

ESTUDIO DE LA COAGULACIÓN DEL SISTEMA COLOIDAL DE Fe(OH)₃ POR ACCIÓN DE LA GOMA DE TARA

N. Tapia H.¹, S. Mamani C.², N. Rojas P.³, A. Yarango R.⁴

RESUMEN

Se ha estudiado la influencia del pH y de la concentración de una solución acuosa de goma de tara en la coagulación del sistema coloidal de Fe(OH)₃, formado por partículas coloidales de carga positiva. Los resultados experimentales demuestran que el pH óptimo para el proceso de coagulación es 5 y la concentración de goma de tara es 0,1 g por 75 ml de H₂O. La cinética del proceso de coagulación es rápida y termina a los 5 minutos.

Palabras clave: Coagulación, efecto pH, goma de tara, coloide Fe(OH)₃.

STUDY OF THE COAGULATION OF COLLOIDAL SYSTEM OF Fe(OH)₃ BY INFLUENCE OF TARA GUM

ABSTRACT

It has been studied the influence of the concentration and the pH of solution of tara gum in the coagulation of colloidal system of Fe(OH)₃ with positive colloidal particles. The experimental data show that the coagulation is better for 0,1 g/75 ml solution of tara gum and the optimum pH is 5. The kinetic of coagulation was fast and finished after 5 minute.

Keywords: Coagulation, pH effect, tara gum, colloid Fe(OH)₃.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es continuación de una investigación previa^[6], en donde se utilizó el alginato de sodio para producir la coagulación del sistema coloidal de hidróxido férrico. En este trabajo, se utiliza la goma de tara, el cual es un polvo blanco y es soluble en agua fría y caliente. Este biopolímero se obtiene de las semillas de la tara (*Caesalpinia spinosa*) y ha encontrado muchas aplicaciones en

la industria farmacéutica y de alimentos, su estructura se muestra en la Figura 1.

La coagulación y floculación^[1-9] son dos procesos de la etapa de clarificación del agua. La coagulación es el proceso de unión de las partículas coloidales, que da lugar a la formación de coágulos, los cuales al aumentar su peso floculan por acción de la fuerza de gravedad.

1 Departamento de Físicoquímica, FQIQ-UNMSM, ntapia@unmsm.edu.pe

2 Departamento de Físicoquímica, FQIQ-UNMSM, sil_ver_2@hotmail.com

3 Departamento de Físicoquímica, FQIQ-UNMSM, nrojas@unmsm.edu.pe

4 Departamento de Físicoquímica, FQIQ-UNMSM, ayarangor@unmsm.edu.pe

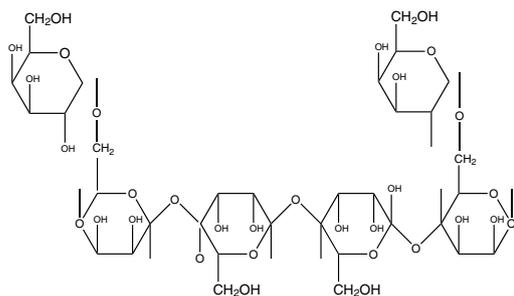


Figura 1. Goma de Tara.

La coagulación es un proceso de desestabilización de las partículas suspendidas a través de la disminución de las fuerzas de repulsión entre ellas, y se logra mediante la introducción al sistema de iones coaguladores, los cuales producen la compresión de la doble capa eléctrica y la disminución del valor del potencial zeta o electrocinético. La coagulación también se puede producir por acción de polímeros sintéticos y naturales, sin embargo el mecanismo del proceso es diferente, en este caso las moléculas del polímero, que posee a lo largo de su estructura cientos de grupos funcionales (ácidos o básicos) unen a las partículas coloidales a lo largo de la cadena polimérica, produciendo un aumento de la masa (polímero más partículas coloidales), que conduce a una sedimentación o floculación rápida del sistema coloidal.

1.1 Cinética de coagulación

En el estudio de la cinética de coagulación del sistema coloidal se mide la variación de la concentración de las partículas coloidales con respecto al tiempo. Existen diferentes modelos teóricos que permiten explicar la velocidad del proceso de coagulación, sin embargo, los modelos difieren en relación a los agentes coaguladores, solución de electrolitos o de polímeros, y también con respecto a las interacciones entre las partículas coloidales.

