

# Characterization of fertilizer based on potassium dihydrogen phosphite obtained with different metallic reducing agents

Alexander Núñez, Ana Rodríguez, Jhonny Medina, Belén Paricaguán\*

*Laboratorio de Polímeros y Derivado Petroquímicos, Centro de Investigaciones Químicas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.*

---

## Abstract.-

The main objective of this research is to characterize fertilizers obtained of potassium dihydrogenphosphite once synthesized from the phosphoric acid ( $H_3PO_4$ ) for a process of oxide - reduction with the agents metallic reducers zinc (Zn) and magnesium (Mg). To this, tests of pH, conductivity, density, total phosphorus under the spectrophotometric method molibdovanadofosfato, determination of the amount of phosphorus as phosphite in the fertilizer and metals present such as Zn, Mg and K, by the method is performed by inductively coupled plasma (ICP). Fertilizer products were obtained operating conditions of 165 °C, for a period of 60 to 70 hours of reaction, with the addition of an acidifying medium. The content of the main macronutrients K and P in the products obtained with Zn and Mg were 20,34 % w/w of  $K_2O$ ; 27,56 % w/w of  $P_2O_5$ ; 19,52 % w/w of  $K_2O$ ; and 27,22 % w/w of  $P_2O_5$  respectively.

**Keywords:** fertilizer; potassium dihydrogenphosphite; reducing agents.

## Caracterización de fertilizante basado en el fosfito diácido de potasio obtenido con diferentes agentes reductores metálicos

### Resumen.-

El objetivo fundamental de esta investigación es caracterizar los fertilizantes obtenidos de fosfito diácido de potasio sintetizado a partir del ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) por un proceso de óxido-reducción con los agentes reductores metálicos zinc (Zn) y magnesio (Mg). Para esto, se realizaron ensayos de pH, conductividad, densidad, fósforo total bajo el método espectrofotométrico de molibdovanadofosfato, determinación de la cantidad de fósforo como fosfito en el fertilizante y metales presente tales como Zn, Mg y K, por medio del método de plasma de inducción acoplada (ICP). Los productos fertilizantes fueron obtenidos en condiciones de operación de 165 °C, durante un lapso de 60 a 70 horas de reacción, con la incorporación de un medio acidificante. El contenido de los macronutrientes principales K y P en los productos obtenidos con Zn y Mg fueron 20,34 % p/p de  $K_2O$ ; 27,56 % p/p de  $P_2O_5$ ; 19,52 % p/p de  $K_2O$ ; y 27,22 % p/p de  $P_2O_5$  respectivamente.

**Palabras clave:** fertilizante; fosfito diácido de potasio; agentes reductores.

Recibido: marzo 2017

Aceptado: octubre 2017

### 1. Introducción

La población mundial está aumentando considerablemente y según registros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estima que esta tendencia continuará en las próximas décadas debido al crecimiento demográfico en los países en vía de desarrollo. Mientras esto sucede, la disponibilidad de la tierra para el

---

\* Autor para correspondencia

Correo-e: belenparicaguan@gmail.com (Belén Paricaguán)

cultivo disminuye vertiginosamente, necesitando la agricultura suelos más fértiles que puedan mantener las condiciones favorables de productividad que se precisa para satisfacer las necesidades en materia de alimentación de la población global. En esas circunstancias, actualmente es conveniente la utilización de fertilizantes más eficaces para la obtención de altos rendimientos en los cultivos y además que aporten condiciones favorables a la incidencia de las plagas y enfermedades sobre las plantas [1].

Existen diferentes tipos de fertilizantes que están destinados a cubrir los nutrientes necesarios de diversos suelos y cultivos definidos por su contenido de fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K), macroelementos primarios y esenciales en la vida vegetal [2]. De los fertilizantes a base de potasio, emergen los fosfitos potásicos, los cuales aportan dos de los principales elementos esenciales como son el P y K, los cuales ofrecen mayores ventajas que los fosfatos al poseer propiedades fungicidas, es decir, proporcionan protección ante los ataques de los hongos a los cultivos [3].

