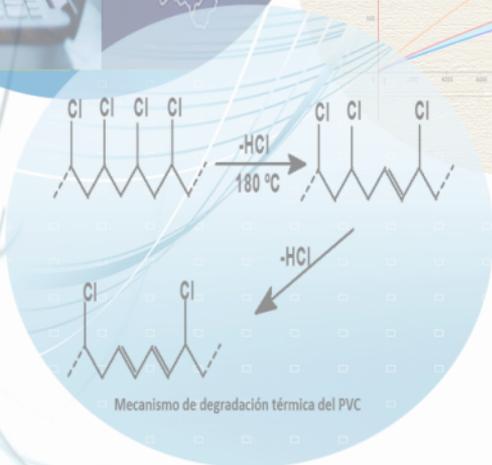
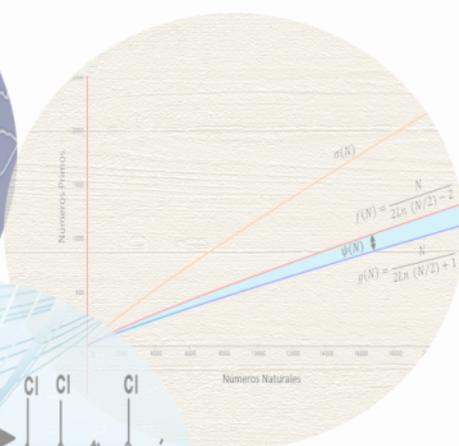




# REVISTA BASES DE LA CIENCIA

ISSN 2588-0764 - Instituto de Ciencias Básicas



Enero - Abril 2019

ISSN 2588-0764

Vol. 4 Num.

1



## Índice

### Ciencias Químicas

**Estudio de la degradación térmica del POLI(cloruro de Vinilo) modificado mediante reacciones de hidrogenación y cloración** 1

Jesús Miguel Contreras Ramírez, Gerardo Martínez Albillos, José Luis Millán Rodríguez

Ciencias Biológicas

**Remoción de turbidez usando semilla de Tamarindus indica como coagulante en la potabilización de aguas** 19

Sedolfo Carrasquero, María Fernanda Martínez, María Gabriela Castro, Altamira Díaz, Gilberto Colina

### Ciencias Matemáticas

**Conjetura de GOLDBACH, números naturales y teorema de números primos** 45

Yandry Marcelo Intriago Delgado

**La formación de grado en la Universidad Técnica de Manabí: Análisis de la pertinencia para la implementación de la carrera de matemática** 65

Felipe Rumbaut León, Jairo Ramón Beltrón Cedeño, Eneida María Quindemil Torrijo

**Operadores uniformemente estables y subespacios invariantes** 75

Edixo Rosales

**Guía de autores** 82

**Créditos** 93



## ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL POLI (CLORURO DE VINILO) MODIFICADO MEDIANTE REACCIONES DE HIDROGENACIÓN Y CLORACIÓN

Dr. Jesús Miguel Contreras Ramírez<sup>1\*</sup>, Dr. Gerardo Martínez Albillos<sup>2</sup>, Dr. José Luís Millán Rodríguez<sup>2+</sup>

<sup>1</sup>Grupo de polímeros, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida-5101-Venezuela.

<sup>2</sup>C.S.I.C., Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, Juan de la Cierva 3, 28006-Madrid, España.

\*Autor para la correspondencia. E-mail: jeco@ula.ve, jecoraster@gmail.com

+In Memoriam

Recibido: 7-2-2018 / Aceptado: 15-5-2018

### RESUMEN

En este trabajo se estudió la degradación térmica del poli(cloruro de vinilo) (PVC) después de ser sometido a: i) hidrogenación parcial usando como agentes reductores el tetrahidruro de litio y aluminio (HLi), el hidruro de trietil-boro y litio (SH) y el hidruro de tri-n-butyl estaño (HSn) y ii) reacción de cloración. Las muestras fueron degradadas a 180 °C en estado sólido hasta un 0,3% y la velocidad de la degradación fue obtenida mediante el método conductimétrico; mientras que la distribución de polienos fue investigada por espectroscopia ultravioleta/visible (UV/VIS). En el caso de las muestras de PVC hidrogenadas, los datos cinéticos indicaron que se produjo una fuerte estabilización del polímero de partida como consecuencia de la hidrogenación, obteniéndose el máximo grado de estabilización a conversiones en torno al 9 %. La correlación entre la tacticidad-conversión-velocidad de degradación térmica demostró el carácter lábil de las estructuras mmr terminales de secuencias isotácticas que desaparecieron de la cadena como consecuencia de la hidrogenación. Por otra parte en el caso de las muestras cloradas, los resultados obtenidos evidenciaron que la estabilización del polímero aumenta como consecuencia de la formación de estructuras 1,2-dicloradas. Mientras que, la aparición de estructuras 1,1,2-tricloradas (-CHCl-CCl<sub>2</sub>-) representan la presencia de estructuras lábiles nuevas.

**Palabras clave:** Cloración; degradación térmica; hidrogenación; poli (cloruro de vinilo) (PVC); tacticidad.

## STUDY OF THERMAL DEGRADATION OF POLY (VINYL CHLORIDE) MODIFIED BY MEAN HYDROGENATION AND CHLORINATION REACTIONS

### ABSTRACT

In this work, the thermal degradation of polyvinyl chloride (PVC) was studied after being subjected to: i) partial hydrogenation, using lithium aluminum hydride (HLi), lithium triethylborohydride (SH) and tri-n-butyltin hydride (HSn), as reducing agents; and ii) chlorination reaction. The samples were degraded at 180 °C in the solid state up to 0.3% and the degradation rate was obtained by the conductimetric method; while the distribution



of polyenes was investigated by ultraviolet/visible spectroscopy (UV/VIS). In the case of the hydrogenated PVC samples, the kinetic data indicated that there occurred a strong stabilization of the starting polymer as a consequence of the hydrogenation, obtaining the maximum degree of stabilization at conversions of around 9%. The correlation between the tacticity-conversion-degradation rate demonstrated the labile character of the mmr structures terminal of isotactic sequences that disappeared from the chain as a consequence of hydrogenation. On the other hand, in the case of the chlorinated samples, the results obtained showed that the stabilization of the polymer increases while the formation of 1,2-dichlorinated structures predominated. On the contrary, the appearance of 1,1,2-trichlorinated structures (-CHCl-CCl<sub>2</sub>-) represented the presence of new labile structures.

**Keywords:** Chlorination; hydrogenation; poly (vinyl chloride) (PVC); tacticity; thermal degradation.

## ESTUDO DA DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO POLI (CLORETO DE VINILO) MODIFICADO POR MEIO DE REACÇÕES DE HIDROGENAÇÃO E CLORAÇÃO

### RESUMO

Neste trabalho, a degradação térmica do poli (cloreto de vinilo) (PVC) foi estudada após ser submetida a: i) hidrogenação parcial utilizando-se como agentes redutores tetraidreto de alumínio e lítio (HLi), hidreto de trietil boro e lítio. (SH) e hidreto de tri-n-butil-estanho (HSn) e ii) reação de cloração. As amostras foram degradadas a 180 ° C no estado sólido até 0,3% e a velocidade de degradação obtida pelo método condutimétrico; enquanto a distribuição de polienos foi investigada por espectroscopia ultravioleta / visível (UV / VIS). No caso das amostras de PVC hidrogenadas, os dados cinéticos indicaram que houve uma forte estabilização do polímero de partida como consequência da hidrogenação, obtendo-se o grau máximo de estabilização nas conversões em torno de 9%. A correlação entre a taticidade-conversão-velocidade de degradação térmica demonstrou o caráter lábil das estruturas mmr terminais das seqüências isotáticas que desapareceram da cadeia como consequência da hidrogenação. Por outro lado, no caso de amostras cloradas, os resultados obtidos mostraram que a estabilização do polímero aumenta como consequência da formação de estruturas 1,2-dicloradas. Considerando que, o aparecimento de estruturas 1,1,2-tricloradas (-CHCl-CCl<sub>2</sub>-) representam a presença de novas estruturas lábeis.

**Palavras-chave:** Cloração; degradação térmica; hidrogenação; poli (cloreto de vinilo) (PVC); taticidade.

### 1. INTRODUCCIÓN

El poli(cloruro de vinilo) (PVC) es un material que se caracteriza por ser dúctil y tenaz; presenta estabilidad dimensional y resistencia ambiental y además, es reciclable por varios métodos. Estas características le han permitido alcanzar su estado actual, como uno de los polímeros comerciales más importantes (Yu, Sun, Ma & Qiao, 2016). No obstante, a pesar de su enorme importancia técnica y económica, este material muestra una baja estabilidad cuando se somete a la influencia del calor y la luz, lo que trae consigo decoloración, pérdida de cloruro de hidrógeno y fenómenos de corrosión graves (Braun, 1981; Tahira, Khan, Saeed & Akhwan, 2014; Shi, Zhang, Shi & Jiang, 2008); además provoca cambios en las propiedades mecánicas de los utensilios fabricados con este polímero junto con una

disminución o un aumento en su masa molar, como consecuencia de la ruptura de la cadena o la reticulación de las moléculas del polímero, respectivamente (Hawkins, 1972; Wypich, 2015).

El conocimiento de las causas y los mecanismos de la de degradación del PVC, sigue siendo un campo de investigación abierto, por lo que el interés científico e industrial de este importante aspecto de la química macromolecular explica la existencia de varios miles de publicaciones y numerosos libros y monografías. Buena parte de las investigaciones se han centrado en la búsqueda de la naturaleza de los puntos de iniciación (estructuras lábiles) de la degradación que justifiquen la inestabilidad del polímero, lo que resulta inexplicable en un hidrocarburo halogenado como es el PVC (Mayer, 1974; Hjertberg & Sörvik, 1984; Hermansson, Hjertberg & Sultan, 2003). Se destacan dos líneas de investigación, la primera es el estudio de las posibles estructuras de las posibles estructuras anómalas, susceptibles de producirse durante la polimerización, tales como restos de iniciador, insaturaciones en los extremos de la cadena, cloros alílicos, ramificaciones de diferente longitud, cloros terciarios, estructuras cabeza-cabeza, etc. (Guyot, 1985; Yassin & Sabaa, 1990; Wypich, 2015; Yu *et al.*, 2016). La segunda línea de investigación destaca la influencia de la tacticidad en la estabilidad del polímero. En esta línea, apenas cultivada por unos cuantos grupos (Troitskii, 1997), se enmarcan los trabajos de Millán *et al.* (Millán, Madruga & Martínez, 1975a, 1975b; Martínez & Millan, 1979; Martínez, Mijangos, Millán, Gerrard & Maddams, 1979; Millán, Martínez, Gómez-Elvira, Guarrotxena & Tiemblo, 1996) en los que fue comprobado que cuando se degradan polímeros de diferente contenido de tacticidad, los polímeros más sindiotácticos e isotácticos son más inestables, mientras que la estabilidad es mayor cuando los polímeros son atácticos (distribución bernouilliana de la tacticidad). Este original resultado, sugiere que la inestabilidad del PVC debe asociarse a la distribución de secuencias tácticas en el polímero, según se refiere en los trabajos de Millán *et al.*, 1975a, 1975b; Martínez, Millán, Bert, Michel & Guyot, 1978.

Adicionalmente, Millán *et al.* descubrieron que la distribución de los polienos formados en la degradación, está directamente relacionada con la distribución de la tacticidad en el polímero. Demostraron, a su vez que a igual porcentaje de degradación, los polímeros sindiotácticos tienen mayor longitud de polienos que los polímeros atácticos, mientras que los polímeros más isotácticos presentan una distribución bastante estrecha de polienos y centrada alrededor de una longitud de secuencias de 7-9 enlaces conjugados (Millán *et al.*, 1975; Martínez *et al.*, 1978; Martínez *et al.*, 1979; Millán, Martínez & Mijangos, 1980; Martínez, Mijangos & Millán, 1983; Martínez, Mijangos, Millán, Gerrard & Maddams, 1984). Estos

resultados, les permitió a estos investigadores llegar a la importante conclusión de que la etapa de propagación (formación de dobles enlaces conjugados) y la distribución de polienos, dependen de la tacticidad del polímero.

Sin embargo, el avance definitivo en el conocimiento del mecanismo de degradación del PVC se dio cuando fue puesto de manifiesto, mediante la reacción de sustitución estereoselectiva, la existencia de cloros lábiles localizados en conformaciones locales de la cadena, en particular la conformación GTTG- correspondiente a una triada isotáctica (Millán, Martínez & Mijangos, 1981; Martínez, Mijangos & Millán, 1982; Martínez, Mijangos & Millán, 1985; Millán, Martínez & Mijangos, 1985; Martínez, Mijangos & Millán, 1984; Martínez, Mijangos, Terroba & Millán, 1988; Millán, Martínez, Mijangos, Gómez-Elvira, 1989). En este punto, resulta importante resaltar que el diferente contenido en la conformación GTTG- de los polímeros estudiados, se produjo mediante la eliminación de dichas conformaciones a través de la reacción de sustitución estereoespecífica  $S_N2$  en el PVC. Este hecho, les permitió a estos investigadores, llegar a la importante conclusión de que la conformación GTTG- isotáctica aporta una gran inestabilidad a la cadena del PVC.

También, en el caso de la reacción de hidrogenación del PVC, los resultados obtenidos indicaron que la reacción es de naturaleza estereoselectiva en cuanto a que la misma ocurre, de forma predominante, a través de los átomos de cloro centrales en las triadas isotácticas (mm) en tétradas mmr o las triadas heterotácticas (rm o mr) en las pentadas rmmr. Además, para que estas estructuras reaccionen, sus respectivas conformaciones deben ser GTTG- y GTTT (Contreras, Martínez & Millán, 2001). Por otra parte, en el caso de la reacción de cloración del PVC, se determinó que el mecanismo de reacción es menos estereoselectivo que el de la reacción de hidrogenación y que las unidades cloradas en el polímero modificado fueron  $-CHClCHCl-$  y  $-CHClCCl_2-$  (Martínez, Millán & Contreras, 2003).

De esta manera, el carácter estereoselectivo de la reacción de hidrogenación y la variación de la microestructura composicional en la reacción de cloración permiten generar polímeros modelo cuyo comportamiento en degradación térmica puede proporcionar nuevos argumentos en favor de los mecanismos propuestos a la luz de los trabajos desarrollados por Millán et al. Por esta razón, en el presente trabajo se estudió la variación de la velocidad de degradación térmica de PVC modificado por reacciones de hidrogenación y cloración, lo cual se relacionada con el contenido de estructuras lábiles, así como el estudio del espectro UV-visible de los polímeros degradados en porcentajes similares, de manera de determinar la influencia de la microestructura derivada de la tacticidad en las reacciones de hidrogenación del polímero, o de la microestructura composicional en el caso de las reacciones de cloración.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Reactivos y materiales

El polímero objeto de estudio fue un PVC comercial sintetizado mediante polimerización en masa del cloruro de vinilo, a 70 °C en ausencia de aditivos, empleando peróxidos como sistema iniciador y sin tratamiento térmico al final de la polimerización. Los diferentes reactivos usados como agentes de hidrogenación del PVC, fueron: tetrahidruro de aluminio y litio, ( $H_4LiAl$ , Merck, 95 %) (HLi), hidruro de trietil-boro y litio, ( $Li(C_2H_5)_3BH$ , Aldrich, 95 %) (SH) e hidruro de tri-n-butyl estaño, ( $(C_4H_9)_3HSn$ , Aldrich, 98 %) (HSn); y los mismos se usaron sin purificación previa.

El cloro gaseoso (AGA, grado UAP) se purificó haciéndole pasar, en primer lugar, a través de agua destilada para fijar el cloruro de hidrógeno, y posteriormente, por ácido sulfúrico concentrado a fin de retener el agua que se hubiera absorbido en el paso anterior.

Los disolventes usados: ciclohexanona (Ferosa, 95 %), o-diclorobenceno (Merck, 99 %), hexametilfosfotriamida (HMPT, Fluka, 97 %), tetracloruro de carbono (Quimicen, 95 %), tetrahidrofurano (Ferosa, 95 %); fueron purificados mediante métodos convencionales (Furniss, Hannaford, Smith & Tatchel, 1989).

### 2.2. Reacciones de modificación química del PVC:

La reacción de hidrogenación o deshalogenación reductiva del PVC, mediante la cual se obtiene un material que desde el punto de vista composicional es idéntico a un copolímero etileno-cloruro de vinilo; se llevó a cabo en solución de THF a 40 °C en una atmósfera de nitrógeno purificado, usando como agentes reductores: HLi, SH y HSn (Contreras *et al.*, 2001). Mientras que en el caso de la cloración, el PVC reacciona con cloro, mediante una reacción tipo radical libre para dar lugar a un polímero con un mayor contenido de cloro. Para llevar a cabo la misma, el PVC fue disuelto en una mezcla de  $CCl_4$  y o-diclorobenceno a la temperatura de 70 °C y posteriormente a la solución se le burbujeó  $Cl_2(g)$  en presencia de 2,2'-Azobisisobutironitrilo (Martínez *et al.*, 2003).

En ambas reacciones de modificación química, tanto el grado de conversión como la tacticidad, fueron determinados mediante espectroscopia RMN.

### 2.3. Estudio de la degradación térmica de los polímeros modificados

#### 2.3.1. Degradación térmica de las muestras

La degradación térmica fue seguida por la medición continua de la conductividad de la solución acuosa del HCl producido durante la degradación (Millán *et al.*, 1975a). Todas las degradaciones se hicieron en atmósfera de nitrógeno purificado, usando 50 mg de PVC (o la cantidad equivalente del polímero modificado); a la temperatura de 180 °C y la reacción se extendió hasta 0,3%. A este grado de degradación, la manipulación de las muestras degradadas para las operaciones de análisis y propiedades posteriores, es sencilla al no tener lugar reacciones de entrecruzamiento.

### 2.3.2. Determinación de la distribución de polienos mediante espectroscopia UV-Visible (Daniel & Rees, 1974; Braun & Sonderhof, 1985)

Los espectros de las muestras degradadas fueron registrados a partir de disoluciones de 4 g/l en HMPT en un espectrofotómetro Perkin Elmer 554. Por otra parte, para la obtención de los espectros ultravioleta de algunas de las muestras modificadas antes de realizar la degradación térmica, se usaron disoluciones de 4 g/l en THF como disolvente.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Polímeros hidrogenados

#### 3.1.1. Velocidad de degradación

En las **Tablas 1, 2 y 3** se presentan los valores de la velocidad de degradación térmica de las muestras de PVC hidrogenadas con cada uno de los reactivos estudiados, en función del grado de modificación. En ellas se puede observar que se produce una fuerte estabilización del PVC de partida como consecuencia del proceso de hidrogenación. Dos aspectos son importantes de resaltar: por una parte, los porcentajes de máxima estabilización se consiguieron con el HSn y el SH, con los que se obtuvieron mejoras superiores al 70 %. Una estabilización mucho más reducida se alcanzó con el HLi (sólo valores próximos al 40 %). Por otra parte, el valor de conversión al que se logró el máximo de estabilización se desplaza desde el 7-8 % para el HLi, hasta el 13,5 % del HSn.

**Tabla 1.** Velocidades de degradación térmica de PVC con diferentes grados de modificación mediante hidrogenación con HLi.

Conversión (mol-%)	0	1,3	2,7	3,4	5,2	9,4	10,6	12,3
$P_{mm}$ (%) <sup>(a)</sup>	19,2	18,5	18,2	18,1	17,3	15,6	15,5	14,8
$V_{deg.} \times 10^3$ (%-min <sup>-1</sup> )	7,6	6,3	5,2	5,0	4,6	4,6	4,9	5,5
Estabilización (%)	-	17,1	31,6	34,2	39,5	39,5	35,5	27,6

<sup>(a)</sup>Contenido de triadas isotácticas, obtenido mediante <sup>13</sup>C-RMN;  $V_{deg}$ = Velocidad de degradación

## Estudio de la Degradación Térmica del Poli (Cloruro De Vinilo) Modificado Mediante Reacciones de Hidrogenación y Cloración

**Tabla 2.** Velocidades de degradación térmica de PVC con diferentes grados de modificación mediante hidrogenación con HSn

Conversión (mol-%)	0	5,1	7,4	10,8	13,5	16,4
$P_{mm}$ (%) <sup>(a)</sup>	19,2	18,5	18,3	17,9	17,5	16,2
$V_{deg.} \times 10^3$ (%-min <sup>-1</sup> )	7,6	5,2	3,2	2,1	4,6	4,6
Estabilización (%)	-	31,6	57,9	72,4	75,0	72,4

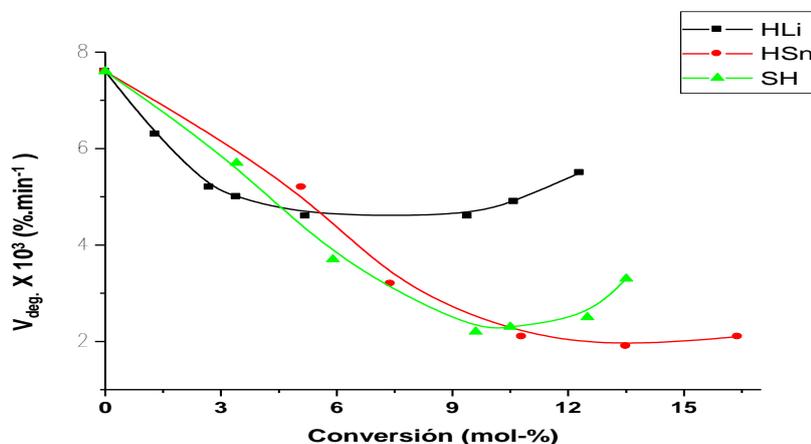
<sup>(a)</sup>Contenido de triadas isotácticas, obtenido mediante <sup>13</sup>C-RMN.  $V_{deg}$ = Velocidad de degradación

**Tabla 3.** Velocidades de degradación térmica de PVC con diferentes grados de modificación mediante hidrogenación con SH

Conversión (mol-%)	0	3,4	5,9	9,6	10,5	12,5	13,5
$P_{mm}$ (%) <sup>(a)</sup>	19,2	18,3	17,5	15,7	14,8	14,2	14,0
$V_{deg.} \times 10^3$ (%-min <sup>-1</sup> )	7,6	5,7	3,7	2,2	2,3	2,5	3,3
Estabilización (%)	-	25,0	51,3	71,1	69,7	67,1	56,6

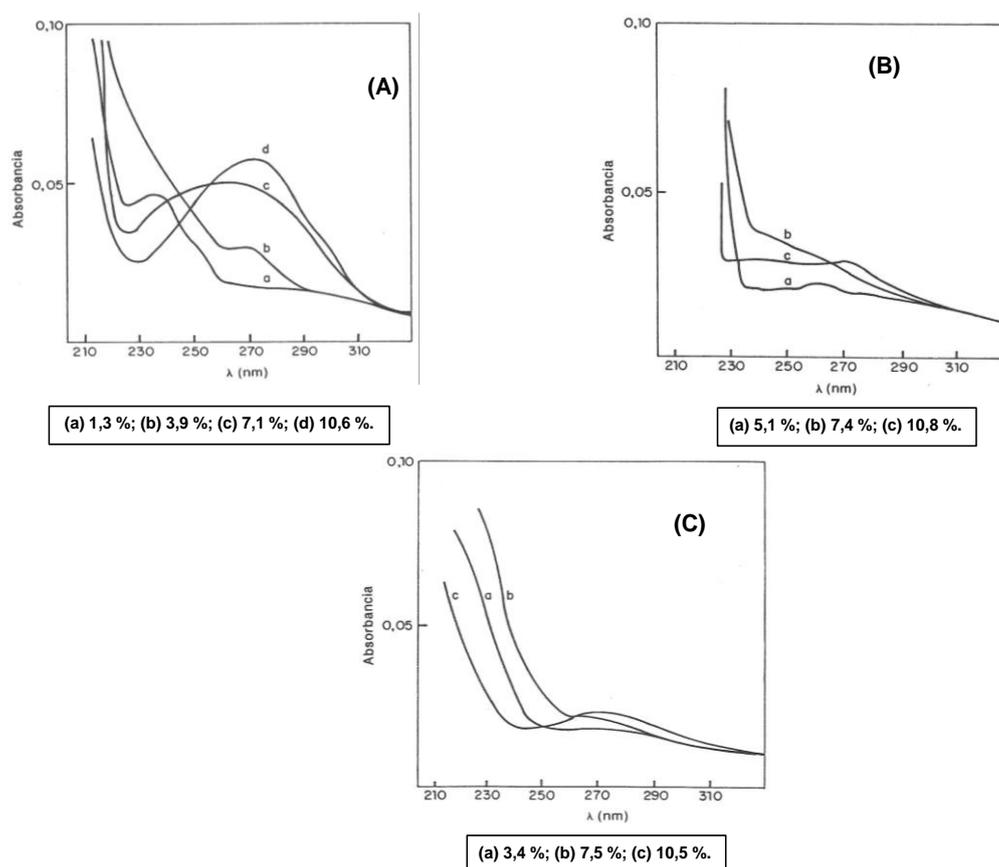
<sup>(a)</sup>Contenido de triadas isotácticas, obtenido mediante <sup>13</sup>C-RMN.  $V_{deg}$ = Velocidad de degradación

Para ilustrar mejor el efecto que tiene esta modificación química sobre la estabilidad térmica del PVC, en la **Figura 1** se representó la velocidad de degradación en función del grado de modificación. Como se puede observar, en todos los casos la velocidad disminuyó fuertemente al aumentar la conversión, hasta un valor que depende del reactivo utilizado; a continuación, la estabilidad decreció con la conversión. De esta forma, se originó un mínimo en la velocidad de degradación que permitió definir el máximo del grado de estabilización, siendo este la característica más peculiar de la reacción de degradación que posee cada sistema estudiado.



**Figura 1.** Dependencia de la velocidad de degradación térmica a 180 °C con la conversión, para muestras hidrogenadas

Teniendo en cuenta que el carácter estereoespecífico de la hidrogenación fue superior en el HLi (Contreras *et al.*, 2001); estos resultados, aunque confirmaron globalmente los mecanismos de degradación previamente mencionados (Martínez *et al.*, 1984; Martínez *et al.*, 1985; Millán *et al.*, 1989; Millán *et al.*, 1996), son de alguna forma inesperados. En efecto, el grado de estabilización debiera ser en principio superior en el caso del HLi (Martínez *et al.*, 1984; Martínez *et al.*, 1985; Millán *et al.*, 1989; Millán *et al.*, 1996). La primera hipótesis para explicar esta aparente anomalía es la existencia de alguna reacción secundaria que pudiese ser más favorable en el caso del HLi. Es conocido, en efecto, que la reacción de eliminación es concomitante con la reacción de sustitución nucleofílica. Para ilustrar la posible reacción secundaria fueron registrados los espectros UV de las diferentes muestras hidrogenadas antes de efectuar la reacción de degradación. El resultado se muestra en la **Figura 2**.



**Figura 2.** Espectros UV-Visible de los polímeros hidrogenados (sin degradar): (A) HLi; (B) HSn; (C) SH

De esta Figura fue posible deducir que en el caso del HLi, a la vista de la existencia de una clara absorción a 270 nm que corresponde a una longitud de secuencias poliénicas de 3 dobles enlaces conjugados, existe una evidente reacción de eliminación competitiva de la

sustitución nucleofílica. Los otros dos reactivos presentaron una absorción mucho más reducida y sólo se apreciaron pequeñas concentraciones de secuencias muy cortas, por lo que se llegó a la conclusión de que la reacción de eliminación se desarrolló muy ligeramente para los niveles de conversión estudiados. Por lo tanto, con estos dos reactivos los valores de estabilización fueron considerados exclusivamente como fruto de la reacción de hidrogenación.

Así pues, la existencia de dobles enlaces presentes en las muestras hidrogenadas con HLi aportó inestabilidad a las mismas lo que provocó un efecto negativo en el porcentaje de estabilización. Esta es la razón por la que el valor de este último para el HLi fue el menor de los tres reactivos. En consecuencia, la aparente anomalía de que el grado de estabilización con el reactivo HLi fue inferior al correspondiente a los reactivos SH y HSn quedó explicada y la estabilización para los tres reactivos fue una confirmación más de los mecanismos de degradación propuestos por Martínez *et al.*, 1984; Martínez *et al.*, 1985; Millán *et al.*, 1989; Millán *et al.*, 1996.

### 3.1.2. Distribución de polienos de las muestras degradadas

La **Figura 3** ilustra la evolución de los espectros ultravioleta-visible de las muestras hidrogenadas después de su degradación térmica y se comparan con el correspondiente al PVC sin modificar. Lo primero que resalta es que con todos los reactivos existió una contundente disminución de polienos con respecto al PVC original, en concordancia con la fuerte estabilización comentada anteriormente. Sin embargo, conviene apuntar las peculiaridades de cada caso.

En general, podría decirse que:

- i) La hidrogenación condujo a un efecto global de aumento de la relación polienos cortos/polienos largos.
- ii) Este aumento fue más gradual en el caso del HLi probablemente porque hay más iniciación por dos tipos de estructuras lábiles, la **GTTG-TT** en secuencias largas (cuya concentración disminuyó con el grado de hidrogenación) y los enlaces dobles cuya proporción aumentó con la hidrogenación. Por el contrario, el efecto fue más radical en los otros dos hidruros, en particular el HSn.