Uno de los modelos más usados para explicar la cinética de coagulación por acción de

soluciones de determinada concentración de electrolitos, es el propuesto por el científico polaco **Von Smoluchowski**^[3]. En este modelo se propone que el electrolito coagulador comprime a la doble capa eléctrica, que conduce a la disminución de la repulsión entre las partículas coloidales, las cuales al chocar se unen formando coágulos binarios, terciarios y así sucesivamente. Además, propone que no es necesario que las partículas choquen sino que se acerquen a una distancia crítica ρ , que generalmente es mayor que diámetro de la partícula coloidal esférica ($\rho > d$). En este modelo no se consideran las interacciones entre las partículas coloidales y generalmente se conoce como modelo de coagulación rápida.

Para deducir la ecuación de este modelo, se considera que las partículas tienen geometría esférica, además se utiliza la ley de difusión de Fick para el flujo de partículas por unidad de tiempo que cruzan una esfera de radio r ($r = r_1 + r_2$) alrededor de la partícula de referencia:

$$J_1 = \frac{dm}{dt} = -AD \frac{dC}{dx} \quad (1)$$

Donde A es el área ($A = 4\pi r^2$), D es el coeficiente de difusión, dC/dx es el gradiente de concentración, que de acuerdo al modelo examinado se transforma en dN/dr , siendo N la concentración de partículas por unidad de volumen, dm/dt es la cantidad de sustancia que se difunde en la unidad de tiempo. Finalmente se obtiene:

$$J_1 = -4\pi r^2 D \frac{dN}{dr} \quad (2)$$

Donde J_1 ahora representa el número de colisiones por unidad de tiempo con la partícula central. Si N_0 es el número de partículas en el momento inicial ($r = \infty$) y $r = R$ es la distancia entre los centros de las partículas, conocida también como radio de menor acercamiento, integrando la ecuación (2) se obtiene:

$$J_1 = 4\pi R D N_0 \quad (3)$$

La velocidad de coagulación rápida es el producto de la frecuencia de colisiones (J_1) por el número de partículas de referencia N en el transcurso del proceso:

$$-\frac{dN}{dt} = 4\pi DRN^2 \quad (4)$$

El proceso de coagulación rápida es por lo tanto equivalente a una cinética de segundo orden. Smoluchowski supuso que además de las colisiones entre las partículas individuales, podrían existir colisiones entre agregados de partículas.

La unión entre las partículas individuales V_1 conduce a la formación de complejos secundarios V_2 , terciarios V_3 , etc. En la etapa inicial del proceso $t=0$, se tiene:

$$V_1 = V_0 \quad V_2 = V_3 = \dots \dots V_n = 0 \quad (5)$$

En el transcurso del tiempo, cuando $t \neq 0$ se obtiene:

$$V = V_t = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \dots \quad (6)$$

Donde v representa la suma de la concentración numérica de todas las agregaciones que hay en el tiempo t del proceso de coagulación y siempre se observará que $v < v_0$. En consideración de la anotación introducida, la ecuación (4) se transforma en:

$$-\frac{dv}{dt} = 4\pi D\rho v^2 \quad (7)$$

Donde ρ es la distancia crítica a la cual deben de acercarse las partículas para formar un coágulo y reemplaza a R . Introduciendo la constante $K = 4\pi D\rho$, se tiene:

$$-\frac{dv}{dt} = Kv^2 \quad (8)$$

Separando variables e integrando la última ecuación entre los límites de v_0 a v y de $t = 0$ a t , se obtiene:

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} = Kt \quad (9)$$

La forma lineal de esta ecuación, que se puede utilizar para la interpretación de los datos experimentales, es:

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{v_0} + Kt \quad (10)$$

De la ecuación (10) para la concentración en el tiempo t del proceso, se obtiene:

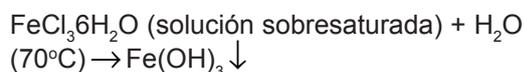
$$v = \frac{v_0}{1 + Kv_0t} \quad (11)$$

La última ecuación nos permite determinar la grafica de v con respecto al tiempo.