En este sentido, el fosfito puede inhibir el crecimiento y la esporulación de microorganismos patógenos, actuando como una toxina sobre los hongos, igual que la mayoría de los fungicidas. Sin embargo, el fosfito también podría provocar un aumento de las sustancias de defensa de las plantas, lo que no sucede con la mayoría de los productos comercializados como fungicidas. Estos compuestos son las fitoalexinas, que en muchos cultivos, especialmente de frutas y hortalizas, muestran acción fisiológica positiva desde el punto de vista de fitosanitario natural, lo que lleva a una mayor resistencia de las plantas y por lo tanto, de carácter preventivo, actuando indirectamente sobre el agente patógeno [3].

Además de la diferencia entre la estructura molecular del fosfito y del fosfato, poseen una marcada diferencia biológica. El fosfito es muy soluble en agua y al ser muy activo en la planta es fácilmente absorbido por la misma tanto a través de las raíces como de las hojas [3].

Los microorganismos del suelo son capaces de asimilar fosfitos y liberar fosfatos, ganando energía y nutrientes durante la conversión biológi-

ca. Debido a la gran solubilidad del fosfito, cuando se aplica al suelo, éste es más disponible para los microorganismos y a las raíces de las plantas al ser absorbido que el fosfato. La oxidación biológica del fosfito ocurre gradualmente, pero en menor cantidad [4].

El fosfito diácido de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_3$ ), gracias a la particular forma en la que se presenta el elemento P (ion fosfitodiácido,  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ ), es capaz de producir un rápido estímulo en importantes procesos metabólicos de las plantas, implicados en la superación del estrés ambiental, patológico y nutricional. El empleo de los fosfitos potásicos, ayuda a la planta a crear unas estructuras y condiciones que la hacen menos sensible a los ataques de aquellos patógenos [3].

El  $\text{KH}_2\text{PO}_3$  posee el mismo mecanismo de aplicación que los fosfatos, no obstante una vez en la planta, éste tiene la ventaja de reaccionar en menor medida con los minerales del suelo y las hierbas que causan daño a los cultivos (malezas) no la pueden usar, por lo tanto, queda disponible un mayor porcentaje de P para la planta. Con el uso del fosfito, no sólo se aportan los nutrientes esenciales para las plantas, sino que también se reduce el costo de producción y la necesidad de aplicar herbicidas, que a largo plazo puede ser tóxico. Por tal motivo, los fosfitos permiten minimizar la aplicación de fertilizantes, ya que esta forma fosforada reacciona en menor medida con el medio, como los microorganismos, y hace que las plantas metabolicen el fosfito a través de un proceso de oxidación y puedan absorber en gran cantidad el fosfato presente; contribuyendo en gran medida en los aspectos económico y ambiental [4].

Debido a su doble carácter de transportador de nutrientes e inductor de resistencia, el fosfito puede considerarse como un “comodín” en la agricultura moderna, una herramienta de fundamental importancia, que el productor puede utilizar para corregir las deficiencias de nutrientes de forma rápida y eficiente en los cultivos, y evitar la acción de los hongos, resultando en una mayor productividad, calidad y longevidad de la plantación [3].

En Venezuela, los fertilizantes mayormente

producidos son la urea y el amoníaco, como compuestos nitrogenados y los fosfatos como los compuestos que aportan el fósforo necesario para los cultivos. Es de resaltar que en el país no se producen fertilizantes a base de fosfitos, pero actualmente la Compañía Anónima Venezolana de las Industrias Militares (CAVIM) se encuentra desarrollando alternativas tecnológicas para la obtención de fertilizantes líquidos basados en fosfito diácido de potasio con la finalidad de ofrecerle a los productores nacionales un producto para que aprovechen al máximo las ventajas del fosfito de potasio en aras del incremento de la productividad de sus cosechas [5]. En virtud de lo señalado y en correspondencia al área de interés del Laboratorio de Polímeros del Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, se planteó como objetivo fundamental de esta investigación obtener y caracterizar un fertilizante, como el fosfito diácido de potasio, mediante la utilización de agentes reductores metálicos, en la búsqueda de mejorar las condiciones fitosanitarias y la superficie dedicada a la agricultura en términos de nutrientes esenciales, para que así conlleve a un incremento de la productividad.