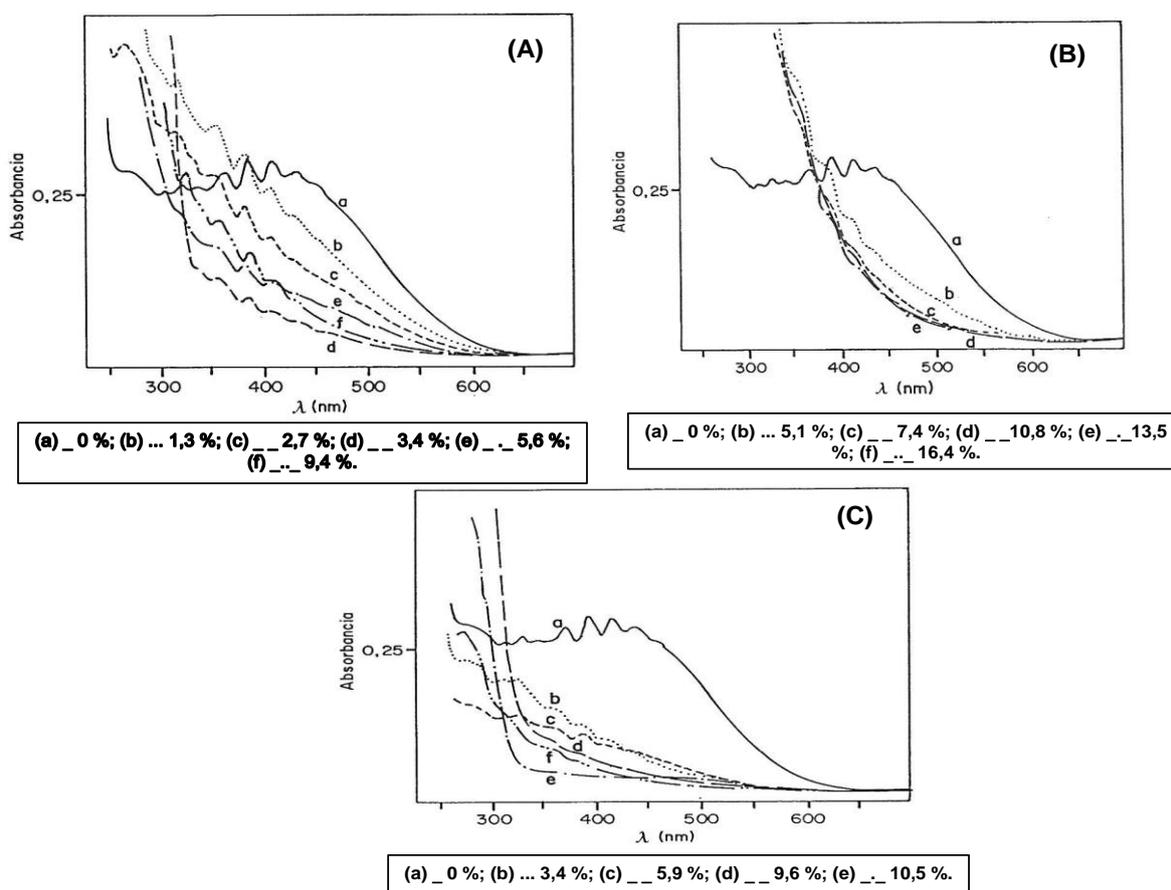


Figura 3. Espectros UV-Visible de las muestras hidrogenadas, degradadas a 180 °C

### 3.2. Polímeros clorados

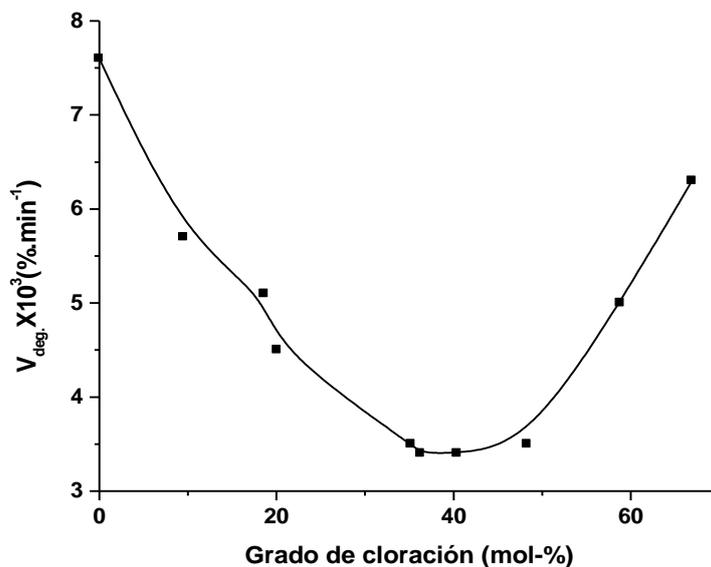
#### 3.2.1. Velocidad de degradación

Los valores de las velocidades de degradación térmica de las muestras cloradas (PVCC) en disolución, están recogidos en la **Tabla 4**. Los resultados muestran que la velocidad de degradación decrece al aumentar el grado de cloración, lo que indica que las muestras de PVCC son más estables que el PVC sin modificar.

**Tabla 4.** Velocidad de degradación térmica a 180 °C de muestras de PVCC con diferentes grados de cloración

%Cl	56,8	59,1	61,1	61,4	64,3	65,2	66,5	68,1	69,2
<b>Grado de cloración (mol-%)</b>	0	9,5	18,6	20,1	35,2	40,4	48,3	58,8	66,9
<b>-CHClCHCl- (mol-%)</b>	0	9,5	14,4	15,9	27,4	31,2	37,1	43,8	51,7
<b>-CHClCCl<sub>2</sub>- (mol-%)</b>	0	0	3,8	4,2	7,8	9,2	11,2	13,2	15,0
<b>V<sub>deg</sub> × 10<sup>+3</sup> (%.min<sup>-1</sup>)</b>	7,6	5,7	5,1	4,5	3,5	3,4	3,5	5,0	6,3
<b>estabilización (%)</b>	-	25,0	32,9	40,8	53,9	55,3	53,9	34,2	17,1

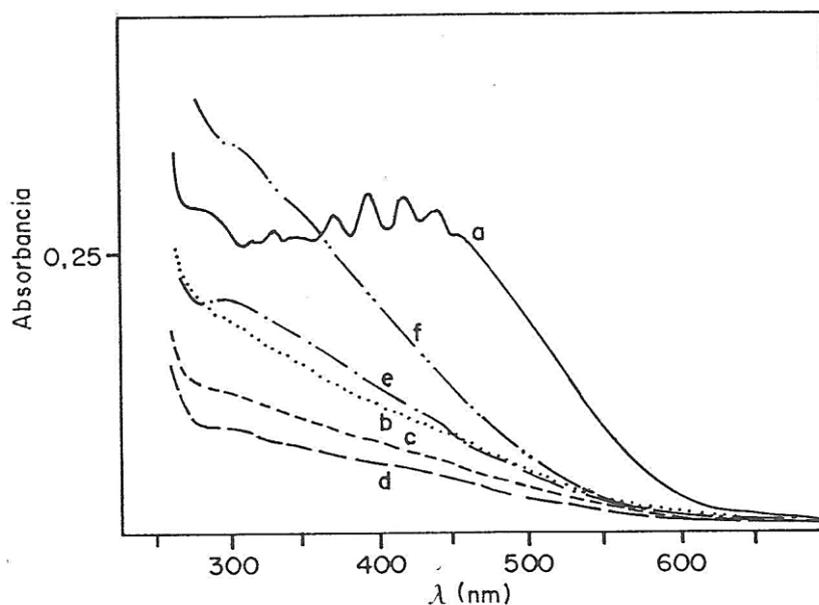
La variación de la velocidad de degradación con el grado de cloración se representa en la **Figura 4**, siendo posible observar una disminución de la misma desde el inicio de la reacción hasta un mínimo situado aproximadamente a un grado de cloración del 40 mol-%. A continuación, la velocidad de degradación aumentó con lo que se obtuvo un máximo de estabilización que corresponde a un 55 %.



**Figura 4.** Dependencia de la velocidad de degradación térmica a 180 °C, con el grado de cloración de las muestras de PVCC

### 3.2.2. Distribución de polienos

La **Figura 5** muestra los espectros UV-Visible de los polímeros clorados en disolución después de su degradación, junto al correspondiente del PVC sin clorar para su comparación. Se pudo observar que al aumentar el grado de cloración la distribución de polienos cambió, predominando la concentración de secuencias cortas. Esta tendencia se prolongó hasta un punto a partir del cual vuelve a producirse un aumento de polienos, fundamentalmente de longitud media y corta. Estos cambios estuvieron de acuerdo con las coloraciones que ofrecen las muestras degradadas, que en este caso cambiaron de color rojizo para el PVC de partida hasta amarillo claro de las muestras cloradas, en consonancia con la mayor estabilidad de las muestras de PVCC hasta un 40 mol-% de grado de cloración y la distribución más estrecha de polienos.



**Figura 5.** Espectros UV-Visible de las muestras de PVCC (en disolución) degradadas a 180 °C: (a) \_ 0 %; (b) ... 9,4 %; (c) \_\_ 35,1 %; (d) \_\_ 36,5 %; (e) \_ 58,5 %; (f) ... 66,9 %.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Polímeros hidrogenados

Los hechos fundamentales de los resultados reflejados en las **Figura 1** son: 1) se produjo una fuerte estabilización del polímero de partida como consecuencia de la hidrogenación; y 2) el máximo grado de estabilización se alcanzó a conversiones en torno al 9 % y la desviación de este valor dependió del tipo de agente de hidrogenación. Si se tiene en cuenta la variación de la microestructura-tacticidad con la conversión (Contreras *et al.*, 2001) así como el hecho de que la aparición de grupos  $-CH_2-$  en la cadena no implica aumento de puntos lábiles en la cadena, aquellos resultados demostraron el carácter lábil de las estructuras **mmr** terminales de secuencias isotácticas que han desaparecido de la cadena como consecuencia de la hidrogenación. Ello confirmó los mecanismos de degradación propuestos en trabajos anteriores (Millán, Martínez & Mijangos, 1981; Martínez, Mijangos & Millán, 1982; Martínez, Mijangos & Millán, 1984; Millán, Martínez & Mijangos, 1985; Millán, Martínez, Mijangos & Gómez-Elvira, 1989; Millán *et al.*, 1996). Interesante resulta referir el porcentaje de estabilización por unidad de conversión para cada uno de los agentes de hidrogenación. Los valores obtenidos fueron los siguientes: 7,4 % para el SH, y de 5,6 % para el HLi y el HSn. Se observó una apreciación de la eficacia de estabilización por parte del HLi, o lo que es lo mismo, el HLi ofrece una estabilización fuerte durante los primeros grados de

conversión. Esta afirmación se verifica fácilmente analizando simplemente las pendientes de las representaciones de la velocidad de degradación frente a la conversión (**Figura 1**). La conclusión a la que se llega es que la reacción con HLi presentó una estabilización muy importante, y que de no ser por la contribución negativa de la reacción de eliminación, el resultado sería muy superior, existiendo en ese caso una correlación perfecta entre el carácter estereoselectivo de la reacción nucleofílica y la estabilización conseguida.

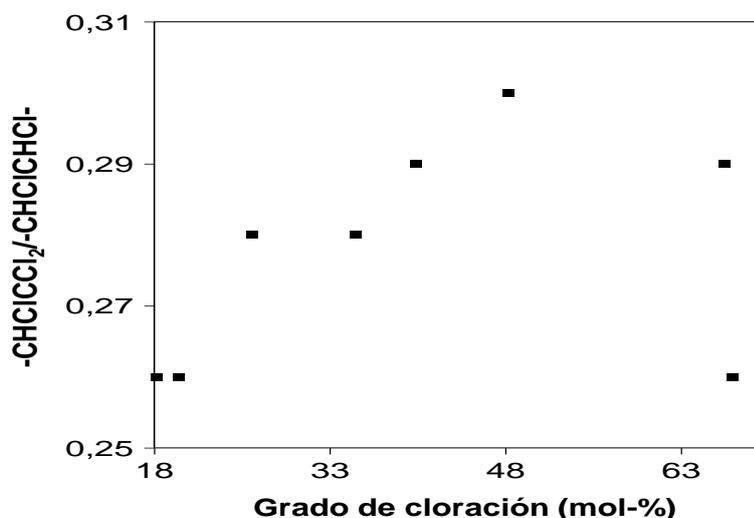
La desestabilización térmica que se produjo a conversiones superiores a la del mínimo en las **Figura 1**, indican que se produjo una disminución de interacciones intercadena, acompañada en el caso presente de un aumento de movilidad local, que condujo a un aumento de actos de iniciación al azar por las partes estables del polímero (Guarrotxena, Martínez, Gómez-Elvira & Millán, 1994; Millán *et al.*, 1996). El hecho de que la velocidad de degradación aumente sin que se produzca un aumento paralelo de la formación de polienos largos (**Figura 3**), corrobora nuestra hipótesis.

Es importante señalar, la diferencia observada con respecto a los resultados obtenidos en las reacciones de sustitución nucleofílica, donde la desestabilización posterior al máximo de estabilización estuvo acompañada de formación de polienos largos, como consecuencia de la contribución a la propagación por parte de las secuencias sindiotáticas de conformación trans que reemplazan a las estructuras **mmr** (Guarrotxena *et al.*, 1994). Este efecto no es aplicable a la hidrogenación, y además la presencia de tres grupos  $-CH_2-$ , se contraponen a la rigidez de la secuencia trans y a las interacciones intercadena por secuencias de puentes de hidrógeno.

#### 4.2. Polímeros clorados

Como indica la **Figura 4** la estabilización máxima del polímero se produjo a un grado de cloración de alrededor del 40 mol-%. Este hecho está estrechamente relacionado con la evolución de los distintos grupos y unidades que constituyen el esqueleto de la cadena del PVCC (Martínez *et al.*, 2003). Como se ha comentado la cloración es un ejemplo idóneo para el estudio de la influencia de la microestructura-composición. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la estabilización del polímero aumentó mientras predominó la formación de estructuras 1,2-dicloradas. Por el contrario, la aparición de estructuras 1,1,2-tricloradas ( $-CHCl-CCl_2-$ ) representa la presencia de estructuras lábiles nuevas. La inestabilidad de los grupos  $-CCl_2-$  es en efecto tan conocido como la estabilidad de la estructura  $-CHClCHCl-$  (Liebman, Ahlstrom, Quinn, Geigley & Meluskey, 1971). En apoyo de estas conclusiones están los datos reflejados por la **Figura 6** que muestran la correlación entre las propiedades

del PVCC y la relación entre los contenidos de aquellas estructuras cloradas para cada grado de cloración.



**Figura 6.** Evolución de la relación de unidades monoméricas -CHCICCl₂/-CHCICHCl- con el grado de cloración en las reacciones de cloración del PVC en disolución.

Finalmente hay que señalar que la presencia de partes sindiotáticas aisladas en el PVCC (Martínez *et al.*, 2003) favorece la propagación, lo que podría contribuir tanto a la desestabilización como a la formación de polienos medios, de acuerdo con lo mostrado en la **Figura 5**.

## 5. CONCLUSIONES

El estudio del efecto que tienen las reacciones de hidrogenación y de cloración sobre la estabilidad térmica del PVC, se llevó a cabo. De forma general, se puede decir que ambas reacciones traen consigo un aumento de la estabilización térmica del polímero.

En el caso de la reacción de hidrogenación, la utilización de diferentes agentes de hidrogenación (HLi, SH y HSn) ha permitido disponer de polímeros-modelo, en los que la eliminación relativa de las estructuras **mmr** y **rrmr** ha tenido lugar a una velocidad diferente. El estudio de la degradación térmica de estos polímeros ha demostrado que para cada agente de hidrogenación existe una conversión crítica en la que tanto la velocidad de degradación como el contenido de secuencias poliénicas, a un porcentaje de degradación fijo, pasan por un mínimo (máxima estabilidad). La posición de dicho mínimo está en torno al 9 mol-% de conversión y la desviación con respecto a este valor depende del agente de hidrogenación.

Por otro lado, teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la evolución de la microestructura-tacticidad los resultados comentados anteriormente demuestran el carácter lábil de las estructuras **mmr** (bajo la conformación **GTTG-TT**) terminales de secuencias isotácticas que desaparecen como consecuencia del proceso de hidrogenación, lo que a su vez, viene a confirmar los mecanismos de degradación propuestos en trabajos previos desarrollados por Millán et al.

En el caso de los resultados obtenidos del estudio de la estabilidad térmica de las diferentes muestras de PVCC, los mismos han permitido demostrar la influencia que tiene la microestructura composicional sobre la misma. En efecto, se ha podido apreciar que la estabilidad térmica aumenta con el contenido de estructuras -CHClCHCl-. Además, de la evolución de la microestructura derivada de la tacticidad se puede indicar que a medida que avanza la reacción de cloración aumenta el contenido de partes sindiotácticas aisladas en el polímero clorado. Este hecho, junto con el incremento del contenido de estructuras lábiles -CHClCCl<sub>2</sub>-, contribuye a la desestabilización del PVCC lo que ocurre a partir del 40 mol-% de grado de cloración.

## **6. REFERENCIAS**

- Braun, D. (1981). Thermal Degradation of Poly (Vinyl Chloride). In N. Grassie (Ed.) Developments in Polymer Degradation, Vol. 3, Applied Science Publishers, London, pag. 101.
- Braun, D. & Sonderhof, D. (1985). Assignment of UV-absorption maxima of degraded PVC. Polymer Bulletin, 14(1), 39-43.
- Contreras, J.M., Martínez, G. & Millán, J. (2001). Local chain configuration dependences of the mechanisms of chemical reactions of PVC. 8. New results from the reductive dechlorination reaction. Polymer, 42, 9867-9876.
- Daniels, V.D. & Rees, N.H. (1974). Analysis of the ultraviolet/visible spectrum of degraded poly(vinyl chloride) to determine polyene concentrations. Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition, 12(9), 2115-2122.
- Furniss, B.S., Hannaford, A.J., Smith, P.W. & Tatchel, A.R. (1989). Vogel's: Textbook of practical organic chemistry. New York, USA, John Wiley & Sons, Inc.
- Guarrotxena, N., Martínez, G., Gómez-Elvira, J.M. & Millán, J.L. (1994). Effect of some tacticity-depending local chain conformations on the behaviour of poly(vinyl chloride). Changes of glass transition temperature through stereoselective substitution in solution. Macromolecular Rapid Communications, 15(3), 189-196.
- Guyot, A. (1985). Defects in the molecular structure of polyvinylchloride and their relation to thermal stability. Pure and Applied Chemistry, 57, 833-844.
- Hawkins, W.L. (1972). Polymer Stabilization. New York, USA, Wiley-Interscience.
- Hermansson, A, Hjertberg, T. & Sultan, B. (2003). The flame retardant mechanism of polyolefins modified with chalk and silicone elastomer. Fire and Materials, 27, 51-70

- Hjertberg, T. & Sörvik, EM. (1984). Thermal Degradation of PVC. In E.D. Owen (Ed). Degradation and Stabilization of PVC. Elsevier Applied Science Publishers, London, England. Pag 21-81.
- Liebman, S.A., Ahlstrom, D.H., Quinn, E.J., Geigley, A.G. & Meluskey, J.T. (1971). Thermal decomposition of poly(vinyl chloride) and chlorinated poly(vinyl chloride). II. Organic analysis. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 9(7), 1921-1935.
- Martínez, G., Millán, J., Bert, M., Michel, A. & Guyot, A. (1978). Initial Steps in Thermal Degradation of Fractions of PVC with Different Tacticities. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 12(4), 489-501.
- Martínez, G., Mijangos, C., Millán, J., Gerrard, D.L. & Maddams, W.F. (1979). Polyene sequence distribution in degraded poly(vinyl chloride) as a function of the tacticity. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 180(12), 2937-2945.
- Martínez, G. & Millan, J. (1979). The influence of the tacticity on thermal degradation of PVC. III. Verification by ozonization of degraded samples. *Angewandte Makromolekulare Chemie*, 75(1), 215-22.
- Martínez, G., Mijangos, C. & Millán, J. (1982). Selective Substitution Reactions on PVC. Lability of Some "Normal" Structures. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 17(7), 1129-1148.
- Martínez, G., Mijangos, C. & Millán, J. (1983). Influence of Tacticity on Thermal Degradation of PVC. V. Relation between the Nature of Labile Conformations and the Polyene Distribution in the Degraded Polymer. *Journal of Applied Polymer Science*, 28, 33-43.
- Martínez, G., Mijangos, C. & Millán, J. (1984). Influence of tacticity on the thermal degradation of PVC. VI. New advances in the degradation process through the behavior of modified PVC samples. *Journal of Applied Polymer Science*, 29(5), 1735-1741.
- Martínez, G., Mijangos, C., Millán, J., Gerrard, D.L. & Maddams, W.F. (1984). Polyene sequence distribution in modified poly(vinyl chloride) after thermal degradation. *Die Makromolekulare Chemie*, 185(7), 1277-1284.
- Martínez, G., Mijangos, C. & Millán, J. (1985). Correlation between tacticity and thermal stability in comparison with other defects structure in PVC. *European Polymer Journal*, 21(4), 387-391.
- Martínez, G., Mijangos, C., Terroba P. & Millán, J. (1988). Stereoselective substitution on PVC using phase transfer catalysts. *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*, 26, 1629-1637.
- Martínez, G., Millán, J. & Contreras, J. (2003). Local Chain-Configuration Dependence of the Mechanisms of the Chemical Reaction of Poly(vinyl chloride). IX. Novel Results on Stereoselectivity of Chlorination Reaction. *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*, 41, 508-519.
- Mayer, Z. (1974). Thermal decomposition of poly(vinyl chloride) and of its low-molecular-weight model compounds. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Review*, 10(2), 263-292.
- Millán, J., Madruga, E. & Martínez, G. (1975). The Influence of the Tacticity on Thermal Degradation of PVC. II. New Results Obtained with Fractionated Polymers. *Angewandte Makromolekulare Chemie*, 45, 177-184.
- Millán, J., Madruga, E. & Martínez, G. (1975). The effect of molecular weight on the thermal degradation of fractionated PVC. *Angewandte Makromolekulare Chemie*, 46(1), 81-87.
- Millán, J., Martínez, G. & Mijangos, C. (1980). Influence of the tacticity on thermal degradation of PVC. IV. Degradation in solution in comparison with degradation at solid state. *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*, 18(2), 505-513.
- Millán, J., Martínez, G. & Mijangos, C. (1981). Nucleophilic substitution on PVC effect of tacticity. *Polymer Bulletin*, 5(7), 407-411.
- Millán, J., Martínez, G. & Mijangos, C. (1985). Chemical modification of poly(vinyl chloride): A conclusive study of the influence of tacticity. *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*, 23(4), 1077-1087.

## **Estudio de la Degradación Térmica del Poli (Cloruro De Vinilo) Modificado Mediante Reacciones de Hidrogenación y Cloración**

- Millán, J., Martínez, G., Mijangos, C. & Gómez-Elvira, J.M. (1989). Configurational and conformational control of chemical modification and thermal degradation of poly(vinyl chloride). *Makromolekulare Chemie. Macromolecular Symposia*, 29(1), 185-196.
- Millán, J., Martínez, G., Gómez-Elvira, J.M., Guarrotxena, N. & Tiemblo, P. (1996). Influence of tacticity on thermal degradation of PVC. 8. A comprehensive study of the local isotactic GTTG- conformation dependence of the mechanism of initiation. *Polymer*, 37(2), 219-230.
- Shi, W., Zhang, J., Shi, X & Jong, G. (2008). Different Photodegradation Processes of PVC with Different Average Degrees of Polymerization. *Journal of Applied Polymer Science*, 107, 528-540.
- Tahira, B.E., Khan, M.I., Saeed, R, Akhwan Sh. (2014). A review: thermal degradation and stabilization of poly(vinyl chloride). *International Journal of Research*, 1(6), 732-750.
- Troitskii, B.B., Yakhnov, A.S., Novikova, M.A., Ganyukhina, T.G. & Denisova, V.N. (1997). effect of tacticity on thermal degradation of poly(vinyl chloride). *European Polymer Journal*, 33(4), 505-511.
- Yassin, A.A. & Sabaa, M.W. (1990). Degradation and stabilization of poly(vinyl chloride). *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Review*, 30(3-4), 491-558.
- Wypich, G. (2015). *PVC Degradation and Stabilization*. Toronto, Canada, Chemtec Publishing.
- Yu, J., Sun, L., Ma, Ch. & Qiao, Y. (2016). Thermal degradation of PVC: A review. *Waste management*, 48, 300-314.

## REMOCIÓN DE TURBIDEZ USANDO SEMILLAS DE *Tamarindus indica* COMO COAGULANTE EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUAS

Dr. Sedolfo Carrasquero<sup>1\*</sup>, Ing. María Fernanda Martínez<sup>1</sup>, Ing. María Gabriela Castro<sup>1</sup>, Msc. Yoselín López<sup>1</sup>, Dra. Altamira Díaz<sup>1</sup>, Dr. Gilberto Colina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA). Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.

\*Autor para la correspondencia. E-mail: scarrasquero@gmail.com

Recibido: 11-8-2018 / Aceptado: 15-11-2018

### RESUMEN

Los coagulantes químicos inorgánicos son los más usados actualmente en el proceso de potabilización; sin embargo, a través de estudios se ha demostrado que los mismos tienen un efecto perjudicial en la salud de los seres humanos. El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante natural en el proceso de potabilización de las aguas. Se usó el ensayo de jarras para simular el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, y determinar la efectividad del preparado con semillas, sin desgrasar y desgrasadas, y compararla con la correspondiente al coagulante químico. Se preparó agua turbia sintética (5000 mg/L) utilizando caolín en agua de grifo, se midieron los parámetros: turbidez, pH, color, alcalinidad total, sólidos totales, antes y después de la aplicación de distintas dosis del preparado con semillas (10; 25; 50; 100; 250 y 500 mg/L) en soluciones con diferentes valores de turbidez (10, 15, 25, 50, 75, 100 y 200 UNT). El uso de las semillas de tamarindo sin desgrasar como coagulante en aguas de 200 UNT permitió obtener valores residuales de turbidez menores a los establecidos por las normas sanitarias venezolanas de calidad del agua (5 UNT), con porcentajes promedios de remoción de 97,6%. Sin embargo, en aguas de media (50-75 UNT) y baja turbidez (15 UNT), las aguas tratadas presentaron valores superiores al límite establecido. Con respecto al color, sólidos totales, alcalinidad total y pH, los valores después del tratamiento fueron 10 UC Pt-Co, 150 mg/L, 75 mg CaCO<sub>3</sub>/L, y 6,79, respectivamente, por lo que la semilla de tamarindo puede ser utilizada con éxito como coagulante en la potabilización de aguas.

**Palabras clave:** *Tamarindus indica*, sulfato de aluminio, coagulantes naturales, potabilización.

## TURBIDITY REMOVAL USING *Tamarindus indica* SEEDS AS COAGULANT IN WATER CLARIFICATION

### ABSTRACT

Currently, chemical origins coagulants are used in water purification processes; however, it has been shown through different studies that they have a detrimental effect on the health of humans. The objective of this research is to evaluate the efficiency of seed extract of tamarind as a natural coagulant in water treatment process. A jar test was used in order to simulate the coagulation, flocculation and sedimentation processes. A synthetic turbid water using kaolin in tap water was prepared. The parameters turbidity, pH, color, alkalinity and total solids were measured before and after the application of natural coagulant at different doses (25; 50;



100; 250 and 500 mg/L) in solutions with different initial turbidity (10, 15, 25, 50, 75, 100 and 200 NTU). The use of *Tamarindus indica* seeds without fat and oils in water of 200 TNU allowed to obtain turbidity residuals values lower than those established by the Venezuelan sanitary norms of water quality (5 NTU) with average removal percentages of 97.6%. However, in waters of medium (50-75 TNU) and low turbidity (15 NTU), the treated waters presented values above the established limit. With respect to color, total solids, total alkalinity and pH, the values after the treatment were 10 CU Pt-CO, 150 mg/L, 75 mg CaCO<sub>3</sub>/L and 6.79, respectively, so the tamarind seed can be used as a coagulant in water purification.

**Key words:** coagulant, water treatment, *Tamarindus indica*, kaolin, aluminum sulfate.

## REMOÇÃO DE TURBIDEZ USANDO SEMENTES DE *Tamarindus indica* COMO COAGULANTE NA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA

### RESUMO

Os coagulantes químicos inorgânicos são as mais usadas atualmente no processo de potabilização; no entanto, através de estudos tem mostrado que eles têm um efeito negativo sobre a saúde dos seres humanos. O objetivo do estudo foi avaliar a eficácia de sementes de tamarindo (*Tamarindus indica*) como um coagulante natural no processo de tratamento de água. O teste de frasco foi usado para simular o processo de coagulação, floculação e de sedimentação, e a determinação da eficácia da preparação com sementes, sem desengorduramento e sem gordura, e compará-lo com o coagulante químico correspondente. Água turva sintética (5000 mg/L) foi preparada com caulim em água corrente, os parâmetros foram medidos: turbidez, pH, cor, alcalinidade total, sólidos totais, antes e após a aplicação de diferentes doses da preparação com sementes (10; 25; 50; 100; 250 e 500 mg/L) em soluções com diferentes valores de turbidez (10, 15, 25, 50, 75, 100 e 200 UNT). O uso de sementes de tamarindo não desengorduradas como coagulante em águas de 200 UNT permitiu obter valores residuais de turbidez inferiores aos estabelecidos pelas normas sanitárias venezuelanas de qualidade da água (5 UNT), com percentuais médios de remoção de 97,6%. Entretanto, nas águas de média (50-75 NTU) e baixa turbidez (15 NTU), a água tratada apresentou valores acima do limite estabelecido. Com relação à cor, sólidos totais, alcalinidade total e pH, os valores após o tratamento foram 10 UC Pt-Co, 150 mg/L, 75 mg CaCO<sub>3</sub>/L e 6,79, respectivamente, pelo que a semente de tamarindo pode ser usada com sucesso como coagulante na potabilização de água.

**Palavras chave:** *Tamarindus indica*, sulfato de alumínio, coagulantes naturais, potabilização.

### 1. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos naturales que se encuentra en mayor cantidad en el planeta, y su importancia radica en que es la base fundamental para la existencia de todo tipo de vida. Así mismo, es ampliamente utilizada en actividades de producción industrial. Sin embargo, las descargas de efluentes de una variedad de actividades de origen antropogénico han tenido como resultado la contaminación de ríos, lagos y otros cuerpos de agua; aunado a esto, el acelerado crecimiento poblacional y la expansión de las zonas urbanas ha incrementado los impactos adversos sobre los recursos hídricos (Gurdian & Coto, 2011).

La calidad del agua es una preocupación en todas partes del mundo, en vía de desarrollo. Las fuentes de agua potable están bajo la amenaza creciente de la contaminación, con

consecuencias de gran alcance para la salud y para el desarrollo económico y social de comunidades y naciones (Arcila & Jaramillo, 2016).

El agua denominada potable, debe ser aceptable desde el punto de vista estético, fisicoquímico y microbiológico, es decir, estar exenta de turbidez, color, olor y sabor perceptible, libre de microorganismos patógenos y debe tener una temperatura razonable. Las aguas naturales raramente son de calidad satisfactoria para el consumo humano o el uso industrial y casi siempre deben ser tratadas (Kiely, 1999).

El procesamiento del agua cruda contempla un tratamiento fisicoquímico, conocido como coagulación y floculación. En este proceso se añade un coagulante, también llamado desestabilizador químico de partículas, al volumen de agua a tratar, para poder aglomerar entre sí los sólidos en suspensión y formar partículas de mayor tamaño y mayor peso, denominadas flóculos, los cuales sedimentarán, logrando así reducir los valores de turbidez y color, cumpliendo con lo establecido en la normativa sanitaria vigente (Gaceta Oficial de Venezuela 36395, 1998).

Entre los agentes coagulantes más comunes se encuentran los de origen químico, tales como sales de hierro y aluminio. El sulfato de aluminio es el que se utiliza con más frecuencia debido a su alta efectividad en el proceso de remoción de la turbidez y el color, y a su vez permite una reducción de microorganismos patógenos (Miller, Fugate, Craver, Smith & Zimmerman, 2008; Carrasquero *et al.*, 2016; Aziz, Yii, Zaynal, Ramil & Akinbile, 2018).

Sin embargo, se ha demostrado que las sustancias que se originan de este coagulante químico pueden ser asimiladas de manera negativa por los seres humanos a largo plazo, ya que se ha reportado que su aplicación genera aluminio residual en el agua de consumo; así mismo, se ha detectado en personas con mal de Alzheimer la presencia de este mineral en el cerebro, presumiéndose una relación entre ambos (Hernández, Mendoza, Salamanca, Fuentes & Caldera, 2013). Además, sus efectos se asocian a varias formas de cáncer y a enfermedades neurodegenerativas óseas (Gurdián & Coto, 2011).