2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Preparación del sistema coloidal $Fe(OH)_3$

Para obtener el sistema coloidal de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$, se prepara una solución sobresaturada de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, de esta solución se toma 5 ml y se agrega gota a gota a un vaso, que contiene 600 mL de agua destilada a 70 °C hasta que se observe un color rojo intenso. El pH del sistema coloidal es 2,5. La reacción que da lugar a la formación de las partículas coloidales es:



La estructura de las partículas con su doble capa eléctrica es:



2.2. Preparación de la goma de tara

La goma de tara fue donada por la compañía peruana **Agrifood SRL**, que se dedica a la exportación de este producto al mercado internacional. Es un polvo de color blanco soluble en agua. Para preparar la solución se peso 0,08 g de goma de tara y se disolvió en 75 mL de agua destilada a temperatura ambiente, el pH de la solución fue 6 a la temperatura de 21 °C. Para determinar la influencia de la concentración en el proceso de coagulación se prepararon también soluciones de 0,10, 0,15, 0,20 y 0,30 g en 75 mL de agua destilada.

2.3. Prueba de jarras

Para determinar el pH óptimo del proceso de coagulación se prepararon cinco soluciones de goma de tara de concentración 0,08 a diferentes pH, el pH fue regulado con soluciones 0,1N de HCl y NaOH. De estas soluciones se tomaron 75 mL y se agregaron a 5 vasos que contenían 600 mL de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Del análisis de los datos experimentales se determinó que el pH óptimo para el proceso de coagulación se encuentra en el rango de 4,5 a 5.

Para determinar la concentración óptima para el proceso de coagulación se prepararon 75 mL de soluciones de concentración 0,08, 0,10, 0,15, 0,20, 0,30 g. El pH de estas soluciones se ajustó a 5. Las citadas soluciones se agregaron en forma secuencial a 5 vasos que contenían 600 mL del sistema coloidal. La mezcla obtenida se colocó en el equipo de jarras y se sometió a agitación constante por 3 minutos y 60 rpm. El resultado experimental se muestra en la Fig. 2, de la cual se deduce que la concentración óptima es 0,10 g de goma de tara en 75 mL de agua (jarra B).

La turbidez de las mezclas fue medida con el Turbidímetro Microprocesador HI 93703 **Hanna Instrument**. El pH de las soluciones fueron medidas utilizando un pH-metro portable Russell RL060P.

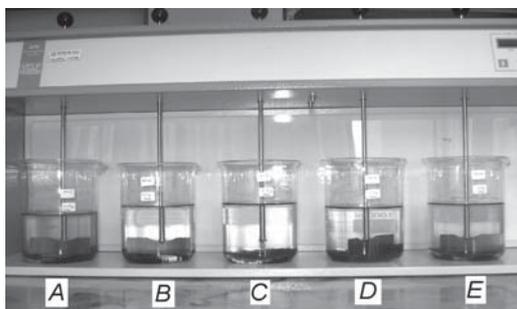


Figura 2. Prueba de jarras para el sistema coloidal de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ regulado a pH 5 y coaguladas con soluciones de goma de tara a varias concentraciones.

2.4. Cinética de coagulación

Para el estudio de la cinética del proceso de coagulación, se preparó 600 mL del sistema coloidal de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ al cual se adicionó una solución de goma de tara 0,1 g en 75 mL y a pH=5. La mezcla obtenida se agita durante 5 minutos a 100 rpm y se procede a tomar progresivamente muestras de 5 mL para medir la variación de la turbidez en tiempo. Los resultados se muestran en la Figura 2.

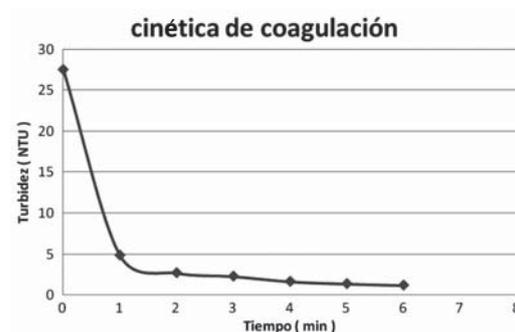


Figura 3. Curva de cinética de coagulación del sistema coloidal $\text{Fe}(\text{OH})_3$ con una solución de goma de tara (0,1 g) a pH=5.