## 2. Metodología

Los fertilizantes caracterizados, fueron obtenidos en un sistema de reacción constituido por el  $H_3PO_4$  y el agente reductor, empleándose recipientes de polietrafluoroetileno (teflón) con capacidad de 100 mL, para llevar las condiciones hidrotermales de la síntesis; los agentes los cuales arrojaron mayores beneficios reductores son el Zn y el Mg, además se incorporó un medio acidificante en la misma, proporcionado por el ácido acético. Estos recipientes se colocaron en la estufa, a las condiciones de operación de 165 °C de temperatura, durante un periodo de 60 a 70 horas de reacción [6].

El sólido obtenido al finalizar la reacción, con cada agente reductor, se lavó con agua destilada, descartándose por decantación las especies insolubles. Al medio acuoso obtenido se le añadió hidróxido de potasio (KOH), agitando vigorosamente y monitoreando el pH tras la adición.

Luego, se aplicó una prueba de identificación cualitativa para determinar la presencia del grupo fosfito por medio de la reacción con solución de nitrato de plata ( $AgNO_3$ ) 0,1 N [6]. Una vez obtenido los productos fertilizantes basados en el fosfito diácido de potasio, utilizando los agentes reductores Zn y Mg, fueron caracterizados por medio de los métodos que se detallan a continuación.

### 2.1. Determinación de las características físico-químicas del fertilizante fosfito diácido de potasio

Para la caracterización de los productos obtenidos se realizaron las siguientes pruebas:

#### 2.1.1. Determinación del pH

Para la determinación del pH del fosfito diácido de potasio, se colocaron 50 mL de la muestra homogénea en un vaso de precipitado previamente lavado y curado; luego se introdujo el electrodo del pH-metro de marca Orión, modelo 410 A con apreciación 0,01 adimensional, y aguardando un tiempo de estabilización, se observó el valor de la muestra arrojado por el equipo, siguiendo el procedimiento establecido en la norma COVENIN 2462-2002 [7].

#### 2.1.2. Determinación de la conductividad eléctrica

En la determinación de la conductividad del fertilizante, se colocaron 100 mL de la muestra homogénea en un vaso de precipitado y se introdujo el electrodo del conductímetro marca Orión con apreciación 0,1  $\mu S/cm$ , previamente calibrado siguiendo el procedimiento COVENIN 3050-93 [8].

#### 2.1.3. Determinación de la densidad

En la determinación de la densidad del fertilizante, primeramente se pesó un picnómetro vacío de 10 mL de capacidad, previamente limpio y seco, en una balanza analítica marca OHAUS de la serie Adventurer, modelo AR2140 de apreciación 0,0001 g. Luego se llenó el picnómetro con una muestra del fosfito diácido de potasio, y se pesó

nuevamente en la balanza. Con la diferencia de los valores antes obtenidos entre el volumen analítico del instrumento se estimó la densidad [9].

#### 2.1.4. Determinación del fósforo total en fertilizantes

Para determinar el contenido de fósforo total en el fertilizante obtenido, se empleó el método espectrofotométrico de molibdovanadofosfato, descrito en la norma del método oficial 958.01 de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, según sus siglas en inglés), que consistió en lo siguiente:

*Preparación de la solución de molibdovanadato de amonio.* Se disolvieron completamente 5 g de molibdato de amonio  $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$  en 50 mL de agua caliente y se dejó enfriar hasta la temperatura ambiente. Por otro lado se disolvió 0,2500 g de metavanadato de amonio  $(\text{NH}_4\text{VO}_3)$  en 35,00 mL de agua caliente y se dejó enfriar a las mismas condiciones anteriores, luego se adicionó 60,00 mL de ácido perclórico  $(\text{HClO}_4)$  al 70 % a la solución. Posteriormente se adicionó gradualmente la solución de molibdato a la solución de vanadato con constante agitación y por último se trasvasó a un balón aforado de 250 mL y se completó con agua destilada hasta el aforo [10].