Como alternativa, los países en vías de desarrollo, han adaptado una serie de tecnologías tradicionales para eliminar la turbidez del agua en el ámbito doméstico. De ellas la más estudiada es la utilización de extractos naturales de plantas para la clarificación del agua cruda (Dorea, 2006). Los coagulantes naturales suelen ser consumibles y por tal razón su presencia en el efluente no genera un riesgo tóxico para el ser humano (Fuentes *et al.*, 2011; Aziz *et al.*, 2018). Además, cuando se usan en métodos convencionales de tratamiento generan cinco veces menos cantidad de lodos que los coagulantes químicos, y los lodos

generados son altamente biodegradables y con alto valor nutricional (Effendi, Hydayah & Hariyadi, 2017; Yin, 2010).

La mayoría de los coagulantes naturales se derivan de extractos de semillas, de hojas, de cortezas o savia, de raíces y de frutas, extraídos de árboles y de plantas (Pritchard, Mkandawire, Edmonson, O'Neill & Kululanga, 2009). Diversos autores han demostrado que el uso de coagulantes provenientes de las semillas secas de *Moringa oleifera*, *Leucaena leucocephala*, *Albizia lebbbeck*, *Phaseolus vulgaris*, *Prunus persica*, *Mangifera indica* L. y *Tamarindus indica*, para la clarificación de aguas crudas, representan una alternativa viable para la clarificación de aguas crudas, y para minimizar el impacto que el residual de aluminio podría causar a la salud humana, a los sistemas de distribución y al proceso de desinfección (López *et al.*, 2008; Guzmán, Villabona, Tejada & García, 2013; Carrasquero *et al.*, 2017, Martínez *et al.*, 2017).

La semilla de tamarindo está compuesta en su mayoría por carbohidratos (57,1%), proteína (13,3%) y agua (11,3%). La fracción proteica está formada mayoritariamente por ácidos glutámico y aspártico, glicina y leucina (Gurdián & Coto, 2011); los dos primeros serían los responsables de la coagulación (Campos *et al.*, 2003).

El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en el tratamiento de aguas sintéticas de baja, media y alta turbidez.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Procesamiento de la semilla *Tamarindus indica*

Las semillas de tamarindo fueron recolectadas de los desechos generados en el proceso de elaboración de jugos de tamarindo de diversos sitios de la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. Las semillas fueron sumergidas en abundante agua para separar los restos de pulpa adheridos y facilitar la remoción de la testa o cubierta seminal que rodea al cotiledón (Carrasquero *et al.*, 2015). Seguidamente se procedió a secar los cotiledones obtenidos a una temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, para luego molerlas utilizando un molino eléctrico (marca Oster), hasta obtener harina blanca, que fue almacenada en frascos de color ámbar, para su posterior uso.

### 2.2. Caracterización parcial de la semilla *Tamarindus indica*

Se caracterizaron parcialmente las semillas procesadas siguiendo las normas venezolanas para productos de cereales y leguminosas, mediante los parámetros fisicoquímicos:

Humedad (1553-80), Cenizas (1783-81) y Grasas (1785-81) (Normas COVENIN 1980, Normas COVENIN 1981a, Normas COVENIN 1981b).

### **2.3. Preparación de las soluciones coagulantes**

#### **2.3.1. Solución coagulante sin desgrasar la semilla**

La solución coagulante con semillas de *Tamarindus indica* se preparó tamizando aproximadamente 15 gramos de semillas secas molidas por el cedazo No. 60 (0,250 mm diámetro de poro). Estas semillas se secaron en una estufa a una temperatura de 60°C. La temperatura no debe ser superior a 60°C, debido a que ocurre la desnaturalización de las proteínas (Más y Rubí, Martínez, Carrasquero, Rincón & Vargas, 2012).

Posteriormente, se pesaron 5 gramos de la muestra de semillas previamente tamizadas. Se tomó un balón aforado limpio y seco, se le añadieron los 5 g de semillas y se procedió a enrasar con agua destilada previamente hervida. Se colocó un agitador magnético en el balón, se tapó con papel parafinado y se colocó sobre una plancha de agitación durante un período mínimo de dos horas, para obtener una mezcla homogénea. A partir de esta solución, se obtuvo por dilución el rango de dosis concentraciones ensayadas (10 hasta 500 mg/L).

#### **2.3.2. Solución coagulante de semillas desgrasadas**

El procedimiento fue el mismo que para la solución anterior, pero utilizando semillas previamente desgrasadas. El sistema Soxhlet fue utilizado para la eliminación de los aceites y grasas contenidos en las semillas de tamarindo, debido a que de acuerdo a estudios realizados por Vázquez *et al.* (1999) estas poseen un contenido de grasa de 5,7%. (Normas Covenin, 1981B). El desgrasado se realizó con la finalidad de incrementar la solubilidad del extracto de las semillas. A partir de esta solución, se obtuvo por dilución el rango de dosis ensayadas (10 hasta 500 mg/L).

### **2.4. Prueba de solubilidad de las soluciones coagulantes preparadas a partir de las semillas de tamarindo (*T. indica*)**

Se realizó la prueba de solubilidad a las soluciones coagulantes preparadas a partir de semillas de tamarindo con aceites y grasas y desgrasadas, aplicando el procedimiento implementado por Mas y Rubí *et al.* (2012), mediante la determinación de los sólidos totales (SM2540 B), sólidos disueltos totales (SM2540 C) y sólidos suspendidos totales (SM2540 D), siguiendo el procedimiento establecido en el método estándar de análisis de aguas y aguas residuales (APHA, AWWA & WEF, 2005).

### **2.5. Preparación y caracterización del agua turbia sintética**

El agua turbia sintética (ATS) fue preparada mediante la adición de 5 g de caolín en 1 L de agua corriente (5000 mg/L). Esta suspensión fue agitada en forma continua por una hora para lograr una dispersión uniforme de las partículas de caolín y se estableció un período de 24 horas para la hidratación. Esta suspensión se agitó por 1 hora usando un agitador magnético; transcurrido ese tiempo se dejó hidratar por 24 horas (Mas y Rubí *et al.*, 2012). Este modelo no representa el agua real de ninguna ciudad, pero es una suspensión estable que puede ser usada para estudiar el mecanismo de coagulación (López *et al.*, 2008).

Una vez preparada el ATS, se realizó un estudio de estabilidad de la misma que se basó en la medición de la turbidez cada cinco minutos hasta completar una hora. Posteriormente se efectuaron sucesivas diluciones con agua de grifo hasta obtener diversos valores de turbidez, los cuales fueron verificados con un turbidímetro Orbeco-Hellige. Se establecieron valores de turbidez inicial de baja (10, 15 UNT), media (25, 75 y 100 UNT) y alta turbidez (200 UNT), en base a lo establecido por Bina, Mehdinejad, Nikaeen, & Movahedian (2009).

Adicionalmente se midieron los parámetros de turbidez, color aparente, pH y alcalinidad total mediante los métodos estandarizados de APHA *et al.* (2005) tanto a la solución madre como a las soluciones para los diferentes valores de turbidez.

## **2.6. Evaluación de las semillas de tamarindo como coagulante**

La efectividad de las semillas como coagulante se determinó a través de la prueba de jarras, evaluando primero la solución coagulante preparada con semillas sin desgrasar (STG), y luego con semillas desgrasadas (STD), mediante ensayos exploratorios en un rango de dosis que incluyó 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L, con un mezclado rápido a 100 rpm durante 2 minutos, un mezclado lento a 30 rpm durante 20 minutos, y se finalizó el proceso con la fase de sedimentación, en la cual se dejó el agua en reposo por un lapso de treinta minutos (Koohestanian, Hosseini & Abbasian, 2008).

Después del período de sedimentación, se procedió a recolectar una muestra del sobrenadante en un punto situado aproximadamente 2 cm por debajo de la parte superior del nivel de líquido de cada vaso de precipitado, para la determinación de los parámetros fisicoquímicos: color, turbidez, ST, pH y alcalinidad total, de acuerdo a lo descrito en el método estándar de análisis de aguas y líquidos residuales (APHA *et al.* 2005).

Los ensayos exploratorios se realizaron en aguas turbias sintéticas con diferentes valores de turbidez inicial de 10, 15, 25, 50, 75 y 100 UNT. Para la selección de la dosis óptima de cada coagulante se utilizaron los siguientes criterios: máximo porcentaje de remoción de turbidez y color, cantidad mínima de dosis a usar, verificación de la concentración de sólidos totales.

Todas las muestras obtenidas al aplicar las dosis consideradas como óptimas de los coagulantes naturales fueron filtradas, en un equipo de filtración con bomba de vacío, en el cual fue colocado papel filtro (Whatman) de 12,5 cm de diámetro, simulando el proceso de filtración que ocurriría en una planta de tratamiento, de acuerdo a lo sugerido por Parra *et al.*, (2011). Luego del proceso de filtración, se procedió a medir los siguientes parámetros fisicoquímicos: turbidez, color verdadero, pH, alcalinidad total y sólidos totales.

Los tratamientos con sulfato de aluminio (Scharlau) se llevaron a cabo mediante corridas exploratorias y la adición de volúmenes progresivos de dosis de coagulante. El rango de concentraciones estudiado osciló entre 2 y 15 mg/L. Cabe destacar, que la solución madre a partir de la cual fueron preparadas las dosis fue de 10.000 mg/L. Los resultados de las remociones de los parámetros fisicoquímicos, utilizando las dos soluciones coagulantes de semillas de tamarindo (con grasa y sin grasa) y el sulfato de aluminio como coagulante químico, se compararon mediante un análisis de varianza y separación de medias a través de la prueba de Tukey, utilizando el programa estadístico SPSS versión 20.0

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterización de las semillas *Tamarindus indica*

La caracterización de la semilla mediante la determinación de los parámetros humedad, cenizas y aceites y grasas extraíbles se muestra en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica parcial de la semilla *Tamarindus indica*.

Parámetros	Promedio ± DE
Aceites y grasas (%)	7,63 ± 2,46
Cenizas (%)	0,86 ± 0,15
Humedad (%)	2,11 ± 0,17

n=3. n=número de mediciones realizadas. DE= Desviación estándar.

El porcentaje promedio de aceites y grasas extraíbles en las semillas de *T. indica* fue de 7,62%, valor que se encuentra dentro del rango reportado por Yusue, Mafio & Ahmed (2007) para este tipo de semillas, quienes obtuvieron porcentajes de aceites y grasas que variaron entre 6,94 y 11,40%. De igual manera, los porcentajes obtenidos en esta investigación son cercanos a los reportados por Panchal, Deshmukh & Sharma (2014), quienes encontraron un porcentaje promedio de aceites y grasas de 8,00% durante la extracción y refinación de aceite a partir de las semillas de *T. Indica*. La composición de ácidos grasos en el aceite de las semillas de *T. indica* consistía principalmente de ácido mirístico, seguido de ácido

linoleico, ácido esteárico, ácido lúrico, ácido octanoico, ácido oleico, ácido lignocérico y ácido palmítico.

Comparando con otras semillas que se utilizan en el proceso de potabilización de agua, los valores de aceites y grasas obtenidos son superiores a los reportados para las de semillas *Albizialeweck* (1,2%), *Leucaena leucocephala* (2,4%) e *Hymenaea courbaril* (3,4%) (López *et al.*, 2008; Mas y Rubí *et al.*, 2012). Sin embargo, son inferiores a los registrados para las semillas de *Moringa oleifera* (36%) y *Prunus persica* (51,4 %) de acuerdo a lo reportado por Mas y Rubí, Martínez, Carrasquero & Vargas (2011) y Carrasquero *et al.*, (2015).

El porcentaje de cenizas fue de 0,86%, valor inferior al reportado por Miller *et al.*, (2008), quienes obtuvieron valores promedios de 2,7% en semillas de *Prunus persica*. El contenido de cenizas es indicativo de la cantidad de material inorgánico presente en la almendra.

El porcentaje promedio de humedad para la semilla de tamarindo fue de 2,10%, valor que se encuentra por debajo al reportado por estudios realizados semillas de *P. persica* (7,0%), *H. courbaril* (17,5%) y *M. oleifera* (6,2%) (Carrasquero *et al.*, 2015; Mas y Rubí *et al.*, 2012, Mas y Rubí *et al.*, 2011). El bajo contenido de agua que presenta la almendra contenida en la semilla de tamarindo retarda la formación de reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas que son las tres principales causas del deterioro de los alimentos, permitiendo la conservación de la almendra por un tiempo más prolongado (Martínez *et al.*, 2017).

### 3.2. Prueba de solubilidad de la solución coagulante

Esta prueba se realizó con la finalidad de estimar la cantidad de material disuelto que actuaría efectivamente como coagulante, a partir de la cantidad de materia remanente. A las soluciones coagulantes de 5000 mg/L, se les determinó los sólidos suspendidos y luego por diferencia se conocieron los sólidos disueltos, lo que representa la cantidad de polvo de semilla *Tamarindus Indica* que realmente se disolvió en la solución y que actuaría como coagulante.

Las concentraciones reales de las soluciones coagulantes preparadas fueron de 4500 y 3900 mg/L, lo que representa porcentajes de solubilidad de 90 y 78% para las soluciones con grasa y sin grasa, respectivamente (**Tabla 2**). Estos valores de solubilidad fueron superiores al obtenido por Mas y Rubí *et al.*, (2011), quienes reportaron un porcentaje de solubilidad en *M. oleifera* del 53%. De igual manera, fueron superiores a los obtenidos por López *et al.*, (2008) y Carrasquero *et al.*, (2015), quienes obtuvieron 51 y 56% para semillas de *Leucaena*

Remoción de Turbidez Usando Semillas de *Tamarindus indica* como Coagulante en la Potabilización de Aguas *leucocephala* y *Prunus persica*, respectivamente; las cuales son también utilizadas como coagulantes en el tratamiento de aguas.

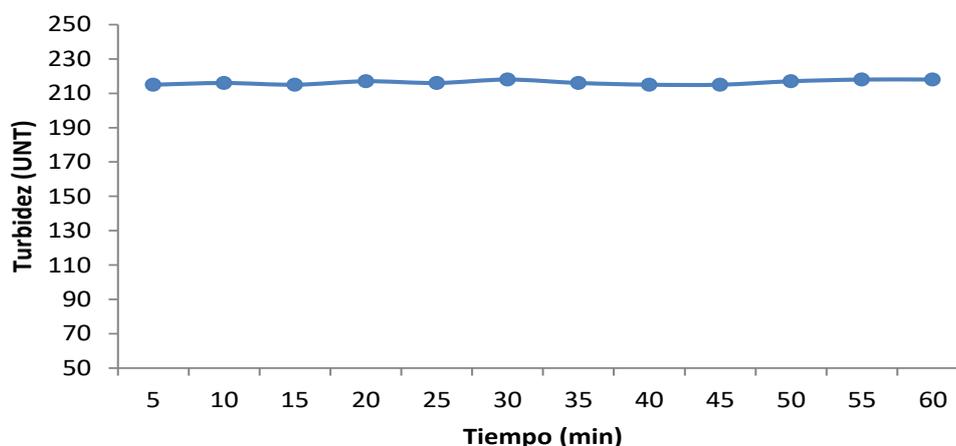
**Tabla 2.** Sólidos determinados a las soluciones coagulantes

Parámetro físico	Coagulante con grasa 5000 (mg/L) Promedio ± DE	Coagulante sin grasa 5000 (mg/L) Promedio ± DE
Sólidos suspendidos (mg/L)	500±70	1100±16
Sólidos disueltos (mg/L)	4500±60	3900±12

n=3. n=número de mediciones realizadas. DE= Desviación estándar.

### 3.3. Estabilidad del agua sintética

El estudio de la estabilidad del agua turbia sintética preparada se basó en la medición de la turbidez (cada cinco minutos hasta completar una hora), la cual se mantuvo prácticamente constante a lo largo del ensayo (**Figura 1**) El agua turbia preparada presentó las siguientes características: Turbidez: 216 ±1 UNT, color aparente: 20±0 UC Pt-Co y alcalinidad total: 71±3 mg/L CaCO<sub>3</sub>.



**Figura 1.** Estabilidad del agua sintética

### 3.4. Efectividad de la solución coagulante de semillas de *Tamarindus indica* sin desgrasar para diferentes niveles de turbidez inicial.

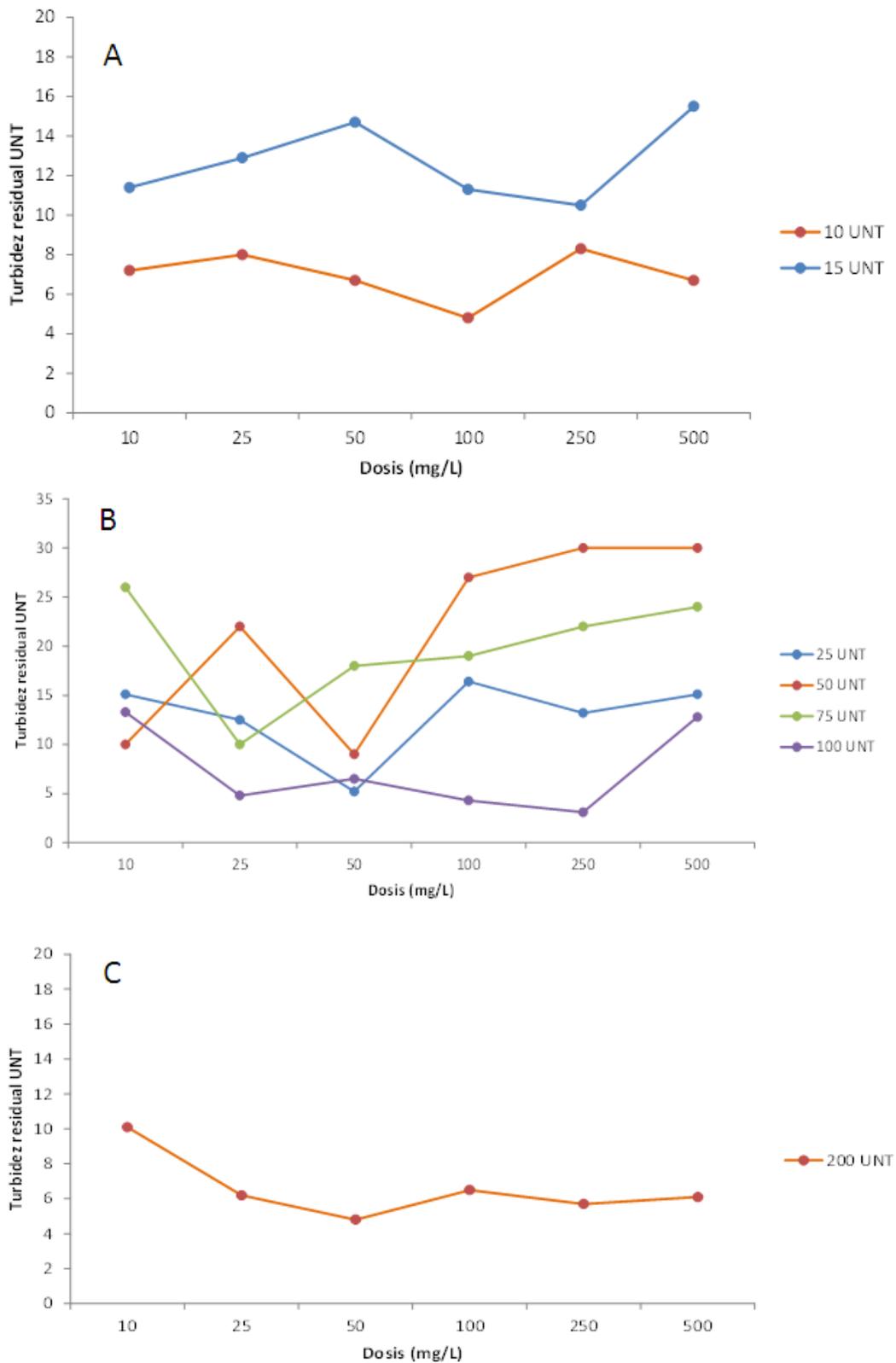
La **Figura 2** muestra los valores de turbidez residual en función de las dosis aplicadas (10, 25, 50, 100, 250, 500 mg/L) de la solución coagulante preparada a partir de semillas de *T. indica* sin desgrasar, en aguas turbias sintéticas con diferentes valores de turbidez inicial (10, 15, 50, 75, 100, 200 UNT). Se obtuvo para aguas de baja turbidez (10-15 UNT), la mayor remoción se observó al aplicar una dosis de 100 mg/L en un agua de 10 UNT, disminuyendo hasta 4,8 UNT, lo que representa un porcentaje de remoción de 52,0%. Este porcentaje fue

inferior a los reportados por Mejías *et al.*, (2010), quienes empleando como coagulante natural el exudado gomoso de la *Cedrela odorata*, obtuvieron porcentajes de remoción de 65,0% y 76,7% en aguas con baja turbidez inicial de 10 y 15 UNT, respectivamente, empleando una dosis óptima de 20 mg/L.

Se obtuvo que al aplicar el coagulante en aguas de turbidez media (25-100 UNT), la efectividad de remoción de turbidez osciló entre 34,4% y 96,9%. La mayor remoción se obtuvo al aplicar una dosis de 250 mg/L, en un agua de 100 UNT disminuyendo hasta 3,1 UNT (**Figura 2A**), valor inferior al máximo aceptable por la normativa venezolana para aguas destinadas a consumo humano (Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395, 1998), alcanzando así 96,9% de remoción de turbidez. Rahman *et al.*, (2015) obtuvieron porcentajes de remoción similares a los reportados en esta investigación, cuando utilizaron semilla de tamarindo (*T. indica*) aplicando una dosis de 75 mg/L de coagulante natural y 3,8 mg/L de poliacrilamida, obteniendo porcentajes de remoción de 93,6% en aguas con una turbidez media inicial de 26,3 UNT

La solución coagulante preparada a base de *T. indica* sin desgrasar fue más efectiva en aguas de alta turbidez inicial (200 UNT), ya que para todas las dosis empleadas en ésta se alcanzaron porcentajes de remoción superiores al 95% (**Figura 2C**). Resultados similares fueron obtenidos por Salgado (2018) quien logró evidenciar que a mayor turbidez inicial el porcentaje de remoción será mayor, cuando se usa esta semilla como coagulante natural. Estos porcentajes de remoción fueron superiores a los reportados por Fuentes *et al.*, (2011), en su estudio con *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb, quienes obtuvieron remociones de turbidez de 64,8%, empleando una dosis óptima de 600 mg/L para aguas de 100 UNT.

Se obtuvo que sólo para la dosis de 100 mg/L en el agua con una turbidez inicial de 10 UNT y 100 UNT, la dosis de 25 mg/L para el agua con turbidez inicial de 100 UNT, la dosis de 250 mg/L para un agua de 100 UNT y la dosis de 50 mg/L para un agua de 200 UNT, se obtuvieron valores menores al máximo aceptable (5 UNT) (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998).



**Figura 2.** Variación de la turbidez residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* sin desgrasar para aguas de turbidez baja (A), media (B) y alta (C).

La tendencia oscilante de los porcentajes de remoción presentada por el coagulante natural y el aumento de turbidez decantada producida con la mayor dosis de 250 y 500 mg/L de solución coagulante de semillas de tamarindo, confirman que parte de la remoción de turbidez en las aguas sintéticas se logró primamente a través del mecanismo de adsorción, seguido de neutralización de cargas y/o formación de puente interparticular (Laksmi, Janani, Anju, & Roopa, 2017), debido a que la semilla de tamarindo aporta moléculas poliméricas (proteínas catiónicas) de alto peso molecular, que pueden absorber químicamente las partículas coloidales en uno o más puntos fijos de adsorción, dejando el resto de la cadena libre, de forma que pueda flotar en el líquido y adherirse a su vez a otro coloide, formando así un puente molecular que une una partícula con otra, la repetición de este fenómeno entre diversas partículas es lo que permite la aglutinación de ellas en masas (Arboleda, 2000).

La fracción proteica de las semillas de tamarindo corresponde al 13% de la semilla y está formada mayoritariamente por ácidos glutámico y aspártico, glicina y leucina (Vázquez, Batis, Alcocer & Dirzo, 1999). Las proteínas, a su vez, se componen sobre todo de ácido glutámico y aspártico, glicina y leucina (Gurdián, Coto & Salgado, 2009). De acuerdo a estudios realizados por Campos *et al.*, (2003), los ácidos glutámico y aspártico, por ser sustancias que poseen grupos con carga formal negativa, desestabilizan y coagulan partículas coloidales.

Los valores de color aparente son presentados en la **Tabla 3**, luego de aplicadas las diferentes dosis de la solución coagulante. Se observó que para las aguas de baja turbidez (10 y 15 UC) se presentó un incremento de color con respecto al valor inicial (5 UC). El valor máximo reportado en las aguas analizadas de baja turbidez fue 10 UC para las dosis de 10, 25, 250 y 500 mg/L, respectivamente. El aumento del color aparente también fue reportado por López *et al.*, (2008), que obtuvieron resultados similares al usar *L. leucocephala* y *A. lebbeck*, estos investigadores afirman que el aumento del mismo se puede atribuir a que el coagulante ocasiona la dispersión de las partículas coloidales que proporcionan color al agua.

En el caso de las aguas de turbidez media, para una dosis de 50 mg/L en el agua de 25 UNT se observó una reducción de color aparente del 50%, disminuyendo de 10 a 5 UC. Para las aguas de 50 y 75 UNT se observó un incremento del color aparente inicial de 10 UC a 20 UC. En el caso del agua turbia de 100 UNT ensayada, se observó una reducción de color aparente para todas las dosis aplicadas, alcanzando valores iguales e inferiores al valor deseable establecido en la normativa sanitaria (5 UC), para dosis de 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1998).

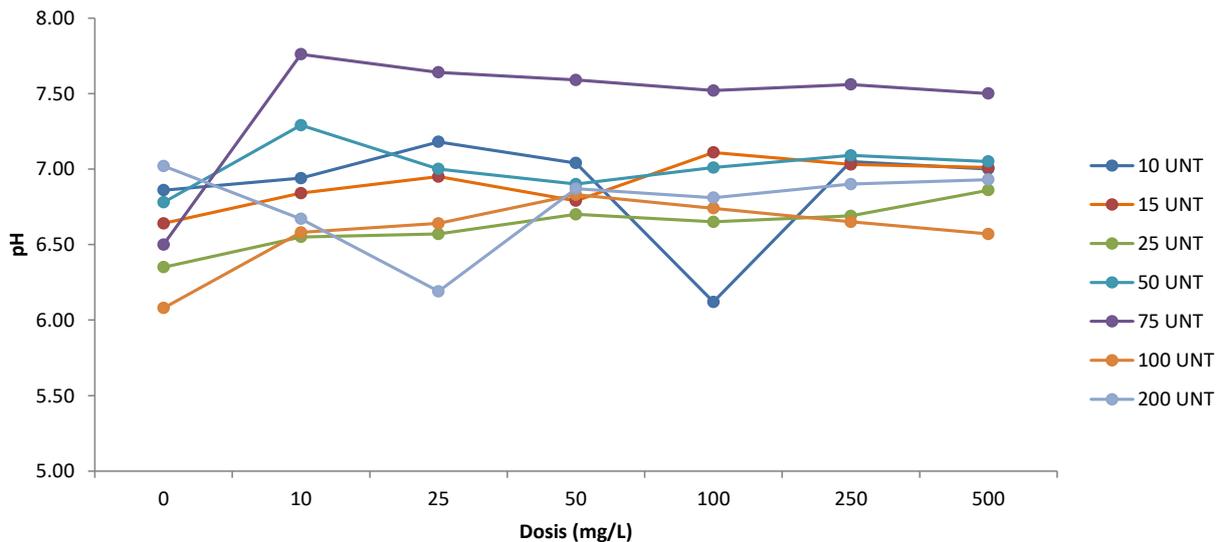
**Tabla 3.** Variación del color residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* no desgrasadas para diferentes valores de turbidez inicial.

Turbidez Inicial (UNT)	Color Inicial (UC Pt-Co)	Dosis (mg/L)					
		10	25	50	100	250	500
10	5	10	10	7,5	5	10	10
15	5	10	10	10	10	10	10
25	10	10	10	5	20	10	10
50	10	20	20	10	10	20	20
75	10	20	10	10	20	20	20
100	20	10	5	5	5	2,5	10
200	20	10	5	5	5	5	5

Los resultados de remoción de color para las semillas de *T. indica* con grasas y aceites fueron más efectivos al ser comparados con los reportados por Carrasquero *et al.*, (2015), quienes obtuvieron un incremento color de 20 a 40 UC, para aguas de turbidez media, cuando aplicaron dosis de 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L respectivamente. De igual forma, la remoción de color alcanzada en aguas de media turbidez fue superior a la obtenida por Caldera *et al.*, (2007), quienes empleando *Moringa oleífera* reportaron una disminución de color de 50% en aguas con turbidez inicial de 75 y 150 UNT.

Los valores de pH luego de la aplicación de las semillas de *T. indica* sin desgrasar son presentados en la **Figura 3**. El valor de pH más alto obtenido fue de 7,76 unidades para un agua turbia media de 75 UNT al aplicarle una dosis de 10 mg/L, mientras que el valor más bajo fue de 6,12 para un agua turbia de 10 UNT al aplicarle una dosis de 100 mg/L. El rango obtenido final estuvo comprendido entonces entre 6,12 y 7,76 unidades.

Los valores de pH obtenidos después de la aplicación del coagulante de semillas de tamarindo sin desgrasar para las dosis aplicadas en las aguas con las distintas turbideces estudiadas, cumplieron con lo establecido en la norma sanitaria venezolana contemplada en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395 (1998), en la cual dicho parámetro debe ubicarse dentro del rango de 6,5 y 8,5 unidades. Esto se corresponde con reportado por otros investigadores para coagulantes naturales como quitosano (Bina *et al.*, 2009), *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. (Fuentes *et al.*, 2011), *Opuntia wentiana* (Parra *et al.*, 2011) y *Prunus persica* (Carrasquero *et al.*, 2015), quienes demostraron que la aplicación de coagulantes obtenidos de fuentes naturales no altera significativamente el parámetro pH.



