wavy lines below it. To the right of the logo, the text reads "IMPI'S 54<sup>TH</sup> ANNUAL MICROWAVE POWER SYMPOSIUM" and "The Premier Industry-Wide Microwave Power Event". Below this, the year "2020" is prominently displayed in large white font, followed by "CALL FOR PAPERS". The submission deadline is listed as "January 15, 2020". A paragraph of text describes the event's focus: "The International Microwave Power Institute invites scientists, engineers, industry professionals and users to submit papers in all areas of research, development, manufacture, engineering, specification and use of microwave and radio frequency energy systems for non-communication applications, including industrial microwave and RF, solid state, food technology, plasma, chemical, material processing, and new emerging technologies." The dates "June 15-17, 2020" and the location "The DeSoto Hotel Savannah, Georgia, USA" are also included. The right side of the poster shows a photograph of a cityscape at sunset, with a prominent white church steeple and a suspension bridge in the background. At the bottom, it states "Presented by the INTERNATIONAL MICROWAVE POWER INSTITUTE" with contact information: "PO Box 1140, Mechanicsville, VA 23111", "Phone: +1 (804) 559 6667 • E-mail: info@impi.org", and the website "WWW.IMPI.ORG".

IMPI'S 54<sup>TH</sup> ANNUAL  
MICROWAVE POWER  
SYMPOSIUM  
The Premier Industry-Wide Microwave Power Event

2020  
CALL FOR PAPERS

Submission Deadline: *January 15, 2020*

The International Microwave Power Institute invites scientists, engineers, industry professionals and users to submit papers in all areas of research, development, manufacture, engineering, specification and use of microwave and radio frequency energy systems for non-communication applications, including industrial microwave and RF, solid state, food technology, plasma, chemical, material processing, and new emerging technologies.

**June 15-17, 2020**  
The DeSoto Hotel  
Savannah, Georgia, USA

Presented by the  
INTERNATIONAL MICROWAVE POWER INSTITUTE  
PO Box 1140, Mechanicsville, VA 23111  
Phone: +1 (804) 559 6667 • E-mail: info@impi.org  
[WWW.IMPI.ORG](http://WWW.IMPI.ORG)