4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

4.1. Influencia del pH

Es ampliamente conocido que el pH influye en la forma de las macromoléculas que se encuentran en una solución, a un determinado intervalo de pH las macromoléculas se encuentran desenrolladas, mientras que a otros se encuentran enrolladas. Para producir la coagulación de los sistemas coloidales las macromoléculas deben de estar completamente desenrolladas, de tal manera que las partículas coloidales se unan a los grupos funcionales de esta. En el presente trabajo, se ha determinado que el pH óptimo para producir la coagulación se encuentra en el intervalo de 4,5 a 5.

4.2. Influencia de la concentración

La determinación de la concentración de la goma de tara, para producir la coagulación,

es importante porque a bajas concentraciones no se produce la coagulación y a altas concentraciones las macromoléculas estabilizan al sistema coloidal. De la Figura 2 se ha determinado que la concentración óptima es 0,1 g en 75 mL de H₂O a pH=5.

4.3. Cinética del proceso de coagulación

De los datos experimentales que se muestran en la Fig. 3, se deduce que la cinética del proceso de coagulación del sistema coloidal de hidróxido férrico es rápida y termina a los 5 min.

Para la interpretación de los datos experimentales, se ha utilizado la ecuación lineal (10), la cual se ha procesado mediante un programa de regresión lineal de Excel, el resultado se muestra en la Figura 4. El valor de las constantes de la ecuación son: $K = 0,0023$ y $v_0 = 28,57$.

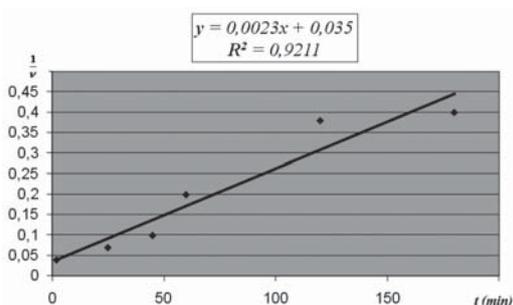


Figura 4. Gráfica de la ecuación lineal de Smoluchowski (10).

5. CONCLUSIONES

- Se ha demostrado que la goma de tara se puede utilizar para producir la coagulación de sistemas coloidales que contengan partículas de carga positiva.
- El pH óptimo para el proceso de coagulación se encuentra en el rango de 4,5 a 5. La concentración óptima para el caso examinado es 0,10 g en 75 mL de agua.
- De la gráfica de la cinética de coagulación correspondiente a la turbidez versus el

tiempo, se deduce que el proceso es rápido y termina a los 5 minutos.

- Se ha demostrado, que para el tratamiento de los datos experimentales de la cinética de coagulación se puede utilizar la ecuación lineal de Smoluchowski (10), obteniéndose los valores para las constantes $K = 2.3 \times 10^{-3}$ y $v_0 = 28,57$.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Jirgensons B., Straumanis M. E. *Compendio de química coloidal*. Editorial Continental, México, 1965.
- Duncan J. Shaw. *Introducción a la química de superficies y coloides*. Editorial Alhambra, España, 1977.
- Voyutsky S. *Colloid Chemistry*. Editorial MIR, Moscow, 1978.
- Hiemenz Paul C. *Principles of colloid and surface chemistry*. Marcel Dekker, New York, 1986.
- Jean Roussy, Maurice Van Vooren, B.A. Dempsey, Eric Guibal. Influence of chitosan characteristics on the coagulation and the flocculation of bentonite suspensions. *Water Research* 39, 3247-3258, 2005.
- Tapia H.N., Abanto J.C., Rojas P.N., Yarango R.A., Reyes M.I. "Estudio de la cinética de coagulación del sistema coloidal de Fe(OH)₃ por influencia del alginato de sodio". *Rev. Per. Quím. Ing. Química*. Vol. 12, N.º 1, 66-70, 2009.
- Andia Cárdenas Y. "Tratamiento de Agua, Coagulación y Floculación", 2000. <http://www.sedapal.com.pe>
- Barrenechea M. Ada "Coagulación" <http://www.cepis.opsoms.org/tratamiento/manual/tomolpdf>.
- La coagulación y floculación <http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/coagulacion-floculacion.htm>