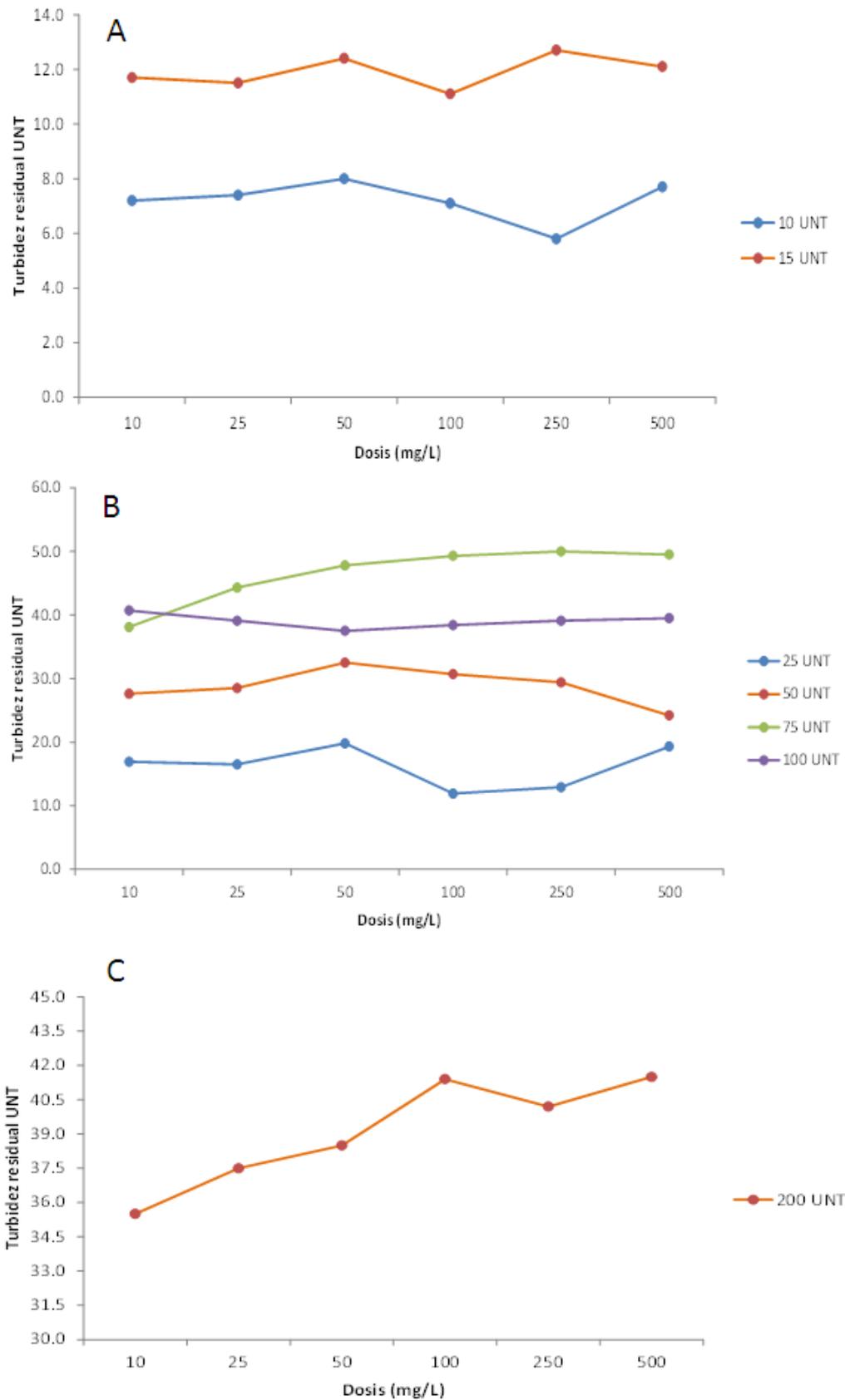
**Figura 3.** Variación del pH residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* sin desgrasar para diferentes valores de turbidez inicial.

### 3.5. Efectividad de la solución coagulante de semillas de *Tamarindus indica* desgrasadas para diferentes niveles de turbidez inicial.

La **Figura 4** muestra los valores de turbidez residual en función de las dosis aplicadas de la solución coagulante preparada a partir de semillas de *T. indica* desgrasadas, en aguas turbias sintéticas con diferentes valores de turbidez inicial.

Se obtuvo que la menor remoción se produjo al aplicar una dosis de 250 mg/L para un agua turbia de 15 UNT, disminuyendo hasta 12,7 UNT, lo que representó un porcentaje de remoción de 15,3%; y la mayor remoción se obtuvo al aplicar una dosis de 10 mg/L en un agua turbia de 200 UNT, disminuyendo hasta 35,5 UNT, lo que representó un porcentaje de remoción de 82,3%. Por lo que el rango de efectividad respecto a la remoción de turbidez de dicho coagulante con semillas desgrasadas se encuentra entre 15,3% y 82,3% para los niveles de turbidez analizados, resultando más efectivo en aguas de alta turbidez inicial (200 UNT).

La **Tabla 4** muestra los valores de color aparente luego de las pruebas de coagulación y floculación, obteniendo que las unidades de color que se encontraron iguales al valor deseable establecido por la norma venezolana (5 UC) fueron obtenidas solo en aguas de baja turbidez (10 – 15 UNT).

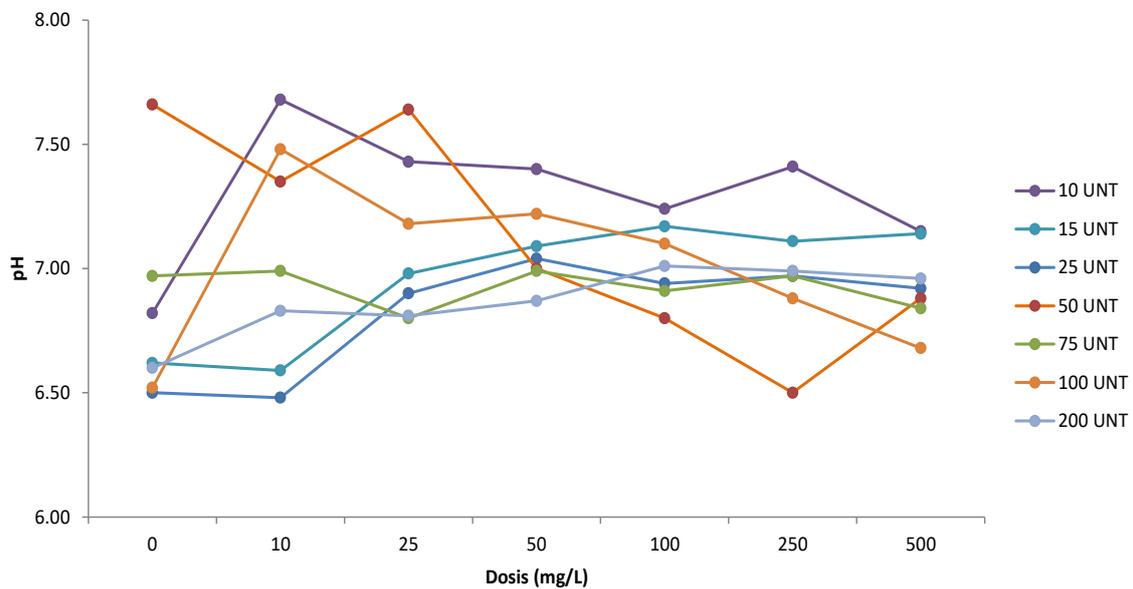


**Figura 4.** Variación de la turbidez residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* desgrasadas para aguas de turbidez baja (A), media (B) y alta (C).

**Tabla 4.** Variación del color residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* desgrasada para diferentes valores de turbidez inicial.

Turbidez Inicial (UNT)	Color Inicial (UC Pt-Co)	Dosis (mg/L)					
		10	25	50	100	250	500
10	5	5	7,5	7,5	5	5	10
15	5	5	5	10	5	10	10
25	10	10	10	10	10	10	10
50	10	10	10	10	10	10	10
75	10	10	10	10	10	10	10
100	20	10	10	10	10	10	10
200	20	10	10	10	10	10	10

Los valores de pH resultantes oscilaron entre 6,48 y 7,68 unidades, manteniéndose entre el rango de pH inicial registrado, cuyos valores oscilaron entre 6,50 y 7,66 unidades. La **Figura 5** muestra que los valores de pH permanecieron estables dentro de la normativa venezolana. Se observó que el coagulante desgrasado no produjo cambios de los valores de pH inicial y éstos se mantuvieron dentro de la norma para todas las dosis ensayadas (Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395, 1998).



**Figura 5.** Variación del pH residual en función de la dosis de la solución de *T. indica* desgrasada para diferentes valores de turbidez inicial.

### 3.6. Comparación de la dosis óptima de los diferentes tratamientos fisicoquímicos usados para la remoción de turbidez, color, pH y ST en aguas de baja, media y alta turbidez.

A continuación, se presenta la comparación de los resultados obtenidos después del proceso de coagulación, floculación y sedimentación correspondiente a las dosis óptimas de cada tratamiento realizado en aguas de baja (10, 15 y 25 UNT), media (75 y 100 UNT) y alta turbidez inicial (200 UNT) y el correspondiente análisis estadístico. En la **Tabla 5** se visualiza la comparación entre los diferentes tratamientos para aguas sintéticas de baja turbidez

Para una turbidez inicial de 10 UNT, las dosis óptimas del sulfato de aluminio, de la solución coagulante elaborada a partir de semillas de tamarindo (*T. indica*) desgrasadas y sin desgrasar, fueron de 10, 250 y 100 mg/L, respectivamente, resultando la concentración de coagulante químico 10 y 25 veces menor que la del coagulante natural, respectivamente.

**Tabla 5.** Comparación entre los tratamientos con el coagulante natural y sulfato de aluminio a diferentes niveles de turbidez

To (UNT)	Coagulante	Dosis (mg/L)	Color (UC Pt-Co)	Turbidez (UNT)	Remoción de turbidez (%)	pH
10	STG	100	7,5 ± 0,0	4,93 ± 0,15	50,7 <sup>b</sup> ± 0,42	6,06 ± 0,14
	STD	250	5 ± 0,0	6,07 ± 0,25	39,3 <sup>c</sup> ± 0,25	7,21 ± 0,27
	SA	10	5 ± 0,0	1,70 ± 0,30	83,0 <sup>a</sup> ± 1,30	3,94 ± 0,01
15	STG	250	5 ± 0,0	10,8 ± 0,25	28,2 <sup>b</sup> ± 0,50	6,67 ± 0,31
	STD	100	5 ± 0,0	10,6 ± 0,62	29,3 <sup>b</sup> ± 0,62	7,27 ± 0,57
	SA	10	5 ± 0,0	1,78 ± 0,33	83,1 <sup>a</sup> ± 1,40	5,28 ± 0,03
25	STG	50	5 ± 0,0	5,17 ± 0,35	79,3 <sup>b</sup> ± 0,33	6,72 ± 0,13
	STD	100	10 ± 0,0	11,5 ± 0,87	54,0 <sup>c</sup> ± 0,87	6,94 ± 0,04
	SA	10	5 ± 0,0	3,7 ± 0,20	86,00 <sup>a</sup> ± 2,20	4,21 ± 0,01
50	STG	50	10 ± 0,0	8,8 ± 0,47	82,3 <sup>b</sup> ± 0,19	6,47 ± 0,40
	STD	500	10 ± 0,0	23,3 ± 0,78	53,3 <sup>c</sup> ± 0,78	6,80 ± 0,08
	SA	10	5 ± 0,0	3,70 ± 0,20	92,6 <sup>a</sup> ± 2,50	4,21 ± 0,01
75	STG	250	10 ± 0,0	10,9 ± 0,79	85,4 <sup>b</sup> ± 0,19	7,35 ± 0,27
	STD	10	10 ± 0,0	37,6 ± 0,64	49,8 <sup>c</sup> ± 0,64	6,96 ± 0,03
	SA	10	5 ± 0,0	2,4 ± 0,5	96,8 <sup>a</sup> ± 2,00	4,24 ± 0,01
100	STG	250	5 ± 2,5	3,7 ± 0,51	96,3 <sup>a</sup> ± 0,31	6,64 ± 0,06
	STD	50	10 ± 0,0	37,8 ± 0,30	62,2 <sup>b</sup> ± 0,30	7,37 ± 0,48
	SA	10	10 ± 2,5	3,8 ± 0,10	96,2 <sup>a</sup> ± 0,80	4,39 ± 0,01
200	STG	50	5 ± 0,0	5,33 ± 0,68	97,3 <sup>b</sup> ± 0,18	6,79 ± 0,09
	STD	10	10 ± 0,0	37,03 ± 2,08	81,5 <sup>c</sup> ± 2,08	6,90 ± 0,16
	SA	15	10 ± 0,0	1,32 ± 0,03	99,3 <sup>a</sup> ± 0,10	5,96 ± 0,02

n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro. -: No hubo remoción. STG: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T.indica*) con grasas y aceites. STD: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T.indica*) desgrasadas. SA: Sulfato de aluminio. To: Turbidez inicial. Media seguida por letras distintas en cada fila indica diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Del análisis estadístico realizado se obtuvo que para las bajas turbideces iniciales (10 y 15 UNT) existieron diferencias significativas entre la remoción de turbidez del sulfato de aluminio y los coagulantes naturales elaborados a partir de semillas de tamarindo (*T. indica*) con aceites y grasas y desgrasadas, siendo el coagulante químico el más efectivo para el tratamiento de estas aguas. Se obtuvo también que entre ambos coagulantes naturales se encontraron diferencias significativas para dicho rango de turbidez inicial, resultando más efectivo el coagulante con aceites y grasas.

En el caso de las aguas de media turbidez, se observó que para todas las aguas medias se aplicó una dosis de 10 mg/L de sulfato de aluminio, menor en comparación a todas las aplicadas utilizando el coagulante natural (con grasas y aceites y desgrasado). Se observó una mayor efectividad del proceso de coagulación en aguas de turbidez media cuando se utilizó el sulfato de aluminio, alcanzándose una remoción máxima del 96,8 %, en aguas de 75 UNT, aplicando una dosis de 10 mg/L. El rango de remoción de turbidez para éste coagulante osciló entre 86,0 y 96,8%.

En cuanto a la remoción de color aparente, al ser comparados los tres tratamientos en el sulfato de aluminio alcanzó remociones de color en un rango de 50 y 75%, mientras que el coagulante natural con grasas y aceites permitió obtener una remoción de 79,2% con una dosis aplicada de 250 mg/L en aguas de 100 UNT.

Al comparar los tres tratamientos se observa una mayor efectividad de turbidez en el coagulante químico, seguido por el coagulante preparado a partir de semillas de tamarindo no desgrasadas. Se obtuvo una mayor remoción en aguas de media y alta turbidez en todos los tratamientos aplicados, el menos efectivo resultó el coagulante con semillas desgrasadas, se infiere así que el mismo pudo perder sus propiedades coagulantes al ser desgrasado utilizando éter de petróleo como solvente. Sin embargo, en aguas de media y alta turbidez el mismo alcanzó porcentajes de remoción superiores al 50%, por lo que es un coagulante natural efectivo según Fuentes *et al.* (2011)

Con respecto al pH, el tratamiento con sulfato de aluminio arrojó los valores de pH más bajos, presentándose una tendencia a la acidez. De acuerdo con Barrenechea (2004), en algunos casos se requiere ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le produzca efectos corrosivos ni incrustantes al sistema de distribución, como el caso de aguas ácidas. El sulfato de aluminio disminuyó significativamente el valor de pH, por lo que se requerirá de un álcali para poder alcanzar lo estipulado en las normas de calidad de agua potable venezolana (Gaceta oficial de la República de Venezuela 36395, 1998).

En la **Tabla 6** se presentan los valores determinados de alcalinidad y sólidos totales medios para las aguas medidas de baja, media y alta turbidez inicial.

**Tabla 6.** Comparación entre los tratamientos con coagulante natural y sulfato de aluminio en aguas de baja, media y alta turbidez

To (UNT)	Coagulante	Dosis (mg/L)	Sólidos totales (mg/L)	Alcalinidad total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
10	STG	100	100 ± 50	84,4 ± 2,7
	STD	250	133 ± 76	75,8 ± 5,2
	SA	10	NR	ND
15	STG	250	100 ± 50	70,7 ± 1,6
	STD	100	150 ± 50	75,8 ± 3,8
	SA	10	NR	ND
25	STG	50	150 ± 100	64,2 ± 5,8
	STD	100	133 ± 28	74,2 ± 3,8
	SA	10	NR	ND
50	STG	50	138 ± 29	70,0 ± 15,2
	STD	500	200 ± 100	74,2 ± 5,8
	SA	10	NR	ND
75	STG	25	83 ± 58	60,8 ± 8,8
	STD	10	150 ± 87	74,2 ± 2,3
	SA	10	NR	ND
100	STG	250	133 ± 29	81,7 ± 3,8
	STD	50	200 ± 50	73,3 ± 2,9
	SA	10	NR	ND
200	STG	50	150 ± 50	75,0 ± 2,5
	STD	10	167 ± 76	75,0 ± 2,7
	SA	15	NR	ND

n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro. STG: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T.indica*) con grasas y aceites STD: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T.indica*) desgrasadas. SA: Sulfato de aluminio. To: Turbidez inicial. NR: No reporta. ND: No detectable.

Los valores residuales de sólidos totales luego de la aplicación del coagulante natural oscilaron entre 100 y 200 mg/L. Todos los valores de sólidos totales obtenidos cumplieron con lo establecido en la norma sanitaria venezolana (Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395, 1998) respecto al valor deseable de sólidos totales en agua potable, el cual debe ser menor a 600 mg/L.

Con respecto a la alcalinidad total, las concentraciones variaron entre 60,8 y 84,4 mg CaCO<sub>3</sub>/L. La Norma sanitaria venezolana (Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395, 1998) no establece valores restrictivos de alcalinidad en el agua potable; sin embargo, Arboleda (2000) establece que éste parámetro viene a actuar como una solución amortiguadora que evita el brusco descenso del pH, lo que tendría repercusiones a nivel operativo, ya que un pH final muy bajo puede producir que la coagulación no se realice o se realice pobremente, además de hacer al agua corrosiva.

De Sousa, Correia & Colmenares (2010) establecen que una alcalinidad en los sistemas de distribución de agua de 70 a 110 mg CaCO<sub>3</sub>/L permite sobrepasar el producto de solubilidad

del carbonato de calcio y asegura la formación de capas de protección natural contra los procesos de corrosión en la mayoría de las tuberías en las redes de distribución de agua.

Para las aguas tratadas con las dosis óptimas luego del proceso de coagulación-floculación y sedimentación, se llevó a cabo la filtración, para simular el proceso completo de clarificación que se realiza en plantas potabilizadoras, y determinar si el proceso de filtración mejora la calidad del efluente y las características de los parámetros fisicoquímicos medidos.

Montoya, Loaiza, Torres, Cruz & Escobar (2011) recomiendan realizar procedimientos de filtración en el agua, ya que problemas en la operación, como una coagulación inadecuada, pueden comprometer el desempeño de las unidades de clarificación y éstas a su vez alterar la eficiencia de la filtración, siendo recomendable mantener la aplicación de medidas operativas para optimizar la coagulación durante los eventos de alta turbidez como estrategia de optimización de la coagulación.

### **3.7. Valores obtenidos luego de la filtración de las muestras con dosis óptimas de las semillas de tamarindo (*T. indica*) para diferentes niveles de turbidez**

El proceso de filtración logró una mejoría en todos los parámetros medidos, Maldonado (2004) establece que la fase de filtración es la responsable de la producción de agua de calidad, debido a que permite remover las partículas presentes en el efluente tratado. Se infiere que la turbidez presente en el agua sedimentada luego de la coagulación-floculación se debía a partículas suspendidas que no decantaron en el tiempo de la fase de sedimentación (30 minutos), pero como se observó que el porcentaje de remoción de turbidez aumentó significativamente luego del filtrado, se puede concluir que los coagulantes produjeron flóculos de tamaño adecuado que fueron retenidos por el filtro y así ser removidos. Los resultados obtenidos después del proceso de filtración para las dosis óptimas son presentados en la **Tabla 7**.

Los valores de turbidez filtrada para las dosis con semillas de tamarindo no desgrasadas oscilaron entre 0,97 y 1,56 UNT. Resultado similar fue obtenido por Sarker, Rahman, Jakarin, Moniruzzaman & Khabir (2014), quienes obtuvieron un valor promedio residual de turbidez después del proceso de filtración de muestras de aguas superficiales tratadas con semillas de tamarindo de 1,25 UNT con dosis de 75 mg/L.

Con respecto a la turbidez se observa que la tendencia se mantiene similar que antes del filtrado, en aguas de alta turbidez se obtuvo la mayor remoción, en aguas con turbidez media (25 – 100 UNT) se obtuvieron altos porcentajes de remoción entre 95,2% y 99,2%, y para las

## Remoción de Turbidez Usando Semillas de *Tamarindus indica* como Coagulante en la Potabilización de Aguas

aguas de baja turbidez se obtuvieron los porcentajes más bajos, inferiores a 95%, pero superiores al 90%.

**Tabla 7.** Dosis óptima de las semillas de tamarindo (*T. indica*) para los diferentes valores de turbidez inicial después de filtración

To (UNT)	Co (UC Pt-Co)	C	DO (mg/L)	Tf (UNT)	CV (UC Pt-Co)	pH	Sólidos totales (mg/L)
10	5	STG	100	0,97 ± 0,42	2,5 ± 1,44	6,06 ± 0,14	50 ± 0
		SDG	25	1,71 ± 0,66	5,00 ± 0,00	7,21 ± 0,17	83 ± 57
15	5	STG	250	1,20 ± 0,50	2,5 ± 0,00	6,67 ± 0,31	33 ± 28
		SDG	100	2,19 ± 0,58	5,00 ± 0,00	7,27 ± 0,27	83 ± 28
25	10	STG	50	1,20 ± 0,33	5,00 ± 2,50	6,72 ± 0,13	66 ± 28
		SDG	100	3,51 ± 0,50	5,00 ± 0,00	6,94 ± 0,04	67 ± 57
50	10	STG	50	1,56 ± 0,19	5,00 ± 0,00	6,47 ± 0,40	66 ± 28
		SDG	500	4,19 ± 0,32	5,00 ± 0,00	6,80 ± 0,08	133 ± 104
75	10	STG	50	1,28 ± 0,19	5,00 ± 0,00	7,35 ± 0,27	16 ± 28
		SDG	500	5,37 ± 1,28	7,5 ± 2,50	6,96 ± 0,03	66 ± 28
100	10	STG	25	0,73 ± 0,31	2,5 ± 0,00	6,64 ± 0,06	83 ± 28
		SDG	10	5,90 ± 0,53	5,00 ± 2,50	7,37 ± 0,48	100 ± 50
200	10	STG	50	1,05 ± 0,18	2,5 ± 1,50	6,79 ± 0,09	83 ± 28
		SDG	10	7,81 ± 0,35	7,5 ± 2,50	6,90 ± 0,16	116 ± 76

n=3, n: Número de mediciones realizadas a cada parámetro. STG: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T.indica*) con grasas y aceites STD: Solución coagulante preparada a partir de semillas de tamarindo (*T.indica*) desgrasadas. To: Color inicial. Co: Color inicial. C: Coagulante. DO: Dosis óptima. CV: Color verdadero.

De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia la efectividad que tiene el filtrado en el tratamiento de las muestras, los porcentajes de remoción de turbidez aumentaron considerablemente sobre todo en aguas con turbideces inicial bajas de 10 UNT y 15 UNT, las cuales previo al filtrado no presentaron los mejores valores de turbidez decantada.

Los resultados logrados por el coagulante preparado con semillas de *T. indica* no desgrasadas fueron superiores a los obtenidos por Parra *et al.*, (2011) luego del filtrado, al emplear la dosis óptima de coagulante natural extraído del mucílago de *Opuntia wentiana* (Cactaceae), la cual fue de 600 mg/L para aguas con turbidez inicial de 200 UNT llegando a alcanzar un porcentaje de remoción luego del filtrado igual a 98,3%.

El color verdadero obtenido para las muestras de coagulante de semillas de *T. indica* con grasas y aceites cumplieron con lo establecido en la norma sanitaria venezolana (Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395, 1998) respecto al valor deseable de color del agua potable, el cual es  $< 5$  UCV, se obtuvo un color mínimo de 2,5 UCV en aguas de 10, 15, 100 y 200 UNT. Para las semillas desgrasadas, a excepción de las aguas de 75 y 200 UNT (de media y alta turbidez, respectivamente) cumplieron con el valor deseable establecido por la normativa.

#### 4. CONCLUSIONES

Las semillas de tamarindo (*T. indica*) presentan bajos contenidos de aceites y grasas, así como también de humedad, siendo éstos de 7,63% y 2,11% respectivamente; características que son intrínsecas de este tipo de semillas.

Las semillas de tamarindo sin desgrasar alcanzaron una efectividad en la remoción de turbidez de 97,6% y en la remoción de color un 75 %, siendo más efectivas en aguas de alta turbidez (200 UNT) empleando una dosis de 50 mg/L, resultando más efectivas que las semillas desgrasadas. En el caso de las semillas desgrasadas alcanzaron niveles de remoción de 82,3% y en la remoción de color un 50% en aguas de alta turbidez, aplicando dosis de coagulante 10 mg/L para el mismo nivel de turbidez.

El uso de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) con grasas y desgrasados como coagulante natural disminuyó los valores de turbidez inicial de todas las aguas alcanzando porcentajes de remoción de turbidez en un rango de 99,2% y 99,5%, con dosis de 25 y 50 mg/L respectivamente.

La concentración de sólidos totales luego de la aplicación del coagulante natural oscilaron entre 100 y 200 mg/L, mientras que para la alcalinidad total las concentraciones variaron entre 60,8 y 84,4 mg CaCO<sub>3</sub>/L, valores que brindan una capacidad amortiguadora que evita el brusco descenso del pH.

Las soluciones preparadas en base a las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) con grasas y aceites pueden ser utilizadas debido a que al realizar los tratamientos coagulación, floculación, sedimentación y filtración, se alcanzaron los niveles deseables de color y turbidez establecidos en la normativa venezolana.

## 5. REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF). (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st edition. American Public Health Association. Washington, D.C. USA. 1714 pp
- Arboleda, J. (2000). Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Tomo I. McGraw Hill. Bogotá, Colombia.
- Arcila, H. & Jaramillo, J. (2016). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 11 (2), 136-153.
- Aziz, H., Yii, Y., Zaynal, S., Ramil, S. & Akinbile, C. (2018). Effects of using *Tamarindus indica* Seeds as a natural coagulant aid in landfill leachate treatment. Global NEST Journal, 20(2), 373-380.
- Barrenechea, A. (2004). OPS/CEPIS. Tratamiento de Aguas para Consumo Humano. Manual I, tomo I. Lima, Perú.
- Bina, B., Mehdinejad, H., Nikaeen, M., & Movahedian, H. (2009). Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbid waters. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 6(4), 247-252.
- Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J. & Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. Boletín del Centro de Investigación Biológicas, 41(2), 244-254.
- Campos J.; G. Colina; N. Fernández; G., Torres; B. Sulbarán & G. Ojeda (2003). Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de *Moringa oleifera* mediante HPLC. Boletín del Centro de Investigaciones, 37(1), 35-43.
- Carrasquero, S., Lozano, Y., García, M., Camacho, M., Rincón, A. & Mas y Rubí, M. (2015). Eficiencia de las semillas de durazno (*Prunus persica*) como coagulante en la potabilización de aguas. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 49(3), 239-255.
- Carrasquero, S., Ferreira, M., Mezzoni, V., Acosta, R., Marin, J. & Colina, G. (2016). Efectividad del quitosano en la clarificación de aguas para una industria procesadora de alimentos. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V. 31(2), 57-68.
- Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, E., Parra, P., Marín, J. & Díaz, A. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 13(2), 90-99.
- De Sousa, C, Correia, A. & Colmenares, M. (2010). Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. Boletín de Malariología y Salud Ambiental, 50(2), 187-196.
- Dorea, C. (2006). Use of *Moringa* spp. seeds for coagulation: A review of a sustainable option. Water Science, 6(1), 219-227.
- Effendi, H., Hydayah R. & Hariyadi, S. (2017). *Tamarindus indica* seed a natural coagulant for traditional gold mining wastewater treatment. World Applied Sciences Journal, 35 (3), 330-333,
- Fuentes, I., Mendoza, I., Ángela, S., López, M., Castro, M., & Urdaneta, C. (2011). Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad del Zulia, 34(1), 48-56.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36395. (1998). Normas sanitarias de calidad del agua potable. No. 36.395, de fecha 13 de febrero de 1998.
- Gurdián, R. & Coto, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. Tecnología en marcha, 24(2), 18- 26.
- Gurdián, R., Coto, J., & Salgado, V. (2009). Coagulantes naturales y tradicionales para depuración aguas residuales. Heredia, Costa Rica. Académica Española.
- Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C. & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Revista Actualidad y Divulgación científica, 16(1), 253–262.

- Hernández, B., Mendoza, I., Salamanca, M., Fuentes, L. & Caldera, Y. (2013). Semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en aguas con alta turbiedad. REDIELUZ, 3(1-2), 91-96
- Kiely, G. (1999). Ingeniería ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías, y sistemas de gestión. Madrid, España. Editorial McGraw-Hill.
- .Koohestanian, A., Hosseini, M. & Abbasian, Z. (2008).The separation Method for Removing of Colloidal Particles from Raw Water. Americas-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 4(2), 226-273.
- Laksmi, V., Janani, R., Anju, G. & Roopa, V. (2017). Comparative study of natural coagulants in removing turbidity from industrial wastewater. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 6(6), 264-269.
- López, Y., Díaz, A., Vargas, L., Más y Rubí, M., Colina, G., Sulbarán, B. & Peña, J. (2008), Eficiencia de las semillas *Leucaena leucocephala* y *Albizia lebbbeck* en el proceso de coagulación del agua. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 42(1), 1-20.
- Maldonado, V. (2004). OPS/CEPIS. Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Plantas de filtración rápida. Manual I, Tomo II Capítulos 7 y 9: Sedimentación y Filtración. Lima, Perú. pp. 2-152.
- Martínez, U., Marquina C., Carrasquero, S., Martínez, M., Rodríguez, C. & Morris, A. (2017). El extracto de semillas de mango (*Mangifera indica* L.) como coagulante natural en la potabilización de aguas. Proceedings of 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Global Partnerships for Development and Engineering Education". Boca Raton, FL, USA.
- Más y Rubí, M., Martínez, D., Carrasquero, S. & Vargas, L. (2011). Uso de la *Moringa oleifera* para el mejoramiento de la calidad del agua de un efluente doméstico proveniente de lagunas de estabilización. Boletín del centro de investigaciones biológicas. 45(2), 169-180.
- Más y Rubí, M., Martínez, D., Carrasquero, S., Rincón A. & Vargas, L. (2012). Eficiencia de las semillas de *Hymenaea courbaril* como coagulante natural en el proceso de clarificación del agua. REDIELUZ, 2(2), 123-128.
- Mejías, D., Delgado, M., Más y Rubí, M., Chacín, E. & Fernández, N. (2010). Uso potencial del exudado gomoso de *Cedrela odorata* como agente coagulante para el tratamiento de las aguas destinadas a consumo humano. Revista Forestal Venezolana, 54(2), 147-153.
- Miller, S., Fugate, E., Craver, V., Smith, J. & Zimmerman, J. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* ssp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. Environmental Science & Technology, 42 (12), 4274-4279.
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C. & Escobar, J. (2011). Efectos del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. Revista EIA, 16, 137-148.
- Normas Covenin. (1980). 1553-80 Norma venezolana. Productos cereales y leguminosos. Determinación de grasas. COVENIN No. 1553-80.
- Normas Covenin. (1981a). 1783-81 Norma venezolana. Productos cereales y leguminosos. Determinación de cenizas. COVENIN No. 1783-81.
- Normas Covenin. (1981b). 1785-81 Norma venezolana. Productos cereales y leguminosos. Determinación de grasas. COVENIN No. 1785-81.
- Panchal, B., Deshmukh, S. & Sharma, H. (2014). Optimization of oil extraction and characterization from *Tamarindus indica* Linn seed oil. International journal of oil, gasoil and coal engineering, 2(1), 1-6.
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y. & Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae), REDIELUZ, 1(1), 27-33.
- Pritchard, M., Mkandawire, T., Edmonson, A., O'Neill, J. & Kululanga, G. (2009). Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. Physics and Chemistry on the Earth, 34,799-805.