#### Preparación de los estándares de calibración:

se prepararon siete (7) soluciones de 100 mL de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (52,15 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) que contenían de 0,4 a 1,0 mg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  por mililitro (mL). Una vez preparadas, se tomó una alícuota de 5 mL de cada una de las 7 soluciones en balones aforados de 100 mL y se le adicionó 20 mL de la solución molibdovanadato, continuamente se completó hasta el aforo. Finalmente se obtuvo estándares de 20; 25; 30; 35; 40; 45 y 50 ppm respectivamente [10].

*Preparación de la muestra.* Se tomó aproximadamente 1 g de la muestra del fertilizante se disolvió en un volumen adecuado para que la concentración de la solución esté entre 400 y 1000 ppm. Se tomó 5,00 mL de esta solución y se trasvaso a un balón

aforado de 100 mL, adicionando en él 20,00 mL de la solución molibdovanadato. Luego se aforó con agua destilada [10].

**Curva de calibración:** antes de hacer las mediciones para la curva de calibración, inicialmente se realizó un barrido espectrofotométrico con todos los estándares, para verificar la longitud de onda en la que se produce la máxima absorción del complejo y fijarla para las mediciones posteriores.

Se colocó el espectrofotómetro Diode Array Spectrophotometer Hp a la longitud de onda establecida, 380 nm y se ajustó a cero de absorbancia (0 A), con la solución estándar que contiene 20 ppm introducida en la celda de adsorción o cuba, siendo este el blanco de la técnica. Luego se llenó la celda con la solución de 25 ppm y se determinó la absorbancia. Este procedimiento, se utilizó con los otros estándares preparados. Finalmente se graficó la absorbancia en función de la concentración en ppm [10].

*Determinación de la concentración de fosforo total en la muestra.* Se llenó la celda con la solución de la muestra y se midió la absorbancia. Con la curva de calibración se determinó la concentración de la misma.

#### 2.1.5. Determinación de la cantidad de fosfitos en la muestra

Para la determinación de la cantidad de fósforo como fosfito en el fertilizante, se usó el método de oxidación con yodo, una técnica de óxido-reducción. Para esto se dispuso de un matraz erlenmeyer de 250 mL provisto de tapón esmerilado, en el cual se colocaron 25 mL de solución buffer de pH cercano a la neutralidad. Posteriormente se agregaron 25 mL de solución del fertilizante, provenientes de una dilución 1:100 de la muestra, se agitó y se añadieron 50 mL de una solución de yodo de concentración aproximada 0,1 N, que fue previamente preparada. Se tapó y agitó suavemente, se dejó en la oscuridad durante una hora.

Luego se agregaron 5 mL de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  6 N y se valoró el exceso de yodo contenido en la

solución, con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N, usando una solución de almidón como indicador.

### 2.1.6. Determinación del contenido de metales en el fertilizante

Para la determinación del contenido de metales (Zn, Mg y K) en el fertilizante se empleó el método de determinación de metales por plasma de inducción acoplada (ICP) descrito en la Norma internacional Standard Methods 3120-B 2005 [11], en el equipo ICP marca Perkin Elmer. Empleando para el análisis 1 mL de solución del fertilizante de aproximadamente 100 mg/L, el cual se preparó en un balón aforado de 100 mL, completando el resto del volumen hasta enraizar con agua ionizada.