NOTA DEL EDITOR

En la publicación del artículo "*Modelamiento del proceso de secado en lecho surtidor convencional: parte I*" que aparece en la *Revista Peruana de la Facultad de Química e Ingeniería Química*, Volumen 12, N.º 2, páginas 54-61 del año 2009, cuyo autor es **C. Condorhuamán C.**, de manera involuntaria se omitió consignar, en la referencia bibliográfica, el trabajo "Modelización de la operación de secado de malta, por aire caliente, en lecho fijo y capa profunda", cuyo autor es Miguel Llorca Márquez.

PAUTAS PARA LOS AUTORES

La Revista Peruana de Química e Ingeniería Química publica manuscritos originales inéditos preferentemente provenientes de trabajos de investigación, revisión de la literatura y comunicaciones cortas sobre temas selectos en las áreas de química e ingeniería química.

Los trabajos a ser publicados, como artículos de investigación o de revisión, serán remitidos en original impresa y en diskette o disco compacto a la comisión de publicaciones, de acuerdo a las siguientes especificaciones.

A) Esquema general

1. El título del artículo (con mayúsculas, centrado y en en negrilla) debe ser escrito y debe expresar el trabajo. Los nombres de autores Ej: **G. Pérez S.** En el pie de página debe aparecer la afiliación de los autores y sus direcciones electrónicas (en español).
2. El resumen debe ser escrito en un párrafo, donde describa en forma sucinta en no más de 200 palabras: objetivo, procedimiento y resultados de la investigación. Además en un párrafo separado debe agregar 5 a 10 palabras claves que identifiquen el trabajo.
3. Repita las especificaciones 1 y 2 pero en inglés.
4. El texto debe contener lo siguiente: I. Introducción, II Sección experimental, III Resultados y Discusión, IV Conclusiones, V Reconocimientos, VI Referencias. Éstos se deben escribir en letra capital y en negrilla.
5. Los datos pueden ser presentados en tablas y figuras, y los que serán ordenados en números árabes y en negrilla según la secuencia de presentación. La numeración y el subtítulo en una tabla se ponen en la tapa, mientras que las figuras y los diagramas se ponen para las referencias. Éstos se deben escribir en letra capital y en negrita. Los datos se pueden presentar en tablas y figuras, y estarán ordenados en números árabes y en negrita según la secuencia de presentación. La numeración y el subtítulo en una tabla se ponen en la tapa, mientras que las figuras y los diagramas se ponen para las referencias.
6. En todos los casos haga cumplir los estándares internacionales referentes a nomenclaturas, símbolos y a sistemas de medida.
7. Las referencias serán citadas consecutivamente en el texto como exponente. Utilice el estilo de Vancouver para las referencias.

Artículos en revistas

Diez Jarilla JL Cienfuegos Vázquez M., Suárez Salvador E., Ruidos adventicios respiratorios: factores de confusión. Medellín (Barc) 1997;109 (16):632634.

Libros

Jiménez C. Riaño D., Moreno E., Jabbour N. Avances en transplante de órganos abdominales. Madrid: Cuadecon; 1997.

Reporte técnico científico

Organización mundial de la salud. Factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares: nuevas esferas de investigación. Informe de un Grupo Científico de la OMS. Ginebra: OMS; 1994. Serie de Informes Técnicos: 841.

Tesis doctoral

Muñiz Garcia J. Estudio transversal de los factores de riesgo cardiovascular en población infantil del medio rural gallego. (Tesis Doctoral). Santiago: Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Santiago; 1996.

Patentes

Qlarsen CE, Trip R., Jonson CR, inventors; Novoste Corporation, assignee. Methods for procedures related to the electrophysiology of the heart. US patente 5,529,067. 1995 Jun 25.

Las páginas web deben ser citados indicando la organización responsable por el lugar y la dirección electrónica de la mas reciente modificación de la misma entre paréntesis.