## Remoción de Turbidez Usando Semillas de *Tamarindus indica* como Coagulante en la Potabilización de Aguas

- Rahman, M, Sarker, P., Saha, B., Jakarin, N., Shammi, M., Uddin, M. & Sikder, M. (2015). Removal of turbidity from the river water using *Tamarindus indica* and *Litchi chinensi* seeds as natural coagulant. Journal of Environmental Protection and Policy, 3(2-1), 19-26.
- Salgado, M. (2018). Evaluación de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero agroindustrial. Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia. 70 p.
- Sarker, P., Rahman, M., Jakarin, N., Moniruzzaman, M. & Khabir, M. (2014). Potentiality of *Tamarindus indica*, *Litchi chinensis* and *Dolichos lablab* seeds as coagulant for the removal of turbidity of surface water. Jahangirnagar University Environmental Bulletin, 3, 25-33.
- Vázquez, Y., Batis, I, Alcocer, M. & Dirzo, S. (1999). Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y reforestación. Instituto de Ecología, UNAM, Ciudad de México, México. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO.
- Yusue, A., Mafio, B. & Ahmed, A (2007). Proximate and mineral composition of *Tamarindus indica* Linn 1753 seeds. Science World. Journal. 2, 1-5.
- Yin, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. Process Biochemistry, 45(9), 1437-1444.

# CONJETURA DE GOLDBACH, NÚMEROS NATURALES Y TEOREMA DE NÚMEROS PRIMOS

Ing. Yandry Intriago Delgado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Docente a tiempo completo “Unidad Educativa Fiscal Rocafuerte”.

\*Autor para la correspondencia. E-mail: yanmar83@hotmail.com

Recibido: 30-11-2018 / Aceptado: 30-1-2019

## RESUMEN

Mediante el uso de Geogebra en el siguiente manuscrito se realiza un análisis de la conjetura de Goldbach, posteriormente se comprueba mediante expresiones algebraicas que siempre existe una cantidad mínima de elementos primos que hacen que se cumpla la conjetura para cualquier número natural par ( $2N$ ). Se toma en consideración el gráfico que es generado mediante el Método Gráfico de la Conjetura de Goldbach, en el que se examinan cada una de las variables que intervienen en el eje de las ordenadas y las abscisas. Luego de esto, se estudian ciertos números pares conocidos en los que se sabe la cantidad de primos existentes, posteriormente se separa a cualquier número  $2N$  en intervalos desde 1 a  $N$  y desde  $N$  hasta  $2N$ , encontrando así que la cantidad de primos en el primer intervalo mencionado es superior a la cantidad de elementos primos del segundo, con estos resultados y el análisis realizado a la gráfica del Método Gráfico antes mencionado, se llega a la conclusión que la distribución de los primos está relacionada con la función logaritmo natural; tal como está expresado en el Teorema de los Números Primos, pero en este caso; con una ligera variante para cada uno de los intervalos antes mencionados. Se realiza posteriormente un análisis de probabilidad que comprueba que la cantidad de intersecciones que se producen está intrínsecamente relacionada con las funciones que limitan la cantidad de elementos primos, que esto a su vez también se relaciona con la función  $\pi(x)$  propuesta por Gauss.

**Palabras clave:** Conjetura Goldbach, Teorema, números primos.

## GOLDBACH CONJECTURE, NATURAL NUMBERS AND THE PRIME NUMBERS THEOREM

### ABSTRACT

By using Geogebra in the following manuscript, an analysis of the Goldbach conjecture is made. It has been verified through algebraic expressions that there is always a minimum amount of prime elements that make the conjecture for any natural pair number ( $2N$ ). The graph that is generated by the Graphical Method of the Goldbach Conjecture is taken into consideration, in which the variables that intervene in the axis of the ordinates and the abscissas are examined. After this, certain known even numbers were studied which the number of existing prime numbers is known. Later, it is separated from any  $2N$  number in intervals from 1 to  $N$  and from  $N$  to  $2N$ , thus, finding the prime numbers in the first one. The aforementioned interval is greater than the number of prime elements of the second, with these results and the analysis made to the graph of the aforementioned Graphic Method, it is concluded that the distribution of the primes is related to the natural logarithm function; as it is expressed in the Theorem of the Prime Numbers, but in this case with a slight variant for each of the aforementioned intervals. A probability analysis to verify that the number of intersections that



occur is intrinsically related to the function that limits the number of prime elements was performed. This is also related to the function  $\pi(x)$  proposed by Gauss.

**Key words:** Goldbach conjecture, Prime number, theorem.

## CONJECTURA DE GOLDBACH, NÚMEROS NATURAIS E O TEOREMA DE NÚMEROS PRIMOS

### RESUMO

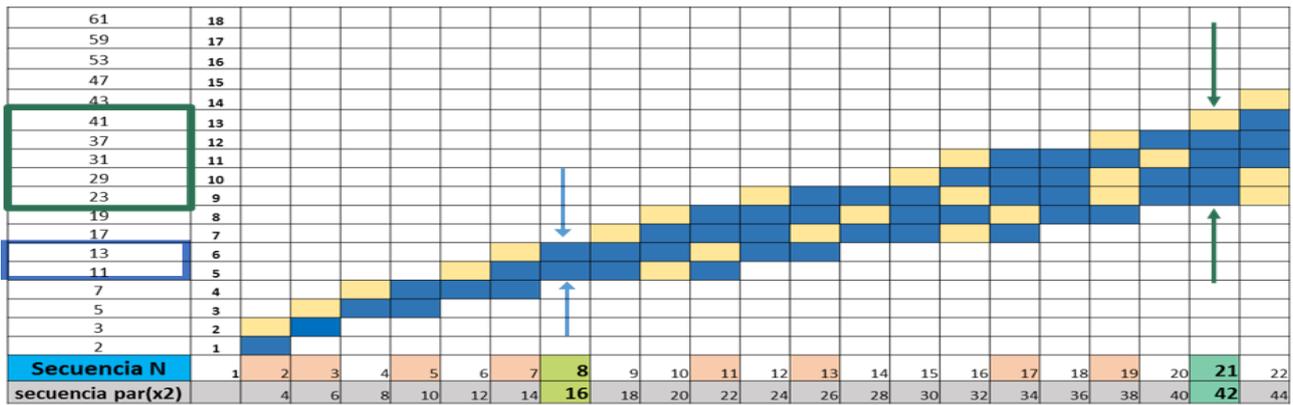
Usando Geogebra no seguinte manuscrito, uma análise da conjectura de Goldbach é feita, depois é verificado por expressões algébricas que há sempre uma quantidade mínima de elementos primos que fazem a conjectura para qualquer número natural par ( $2N$ ). O gráfico que é gerado pelo Método Gráfico da Conjectura de Goldbach é levado em consideração, no qual cada uma das variáveis que intervêm no eixo das ordenadas e das abscissas é examinada. Depois disto, nós estudamos certos números pares conhecidos nos quais o número de primos existentes é conhecido, então ele é separado para qualquer número  $2N$  em intervalos de 1 a  $N$  e de  $N$  a  $2N$ , achando que o número de primos no primeiro intervalo acima mencionado é maior que o número de elementos primos do segundo, com esses resultados e a análise feita no gráfico do Método Gráfico supracitado, conclui-se que a distribuição dos primos está relacionada à função do logaritmo natural; como expresso no Teorema dos Números Primos, mas neste caso; com uma ligeira variante para cada um dos intervalos acima mencionados. Uma análise de probabilidade é então realizada, que verifica que o número de interseções que ocorrem está intrinsecamente relacionado às funções que limitam o número de elementos primos, que por sua vez também se relaciona com a função  $\pi(x)$  proposta por Gauss.

**Palavras-chave:** Conjectura de Goldbach, Teorema, dos números primos.

### 1. INTRODUCCIÓN

Christian Goldbach (1690-1764) afirmó que: “Todo número par mayor que 2 puede escribirse como la suma de 2 números primos”. A lo largo de la historia notables matemáticos han puesto su interés en este postulado. En mayo de 2013, con el uso de técnicas matemáticas avanzadas se publicó un artículo en el cual se demostraba la conjetura débil de Goldbach, la cual afirma que: “Todo número impar se puede expresar como la sumatoria de 3 números primos”, (Helfgott, 2014). Dada la abundante información que se encuentra en internet, la influencia de divulgadores matemáticos como Paenza, según el video de YouTube “Números primos” ... (EduMates, 2010) o Sáenz; según el video de YouTube “Los números primos más grandes del mundo y ¡el enigma de los números perfectos!” ... (Derivando, 2017). El enfoque encontrado en L'ipotesi di Goldbach da una Congettura Statistica ad una Congettura Matematica (Salmeri & Salmeri, 2002); y en obras como The Number Mysteries (du Sautoy, 2010) y “La Soledad de los Números Primos” (Giordano, 2010); en el presente trabajo investigativo se ha desarrollado un estudio a partir del esquema triangular utilizado en Método gráfico de la conjetura de Goldbach (Intriago, 2018), siendo una herramienta eficaz para





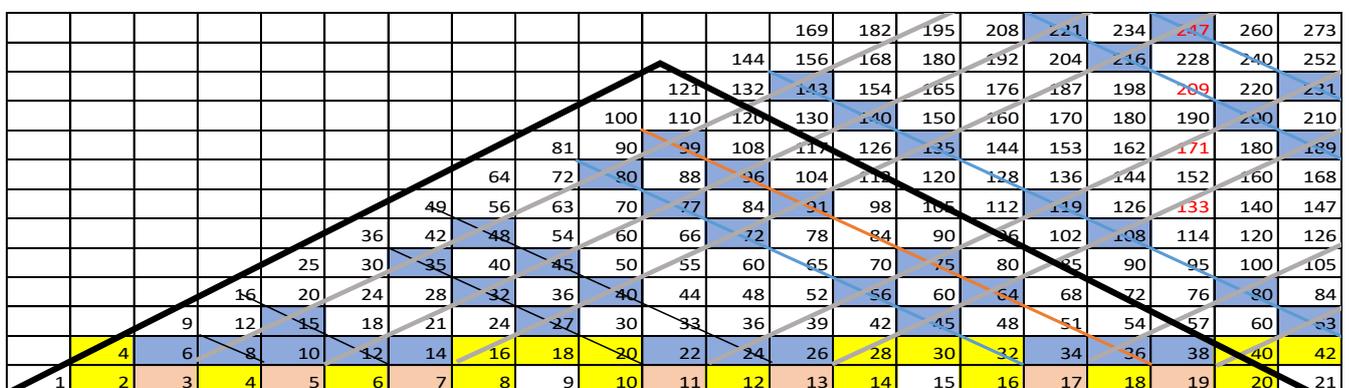
**Figura 2.** Distribución de pares generados para los números pares 16 y 42.

Se revisarán los números  $N$  y  $2N$  correspondientes; en el primer caso  $N = 8$  y  $2N = 16$ , dentro de este rango hay dos números primos que son el 11 y el 13. Antecedes a esta distribución los números primos 2, 3, 5 y 7. Se examinará a continuación el número par 42; entre los números  $N = 21$  y  $2N = 42$  existen 5 elementos primos: 23, 29, 31, 37 y 41. Los cuadros azules indican intersecciones válidas; nótese que no todos estos espacios ocupados por los números antes mencionados producen combinaciones efectivas de valores que cumplen con la Conjetura de Goldbach; cabe mencionar que la forma de la gráfica bajo la curva se asemeja a la función logaritmo natural:  $\ln N$ . A continuación, en la **Figura 3** se muestra el modelo bajo el cual se desarrollará esta investigación.



**Figura 3.** Intervalo de afectación de un número par.

Esta distribución se origina mediante triangulaciones; tal como se lo muestra en la **Figura 4**.



**Figura 4.** Triangulación realizada al número par 20

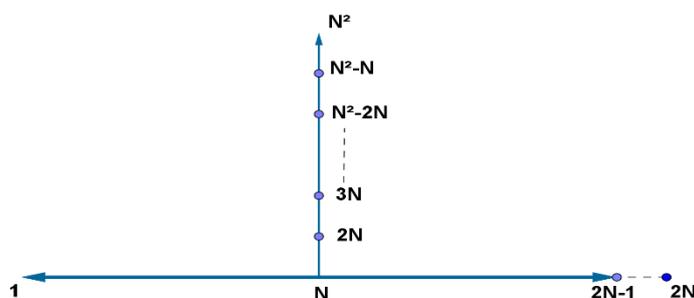
Como se puede notar de acuerdo a la triangulación efectuada, el número par evaluado no interfiere en la creación de líneas que puedan generar pares que cumplan con la conjetura de Goldbach. Como ya es conocido, para este procedimiento únicamente se grafican líneas en diagonales para los números primos. Esta forma de representar el conjunto de pares de primos que cumplen con la conjetura es similar a la desarrollada en An Exploration on Goldbach's Conjecture (Markakis, Provatidis, Markakis, 2013).

En la **Figura 5**, el número par evaluado es  $2N$ ; donde  $N$  es la mitad de este número. La relación de elementos iniciará con el primer elemento de los naturales (número 1) y terminará en el elemento impar que le antecede a  $2N$ , es decir;  $(2N - 1)$  pudiendo ser éste: primo o compuesto.



**Figura 5.** Intervalo de afectación de un determinado número par  $2N$ .

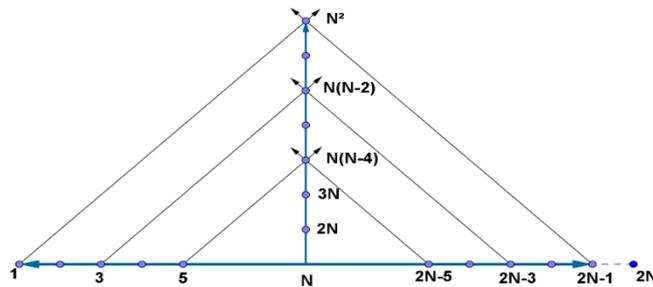
En la **Figura 6** se aprecia que en sentido vertical existe  $N$  cantidad de espacios donde puede existir intersecciones de números que cumplen con la Conjetura de Goldbach, la colocación de los espacios verticales antes mencionados corresponden a los múltiplos de  $N$ , iniciando su distribución desde  $(1)$  hasta  $((N) \cdot (N))$  o  $N^2$ .



**Figura 6.** Relación de  $N$  en sentido vertical.

En esta distribución  $N$  puede ser par o impar, por lo tanto; podría ser un número primo. Los lugares donde existen combinaciones efectivas son los espacios que se encuentran en sentido vertical de secuencia:  $N^2, N(N - 2), N(N - 4), \dots$  hasta llegar a  $3N$  (vertical) cuando el natural evaluado es impar, alcanzará el punto  $2N$  cuando el natural evaluado es un número par que se encuentra entre 2 números primos (primos gemelos), o cuando  $N$  es un número primo.

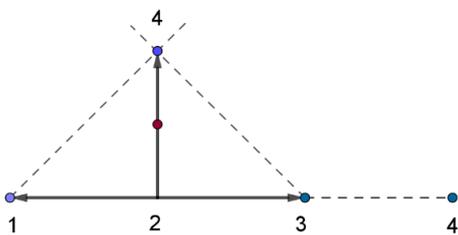
Si se suman los puntos 1 y  $(2N - 1)$ , su resultado será  $2N$ ; así mismo, cualquier punto equidistante siempre dará como resultado el número par que se está evaluando. Como se lo muestra en la **Figura 7**.



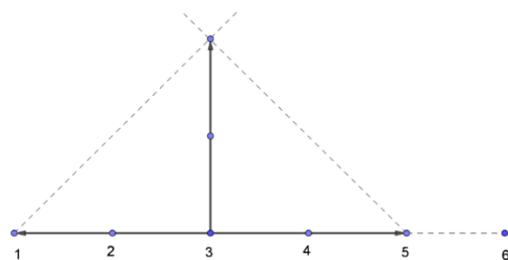
**Figura 7.** Lugares donde se generan intersecciones en N vertical.

No todas las intersecciones que se generan cumplirán con la Conjetura de Goldbach debido a la distribución irregular que poseen los números primos (Cilleruelo, 2000), además; se considera que, así como va creciendo la secuencia de los naturales, aumenta la cantidad de números impares compuestos y decrece la cantidad de elementos primos.

En la **Figura 8 a**. se examina la distribución que posee el número par 4.



**Figura 8 a.** Análisis del número par 4



**Figura 8 b.** Análisis del número par 6

Como se puede notar, este número no genera una intersección efectiva; ya que únicamente se relaciona el 1 y el 3, y como es conocido, el 1 no es un número primo; sin embargo, al ser el 2 un número primo, generará una intersección al relacionarse consigo mismo. En la **Figura 8b** se observa que la única combinación que forma el primer número primo impar (número 3), es consigo mismo, para crear el número par 6.

Para esta distribución se podría considerar el siguiente intervalo de afectación para cualquier número par  $[1 ; (N - 1)] \cup N \cup [(N + 1) ; 2N]$ , esta expresión está representada en la **Figura 9**.

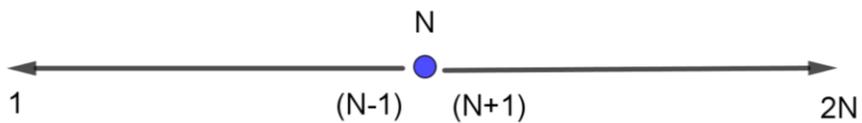


Figura 9. Análisis de intervalos de 1 a 2N.

Como se indica en la **Figura 10**, de ahora en adelante se considerará al intervalo  $[1; (N - 1)]$  como “x”, y al intervalo  $[(N + 1); 2N]$ ; como “y”

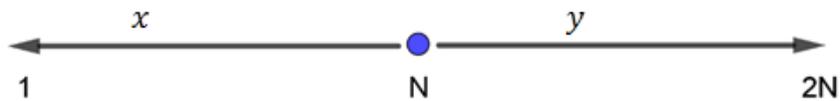


Figura 10. Delimitación de intervalos x e y.

Ejemplo 1: En la **Figura 11** se examinará al número par  $(N_p)$  10000.



Figura 11. Análisis del número par 10000.

Para este ejemplo en  $x$  existen 2500 números impares; 668 de ellos son primos, en  $y$  igual cantidad de impares; habiendo 559 elementos primos, el 5000 es un número par.

Ejemplo 2: En la **Figura 12** se examinará al número par  $(N_p)$  100000.



Figura 12. Análisis del número par 100000.

En este ejemplo, para  $x$  existen 25000 números impares; 5132 de ellos son primos, en  $y$  igual cantidad de impares, existiendo 4452 elementos primos, el 50000 es un número par.

Luego de analizar los ejemplos previos se puede deducir que: “ $x$ ” tiene mayor cantidad de valores primos; en relación a “ $y$ ” que tiene menor cantidad, como se puede apreciar en la **Figura 13**.

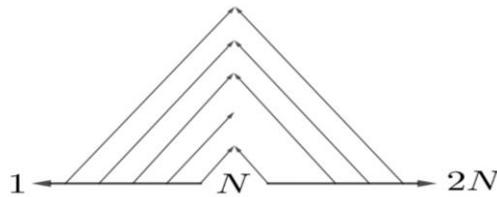


Figura 13. Análisis resultante de los ejemplos 1 y 2

Estos intervalos tienen una relación definida para números muy grandes, en donde se desconoce la cantidad de primos existentes. Es conveniente tener una estimación de la cantidad aproximada de números primos presentes en cada uno de los intervalos estudiados ( $x$  e  $y$ ) que se analizaron previamente. La curva generada por la distribución mostrada en la **Figura 1** seguía un patrón similar al de la función  $\ln N$  en el intervalo de 1 a  $2N$ . Para aproximar lo que ocurre en cada uno de los intervalos se usarán las siguientes expresiones y se realizará el siguiente análisis en la **Figura 14**:

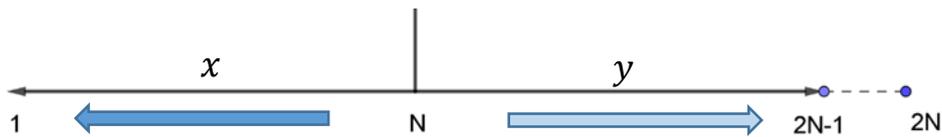


Figura 14. Análisis del valor de la constante R.

$$x_i \approx \frac{N}{\ln N + R_x} \quad (1)$$

$$y_i \approx \frac{N}{\ln N + R_y} \quad (2)$$

$R_x$  y  $R_y$  serán constantes propias de cada intervalo estudiado, ya que como se observa en los resultados:  $x$  posee siempre más elementos primos que  $y$ .

En el intervalo  $x$ : de  $N$  a 1 como se muestra en la **Figura 14**, 1 está a la izquierda de  $N$ , por consiguiente es negativo (-); por lo tanto  $R_x = -1$ .

En el intervalo  $y$ : de  $N$  a  $(2N - 1)$ , como se aprecia en la **Figura 14**,  $N$  por la derecha es positivo (+) y alcanza su máximo en  $2N - 1$ , en este caso se igualará a 0 este valor.

$$2N - 1 = 0$$

$$N = \frac{1}{2} = R_y$$

Este último resultado es igual al límite del factor  $\mathbb{E}(Z_n)$  utilizado por Mutafchiev (2016). Se llamará  $x_i$  (3) a la cantidad de primos existentes en el intervalo  $x$ , y se denominará  $y_i$  (4) a la cantidad de primos existentes en el intervalo  $y$ . Luego de realizar los respectivos procedimientos se tienen las expresiones:

$$x_i \approx \frac{N}{\ln N - 1} \quad (3)$$

$$y_i \approx \frac{N}{\ln N + \frac{1}{2}}$$

$$y_i \approx \frac{2N}{(2\ln N + 1)} \quad (4)$$

$$x_i > y_i$$

Ejemplo 3: Se examinará al número par  $(N_p) 1 \times 10^{20}$ .

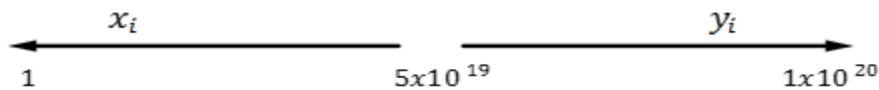


Figura 15. Análisis del número par  $1 \times 10^{20}$

A partir de los datos de la **Figura 15**. Se tiene que:  $N = 5 \times 10^{19}$  y  $2N = 1 \times 10^{20}$

Se aplicarán las fórmulas anteriormente descritas para estimar los primos existentes en cada intervalo:

$$x_i \approx \frac{N}{\ln N - 1}$$

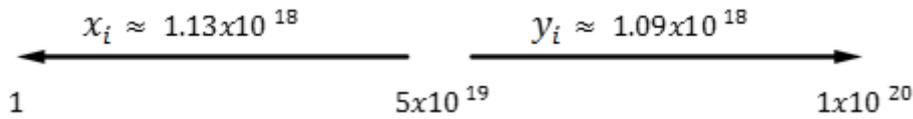
$$x_i \approx \frac{5 \times 10^{19}}{\ln 5 \times 10^{19} - 1}$$

$$x_i \approx 1,13 \times 10^{18}$$

$$y_i \approx \frac{N}{(2\ln N + 1)}$$

$$y_i \approx \frac{5 \times 10^{19}}{2\ln 5 \times 10^{19} + 1}$$

$$y_i \approx 1,09 \times 10^{18}$$

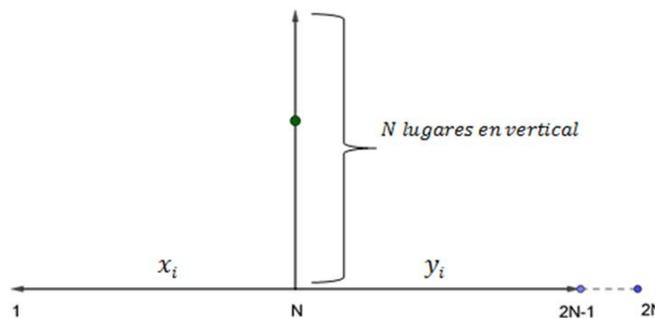


**Figura 16.** Distribución aproximada de primos para el número par  $1x10^{20}$

El número par  $1x10^{20}$  tiene aproximadamente  $1.13x10^{18}$  números primos en el intervalo  $x$ , y  $1.09x10^{18}$  números primos en el intervalo  $y$ . La distribución resultante de primos está representada en la **Figura 16**. Como dato adicional  $(x_i + y_i)$  representan el 2.2% de  $1x10^{20}$ . Si al número  $1x10^{20}$  se lo evaluara con la expresión (1) se tendría como resultado  $2.21x10^{18}$ , que es el mismo valor que se obtendría al sumar los primos de los intervalos  $x_i$  con  $y_i$ .

### 2.1. Cantidad de Intersecciones, cálculo Analítico

Para todo número natural par  $(2N)$  de  $N$  a  $N^2$  en sentido vertical posee  $N$  lugares, donde probablemente existen intersecciones de Goldbach. Antes de hacer cálculos se delimitarán las variables de este problema. Primero se usará la expresión  $N_V$  para hacer referencia al lugar o los lugares donde existe una intersección de elementos impares equidistantes en sentido vertical, correspondiente a los números del conjunto vertical; los cuales son la secuencia de múltiplos de  $N$  como se lo muestra en la **Figura 17**.



**Figura 17.** Delimitación de las variables  $x_i, y_i, N_V$ .

La expresión  $P(\phi)$  (5) indicará la probabilidad de que en algún lugar; entre 1 y  $2N$ , un elemento de  $x$  por la izquierda estará en un punto equidistante con otro elemento de  $y$  por la derecha.

$$P(\phi) = P(x_i \cap y_i) \quad (5)$$

Por otro lado  $D_V(\phi|V)$  (6) indica la mínima cantidad de veces en las cuales un determinado número par se ha intersectado en  $N$  vertical ( $N_V$ ).

$$D_V(\phi|V) = \frac{P(x_i \cap y_i)}{P(V)} \quad (6)$$

Hay que tener en cuenta que tanto para el intervalo  $x$ ; así como en el  $y$ , los lugares que ocupan los impares son la mitad de los números naturales existentes; es decir:

$$x_i \approx \lim_{N \rightarrow (\frac{N}{2})} \frac{N}{\ln N + R_x} = \frac{N}{2(\ln(\frac{N}{2}) - 1)} \quad (7)$$

$$y_i \approx \lim_{N \rightarrow (\frac{N}{2})} \frac{N}{\ln N + R_y} = \frac{N}{(2\ln(\frac{N}{2}) + 1)} \quad (8)$$

Las expresiones (3) y (4) son equivalentes con (7) y (8) respectivamente, las mismas sirven para determinar la cantidad de primos para cualquier número  $N$ , sea este: par o impar. A continuación, se calculará la probabilidad que existe de que un elemento  $x_i$  se encuentre en algún lugar de  $N$  en el intervalo  $x$ .

$$P(x_i) = \frac{x_i}{N}$$

$$P(x_i) = \frac{\frac{N}{2(\ln(N/2) - 1)}}{\frac{N}{2}}$$

$$P(x_i) = \frac{2}{(2\ln(N/2) - 2)}$$

Por conveniencia, en este punto no se simplifica la expresión. Ahora se calculará la probabilidad de que un elemento  $y_i$  se encuentre en algún lugar de  $N$  en el intervalo  $y$ .

$$P(y_i) = \frac{y_i}{N}$$

$$P(y_i) = \frac{\frac{N}{(2\ln(N/2) + 1)}}{\frac{N}{2}}$$

$$P(y_i) = \frac{2}{(2\ln(N/2) + 1)}$$

La siguiente expresión indica la probabilidad de que tanto los elementos primos de  $x_i$  así como los de  $y_i$  se encuentran en un lugar equidistante el uno del otro.

$$P(\phi) = P(x_i) \cdot P(y_i)$$

$$P(\phi) = \left( \frac{2}{(2\ln(N/2) - 2)} \right) \cdot \left( \frac{2}{(2\ln(N/2) + 1)} \right)$$

$$P(\phi) = \frac{4}{(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)}$$

Luego se debe calcular la probabilidad de encontrar una intersección en  $N_V$ , en donde solo se podrían dar intersecciones en la mitad de sus elementos.

$$P(V) = \frac{1}{N/2}$$

Para finalizar:

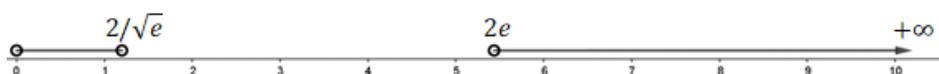
$$D_V(\phi|V) = \frac{P(\phi)}{P(V)}$$

$$D_V(\phi|V) = \frac{2N}{(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)} = \frac{N}{(\ln(N/2) - 1)(2\ln(N/2) + 1)}$$

$$(0 < N < (2/\sqrt{e})) \wedge (N > 2e)$$

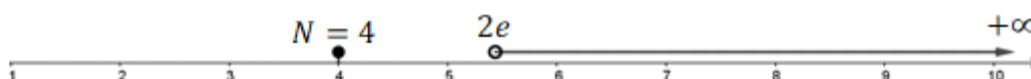
$$Dom: \{(0; 2/\sqrt{e}) \cup (2e; +\infty)\}$$

La expresión (6) indica la cantidad mínima de intersecciones que tiene un determinado número par en  $N_V$ , el dominio de esta función está representado en la **Figura 18**.



**Figura 18.** Dominio de la función  $D_V$ .

El único primo par (número 2), originará una intersección consigo mismo (número 4). En la **Figura 19**, se representa la distribución de los números que cumplen la conjetura de Goldbach. El intervalo  $(0; 2/\sqrt{e})$  se desecha para este cálculo por obvias razones, y como se puede apreciar; todo  $2N \geq 4$  cumple con la conjetura.



**Figura 19.** Distribución de números pares que cumplen la Conjetura de Goldbach.

Si a la expresión  $D_V$  se le aplica límite cuando  $N \rightarrow \infty$ , usando la regla de L'Hôpital, se obtendrá:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} D_V = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{2N}{(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} D_V = +\infty$$

## 2.2. Análisis de las Funciones $f(N)$ y $g(N)$ .

Para el presente análisis se considerará lo siguiente:

$x_i$ , representa a la cantidad de primos existentes en el intervalo  $x$ .

$y_i$ , la cantidad de primos existentes en el intervalo  $y$ .