### 2.1.7. Análisis de varianza

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), unifactorial, para determinar las diferencias significativas que pudiese existir entre los resultados de las propiedades caracterizadas de los fertilizantes obtenidos mediante los dos agentes reductores metálicos estudiados. Para la separación de medias se aplicó la prueba de Fischer, con un nivel de confianza del 95 % ( $p \leq 0,05$ ).

## 3. Resultados y discusión

En la Tabla 1, se muestra los resultados de la caracterización de los fertilizantes a base de  $\text{KH}_2\text{PO}_3$  preparados.

Tabla 1: Características fisicoquímicas del fosfito diácido de potasio obtenido.

Parámetros	Agentes Reductores	
	Zn	Mg
Densidad ( $\rho \pm 0,0001$ ) g/mL	1,2280	1,2032
Conductividad (CE $\pm 0,01$ ) dS/m	1,31	1,29
pH (pH $\pm 0,01$ ) adim	9,60	9,78
Fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5 \pm 0,01$ ) % p/p	27,56	27,22
Potasio ( $\text{K}_2\text{O} \pm 0,01$ ) % p/p	20,34	19,52
Cinc (Zn $\pm 0,01$ ) % p/p	0,40	-
Magnesio (Mg $\pm 0,01$ ) % p/p	-	0,38
Porcentaje del ion fosfitodiácido ( $\%\text{H}_2\text{PO}_3^- \pm 0,01$ ) % p/p	5,64	5,61
Fósforo equivalente como ion fosfitodiácido, en función del fósforo total ( $\%\text{P}_2\text{O}_5 \pm 0,01$ ) %	17,93	18,06

La densidad de los fertilizantes preparados con Zn y Mg como agentes reductores fueron de 1,2280 g/mL y 1,2032 g/mL respectivamente, estos valores se encuentran en el rango tolerable según la norma Colombiana ICONTEC NTC 5167 [12], la cual establece valores aceptables de densidad mayores a 1 g/mL para ser utilizado como fertilizantes del tipo PK. Adicional a lo anterior, Duggan y Melgar (2015) [13], exponen que la densidad de los fertilizantes líquido es de suma importancia para llevar a cabo la dosificación, es un factor a tener en cuenta en el manejo de la siembra y cultivo.

Otra propiedad de importancia a nivel de la aplicación de los fertilizantes en los cultivos, es la conductividad (CE) la cual tuvo un valor en los mismos de 1,31 dS/m y 1,29 dS/m, utilizando Zn y Mg respectivamente. Ahora bien, la norma Colombiana ICONTEC NTC 5167 [12], establece que los agroquímicos no deben poseer valores de CE mayores a 4 dS/m, ya que de ser así se restringe su uso. Por lo expuesto, se dice que los fertilizantes obtenidos poseen valores adecuados para su utilización y que la conductividad adquirida, es favorable para el desarrollo del sabor durante el período de maduración de los frutos, permitiendo a la planta el poder de absorber y retener más agua [14]. Unos de los requisitos indispensables para lograr eficiencia en el sistema agua-suelo-planta es una baja salinidad, medida por la conductividad eléctrica (CE) de la solución fertilizante [14]. Por tanto una baja conductividad arroja una menor salinidad en la formulación. También en base a la CE se puede estimar de forma aproximada la presión osmótica, por lo que indica que a menor presión osmótica, menor probabilidad de daño foliar; en consecuencia, es deseable un producto que logre la menor conductividad eléctrica posible, siendo un valor de seguridad para la aplicación [15].

En cuanto al pH de los fertilizantes, según ICONTEC NTC 5167 [12] el rango favorable de pH sobre el que crecen vigorosamente la mayor parte de las plantas cultivadas oscila entre 6,0 a 7,0; es decir, se habla de suelos ligeramente ácidos o neutros, debido a la gran variedad y versatilidad de los tipos de cultivos y suelos. Este hecho es

debido a que la mayor parte de las sustancias nutritivas para las plantas, presentes en la solución del suelo, son fácilmente asimilables o absorbidos por la raíces en el intervalo anteriormente mencionado. Aunque es permisible hasta un pH de 9 según dicha norma, para suelos y tipos de cultivos específicos. Navarro y Navarro (2003) [2], afirma que la disponibilidad de los nutrientes depende del pH, por esto la aplicación de este fertilizante obtenido depende del suelo y el cultivo al cual se suministre.