En este punto  $x_i$ , así como  $y_i$  serán considerados como funciones de  $N$ ; desde  $N > 2e$

$$f(N) = x_i; g(N) = y_i$$

Se realizará la suma de las funciones  $f$  y  $g$  (expresión 9):

$$\sigma(N) = f(N) + g(N)$$

$$\sigma(N) \approx \frac{N}{(2\ln(N/2) - 2)} + \frac{N}{(2\ln(N/2) + 1)}$$

$$\sigma(N) \approx \frac{4N \ln(N/2) - N}{(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)} \quad (9)$$

A continuación, la fórmula (10) indica la operación resta entre  $f$  y  $g$ :

$$\psi(N) = f(N) - g(N)$$

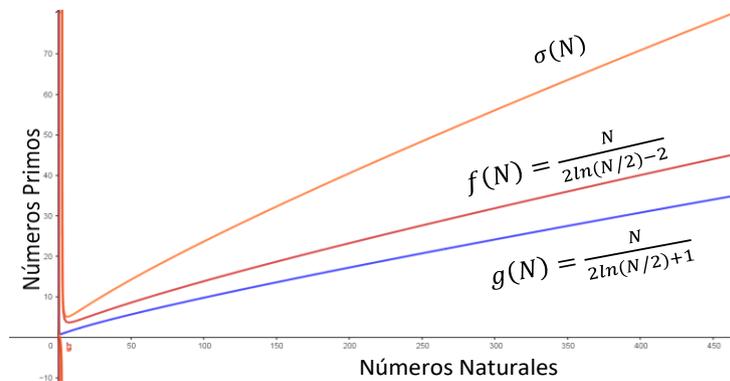
$$\psi(N) \approx \frac{N}{(2\ln(N/2) - 2)} - \frac{N}{(2\ln(N/2) + 1)}$$

$$\psi(N) \approx \frac{3N}{(2 \ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)} \quad (10)$$

Se observa entonces que entre  $D_V(\phi|V)$  y  $\psi(N)$  existe una relación, la cual sería:

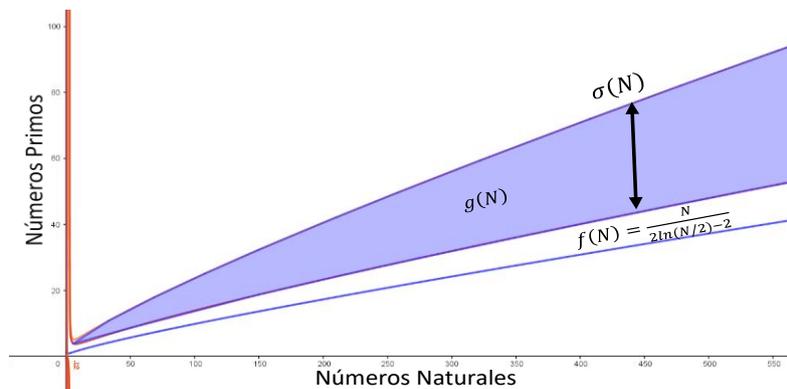
$$D_V(\phi|V) = \frac{2}{3}\psi(N) \quad (11)$$

En este caso,  $2/3$  es una aproximación a la constante de Hardy and Littlewood  $C_{twin} = 0.6601618158$  (Nazardonyavi, 2012). A continuación, en la **Figura 20** se representan de manera gráfica las funciones  $f(N)$  y  $g(N)$ ; en donde al eje de las abscisas le corresponde la secuencia de los números naturales ( $\mathbb{N}$ ) y al de las ordenadas; la secuencia ordinal de los números primos.



**Figura 20.** Funciones de N

A continuación, en la **Figura 21** de una forma más detallada se observa la forma de la función  $\sigma(N)$ , se aprecia que en el intervalo 0 a  $f(N)$  no se forman los elementos que cumplen la conjetura de Goldbach, la formación de los mismos se da desde la función  $f(N)$  hasta  $\sigma(N)$ . La función  $g(N)$  posee una menor cantidad de elementos primos, por lo tanto, delimita la cantidad de intersecciones.



**Figura 21.** Análisis de las funciones f, g y  $\sigma$

En este punto se puede hacer la siguiente observación: el área del cometa de Goldbach de la **Figura 22** siempre estará acotado desde la función  $f(N)$  hasta  $\sigma(N)$ :  $A_\sigma = \int_{2e}^{\infty} [\sigma(N) - f(N)] dN$ .

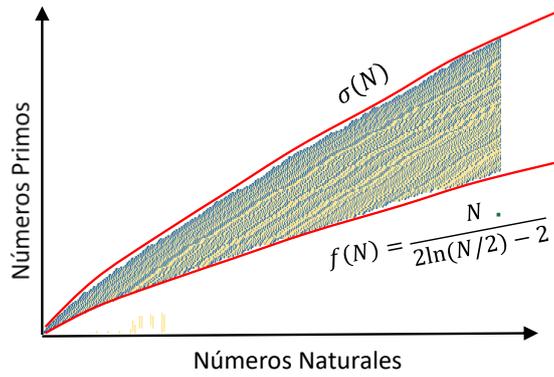


Figura 22. Cometa de Goldbach, relacionado con las funciones de N

En la Figura 23 está representada el área equivalente a la función  $\psi(N)$ , la cual sería:

$$A_{\psi} = \int_{2e}^{\infty} [f(N) - g(N)] dN$$

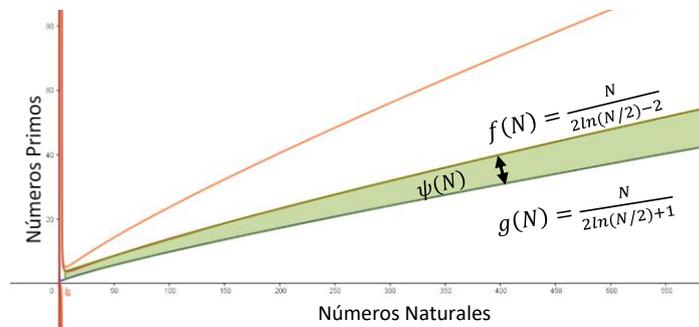


Figura 23. Gráfica del área de la función  $\psi$

En la Figura 24 se observa que a pesar de que la escala aumenta: siempre existirá un pequeño espacio entre la línea color azul y la de color rojo; es decir, el área que ocupa  $A_{\psi} = \int_{2e}^{\infty} [\psi(N)] dN$ . Esta región tiene relación con la probabilidad de intersección que tiene un determinado elemento  $N$ .

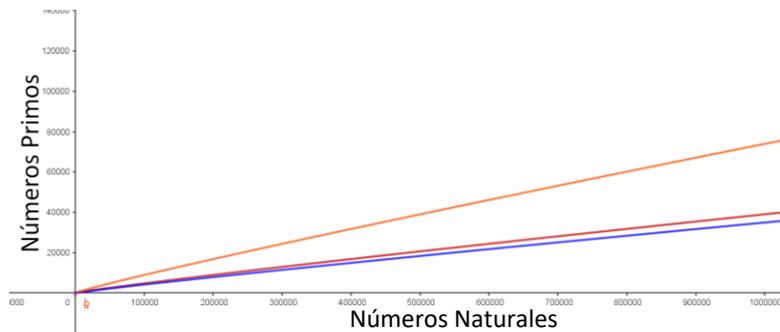
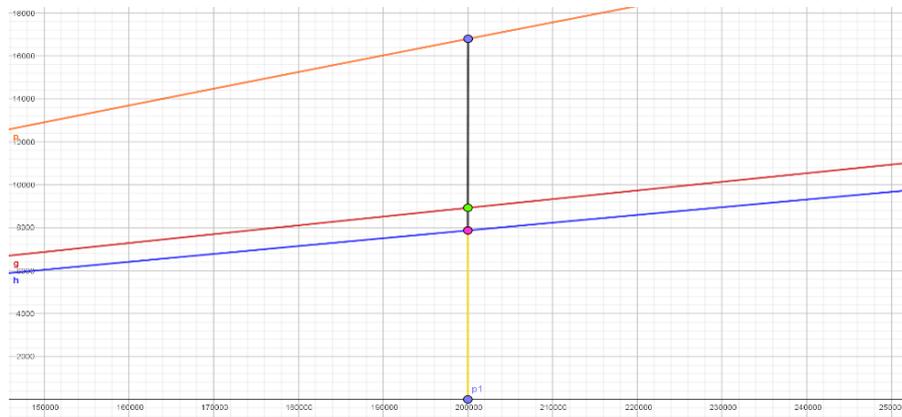


Figura 24. Gráfica de la función f-g para números de orden  $1 \times 10^6$

Ejemplo 4. En la **Figura 25** se analizará la distribución del número  $2 \times 10^5$  mediante geogebra y se calculará la cantidad mínima de pares numéricos que hacen cumplir la conjetura para este número.



**Figura 25.** Gráfica de la función f-g para el número par  $2 \times 10^5$

$$x_i \approx 9512.10$$

$$y_i \approx 8324.36$$

$$\psi(N) = x_i - y_i \approx 1187.73$$

$$D_V(\phi|V) = \frac{2}{3}(x_i - y_i) \approx 791.82$$

Para el número par  $2 \times 10^5$  existe una cantidad mínima de 792 lugares aproximadamente en N vertical, en donde la unión de 2 números primos hace que se cumpla la conjetura.

Cabe recalcar, que este cálculo se verificó de manera analítica para este problema.

### 2.3. Teorema fundamental de números primos

Este teorema ya fue demostrado por D.J. Newman (Ramos, 2003), en este caso se analizará con la función  $\sigma(N)$  la cual indica la cantidad de primos totales presentes para un determinado número de la secuencia  $\mathbb{N}$ .

$$\sigma(N) \approx \frac{4N \ln(N/2) - N}{(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)}$$

$$\pi \approx \sigma$$

$$\pi \approx \frac{4N \ln(N/2) - N}{(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)}$$

La expresión  $N/\text{Ln}(N/2)$  será el contador de primos para este caso, ya que “ $x/\text{Ln}x$  no es numéricamente una buena aproximación de  $\pi(x)$ ” (Chamizo, 2011).

$$\pi \approx \frac{N}{\text{Ln}(N/2)}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\pi}{[N/\text{Ln}(N/2)]} = 1$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\frac{4N \ln(N/2) - N}{(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)}}{\frac{N}{\text{Ln}(N/2)}}$$

Se realizan las operaciones indicadas:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\text{Ln}(N/2)(4N \ln(N/2) - N)}{N(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\cancel{N} \text{Ln}(N/2)(4 \ln(N/2) - 1)}{\cancel{N}(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{(4 \ln(N/2)^2 - \ln(N/2))}{(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{(4 \ln(N/2)^2 - \text{Ln}(N/2))}{4 \ln(N/2)^2 - 2\ln(N/2) - 2}$$

Se hace un cambio de variable:

$$z = \ln(N/2)$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{4z^2 - 1}{[4z^2 - 2z - 2]}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\frac{4z^2}{z^2} - \frac{1}{z^2}}{[\frac{4z^2}{z^2} - \frac{2z}{z^2} - \frac{2}{z^2}]}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{4 - \frac{1}{z^2}}{[4 - \frac{2}{z} - \frac{2}{z^2}]}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{4 - \frac{1}{\ln(N/2)^2}}{[4 - \frac{2}{\ln(N/2)} - \frac{2}{\ln(N/2)^2}]}$$

Se aplica límites y se considerará que si  $N$  crece a valores altos; el  $\ln N$  también lo hará. Además, cualquier natural dividido por un número grande tiende a 0.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{4}{4} = 1$$

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **Figura 4** por medio de relaciones se encontraron las ternas pitagóricas de la forma:  $(n; (n^2 - 1)/2; (n^2 + 1)/2)$  y  $(4n; (n^2 - 4); (n^2 + 4))$  con  $n$  impar, también la de forma  $(2n; n^2 - 1; n^2 + 1)$  para  $n$  par.

La **Figura 2** muestra en su borde inferior que la función que la genera tiene la forma de una curva logarítmica, esto no es algo novedoso, pues Gauss ya lo había descubierto. Posteriormente, luego de revisar muchos ejemplos con valores de números pares conocidos se modelan fórmulas, empleando la relación:  $x/(A \cdot \ln(x) + B)$  usada por Legendre para calcular con mayor precisión los valores de la relación de Gauss  $(x/\ln x)$ , en donde se determina la cantidad de primos presentes hasta un determinado número natural  $\mathbb{N}$ .

Cabe mencionar que los elementos del conjunto  $x$  y los del conjunto  $y$ ; señalados en la **Figura 10**, no tienen términos que sean iguales o que se intersecten en una relación de conjuntos, ya que como es conocido: cada número primo es único. La expresión (5) determina la probabilidad de contar con puntos equidistantes, en donde se intersectarán pares de números primos que harán cumplir la conjetura de Goldbach.

La expresión (9)  $\sigma(N)$  indica la cantidad de primos existentes hasta un determinado número  $\mathbb{N}$ , la aproximación que se le da en el presente trabajo al teorema de Gauss es  $\pi \approx (4N \ln N - N) / [(2 \ln N - 2)(2 \ln N + 1)]$ .

La expresión (10)  $\psi(N)$  está relacionada con la expresión (6),  $D_V(\phi|V)$  como se indica en la relación (11), esta última indica la cantidad de intersecciones mínimas que puede tener cualquier número par dentro de  $N$  vertical. Así mismo, la expresión (7) indica la cantidad máxima de intersecciones. De acuerdo al manuscrito: Método Gráfico de la Conjetura de Goldbach, existen números con mayor cantidad de intersecciones, como ocurre con los múltiplos de 5.

De acuerdo al análisis gráfico de Geogebra  $\sigma(N) \approx N / \ln N - 1$ . Además, se comprobó la cantidad de primos menores a  $1 \times 10^6$  con un error del 0,28%. Para el presente trabajo no se pudo llegar a evaluar cantidades extremadamente altas, pues no se contaba con una

supercomputadora para realizar esta tarea, aun así, se pudo determinar por medio de las fórmulas (7) y (8) y corroborar con el graficador de Geogebra, que existe una gran precisión para conocer la cantidad de números primos que se encuentran dentro de un intervalo  $N$  determinado. La cantidad  $\pi \approx N/\ln(N/2)$  es el contador de primos que se usa en el presente trabajo, pues su valor indica menos cantidad de error en comparación a  $\pi \approx N/\ln N$ .

Si se aplica límite cuando  $N \rightarrow \infty$  en la expresión (5), y probabilidad de intersección en vertical  $P(V)$ , se obtendrá como resultado 0 en ambos términos:  $\lim_{N \rightarrow \infty} D_V = \frac{P(\phi)}{P(V)} = \frac{0}{0} = ind.$ , lógicamente, cada vez que se avanza en la secuencia  $N$  hacia el infinito, decrece la cantidad de números primos. En la expresión:  $D_V(\phi|V) = 2N/[(2\ln(N/2) - 2)(2\ln(N/2) + 1)]$  se soluciona esta indeterminación al aplicar el límite cuando  $N \rightarrow \infty$ , se obtiene:  $\infty$ . Así mismo, se obtiene este resultado de límite en las ecuaciones: (8), (9), (10), y (11). En los cálculos de las áreas de las funciones  $\psi(N)$  y  $\sigma(N)$  se encuentra presente la integral exponencial  $Ei = \int_x^\infty \frac{e^x}{x} dx$ , esto podría indicar que las funciones aquí encontradas son convergentes, las integrales de este tipo son de la forma:  $Ei(x) = \gamma + \ln(x) - Ein(-x)$ , donde según Abramowitz & Stegun (1964)  $Ein(x) = \gamma + \ln(x) + \sum_1^\infty \frac{x^k}{k.k!} \approx e^x/x \left[ 1 + \frac{1!}{x} + \frac{2!}{x^2} + \frac{3!}{x^3} + \dots \right]$  ( $x \rightarrow \infty$ ), por lo tanto, hay series numéricas infinitas dentro de este cálculo. De acuerdo a la hipótesis de Riemann (Gracián, 2010) y la identidad de Euler (Gracián), análoga a ésta, se indica que existe una relación entre el conjunto de los  $\mathbb{N}$  y los números primos.

#### 4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se constata que;  $\{\forall N \in \mathbb{N} \wedge N' \in \mathbb{N} \exists (x_i, y_i) \in N': x_i + y_i = 2N; \text{ con } 2N \geq 4\}$  donde  $N'$  es el conjunto de los números primos,  $2N$  el conjunto de los números pares, y  $x_i$  e  $y_i$  son elementos primos que se encuentran en puntos equidistantes al natural evaluado.

Con la función  $\sigma(N)$  se deduce el teorema fundamental de números primos. Para  $\sigma(N)$  los resultados fueron comparados hasta  $N = 1x10^6$ , mediante el uso de tablas de números primos y Geogebra.

El área  $\psi(N)$  de **Figura 23**, muestra que continuamente existen elementos primos a lo largo de la secuencia infinita de los números naturales ( $\mathbb{N}$ ), esto se da porque hay una diferencia entre la cantidad de elementos primos en los intervalos  $x/y$ , de acuerdo a la expresión (11)  $\psi(N)$  está relacionada con la cantidad mínima de intersecciones  $D_V$ , por lo tanto, siempre

habrá valores que harán cumplir la conjetura, además el valor  $2/3=0.66666\dots$  es aproximado a  $C_{twin}$ . Esta función fue comprobada para  $N = 2 \times 10^3$  con el uso de un cometa de Goldbach que posee 300 elementos primos.

## 5. REFERENCIAS

- Abramowitz, M. & Stegun, I. (1964). Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical. Washington D.C, EEUU. Library of Congress.
- Cilleruelo, M.J. (2000). La demostración elemental del teorema de los números primos. Las matemáticas del siglo XX. Madrid, España. Nivola
- Chamizo, F. (2011). Ocho lecciones de teoría de números. Págs. 1-7 Recuperado el 21 de julio del 2018, de <http://matematicas.uam.es/~fernando.chamizo/libreria/fich/lecc8.pdf>
- Deshouillers, J., Granville, A., Narkiewicz, W., & Pomerance, C. (1993). An Upper Bound in Goldbach's Problem. Mathematics of computation, 61 (203), 209-213.
- Du Sautoy, M. (2010). The Number Mysteries. (1st edition). Harper Collins, UK
- EduMates. (Marzo, 5 del 2010). Números primos [Archivo de video]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=rK3zAVjM1a8&feature=youtu.be>
- Giordano, P. (2010). La Soledad de los Números Primos. Madrid, España.
- Gracián, E (2010) Los números primos. Un largo camino al infinito. Madrid, España. RBA Libros.
- Helfgott, H. A. (2014). Major arcs for Goldbach's problem. Recuperado de [arXiv:1305.2897v4](https://arxiv.org/abs/1305.2897v4)
- Intriago, Y. (2018) Números Primos; Método gráfico de la conjetura de Goldbach. Revista Bases de la Ciencia. 3, (2), 79-97. Recuperado de <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/1449/1516>
- Markakis, E., Provatidis, C. & Markakis, N. (2013). An Exploration on Goldbach's Conjecture. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 84 (1): 29-63.
- Mutafchiev, L. (2016) On the Distribution of the Number of Goldbach Partitions of a Randomly Chosen Positive Even Integer. Elsevier- Electronic Notes in Discrete Mathematics, 54, 3-8.
- Nazardonyavi, S. (2012). Some History about Twin Prime Conjecture. Recuperado de <http://arxiv.org/abs/1205.0774v1>, 1–26.
- Ramachandra, K. (1997). Two remarks in prime number theory. BULLETIN DE LA SOCIETE MATHEMATIQUE DE FRANCE, 105, 433 – 437.
- Ramos, J. (2003). El teorema de los números primos. Miscelánea Matemática, 38, 15–31.
- Salmeri, A. & Salmeri, M. (2002). L'ipotesi di Goldbach da una Congettura Statistica ad una Congettura Matematica. Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Università di Roma. Atti del Congresso nazionale Mathesis.
- Sánchez J.M. (2011) Riemann y los Números Primos, Revista Pensamiento Matemático. Universidad Politécnica de Madrid. 1, (2). Recuperado de [http://www2.caminos.upm.es/Departamentos/matematicas/revistapm/index4\\_numero1.html](http://www2.caminos.upm.es/Departamentos/matematicas/revistapm/index4_numero1.html)
- YouTube. (Noviembre, 15 del 2017). Los números primos más grandes del mundo y ¡el enigma de los números perfectos! [Archivo de video]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=BGryZFh1Wq8&feature=youtu.be>
- Zagier D. (1977). The first 50 million prime numbers. New Mathematical Intelligencer. 7-19 de <https://people.mpim-bonn.mpg.de/zagier/files/doi/10.1007/BF03039306/fulltext.pdf>

## LA FORMACIÓN DE GRADO EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ: ANÁLISIS DE LA PERTINENCIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CARRERA DE MATEMÁTICA

M.Sc. Felipe Rumbaut León<sup>1\*</sup>, Mg. Jairo Ramón Beltrón Cedeño<sup>1</sup>, Ph.D. Eneida María Quindemil Torrijo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Matemática y Estadística, Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Información y Documentación, Facultad de Ciencias Humanísticas y Sociales. Universidad Técnica de Manabí

\*Autor para la correspondencia. E-mail: frumbaut@gmail.com

Recibido: 24-3-2018 / Aceptado: 19-7-2018

### RESUMEN

La Universidad Técnica de Manabí, está en el deber de colaborar con el perfeccionamiento y profundización del conocimiento de los profesionales de la región y del país. Para ello se cuenta con la ampliación y diversificación de carreras y maestrías asociadas a diferentes campos de estudio, entre ellos la Matemática. Esta es una investigación de tipo descriptivo, cuyo objetivo está en fundamentar la pertinencia del establecimiento de una carrera en Ciencias Matemáticas en la Universidad Técnica de Manabí. Se hizo uso del método análisis documental al revisar los presupuestos teóricos relacionados con la experiencia de otras universidades en estudios similares. Para conocer la realidad en Manabí, se utilizó la técnica de la encuesta, la que fue aplicada a una muestra de 100 personas vinculadas con las Ciencias Matemáticas, ya sea como profesionales o como estudiantes; ello permitió tener una valoración sobre la influencia de esta ciencia en los diferentes ejes de desarrollo económico y social. Entre los principales resultados sobresale la relación de las matemáticas con los ejes de trabajo, soberanía alimentaria y comercio, y educación y salud con 89,1% de valoraciones positivas, respectivamente. Como conclusiones se destaca la factibilidad de la carrera de grado en Ciencias Matemáticas en la Universidad Técnica de Manabí, para suplir carencias profesionales en este campo del conocimiento, según criterios del 86,43% de los encuestados.

**Palabras clave:** Ciencias Matemáticas, ofertas de grado, carreras, Universidad Técnica de Manabí, pertinencia.

## DEGREE TRAINING IN THE TECHNICAL UNIVERSITY OF MANABÍ: RELEVANCE ANALYSIS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE MATHEMATICS CAREER

### ABSTRACT

One of the duties of The Technical University of Manabi is to cooperate with the improvement and deepening of knowledge of professionals from the region and the country. In order to do this, the university has expanded and diversified the careers and masters associated to the different study fields, being Mathematics, one of them. This is a descriptive research, whose objective is to support the relevance of establishing a career in Mathematical Sciences at the Technical University of Manabi. The documentary analysis method was used



when reviewing the theoretical assumptions related to the experience of other universities in similar studies. To know the reality in Manabi, a survey technique which was applied to a sample of 100 people was used, which was applied to a sample of 100 people linked to the Mathematical Sciences, either as professionals or as students. This allowed to have a valuation on the influence of this science in the different axes of Social economic development. Among the main results, the relationship of mathematics with the axes of work, food sovereignty and trade, and education and health stands out with 89.1% of positive evaluations, respectively. To conclude, the feasibility of the degree course in Mathematical Sciences at the Technical University of Manabí is highlighted, to fill professional gaps in this field of knowledge, according to criteria of 86.43% of the respondents.

**Key words:** Mathematical Sciences, degree offers, careers, Technical University of Manabi, relevance.

## OS ESTUDOS DE GRADUAÇÃO NA UNIVERSIDADE TÉCNICA DE MANABÍ: ANÁLISE DA RELEVÂNCIA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA CARREIRA DE MATEMÁTICA

### RESUMO

A Universidade Técnica de Manabí, tem o dever de colaborar com a melhoria e aprofundamento do conhecimento dos profissionais da região e do país. Para isso, temos a expansão e diversificação de carreiras e mestrados associados a diferentes áreas de estudo, entre eles a Matemática. Trata-se de uma pesquisa descritiva, cujo objetivo é apoiar a relevância do estabelecimento de uma carreira em Ciências Matemáticas na Universidade Técnica de Manabí. O método de análise documental foi utilizado na revisão dos pressupostos teóricos relacionados à experiência de outras universidades em estudos semelhantes. Para conhecer a realidade em Manabí, utilizou-se a técnica de pesquisa, que foi aplicada a uma amostra de 100 pessoas vinculadas às Ciências Matemáticas, seja como profissionais ou como estudantes; isso permitiu avaliar a influência dessa ciência nos diferentes eixos de desenvolvimento econômico e social. Entre os principais resultados destaca-se a relação da matemática com os eixos de trabalho, soberania alimentar e comércio, e educação e saúde, com 89,1% de classificações positivas, respectivamente. Como conclusões, destaca-se a viabilidade do curso de graduação em Ciências Matemáticas da Universidade Técnica de Manabí, para preencher lacunas profissionais nessa área de conhecimento, segundo critérios de 86,43% dos respondentes.

**Palavras-chave:** Ciências Matemáticas, ofertas dos estudos de graduação, carreiras, Universidade Técnica de Manabí, relevância.

### 1. INTRODUCCIÓN

La universidad cumple un papel fundamental en el progreso social, económico y político de las naciones; por ello se le atribuye responsabilidades no solo con la generación de conocimientos, sino con la formación del recurso humano, quien está llamado a solventar respuestas a la sociedad que aspira a una mejor calidad de vida, para lo cual es necesario que estas instituciones cumplan con parámetros de pertinencia, cobertura y calidad educativa. En América Latina, según Sánchez, Chávez y Mendoza (2018), esta ha sido una preocupación constante que ha formado parte de la agenda tanto de los gobiernos como de organismos internacionales, tales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Cuestiones abordadas también por Gazzola y

Didriksson (2008), Ramírez (2013) y Tristán (2013) quienes ratifican que la universidad es la encargada, en mayor grado, de preservar, crear, desarrollar y difundir la cultura de la humanidad.

A nivel planetario la visión proyectiva está en considerar la educación como un factor decisivo para el desarrollo integral de los individuos y de las sociedades; ello ha condicionado a que los gobiernos realicen diferentes reformas y tomen las provisiones necesarias para encauzar políticas que lleva replantearse el rol del Estado en la provisión de educación y conocimiento, desarrollar los mecanismos de financiamiento del sistema educacional, reformar los contenidos y prácticas pedagógicas en función de los nuevos soportes del conocimiento y los cambios en el mundo del trabajo, entre otras cuestiones. (Torres, Baradona, Ruíz y Jaime, 2014)

Para Fajardo, Rivera, Luque, Chávez y Buitrago (2016) es factible que en los estudios de pertinencia se motive hacia la profundización académica, pues ello ayuda al alcance de una sociedad más justa, donde hay un aumento de la capacidad de progresar en el conocimiento tomando determinadas áreas, a nivel de especialización, sin abarcar la totalidad del conocimiento, lo que ayuda a que las personas se actualicen en su área sin descuidar el campo completo del conocimiento, pues así serán más proactivos y aplicarán las tendencias mundiales en su accionar. Los autores apuntan hacia la necesidad de respuestas a las demandas sociales encuestando a población y empleadores en estudios de pertinencia.

Las Ciencias Matemáticas están presentes en los más diversos campos de la actividad social del hombre, dada su función de establecer modelos que se aproximen a la explicación de la realidad. Estos modelos se extienden a todas las áreas del conocimiento: las ingenierías, la Física, la Química, la Biología, la Medicina, las Ciencias Agrícolas y Pecuarias, a las Finanzas y a la Economía, a las Ciencias Sociales, a la Psicología y a la Sociología, entre otros. En el campo de las Artes, la música se escribe en clave de notas de acuerdo con la frecuencia de funciones sinodales y un pintor debe conocer la geometría de la perspectiva para lograr los efectos de profundidad.

Como antecedentes de este trabajo se puede destacar la experiencia latinoamericana que comparten Puig, Diéguez & Torrecilla (2015) quienes fundamentan la importancia de la formación matemática para el profesional de las Ciencias Económicas. Los autores enfatizan que los métodos propios de las matemáticas son necesarios en el tratamiento de los problemas económicos y sus posibles soluciones, surgiendo una integración factible entre la lógica del economista y la lógica de la matemática al enfrentar procesos económicos.

Sugieren la sistematización de la matemática durante toda la formación de grado del economista, tomando en consideración la interdisciplinariedad y transdisciplinariedad en el proceso de enseñanza- aprendizaje.

Asimismo, hay dos experiencias muy interesantes en estudios de pertinencia sobre la formación matemática en el Ecuador que se han tomado en consideración para este trabajo. Una es el trabajo realizado por Morocho & Sagñay (2016) en la Universidad Nacional del Chimborazo. Los autores corroboraron la necesidad de una carrera de grado que, con matiz pedagógico, incluyera en su accionar la Matemática y Física para aliviar tensiones en la zona 3 del país, estudio que fundamentan desde criterios poblacionales dando por conclusión la factibilidad de la misma. La otra experiencia, consiste en un estudio realizado sobre la oferta de postgrado en el Ecuador, Castellanos (2017) muestra la necesidad de las Ciencias Matemáticas como posibilidad de cuarto nivel de enseñanza, enfatizando en las respuestas que se darían a demandas sociales para el tratamiento de fenómenos concretos de la realidad social utilizando un pensamiento lógico-matemático.

En el Ecuador, según el artículo 8 de la LOES, literales a) y f) se declara como uno de los fines de la Educación Superior:

“Aportar al desarrollo del pensamiento universal, al despliegue de la producción científica y a la promoción de las transferencias e innovaciones tecnológicas”...“Fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que coadyuven al mejoramiento y protección del ambiente y promuevan el desarrollo sustentable nacional”; y según el artículo 107 de la LOES, el Principio de Pertinencia consiste en que “la educación superior responda a las expectativas y necesidades de la sociedad, a la planificación nacional, y al régimen de desarrollo, a la prospectiva de desarrollo científico, humanístico y tecnológico mundial, y a la diversidad cultural. Para ello, las instituciones de educación superior articularán su oferta docente, de investigación y actividades de vinculación con la sociedad, a la demanda académica, a las necesidades de desarrollo local, regional y nacional, a la innovación y diversificación de profesiones y grados académicos, a las tendencias del mercado ocupacional local, regional y nacional, a las tendencias demográficas locales, provinciales y regionales; a la vinculación con la estructura productiva actual y potencial de la provincia y la región, y a las políticas nacionales de ciencia y tecnología”. (Presidencia de la República del Ecuador, 2010).

La Universidad Técnica de Manabí (UTM) tomando como referente las experiencias expuestas sobre la necesidad de que los estudios de pertinencia den respuesta a las

demandas sociales y, considerando lo que aportaría a Manabí y al Ecuador una oferta de grado en Ciencias Matemáticas, tiene como objetivo en este trabajo fundamentar la pertinencia del establecimiento de una carrera en Ciencias Matemática en la Universidad Técnica de Manabí. Los estudios de formación de tercer y cuarto nivel en Matemática aportarían al cumplimiento de las siguientes políticas prioritarias nacionales de Ciencia, Tecnología e Innovación:

- Incremento de la productividad agropecuaria y agricultura sostenible
- Manejo ambiental para el desarrollo
- Fomento industrial y productivo
- Energía, diversificación y alternativas renovables
- Tecnologías de la información y comunicación (TIC)
- Biotecnología
- Recuperación de la investigación pública

La oferta se justifica, además en la necesidad de una diversificación y especialización científica de los profesionales graduados en la Universidad Técnica de Manabí, lo que permitiría incorporarlos directamente a los equipos de investigación existente en diferentes esferas de la producción y los servicios, lográndose una profundización y mejor validación en los resultados mediante la utilización de modelos y sistemas de optimización de procesos estudiados en Matemática, así como el mejoramiento de los procesos de instrucción en educación relativos a la enseñanza de la Matemática en la educación superior.