Los fertilizantes están constituidos por nutrientes o elementos esenciales que promueven el correcto crecimiento y desarrollo de las etapas vegetativas de la planta, por tal motivo es necesario conocer su contenido nutricional a la hora de aplicar un producto fertilizante. En este sentido, el contenido de los macronutrientes principales P y K en los productos obtenidos se reportan en la Tabla 1, expresados en porcentaje peso/peso anhídrido fosfórico (%p/p  $P_2O_5$ ) y porcentaje peso/peso óxido de potasio (%p/p  $K_2O$ ), los cuales se ajustan a lo establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (2002) [15], que señalan que el contenido de estos elementos deben presentarse entre (6-30) %p/p para ser aplicados como fertilizantes multinutrientes de tipo PK.

El fósforo es necesario para el crecimiento de las plantas y participa en los procesos metabólicos, tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la degradación de los carbohidratos, satisfaciendo los requerimientos nutricionales de los cultivos.

Según Manahan, A. (2007) [16] señala que las plantas en crecimiento utilizan niveles relativamente altos de potasio. El potasio activa algunas enzimas y desempeña un papel en el equilibrio del agua en las plantas. También es esencial para algunas transformaciones de carbohidratos.

Ahora bien, el contenido de Zn obtenido fue de 0,40 % p/p, de acuerdo a [17], este porcentaje se encuentra dentro del contenido tolerable declarado por la misma, esta expone un porcentaje mínimo de 0,01 %p/p y un máximo permisible de 0,5 %p/p, específicamente para fertilizantes líquidos con

contenido de Zn como microelemento mineral aportado al suelo.

El Zn es necesario en pequeñas cantidades en el cultivo, sea para la síntesis de ciertas proteínas, para formación de clorofila, conservación de almidón en azúcares entre otros aportes en el desarrollo de las plantas [18].

El magnesio es un nutriente esencial para las plantas. Es clave para una amplia gama de funciones en los vegetales, como en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta. Uno de los papeles bien conocidos del magnesio se encuentra en el proceso de la fotosíntesis, ya que es un componente básico de la clorofila [2].

El porcentaje del ion  $H_2PO_3^-$  obtenido con Zn y Mg fue de 5,64 %p/p y 5,61 %p/p respectivamente. Es de resaltar, que la principal función de los fosfitos de potasio es la de activar algunas defensas naturales de las plantas (Fitoalexinas) para proteger a los cultivos contra hongos patógenos como Oomicetos, Phytophthora, plasmopora entre otros. Estudios científicos avalan esta efectividad elicitora y fungicida.

Asimismo no es obligatorio declarar el origen del % $P_2O_5$ , es decir, la especiación química no es regulada en ninguna norma, se podría mezclar fosfato con fosfito y declarar todo el contenido de fósforo como  $P_2O_5$ , sin especificar qué proporción, proviene del fosfato o fosfito. El fosfito es el único que tiene actividad elicitora y fungicida, por tanto, el ideal es que el 100 % del  $P_2O_5$  reportado, sea por causa del fosfito, no del fosfato. Por lo dicho, el producto obtenido usando Zn como agente reductor posee un 27,56 %p/p  $P_2O_5$  de fósforo total, en el cual un 17,93 % de ese contenido proviene del fosfito; de manera análoga el fertilizante obtenido con Mg como agente posee un 27,22 %p/p  $P_2O_5$  de fósforo total, en el cual un 18,06 % de ese contenido proviene del fosfito.