En este sentido, se pretende, a través del Instituto de Ciencias Básicas, generar la propuesta para implementar estudios de formación matemática. El estudio de pertinencia, consideró, además, los indicadores de calidad dispuestos por el CEAACES (2013) y los criterios abordados por Larrea (2017) en relación a la Educación Superior en el Ecuador.

A propósito de lo expuesto, el tema del presente artículo es muy oportuno dada la necesidad que tiene actualmente la Universidad Ecuatoriana de contar con un mayor número de Matemáticos que le permitan cubrir la demanda existente de profesores para los cursos de Cálculo, Matemáticas, Álgebra; Análisis Numérico y otros; que están presentes en la mayoría de las mallas curriculares de un gran número de programas de estudio de las carreras técnicas, por ser la matemática un eje transversal de conocimientos para estas áreas.

## 2. METODOLOGÍA

Se realizó un estudio descriptivo, con empleo del método de análisis documental en la revisión de los presupuestos teóricos y la técnica de la encuesta a personas relacionadas con las matemáticas, la que fue aplicada a un total de 100 personas, muestra seleccionada con un nivel de confianza del 90% y un margen de error del 10%, considerando una población de 10000 individuos entre ingenieros, técnicos, estudiantes y profesores afines con la matemática en la provincia de Manabí. Para el cálculo de la muestra se tomó como referente lo expuesto por Ávila (2001), en la expresión:

$$n = \frac{Z^2 NPQ}{Z^2 PQ + NE^2}$$

n= tamaño de la muestra

N= tamaño de la población

Z= 1,96 distribución normal

P=Q= 0,5; luego PQ=0,25; considerando igual probabilidad en el tipo de respuesta de los encuestados.

E=Error permitido= 0,1; para una potencia de un 90%

La muestra de 100 individuos pertenecientes a la región cumplían con las características de la población: profesionales de tercer y cuarto nivel, así como de los estudiantes del último año de carreras de ingeniería. La distribución es como sigue: profesores universitarios (40%), profesores en otros niveles (27%), técnicos (10%) y otros (23%).

Se empleó la técnica de la encuesta, debido al tamaño de la muestra y la cantidad de información que se requería conocer para determinar si a partir de las consideraciones de los encuestados era factible o no la carrera. Los ítems tomados en cuenta fueron validados por el criterio de 10 expertos en el tema, considerando que la validez de contenido, según Martín (2004, p.27): “Se refiere a si el cuestionario elaborado, y por tanto los ítems elegidos, son indicadores de lo que se pretende medir (...) No cabe, por tanto, cálculo alguno sólo las valoraciones cualitativas que los investigadores-expertos deben efectuar”.

En los ítems que conformaron las preguntas, las valoraciones de los expertos concordaron en que todos son oportunos para un estudio de pertenencia, destacando como prioritarios los relacionados con Educación y Salud, y matriz productiva. Las preguntas, por tanto, consideraron todos los ítems que se muestran a continuación:

- Opiniones sobre la relación entre las matemáticas y el eje ambiental (ecosistema).
- Opiniones sobre la relación entre las matemáticas y los ejes de Educación y Salud.
- Opiniones sobre la relación entre las matemáticas y el eje de justicia y seguridad ciudadana.
- Opiniones sobre la relación entre las matemáticas y el eje de matriz productiva.
- Opiniones sobre la relación entre las matemáticas y el eje de vivienda, transporte, arte y cultura y servicios básicos.
- Opiniones sobre la relación entre las matemáticas y el eje de trabajo, soberanía alimentaria y comercio.

Los resultados de las opiniones de los encuestados fueron analizados desde la estadística descriptiva haciendo uso del Software Statgraphics Centurion para el análisis de los datos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las opiniones de los encuestados y las valoraciones por los ejes analizados, que son seis, se relacionan en la **tabla 1** que se muestra a continuación:

**Tabla 1.** Opiniones de los encuestados con relación a los ejes analizados

Ejes	Alto %	Medio %	Bajo %	Sin criterio %
Eje Ambiental	54,2	34,5	10,7	0,7
Eje Educación y salud	66,8	22,4	8,7	2,1
Eje Justicia y seguridad ciudadana	49,2	33,2	13,0	4,6
Eje Matriz Productiva	61,1	26,1	10,7	2,0
Eje de vivienda, transporte, arte y cultura y servicios básicos	49,9	32,1	13,5	4,5
Eje de trabajo, soberanía alimentaria y comercio	68,0	21,1	9,5	1,4

Fuente: Elaboración de los autores a partir de los criterios emitidos por los encuestados

Los datos exponen que, según criterio de los encuestados, las valoraciones más altas están en la relación de la formación matemática con el eje de trabajo, soberanía alimentaria y comercio, criterio del 68,0 %. Asimismo, el eje de educación y salud fue valorado con un 66,8%, la matriz productiva por un 61,1%; el eje ambiental, por el 54,2%; el eje de vivienda, transporte, arte y cultura y servicios básicos por un 49,9% y por un 49,2% el eje de justicia y seguridad ciudadana.

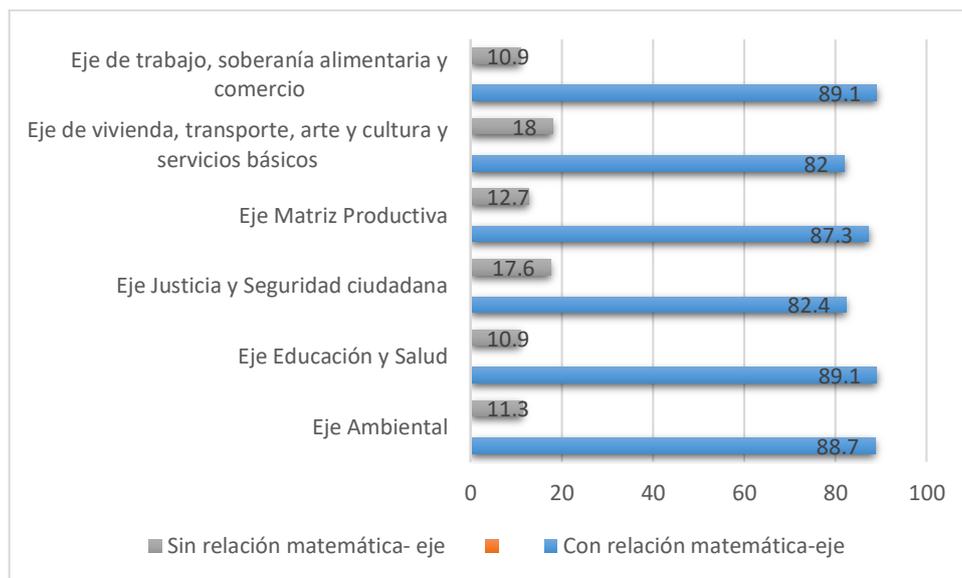
Las valoraciones de medio permiten apreciar que para un 34,5% de los encuestados la matemática guarda una relación media con el eje ambiental; 33,2% la considera con el eje de justicia y seguridad ciudadana; 32,1% valora el eje de vivienda, transporte, arte y cultura,

y servicios básicos; 26,1% ve esta relación media con el eje matriz productiva; 22,4% con el eje de educación y salud y 21,1% con el eje de trabajo, soberanía alimentaria y comercio.

Los criterios de bajo están en un 8,7% para el eje de educación y salud; 9,5% para la relación de la formación matemática con el eje de trabajo, soberanía alimentaria y comercio; 10,7%, eje ambiental y eje de matriz productiva respectivamente; 13%, justicia y seguridad ciudadana y 13,5% el eje de vivienda, transporte, arte y cultura y servicios básicos.

La ausencia de pronunciamientos en relación a la relación de la matemática con estos ejes estuvo en un 4,6% sobre el eje de justicia y seguridad ciudadana; 4,5% en cuanto al eje de vivienda, transporte, arte y cultura y servicios básicos; un 2,1% sobre el eje de educación y salud; 2,0% no opinó nada sobre el eje de matriz productiva; 1,4% no emitió criterio en cuanto al eje de trabajo, soberanía alimentaria y comercio y un 0,7% no lo hizo sobre el eje ambiental.

Como resumen de la relación entre la formación matemática y los ejes descritos aparecen los siguientes criterios en el **Gráfico 1**.



**Gráfico 1.** Relación entre la formación matemática y los ejes

Fuente: Elaboración de los autores a partir de los criterios emitidos por los encuestados

En el gráfico se visualiza que para el 89,1% de los encuestados existe relación entre la formación matemática y los ejes de trabajo, soberanía alimentaria y comercio, y educación y salud, y un 10,9% ve una relación baja o no se pronuncia. El 88,7% opina que hay relación entre la formación matemática y el eje ambiental y un 11,8% la ve baja o no opina. El 87,3% considera que existe relación entre la formación matemática y la matriz productiva y un 12,7% la cree baja o no opina. El 82,4% plantea que existe relación entre la formación matemática y el eje de justicia y seguridad ciudadana y un 17,6% considera baja esta relación o no opina.

El 82% cree que existe relación entre la formación matemática y el eje de vivienda, transporte, arte y cultura y servicios básicos y el 18% ve baja la relación o no opina.

#### **4. CONCLUSIONES**

De forma global se puede concluir que el 86,43% de los encuestados considera que todos los renglones analizados, la carrera de Matemática influirá positivamente para alcanzar los objetivos de desarrollo económico, social y cultural de la región. El estudio de pertinencia corrobora la necesidad de establecer una Facultad de Ciencias donde se incluya la Matemática como medio para aplicar estas especialidades en la investigación científica y contribuir al desarrollo socio productivo de la región y el país.

#### **5. REFERENCIAS**

- Ávila, R. B. (2001). Metodología de la Investigación. Guía para elaborar la tesis. Lima, Perú: Estudio y Ediciones.
- Castellanos, R. (2017). Pertinencia de la formación de postgrado en educación en el Ecuador. Revista Científica RUNAE, (1), 137-153. Recuperado de <http://runae.unae.edu.ec/revistas3/index.php/RUNAE/article/download/11/25/>
- CEAACES (2013). Pleno del Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES). Resolución No.001-073-CEAACES2013, de fecha 26 de noviembre de 2013". Recuperado de: <http://www.ceaaces.gob.ec/sitio/wpcontent/uploads/2013/10/RESOLUCIO%CC%81N-No.-001-073-CEAACES-2013-29UCE.pdf>
- Fajardo, F.G., Rivera, F., Luque, A.M., Chávez, M. y Buitrago, O. (2016). Estudio de pertinencia para creación del Programa Maestría en Gestión de Proyectos de Ingeniería, Bogotá: Universidad Santo Tomás. Recuperado de <https://tinyurl.com/yccsgkx9>
- Gazzola, A. y Didriksson, A. (2008). Tendencias de la educación Superior en Latinoamérica y El Caribe. Caracas, Venezuela: IESALC, UNESCO
- Larrea, C. M. (2017). Políticas públicas de evaluación y acreditación en la universidad ecuatoriana: el caso de la Universidad Nacional de Chimborazo durante los periodos 2009 y 2013. (Tesis de Maestría). FLACSO. Sede Académica Argentina. FLACSO, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/10794>
- Martín, M.C. (2004). Diseño y validación de cuestionarios. Matronas Profesión, 5(17), 23-29.
- Morocho, H. D. & Sagñay, E. I. (2016). Estudio de la pertinencia de la carrera de Licenciatura en Pedagogía de la Matemática y Física de la Facultad de Ciencias de la Educación Humanas y Tecnologías, UNACH, período 2014 – 2015. (tesis de pregrado), Universidad Nacional de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/2334>
- Presidencia de la República del Ecuador. (12 de octubre de 2010). Ley Orgánica de Educación Superior. Quito: Registro Oficial, 298. Recuperado de <https://tinyurl.com/ydfr863p>
- Puig, O., Diéguez, R., & Torrecilla Díaz, R. (2015). Regularidades de la formación matemática en carreras universitarias de Ciencias Económicas. Multiciencias, 15 (4), 410-416.

- Ramírez, R. (2013). Tercera ola de transformación de la educación superior en Ecuador. Hacia la constitucionalización de la sociedad del buen vivir. Quito: SENESCYT. Recuperado de: [www.sciencespo.fr/.../Tercera\\_ola\\_de\\_transformacion\\_de\\_la\\_educacion\\_superior\\_en](http://www.sciencespo.fr/.../Tercera_ola_de_transformacion_de_la_educacion_superior_en)
- Sánchez, J., Chávez, J y Mendoza, J. (2018): "La calidad en la educación superior: una mirada al proceso de evaluación y acreditación de universidades del Ecuador", Revista Caribeña de Ciencias Sociales. Recuperado de <http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/01/calidad-educacion-superior.html>
- Torres, V., Barona, C., Ruiz, D., Jaimes, K. (2014). Prácticas académicas de profesores de posgrado en el contexto de la era de internet: estudio de caso. En: Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. Recuperado de <https://www.oei.es/historico/congreso2014/memoriactei/503.pdf>
- Tristán, B. (2013). La universidad que necesitamos. México: Juan Pablos Editor.

## OPERADORES UNIFORMEMENTE ESTABLES Y SUBESPACIOS INVARIANTES

Dr. Edixo Rosales<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Matemáticas, Facultad Experimental de Ciencias. Maracaibo, Venezuela

\*Autor para la correspondencia. E-mail: edixorosales@gmail.com

Recibido: 14-6-2018 / Aceptado: 27-11-2018

### RESUMEN

Este trabajo estudia operadores uniformemente estables sobre espacios de Banach en general, con el propósito de caracterizar algunos que tengan subespacios invariantes no triviales.

**Palabras clave:** Operadores Uniformemente estables, subespacios invariantes.

### UNIFORMLY STABLE OPERATORS AND SUB INVARIANT SPACES

### ABSTRACT

This paper studies uniformly stable operators on Banach spaces in general, with the purpose of characterizing some that have non-trivial invariant subspaces.

**Key words:** Uniformly stable operators, sub invariant spaces.

### OPERADORES UNIFORMAMENTE ESTÁVEIS E SUBESPAÇOS INVARIANTES

### RESUMO

Este artigo estuda operadores uniformemente estáveis em espaços de Banach em geral, com o objetivo de caracterizar alguns que apresentam subespaços invariantes não triviais.

**Palavras-chave:** Operadores uniformemente estáveis, subespaços invariantes.

## 1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación está orientada a caracterizar operadores uniformemente estables que tengan subespacios invariantes.

El problema de hallar subespacios invariantes no triviales, de operadores definidos sobre espacios de Banach, es de vieja data (Bothelo & Ewerton, 2017).

Matemáticos como Halmos, Erdos y el ruso Lomonósov (Halmos 1982) han abierto el camino y resuelto parcialmente este problema. Bravo, alumno de Erdos en la Universidad de Berkeley en California, resolvió muchas interrogantes sobre el tema en su tesis doctoral (Bravo 1980). En general, el profesor Bravo trabajó sobre espacios de Hilbert separables.

En el 2007, el profesor Bravo, hoy ausente, dejó un trabajo inédito sobre el tema de encontrar subespacios invariantes de operadores casi nilpotentes. Hemos retomado el tema y trabajado en general sobre operadores uniformemente estables.

Asumo que el lector está familiarizado con la teoría de los espacios de Banach. Sin embargo, es pertinente señalar que las referencias (Kreyszig 1978; Rosales 2011) son textos que recogen la teoría básica de los operadores y nuestros preliminares pueden servir de orientación.

## 2. PRELIMINARES

En este trabajo  $X$  denotará un espacio de Banach sobre los números complejos y  $X^*$  su espacio dual.

De igual manera,  $B(X)$  será la familia de los operadores acotados sobre el espacio de Banach  $X$ . Algunas veces trabajaremos con  $B(X, Y)$  operadores entre espacios de Banach  $X, Y$  distintos.

Un subespacio  $M$  del espacio de Banach  $X$  significará un subespacio cerrado en la topología de la norma. Diremos que  $M$  es invariante para  $T \in B(X)$  si  $T(M) \subset M$ . Por  $lat(T)$  entenderemos la familia de todos los subespacios invariantes para  $T$ . Es claro que  $\{0\}, X \in lat(T)$  y se les llaman sus subespacios invariantes triviales. Se dice que  $M$  es hiperinvariante para  $T$  si  $M \in lat(A)$ , para cada operador  $A \in B(X)$  tal que  $A \circ T = T \circ A$ .

Un operador  $T \in B(X)$  se dice que converge uniformemente al operador nulo, o que es uniformemente estable si  $\lim_{n \rightarrow +\infty} \|T^n\| = 0$ . Se escribe  $T^n \xrightarrow{u} 0$  para indicar la estabilidad

uniforme. Caso particular de los operadores uniformemente estables son los nilpotentes y casi nilpotentes. Un  $T \in B(X)$  es nilpotente, si  $T^n = 0$  para alguna potencia  $n > 1$ . Si  $\lim_{n \rightarrow +\infty} \sqrt[n]{\|T^n\|} = 0$ , se dice que el operador  $T$  es casi nilpotente. Es claro que todo operador nilpotente es casi nilpotente.

Un operador  $T \in B(X)$  se dice que es compacto, si dada una sucesión acotada  $\{x_n\} \subset X$ , existen  $y \in X$  y una sub-sucesión  $\{x_{n_k}\}$  tales que  $\lim_{n \rightarrow +\infty} \|T(x_{n_k}) - y\| = 0$ . Denotaremos por  $K(X)$  la familia de los operadores compactos. Un caso particularmente importante de operadores compactos son los de rango finito. Un  $T \in B(X)$  es de rango finito si  $T(X)$  es de dimensión finita. Es conocido que  $K(X)$  es un ideal en el álgebra de operadores  $B(X)$  y si  $T_n \in K(X)$  y  $\lim_{n \rightarrow +\infty} \|T_n - T\| = 0$ , entonces  $T \in K(X)$ .

Dado  $T \in B(X)$ , por  $T' \in B(X^*)$  entenderemos el operador  $T'(f) = f \circ T$  llamado el adjunto de  $T$ . Si  $M \in \text{lat}(T)$ , entonces  $M^\perp = \{f \in X^* : f(M) = 0\} \in \text{lat}(T')$ . Si  $f \in X^*$  escribiremos  $f(x) = \langle x, f \rangle$ .

Finalizamos diciendo que si  $H$  es un espacio de Hilbert y  $T \in B(H)$ , se garantiza la existencia de  $T^* \in B(H)$  tal que  $\langle T(x), y \rangle = \langle x, T^*(y) \rangle$ . Aquí  $\langle x, y \rangle$  denota el producto escalar definido sobre el espacio de Hilbert  $H$ . Un espacio de Hilbert importante y que usaremos es  $H = l_2(\mathbb{Z}^+)$  formado por las sucesiones  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \dots)$ ,  $\alpha_n \in \mathbb{C}$  tales que  $\sum_{n=1}^{+\infty} |\alpha_n|^2 < +\infty$ .

### 3. OPERADORES UNIFORMEMENTE ESTABLE Y SUBESPACIOS INVARIANTES

El siguiente resultado es fundamental en este estudio

Lema 2.1. Sea  $X$  un espacio de Banach y  $T \in B(X)$ . Las siguientes condiciones son equivalentes:

- a)  $T^n \xrightarrow{u} 0$
- b)  $r(T) < 1$
- c) Existen  $\alpha \in (0,1)$ ,  $\beta \geq 1$ , tales que  $\|T^n\| \leq \beta \alpha^n \leq, \forall n \geq 1$ .

Demostración: Para la prueba ver la referencia (Kubrusly 2008, página 79, problema 8.6).

Una consecuencia de este resultado es el siguiente:

Teorema 2.1: Sea  $X$  un espacio de Banach y  $T \in B(X)$  uniformemente estable.

- (1) Si  $\{\beta_n : n \geq 1\}$  es una sucesión de números complejos acotada, entonces  $\sum_{n=1}^{+\infty} \beta_n T^n$  es una serie absolutamente convergente en  $B(X)$ .

(2) Si  $f \in H(D(0, r))$ ,  $f(0) \neq 0$ ,  $f(T) = 0$  (Es decir  $T$  es un operador analítico); entonces  $T$  es nilpotente.

Demostración: (1) Sea  $M > 0$  tal que  $|\beta_n| \leq M, \forall n \geq 1$ . Si  $\alpha$

$\alpha \in (0, 1)$ ,  $\beta \geq 1$  con  $\|T^n\| \leq \beta \alpha^n, \forall n \geq 1$ , entonces

$$\sum_{n=1}^{+\infty} |\beta_n| \|T^n\| \leq \sum_{n=1}^{+\infty} |\beta_n| \beta \alpha^n \leq M \beta \sum_{n=1}^{+\infty} \alpha^n < +\infty.$$

(3) Sea  $f \in H(D(0, r))$  tal que  $f(T) = 0$ , además con

$$f(z) = \sum_{n=1}^{+\infty} \alpha_n z^n, \quad |z| < r$$

Puesto que  $f(z) = z^n g(z)$ ,  $g(0) \neq 0, g \in H(D(0, r))$ , entonces existe  $g^{-1}(z) \in H(D(0, s))$  ( $s < r$ ) con  $g(z)(g^{-1}(z)) = 1, \forall z \in H(D(0, s))$ .

Nosotros tenemos que  $g^{-1}(T)$  es definible por la primera parte de la prueba.

$$\text{Finalmente } 0 = f(T) = T^n \circ g(T) \implies 0 = T^n \circ g(T) \circ g(T)^{-1} = T^n$$

El siguiente teorema generaliza el principal resultado estudiado por Bravo 2007, para operadores casi nilpotentes y es nuestro principal objetivo

**Teorema 2.2:** Si  $X$  es un espacio de Banach y  $T \in B(X)$  un operador no nulo uniformemente estable, entonces existe una familia de operadores compactos  $\{S_{x_0}: X \rightarrow l_2(Z^+)\}_{x_0 \in X^*}$  tales que  $S_{x_0} \circ T = W^* \circ S_{x_0}$ , donde  $W^*$  es el operador adjunto del operador de desplazamiento a izquierda de multiplicidad uno. Además,  $T$  tiene subespacio invariante no trivial, si y sólo si,  $S_{x_0}$  es no trivial y  $\ker(S_{x_0}) \neq \{0\}$  para algún  $x_0 \neq 0$ . Finalmente, si  $T$  es un operador no escalar  $T$ , ni casi nilpotente y  $\overline{S_{x_0}(X)} \subsetneq l_2(Z^+)$  para algún  $x_0 \neq 0$ ; entonces  $T'$  tiene subespacios hiperinvariantes no triviales.

Demostración: Para cada  $x_0 \in X^*$  consideremos el operador  $S_{x_0}: X \rightarrow l_2(Z^+)$  definido por:

$$S_{x_0}(x) = (\langle x, x_0 \rangle, \langle T(x), x_0 \rangle, \dots, \langle T^n(x), x_0 \rangle, \dots), \forall x \in X.$$

Puesto que  $T^n \xrightarrow{u} 0$ , podemos encontrar:  $\alpha \in (0, 1)$ ,  $\beta \geq 1$  con  $\|T^n\| \leq \beta \alpha^n, \forall n \geq 0 \implies$

$$\sum_{n=0}^{+\infty} |\langle T^n(x), x_0 \rangle|^2 \leq \sum_{n=0}^{+\infty} \|T^n(x)\|^2 \|x_0\|^2 \leq \beta \|x_0\|^2 \sum_{n=0}^{+\infty} \alpha^n < +\infty.$$

Se deduce que  $S_{x_0}$  está bien definida.

Por otro lado, si consideramos

$$S_n(x) = (\langle x, x_0 \rangle, \langle T(x), x_0 \rangle, \dots, \langle T^n(x), x_0 \rangle, 0, 0, \dots), \forall x \in X, \text{ tenemos que}$$

los  $S_n(x)$  son operadores de rango finito y como

$$\|(S_{x_0} - S_n(x))\| = \|(0, 0, \dots, 0, \langle T^{n+1}(x), x_0 \rangle, \langle T^{n+2}(x), x_0 \rangle, \dots)\|^2 \leq$$

$$\beta^2 \|x_0\|^2 \sum_{k=n+1}^{+\infty} \alpha^{2k} \leq \frac{\beta^2 \|x_0\|^2 \alpha^{2(n+1)}}{1-\alpha}, \text{ tenemos que } S_{x_0} \text{ es un operador compacto.}$$

Si nosotros definimos:  $W: l_2(Z^+) \rightarrow l_2(Z^+)$  por

$W(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n, \dots) = (0, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n, \dots), \forall (\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n, \dots) \in l_2(Z^+)$ , tenemos que  $W$  es un operador de desplazamiento a izquierda de multiplicidad uno.

Si definimos  $W^*(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n, \dots) = (\beta_1, \dots, \beta_n, \dots), \forall (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n, \dots) \in l_2(Z^+)$  tenemos que  $W^*$  es el operador adjunto del operador de desplazamiento a izquierda de multiplicidad uno anteriormente definido

Por otro lado

$$(W^* \circ S_{x_0})(x) = W^*(\langle x, x_0 \rangle, \langle T(x), x_0 \rangle, \dots, \langle T^n(x), x_0 \rangle, \dots) =$$

$$(\langle T(x), x_0 \rangle, \dots, \langle T^n(x), x_0 \rangle, 0, 0, \dots) = S_{x_0}(T(x)), \forall x \in X \Rightarrow$$

$$S_{x_0} \circ T = W^* \circ S_{x_0} \quad (*).$$

Sea  $M \in \text{lat}(T)$ ,  $M \neq \{0\}, X$ . Por el teorema de Hahn-Banach existe un funcional no nulo  $x_0 \in X^*$ , tal que  $x_0(M) = \{0\}$ . Si  $x \in M$ , luego  $T^n(x) \in M \Rightarrow x_0(T^n(x)) = 0, \forall n \geq 0 \Rightarrow S_{x_0}(x) = 0, \forall x \in M$ .

Se deduce que  $\ker(S_{x_0}) \neq \{0\}$ .

Por otro lado, si  $\ker(S_{x_0}) \neq \{0\}$ , para algún  $x_0$ , entonces  $\ker(S_{x_0})$

es un subespacio invariante de  $T$  por (\*).

Finalmente, sea  $x_0 \neq 0$  y  $\overline{S_{x_0}(X)} \subsetneq l_2(Z^+)$ .

Si  $(\beta_1, \beta_2, \dots) \in (S_{x_0}(X))^\perp$ , podemos definir el operador

$$A = \sum_{n=1}^{+\infty} \beta_n^* (T')^n \quad (**) \quad (\beta_n^* \text{ denota el conjugado de } \beta_n).$$

El operador  $A$  no es nulo, como consecuencia del teorema 2.1 en su segunda parte, y  $A(x_0)(x) = \langle S_{x_0}(x), \{\beta_n\}_{n=1}^{+\infty} \rangle = 0$ . Si  $M = \ker A$ , entonces  $M$  es un subespacio hiperinvariante no trivial de  $T'$  por (\*\*).

Nota 2.1. Sea  $T = \lambda I$  un operador escalar con  $|\lambda| < 1$ . Es claro que  $T' = \lambda I$ . Nosotros vamos a demostrar que  $A = \sum_{n=1}^{+\infty} \beta_n^* (T')^n$  definido en el teorema anterior es el operador nulo.

En efecto, dado  $x \in X$  con  $x_0(x) \neq 0$ , entonces

$$\langle S_{x_0}(x), \{\beta_n\}_{n=1}^{+\infty} \rangle = (\sum_{n=1}^{+\infty} \beta_n^* \lambda^n) x_0(x) = 0 \Rightarrow \sum_{n=1}^{+\infty} \beta_n^* \lambda^n = 0.$$

Se deduce que el operador  $A = \sum_{n=1}^{+\infty} \beta_n (T')^n = 0$ .

Nota 2.2. Supongamos que  $V_{n=0}^{+\infty} (T')^n(x_0) = X^*$  (es decir  $x_0$  es cíclico), entonces  $S_{x_0}$  es un operador inyectivo.

Si  $S_{x_0}(x) = (\langle x, x_0 \rangle, \langle T(x), x_0 \rangle, \dots, \langle T^n(x), x_0 \rangle, \dots) = 0$  ( $x \neq 0$ )  $\Rightarrow x_0(T^n(x)) = 0 \forall n \geq 0$  (\*).

Por el teorema de Hahn-Banach, podemos hallar  $\varphi \in X^*$  tal que  $\varphi(x) \neq 0$ .

Existe una red de polinomios

$P_d(Z) = \sum_{k=0}^{+\infty} \alpha^d_k Z^k$ , tal que  $P_d(T')(x_0) \xrightarrow{u} \varphi$ . Por (\*) deducimos que  $P_d(T')(x_0)(x) = 0$  y como  $P_d(T')(x_0)(x) \rightarrow \varphi(x)$ , deducimos que  $\varphi(x) = 0$ , lo que es una contradicción.

Finalizamos este trabajo con el siguiente resultado

**Teorema 2.3:** Si  $X$  es un espacio de Banach y  $T \in B(X)$  es uniformemente estable, no escala, ni casi nilpotente y existe  $A \in B(l_2(Z^+), X)$  tal que  $\dim(T \circ A - A \circ W^*)(B(l_2(Z^+))) = 1$ , donde  $W$  es el operador definido en el teorema anterior; entonces  $T'$  tiene subespacio invariante no trivial.

**Demostración:** Por el teorema anterior se tiene que

$$S_{x_0} \circ T = W^* \circ S_{x_0} \Rightarrow (T \circ A - A \circ W^*) \circ S_{x_0} =$$

$$T \circ A \circ S_{x_0} - A \circ W^* \circ S_{x_0} = T \circ A \circ S_{x_0} - A \circ S_{x_0} \circ T \Rightarrow$$

$$\dim(T \circ A \circ S_{x_0} - A \circ S_{x_0} \circ T)(X) \leq 1.$$

Si  $A \circ S_{x_0} = 0$ , entonces  $\overline{S_{x_0}(X)} \subsetneq l_2(Z^+)$ , ya que de lo contrario  $A = 0$ .

Por el resultado anterior  $T'$  tiene subespacio hiperinvariante no trivial  $M$ .

Si  $A \circ S_{x_0} \neq 0$ , por ser compacto, por el teorema de extensión de Lomonósov (Kubrusly 2008), se deduce que  $T$  tiene un subespacio hiperinvariante no trivial  $M$ ; entonces  $M^\perp$  es invariante no trivial para  $T'$ .

#### 4. REFERENCIAS

- Bothelo, G., Ewerton, R. (2017). Two-sided polynomial ideals on Banach Spaces. Journal of Mathematical Analysis and Applications.
- Bravo, J. (1980). Relations between  $\text{lat}T, \text{lat}T^{-1}, \text{lat}T^2$  and operators with compact imaginary parts. Ph.D. Dissertation. Berkeley. California.
- Bravo, J. (2007). Operadores casi nilpotentes y subespacios invariantes. Departamento de Matemáticas. Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia.

## **Operadores Uniformemente Estables y Subespacios Invariantes**

Halmos, P. (1982). A Hilbert Space Problem Book. (Graduate Text in Mathematics).Springer Science.

Kubrusly, C. (2008). Hilbert Space Operators. A Problem Solvind Approach. Birkhauser. Boston.

Kreyszig, E. (1978). Introductory Functional Analysis with Applications. John Wiley & Sons.

Rosales, E. (2011). Operadores Casi Llenos y de Radio Numérico Alcanzable. Ediciones del Vicerrectorado Académico de la Universidad del Zulia.



## Normas de Publicación para Autores

### REVISTA BASES DE LA CIENCIA

BASES DE LA CIENCIA es una Revista Científica Arbitrada, que inició sus actividades de publicación en diciembre 2016, que incluye las áreas de las ciencias: Biológicas, Físicas, Matemáticas, Químicas y Geociencias.

La revista tiene una periodicidad cuatrimestral (tres números en el año), es editada por el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Manabí y recibe artículos tanto en español, inglés y portugués.

La revista BASES DE LA CIENCIA (ISSN WEB: 2588-0764), está dirigida a autoridades, docentes, estudiantes de maestría y doctorado, emprendedores, investigadores, profesionales, instituciones públicas y privadas y todas las personas interesadas por las áreas de ciencias biológicas, físicas, matemáticas, químicas y geociencias. Se encuentra disponible en versión digital con acceso libre (<http://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/index>) y no tiene costos asociados por publicación.

### ENVIO DE LOS MANUSCRITOS

La recepción de los artículos es permanente. Los autores que deseen publicar pueden solicitar el registro en la Revista bases de la ciencia, enviando los siguientes datos: nombre, apellido, afiliación institucional, país, temática en la cual estaría dispuesta a ser revisor externo de la revista, al siguiente correo [revistabasesdelaciencia@gmail.com](mailto:revistabasesdelaciencia@gmail.com) y se le asignara un usuario y clave. La clave es temporal puede ser modificada por el investigador. También pueden registrarse directamente en el Open Journal System (<http://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/user/register>) y enviar desde allí el artículo con una carta de intención y aprobación en la que se debe indicar lo siguiente: Nombre(s) completo(s) del(los) autor(es) y direcciones para envío de correspondencia (es necesario colocar una dirección de correo electrónico con el autor o persona encargada con la cual estableceremos contacto). Se debe llenar los 2 formatos siguientes: 1.- Cesión de derechos y 2.- Solicitud de publicación de artículo.



Aunque el autor podrá remitir esta información a través de los correos electrónicos: [revistabasesdelaciencia@gmail.com](mailto:revistabasesdelaciencia@gmail.com); [revistabasesdelaciencia@utm.edu.ec](mailto:revistabasesdelaciencia@utm.edu.ec).

El envío de un artículo a la revista implica que ha sido aprobado por todos los autores y están de acuerdo con su contenido en el caso de ser publicado. Se entenderá que el documento sometido a la revista no ha sido enviado, ni publicado en ninguna otra revista científica, es decir, es inédito y original. Aunque todas las contribuciones estarán sujetas a revisión previa, la responsabilidad por el contenido de las mismas recae sobre los autores y no sobre los editores, el comité editorial o la Universidad técnica de Manabí.

## Artículos aceptados por la revista Bases de la Ciencia

La revista BASES DE LA CIENCIA publica artículos originales, notas técnicas, comunicaciones cortas, artículos de divulgación y revisiones bibliográficas de investigadores relacionadas con todos los aspectos científicos modernos de las áreas de interés de la revista que representen aportes significativos al conocimiento y que no hayan sido propuestos simultáneamente a otras revistas.

Los artículos originales deben ser el resultado de estudios de campo o de laboratorio que aporten información nueva o el análisis estadístico de una gran colección de resultados de trabajos individuales con el propósito de integrar los hallazgos. Las Notas Técnicas o Comunicaciones Cortas están reservadas a tópicos de interés tales como observaciones, extensión de datos u otros hallazgos que por sí solos no constituyen un estudio comprensivo.

- a. Para los artículos originales se recomienda su división en: Título se escribe con mayúsculas (en inglés, español y portugués), autores y procedencia (dirección postal institucional precisa, incluir Email), Resumen, Palabras Clave, Abstract, Key Words, Introducción, Metodología (si el autor desea puede ser dividido en Materiales y Métodos), Resultados, Discusión (o Resultados y Discusión), Conclusiones, Agradecimientos y Referencias. Las tablas y leyendas de las figuras deben ser incluidas en el texto.
- b. Las Notas Técnicas o Comunicaciones Cortas se escriben de forma corrida con la estructura siguiente: Título, autores y procedencia, Resumen, Introducción, Metodología (si el autor desea



puede ser dividido en Materiales y Métodos), Resultados y Discusión, Conclusiones, Referencias.

c. Las Revisiones se recomienda citar por lo menos 40 referencias del tema a analizar. Su estructura es la siguiente: Resumen, Introducción, Metodología, Desarrollo y discusión, Conclusiones y Referencias. Igualmente, en el envío del manuscrito debe señalarse el área de pertinencia del mismo o la línea de investigación a la cual pertenece.

Los artículos deben someterse a arbitraje en línea a través de la siguiente dirección: <http://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia>. Presentar el artículo mediante comunicación escrita dirigida al Director (a) de la Revista Bases de la Ciencia, en soporte digital a los Correos electrónicos: [revistabasesdelaciencia@utm.edu.ec](mailto:revistabasesdelaciencia@utm.edu.ec); [revistabasesdelaciencia@gmail.com](mailto:revistabasesdelaciencia@gmail.com). En la comunicación escrita el autor debe expresar el tipo de documento (artículo original, nota técnica, comunicaciones cortas o revisiones) y sección a la que postula su trabajo (Ciencias físicas, Ciencias Químicas, Ciencias Matemáticas, Ciencias Biológicas o Geociencias). Debe adjuntar la hoja de vida del autor en Correspondencia, y carta de postulación en la que exprese claramente que conoce y acepta la política editorial de Bases de la Ciencia; cede los derechos de reproducción y distribución del artículo; la originalidad del trabajo y su declaración de que no tiene conflicto de intereses (en lo comercial, propiedad intelectual, relevancia académica, financiero). Llenar formatos de Cesión de derechos y Solicitud de publicación.

## ESTRUCTURA DE LOS ARTÍCULOS

Normas Editoriales Generales: El texto completo debe hacerse en Word, con todos los márgenes de 2,0 cm, a 1 1/2, letra Times New Roman tamaño 12, escrito por una sola cara. El texto no debe exceder de 20 páginas (incluyendo tablas y figuras). Numere todas las páginas margen inferior derecho. Los números decimales deben ser separados por comas (,) si el trabajo está en español y punto (.) si es en inglés. Los artículos pueden ser escritos en español, portugués o en inglés (en todos los casos el resumen debe estar en los tres idiomas).



1. Título. En español e inglés y no exceder de 20 palabras. Debe ser explicativo y contener la esencia del trabajo, evite el uso de fórmulas o expresiones técnicas muy largas. En mayúscula, negritas y centrado.

2. Autores. Deben indicarse nombres, apellidos y títulos profesionales. Ejemplo:

Dra. Lelly María Useche Castro<sup>1\*</sup>, MSc. Olga Lilian Mendoza Talledo<sup>1</sup>, MSc. Rosalba Karen Bravo Saltos<sup>1</sup>, MSc. Miguel Ángel Lapo Palacios<sup>1</sup>

3. Direcciones. Se debe escribir la dirección completa de la Institución donde se realizó el trabajo y aquellas a las cuales donde pertenecen los autores. Indique con símbolos a que autor corresponde cada dirección. Indique, además, el autor de correspondencia, su dirección electrónica mediante un asterisco (\*).

Ejemplo: <sup>1</sup>Departamento de Matemáticas y Estadística. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador.

\*Autor para correspondencia: [luseche@utm.edu.ec](mailto:luseche@utm.edu.ec)

4. Resumen, Abstract y Resúmen. No mayor de 250 palabras. Debe presentarse en español, inglés y portugués. Los resúmenes en los diferentes idiomas deben parecerse lo más posible entre sí. Los autores pueden buscar asistencia con alguna persona que hable el idioma (que el autor no domine) de manera fluida. La traducción mediante el uso de programas de traducción no debe ser utilizada en ningún caso. El resumen contendrá los objetivos, metodología, principales resultados y conclusiones. No incluir referencias y debe escribirse en letra Times New Roman 10 a un solo párrafo.

5. Palabras clave. Deben colocarse al finalizar el resumen, abstract o resúmen. Incluir un máximo de 5 palabras clave, necesarias para la mejor ubicación en los índices internacionales.

6. Introducción. En esta sección, redactada en presente, el autor expresa el propósito del artículo, alcances, el contexto del problema a resolver, para lo cual presenta en forma breve las más recientes e importantes investigaciones relacionadas con el tema, que en promedio tengan 10 años de antigüedad, salvo los clásicos de consulta obligada. Son fundamentales la hipótesis

o pregunta de la investigación y el problema planteado. Finalice con el objetivo de la investigación.

7. Metodología (Materiales y métodos). esta sección tiene como propósito entregar información para que el estudio sea replicado. Se redacta en pasado. Debe señalar cómo estudió el problema, por tanto, expresar claramente todos los protocolos, métodos y características relevantes de los materiales empleados para llegar a los resultados. No debe describirse un método si ya está descrito en la bibliografía; basta con presentar la cita bibliográfica. Si utiliza un método modificado, debe señalarse claramente la modificación. Es fundamental presentar los materiales evaluados (especificaciones técnicas, cantidades, procedencia o método de preparación, nombres genéricos o químicos evitando los comerciales), y el análisis estadístico (debe realizarse mediante software especializado).

8. Resultados. se debe explicar con claridad y precisión los hallazgos, complementados con tablas y figuras las que se enumeran correlativamente a medida que se mencionan en el texto. Evite repetir la información de las tablas y figuras, sólo destaque lo más relevante. Las tablas y figuras deben ser autoexplicativos de tal manera que el lector no tenga que ir al texto para entender la información que se entrega; los nombres científicos, abreviaturas, unidades, entre otros, deben ser incluidos. Se redacta en pasado.

9. Discusión. es la sección para interpretar los hallazgos, exponer su importancia, implicaciones, relaciones con otros estudios, alcances teóricos y aportes al avance de la ciencia. La discusión debe sustentarse en el análisis estadístico y aportes de otros autores con estudios similares, más no en apreciaciones subjetivas. Si el autor desea puede unir resultados y discusión.

10. Conclusión. es una síntesis de los hallazgos y deben corresponderse con los objetivos planteados.

11. Agradecimiento. es opcional y no debe extenderse más allá de las 100 palabras.

12. Tablas. Se deben incluir y citarse en el texto. Deben presentarse con líneas en la parte superior e inferior de los encabezados de la misma, así como al final de la tabla. Se identificarán

con números arábigos (Ejemplo: Tabla 1) y llevarán un encabezamiento descriptivo. Las abreviaturas se explicarán al pie de la tabla.

13. Figuras. Se deben incluir y citarse en el texto. Las figuras se identificarán con números arábigos (Ejemplo: Figura 1). Evite el uso de fondos coloreados o grises. Utilice diferentes tipos de líneas y símbolos en figuras con múltiples líneas. Las leyendas sobre los ejes X y Y deben ser de tamaño legible.

14. Fotografías. Se deben incluir y citarse en el texto. Deberán ser reproducciones nítidas. Su tamaño no excederá el de la hoja impresa. No deben montarse. Se indicará la magnificación de las microfotografías.

15. Referencias. Estas deben ser actualizadas. Los autores son responsables de la fidelidad de las referencias. Se debe incluir una lista completa de todas las referencias, las cuáles serán ordenadas alfabéticamente por el apellido del primer autor de cada cita del documento y con sangría francesa, siguiendo las normas de citación y de estilo de la American Psychological Association (APA), última versión.

Cuando las evaluaciones de los árbitros estén completas, éstas serán remitidas a los autores para su corrección y serán recibidas en un lapso no mayor a 45 días (para evaluaciones con ligeras modificaciones) o no mayores a 60 días (para modificaciones sustanciales). De no recibirse en el lapso establecido, se asumirá el retiro del manuscrito por parte del autor o autores.



## Solicitud de Publicación de Artículo

Día de Mes del Año

A: Comité Editorial de la Revista Bases de la Ciencia.

Solicito la revisión para su publicación, de considerarlo conveniente, del artículo titulado:

Tema del artículo. Afirmamos que lo expresado en el artículo es creación propia de los autores y las partes seleccionadas de otros documentos científicos han sido correctamente citadas respetando los derechos de cada autor.

Los autores ratifican mediante su firma que se comprometen a cumplir con el **Código de Ética de los Autores** publicado en la segunda página y que han utilizado el documento **Autoevaluación del trabajo antes de ser enviado para su consideración de publicación en la revista** el cual adjuntan al envío de esta solicitud.

En espera de su respuesta, atentamente;

	Nombres y Apellidos	Firma
Autor 1		
Autor 2		
Autor 3		
Autor 4		
Autor 5		
Autor 6		

Observación: El orden de los autores expresa la forma de participación en el artículo. Describa en un párrafo no mayor de cinco (5) líneas la novedad del trabajo presentado

## Código de Ética de los Autores

1. La responsabilidad principal del autor es presentar para su publicación una descripción científica y rigurosa de su trabajo de investigación experimental, teórica o tecnológica, con una discusión objetiva de sus resultados.
2. El artículo presentado debe contener suficientes referencias de fuentes públicas. Esto debe permitir que los profesionales que consulten su trabajo puedan verificar las fuentes. El autor debe citar y dar la adecuada atribución a aquellas publicaciones que han influido y determinado la naturaleza del artículo a publicar con el objetivo de guiar al lector hacia trabajos anteriores que le ayuden a comprender el trabajo publicado.
3. Las informaciones obtenidas por el autor de forma privada, producto de la conversación, la correspondencia o la discusión con terceros, no será usada o declarada en el trabajo sin el permiso explícito de las personas a través de la cuales fue obtenida. La información adquirida a partir de trabajos en fase de revisión o aplicaciones de colaboración, serán tratadas de la misma forma.
4. El artículo presentado no contendrá material plagiado o falseará los datos de la investigación. Además, los autores deben confirmar que el artículo no ha sido publicado en ningún tipo de medio con anterioridad ni tampoco pueden haberlo presentado a otra revista simultáneamente.
5. El autor no debe fragmentar su trabajo de investigación para su publicación. Los autores que han realizado su trabajo sobre un sistema o grupo de sistemas relacionados organizarán la publicación del mismo con el propósito de que cada artículo dé una descripción completa de un aspecto especial del estudio general. No es ético que un autor presente, para su publicación más de un trabajo que describa la misma investigación o proyecto a más de una revista.
6. Es ética la crítica sobre los contenidos y criterios de un trabajo publicado; sin embargo, no es aceptable la crítica personal.
7. Para proteger la integridad de la autoría del trabajo, solamente los profesionales que han colaborado en la investigación o el proyecto y confección del artículo serán enumerados como coautores. El autor principal da fe del hecho de haber incluido a todos los coautores del trabajo al entregar la solicitud de publicación.



8. El autor no debe presentar cambios en el contenido de su trabajo después de que ha sido aceptado y se le ha devuelto para que realice las correcciones propuestas. Si existiera una razón de peso para realizar cambios el autor debe informarlos al Comité Editorial y este tiene la autoridad para aprobar o no los cambios propuestos.
9. El autor no debe conocer el nombre de los árbitros o indagar sobre los mismos.
10. Los autores cuya investigación involucre seres humanos o animales son responsables de la aprobación por el Comité de Bioética de la Investigación de la institución en que se hizo el estudio e identificarlo en el texto de la forma siguiente:

### **Responsabilidades éticas**

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

**Conflicto de Intereses:** Ninguno.

Envíe este documento en formato **.pdf**



Día de Mes del Año

A: Comité Editorial

### Cesión de Derechos de Autor

Hacemos constar mediante el presente documento, que el(los) autor(es) cede(n) a la revista Bases de la Ciencia los derechos de autor del artículo titulado:

Título del artículo

El(los) autor(es) autoriza(n) la publicación y difusión del artículo mencionado, según lo disponga la Revista Bases de la Ciencia.

El(los) autor(es) firmantes garantiza(n) que el documento es original, no ha sido publicado total, ni parcialmente, en otra revista o medio de difusión físico o electrónico, ni ha sido presentado para publicar en otra revista.

De igual forma, los autores firmantes reconocemos que la revista asume como suyos los principios del acceso abierto establecidos en las declaraciones de Berlin, Bethesda y Budapest, razón por la cual aceptamos que el trabajo que se presenta sea distribuido en acceso abierto, protegiendo los derechos de autor bajo una licencia “creative commons”.

Declaramos nuestro acuerdo con todo lo expresado en el presente documento.

	<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
Autor 1		
Autor 2		
Autor 3		
Autor 4		
Autor 5		
Autor 6		





Observación: El orden de los autores expresa la forma de participación en el artículo.  
Envíe este documento en formato .pdf



## CONSEJO EDITORIAL

### DIRECTORA

Dra. Yulixis Nohemi Cano de Torres. **(Ecuador)**/ycano@utm.edu.ec,  
yulixiscano@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

### EDITOR GENERAL

Dr. Julio Cesar Torres Puentes. **(Ecuador)**/jctorres@utm.edu.ec, jtorres11912@gmail.com  
/ Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

### EDITORES POR SECCIÓN

#### BIOLOGÍA

Dr. Carlos L. Vásquez Freytez **(Ecuador)**/ca.vasquez@uta.edu.ec / Facultad de Ciencias  
Agropecuarias. Universidad Técnica de Ambato (UTA)

Dra. Marynes Montiel. **(Ecuador)**/montielmarynes@gmail.com / Escuela Superior  
Politécnica del Litoral (ESPOL)

#### FÍSICA

Dr. C. Rolando Serra Toledo. **(Cuba)**/serratoledo@gmail.com / Universidad Tecnológica de  
la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)

#### MATEMÁTICA

Dra. Carmen Judith Vanegas Espinoza. **(Ecuador)**/cvanegas@utm.edu.ec / Instituto de  
Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Miguel José Vivas-Cortez. **(Ecuador)**/mjvivas@puce.edu.ec / Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador (PUCE)

Dr. Michel Enrique Gamboa  
Graus. **(Cuba)**/michelgamboagraus@gmail.com, michelgg@ult.edu.cu, michelenriquegg@ya  
hoo.com/ Universidad de las Tunas, Las Tunas (Cuba)

Dr. Luis Sánchez. **(Ecuador)**/uccursos@gmail.com / Instituto de Ciencias  
Básicas. Universidad Técnica de Manabí





## QUÍMICA

Dra. María del Rosario Brunetto de Galignani.  
(Ecuador)/mbrunetto@utm.edu.ec, mariadelrosario2327@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Máximo Aurelio Galignani de Bernardi. (Ecuador)/mgalignani@utm.edu.ec / Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Gilberto Colina. (Peru)/gjcolinaa@gmail.com / Universidad Católica de Santa Maria (UCSM)-Arequipa.

Dra. Elvia Victoria Cabrera Maldonado. (Ecuador)  
/vicky\_label2000@yahoo.es, vicky\_label2000@hotmail.com / Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador

Dr. Stalin Gustavo Santacruz Téran (Ecuador)/stalin.santacruz@gmail.com / Universidad Layca Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM)

## APOYO LOGÍSTICO E INFORMÁTICO

Ing. Rosalba Karen Bravo Saltos. (Ecuador)/rosybravo777@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Ing. Carlos Rivero Torres. (Ecuador)/crivero@utm.edu.ec / Universidad Técnica de Manabí

Dr. Oswaldo Larreal (Ecuador)/olarreal@utm.edu.ec / Universidad Técnica de Manabí

## CORRECTOR DE TRADUCCIÓN DEL IDIOMA ESPAÑOL AL INGLÉS

Ing. Angel E. Hernandez B. (Jamaica)/aehb86@gmail.com / University Technology of Jamaica

MSc. Ocando Pereira Yaneth Chiquinquirá. (Ecuador)/ychocando@gmail.com / Universidad de Cuenca

MSc. Lincon Oliver Echeverría Zurita (Ecuador)/lecheverria@utm.edu.ec / Universidad Técnica de Manabí (UTM)

## CORRECTOR DE TRADUCCIÓN DEL IDIOMA ESPAÑOL AL PORTUGUÉS

Dr. Marcelo De Barros Ramalho. (Brasil)/marcelo.ramalho@prof.uniso.br / Universidade de Sorocaba

Dra. Gretel Eres Fernández. (Brasil)/igmefern@usp.br / University of São Paulo





Dra. Noroska Gabriela Salazar Mogollón. **(Ecuador)** /  
[Noroska.salazar@ikiam.edu.ec](mailto:Noroska.salazar@ikiam.edu.ec) / Universidad Regional Amazónica. IKIAM

## COMITE EDITORIAL INTERNO

Dr. Henry Antonio Pacheco Gil. **(Ecuador)**/henrypacheco@gmail.com / Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Ezequiel Zamora-Ledezma. **(Ecuador)**/ezequielza24@gmail.com / Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Técnica de Manabí

Dra. Mirna Oviedo. **(Ecuador)**/moviedo@utm.edu.ec, mirnaoviedo@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Enrique Ruiz Reyes. **(Ecuador)**/eruz@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Jean Carlos Pérez Parra. **(Ecuador)**/jcarlosp@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Juan Ramón Primera Ferrer.  
**(Ecuador)**/juan.primera2009@gmail.com, juanrpf@hotmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Victor Ernesto Marquez Perez. **(Ecuador)**/victore.marquezp@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Mario Adelfo Batista Zaldívar. **(Ecuador)**/mariobatzal69@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dra. Lelly Maria Useche Castro. **(Ecuador)**/luseche@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Francisco Omar Cedeño Loor. **(Ecuador)**/fcedeno@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

MSc. Jorge Rosendo Flores Herrera. **(Ecuador)**/flojorge@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Carlos Alberto Jadán Piedra **(Ecuador)**/cjadan@utm.edu.ec / Ingeniería Industrial. Universidad Técnica de Manabí





MSc. Felipe Rumbaut León (**Ecuador**)/frumbaut@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Roberto Bauza Fermin. (**Ecuador**)/rbauza7@gmail.com, robertomapor@gmail.com / Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Ramón Eduardo Jaimez Arellano. (**Ecuador**)/rjaimezarellano@gmail.com / Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Técnica de Manabí

## COMITE EDITORIAL EXTERNO

Dra. Corina Campos (**Ecuador**)/campossc@gmail.com / Universidad Regional Amazónica (IKIAM)

Dr. Oswaldo José Guzmán (**Ecuador**)/oswaldojoseguzman@gmail.com / Universidad Regional Amazónica (IKIAM)

Dra. Yolanda Marina Vargas Rodríguez (**México**)/ymvargas@unam.mx / Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Dr. Enrique Macías Virgós (**España**)/quique.macias@usc.es / Director del Departamento de Matemáticas. Universidad de Santiago de Compostela

MSc. Romualdo S. Silva Jr. (**Brasil**)/romu.fisica@gmail.com / Departamento de Física. Universidad Federal de Sergipe

Dr. Gustavo Javier Chacón Rosales. (**Brasil**)/gjchacon1976@gmail.com / Universidad Federal do Río Grande do Sul. Instituto de Química.

Dr. Tony Jesus Viloria Ávila. (**Ecuador**)/tviloria63@yahoo.es, tviloria@ups.edu.ec / Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana

Dr. Alfredo Manuel Del Castillo Serpa. (**Cuba**)/acastillo@cemat.cujae.edu.cu / Universidad de Camagüey (Cuba)

Dra. Marinela Nazareth Colina Rincón. (**Venezuela**)/colinamarinela@gmail.com / Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia. Venezuela. Presidente de la empresa Innovación Ambiental Quitoano (INNOVAQUITO C.A)

Dra. Belgica B. Bravo de Salcedo. (**Venezuela**)/marinelacolina@gmail.com / Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia





Dr. José Gerardo Ortega Fernández (**Venezuela**)/jgoft1970@gmail.com / Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia

Dr. Ullrich Stahl. (**Ecuador**)/ustahl@uce.edu.ec / Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador

Dr. Julio Marín. (**Venezuela**)/jmarin@fing.luz.edu.ve / Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia

Dr. Ever Darío Morales Avendaño. (**Ecuador**)/evermster@gmail.com / Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil

Dra. Noroska Gabriela Salazar Mogollón. (**Ecuador**)/noroska.salazar@ikiam.edu.ec / Universidad Regional Amazónica. IKIAM

Dra. Nacarid del Valle Delgado Parra. (**Chile**)/nacadel@gmail.com / Universidad Andrés Bello. Facultad de Ingeniería

MSc. Manuel S. Álvarez Alvarado. (**Ecuador**) / manuel.alvarez.alvarado@ieee.org, manuel.alvarez.alvarado@gmail.com / Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC). Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Dr. Raúl Rodríguez Herrera. (**México**)/rrh961@hotmail.com / Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila

Dra. María Natividad Berradre Ramos. (**Venezuela**)/marinaty@gmail.com / Laboratorio de Alimentos, Departamento de Química, Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia

Dr. Jesús Gabalán Coello. (**Colombia**)/jgabalán@uao.edu.co / Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Occidente

Dr. Saba Rafael Infante. (**Ecuador**)/Sinfante64@gmail.com / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay

Dra. Karelen Cristina Araujo Vargas. (**Venezuela**)/karelenaraujo@gmail.com / Universidad del Zulia (LUZ)

Dra. María Tereza Varela Costa. (**Venezuela**)/mtvarela@usb.ve / Universidad Simón Bolívar (USB)

Dra. Viviana García Mir. (**Ecuador**)/vgarciamir@yahoo.es / Universidad Técnica de Machala  
MSc. Kalina Fonseca Largo. (**Ecuador**)/kalina.fonseca@utc.edu.ec / Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)

Dra. Mercy Ilbay Yupa. (**Ecuador**)/merckyu@hotmail.com / Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)

Dra. Lauris Urribarrí. (**EEUU**)/laurisurribarrí@gmail.com / Investigadora Independiente

Dra. Zoraida M. Sivoli Barrios. (**Ecuador**)/zoraida.sivoli@esPOCH.edu.ec / Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Dra. Marianela Luzardo Briceño. (**Colombia**)/manelubri@gmail.com / Pontifical Bolivarian University. Faculty of Industrial Engineering



- Dr. Franklin José Camacho. (**Ecuador**)/cfranklinj@gmail.com / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay
- Dr. Yonathan Parra. (**Ecuador**)/ydparra@uce.edu.ec / Facultad de Ingeniería en Geología, Minas Petróleos y Ambiental (FIGEMPA). Universidad Central del Ecuador
- Dr. Luis Fernando Mejias. (**Ecuador**)/fmejias.ula@gmail.com/lfmejias@espol.edu.ec / Escuela superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
- Dr. Edgar Fabián Espitia Sarmiento. (**Ecuador**)/edgar.espitia@ikiam.edu.ec / Universidad Regional Amazónica (IKIAM)
- MSc. Juan Miguel Espinosa Soto. (**Ecuador**)/juanmiguelmanos@gmail.com / Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE)
- Dr. Ernesto Mora Queipo. (**Venezuela**)/emoraqueipo@gmail.com / Universidad del Zulia (LUZ)
- MSc. Juan Sebastian Acero Triana. (**EEUU**)/jsa2@illinois.edu / University of Illinois
- Dr. Galo B. Montenegro Córdova. (**Ecuador**)/gmontenegro@epoch.edu.ec / Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
- Dr. Juan Carlos Osorio López. (**Ecuador**)/osoriojuanc@gmail.com / Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE)
- Dra. Marta Beatriz Infante Abreu. (**Cuba**)/martica840527@gmail.com / Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)
- Dr. Daniel Nuñez López. (**Colombia**)/dnunez@ugr.es / Pontificia Universidad Javeriana. Seccional Cali (PUJ)
- Dr. Víctor Alberto Granadillo Morán (**Venezuela**)/vgranadillo@gmail.com / Universidad del Zulia (LUZ)
- Dr. Carlos Daniel Ayala Montilla (**Venezuela**)/carlosdaniel55@gmail.com / Universidad de los Andes (ULA)
- Dr. Víctor Cerdà Martín (**España**)/victorcerdamartin@gmail.com / Universitat de les Illes Balears
- Dr. Alexis José Zambrano García (**Venezuela**)/alexiszve@gmail.com / Universidad de los Andes (ULA)
- Dr. Argenis Montilla Pacheco (**Ecuador**)/argenismontillap@gmail.com / Universidad Layca Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM)
- Dra. Brightdoom Márquez de García (**Venezuela**)/bmarquez2001@gmail.com / Universidad de Oriente (UDO)
- Dr. López González Wilmer Orlando (**Venezuela**)/lgwilmer@yahoo.com / Universidad de los Andes (ULA)
- Dra. Zenaida Castillo (**Ecuador**)/zcastillo@yachaytech.edu.ec / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay
- Dr. Ernesto Antonio Ponsot Balaguer (**Ecuador**)/ernesto.pb@gmail.com / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay
- Dr. Isidro Rafael Amaro M. (**Ecuador**)/iamaro@yachaytech.edu.ec / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay
- Dr. Alberto Luis Rosa (**Argentina**)/alrosa@ucc.edu.ar / Universidad de Córdoba
- Dr. Ebner Alexander Pineda Mogollón (**Ecuador**)/ebner.pineda@gmail.com / Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL)
- MSc. Francisco Javier Quiroz Chávez (**Ecuador**)/francisco.quiroz@epn.edu.ec / Escuela Politécnica Nacional (EPN)



- MSc. Diego German Piccardo Silva (**Uruguay**)/dpiccardo@fagro.edu.uy / Universidad de la República. Facultad de Agronomía
- Dr. Alexander López (**Ecuador**)/tula1971@gmail.com / Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL)
- Dra. Esther Desireé Gutiérrez Moreno (**Venezuela**)/sterguti@gmail.com / Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)
- Dr. David Lanza escobedo (**España**)/david.lanza@udima.es / Universidad a Distancia de Madrid (UDIMA)
- Dr. Rubén E. Cadenas Martínez (**Ecuador**)/ruben.cadenas@unesum.edu.ec / Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM)
- Dr. Ruly Teran Hilares (**Perú**)/rteran@ucsm.edu.ec / Universidad Católica de Santa María (UCSM)
- Dr. Luis Orlando Castellanos Pérez (**Cuba**)/lopc@uho.edu.cu / Universidad de Holguín (Cuba)
- Dr. Rafael Mauro Ávila-Ávila (**Cuba**)/ravilaa62@gmail.com / Universidad de Holguín (Cuba)
- Dr. Jhonny Saulo Alberto Villafuerte Holguin (**Ecuador**)/jhonny.villafuerte@gmail.com / Universidad Layca eloy Alfaro de Manabí (ULEAM)
- MSc. Gustavo Hincapié Jaramillo (**Colombia**)/gustavo.hincapie@ucaldas.edu.co / Universidad de Caldas
- MSc. Richard Pérez Roa (**Venezuela**)/rperez1984@gmail.com / Universidad Central de Venezuela (UCV)  
Asesor de Gestión e Imagen
- Dr. Ulises Mestre. (**Cuba**)/umestre@utm.edu.ec / Universidad de las Tunas, Las Tunas (Cuba)

**Los Miembros del comité editorial interno y externo actúan como pares revisores de los trabajos por el sistema doble ciego.**

## Revista del Instituto de Ciencias Básicas

e-ISSN: 2588-0764

E-Mail: [revistabasesdelaciencia@gmail.com](mailto:revistabasesdelaciencia@gmail.com)/[revistabasesdelaciencia@utm.edu.ec](mailto:revistabasesdelaciencia@utm.edu.ec)

Dirección: Av. Urbina y Che Guevara

Apartado postal: 82

Teléfonos: (593-5) 2651613  
Portoviejo - Manabí - Ecuador