A los resultados obtenidos del porcentaje del ion fosfito diácido en los fertilizantes preparados se le fue aplicado un análisis de varianza (ANOVA) tomando como factor de estudio el tipo de agente reductor empleado. Para estos resultados no fueron detectadas diferencias significativas entre los fertilizantes obtenidos utilizando los

agentes reductores Zn y Mg, representando que estos agentes analizados pueden ser utilizados para la preparación de fertilizantes basados en el fosfito diácido de potasio, sin ningún tipo de inconveniente.

#### 4. Conclusiones

En virtud de todos los señalamientos precedentes, se estableció que los productos basados en el fosfito diácido de potasio preparados, disponen de las características fisicoquímicas adecuadas para ser empleados como fertilizantes, debido a que reúne las condiciones para satisfacer los requerimientos nutricionales de los cultivos.

#### Agradecimientos

Al FONACIT por el financiamiento recibido a través del proyecto N° 2011001269, el cual permitió sufragar parte de los costos involucrados para la realización de este trabajo y al personal docente y técnico que labora en el Laboratorio de Polímeros y Derivados Petroquímicos del Centro de Investigaciones Químicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo por su apoyo en el desarrollo de esta investigación.

#### Referencias

- [1] R. Guerrero. *Manual técnico: propiedades generales de los fertilizantes*. Monómeros Colombo Venezolanos S. A., Colombia.
- [2] S. Navarro y G. Navarro. *Química Agrícola*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 2<sup>da</sup> edición, 2003.
- [3] O. Rubilar y A. Balbontin. Biorend-fosfito: su química y bioquímica. Informe técnico, Bioaro S. A., 2009.
- [4] C. J. Lovatt and R. L. Mikkelsen. Phosphite fertilizers: What are they?. can you use them?. what can they do? *Better Crops*, 90(4):11–13, 2006.
- [5] J. Bastidas. Estudio de factibilidad técnica para la producción de fosfato de potasio en La Compañía Anónima Venezolana de Industrias Militares (CAVIM) en la gerencia de producción y servicios Morón, Estado Carabobo. Informe de pasantías, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional, Núcleo Carabobo, Valencia, Venezuela, 2014.
- [6] Alexander Núñez y Ana Rodríguez. Obtención de un fertilizante basado en el fosfito diácido de potasio mediante el uso de diferentes agentes reductores. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2016.
- [7] COVENIN 2642-2002, Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación del pH. COVENIN, 2002.
- [8] COVENIN 3050-1993, Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de conductividad eléctrica. COVENIN, 1993.
- [9] Sartorius. *Manual of weighing applications. Part 1. Density*. Sartorius, 1999.
- [10] COVENIN 3010-1993, Aceites lubricantes y aditivos. Determinación de fósforo. COVENIN, 1993.
- [11] APHA, AWWA, and WEF. 3120 B. Inductively coupled plasma (ICP) method. In *Standard methods for the examination of water and waste water*, pages 3.34–3.40. American Public Health Association, Washington, 2005.
- [12] NTC 5167, Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Icontec Internacional, 2004.
- [13] T. Duggan y R. Melgar. *Manual de fertilizantes fluidos : ¿cómo optimizar el uso de fertilizantes fluidos en Argentina y agro-sistemas sudamericanos?* Fluid Fertilizer Foundation, Buenos Aires, Argentina, 2014.
- [14] Pieter Klaassen. La importancia de la conductividad eléctrica. <https://goo.gl/Mu1GKd>. Consulta: 2016, Febrero, 24.
- [15] FAO and Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. *Los fertilizantes y su uso*. FAO, Roma, cuarta edición, 2002.
- [16] Stanley E. Manahan. *Introducción a la Química Ambiental*. Editorial Reverté S.A., México, 2007.
- [17] L. González. Evaluación de metodologías utilizadas en Venezuela para el análisis fósforo en fertilizantes comerciales. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Aragua, Venezuela, 1991.
- [18] Marcos Galindez. Evaluación de metodologías utilizadas en Venezuela para determinar potasio, calcio y magnesio en fertilizantes comerciales. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Aragua, Venezuela, 1991.