B) Mecanografiado

1. El texto completo, mínimo 4 páginas y un máximo de 20, debe ser escrito en formato Microsoft Word, tamaño de página A4, en dos columnas con 1 cm. de espacio entre columnas, donde se incluyan las tablas y gráficos a criterio del autor.
2. Márgenes: izquierdo 3.3 cm, derecho 2.5 cm, superior 3 cm, inferior 3 cm.
3. El tipo de letra Arial, estilo de fuente regular (salvo indicación contraria), espaciado 1.5, color de fuente negro (texto y gráficos) y tamaño de fuente 12, las leyendas de tablas, gráficos 9 puntos, así como el resumen y el abstract.
4. Todo el texto, excepto el título, debe estar justificado.
5. Los trabajos se presentan para su publicación en cualquiera de los siguientes idiomas: español, inglés, francés y portugués.
6. Las comunicaciones cortas tendrán un mínimo de media pagina y un máximo de 2.

C) Evaluación

1. La evaluación de los trabajos estará a cargo de un comité editor y un comité consultor, que estarán integrados por destacados especialistas en las áreas de química e ingeniería química.
2. Un trabajo para ser publicado, debe ser previamente aprobado por el comité, que será comunicado al autor principal.

Nota: Los autores de los trabajos publicados son los únicos responsables de la autenticidad y opiniones expresadas en los mismos. Todos los autores de un artículo deberán firmar el trabajo como garantía de haber participado activamente en la investigación del mismo.

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

The Peruvian journal of Chemistry and Chemical Engineering publishes original unpublished manuscripts, mainly from research, literature review and short communications on selected topics in the fields of chemistry and chemical engineering.

The works to be published as research articles or review shall be sent in original form and on diskette or CD to the publications committee, according to following specifications:

A) Outline

1. The title of the article (in capital letters, centred and in bold) should be brief and must express the work. Next are the names of authors Ej: **G. Pérez S.** In the footnote should appear the affiliation of the authors and their email addresses (in Spanish).
2. The abstract should be written in one paragraph, where it describes in concise form in no more than 200 words: objective, procedure and results of the investigation. Furthermore in a separate paragraph it must add 5 to 10 key words that identify the work.
3. Repeat the specifications 1 and 2 but in English.
4. The text should contain the following sections: I. Introduction, II Experimental section, III Results and Discussion, IV Conclusions, V Acknowledgments, VI References. These should be written in bold capitals.
5. The Data can be presented in tables and figures, and will be ordered in Arabic numerals and bold according to the sequence of presentation. The numbering and caption in a table are placed at the top, while the figures and diagrams are placed for references.
6. In all cases enforce international standards relating to nomenclature, symbols and measurement systems.
7. The references will be cited consecutively in the text as superscript. Use the Vancouver

Journal Article

Diez Jarilla JL Cienfuegos Vázquez M., Suárez Salvador E., Ruidos adventicios respiratorios: factores de confusión. Medellín (Barc) 1997;109 (16):632634.

Books

Jiménez C. Riaño D., Moreno E., Jabbour N. Avances en transplante de órganos abdominales. Madrid: Cuadecon; 1997.

Technical or scientific report

Organización mundial de la salud. Factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares: nuevas esferas de investigación. Informe de un Grupo Científico de la OMS. Ginebra: OMS; 1994. Serie de Informes Técnicos: 841.

Doctoral thesis

Muñiz Garcia J. Estudio transversal de los factores de riesgo cardiovascular en población infantil del medio rural gallego. (Tesis Doctoral). Santiago: Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Santiago; 1996.

Patents

Qlarsen CE, Trip R., Jonson CR, inventors; Novoste Corporation, assignee. Methods for procedures related to the electrophysiology of the heart. US patente 5,529,067. 1995 Jun 25.

Note: The authors of the published works are the unique people in charge of the authenticity and opinions expressed in the same. All the authors of an article will have to sign the work like guarantee of to have participated actively in the investigation of the same.

CEPREDIM



SE TERMINÓ DE IMPRIMIR
EN EL MES DE OCTUBRE DE 2011,
EN LOS TALLERES GRÁFICOS DEL
CENTRO DE PRODUCCIÓN EDITORIAL E IMPRENTA DE
LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
JR. PARURO 119. LIMA 1.
TELÉFONO: 619-7000 ANEXOS: 6015 / FAX: 6009
E-MAIL: CEPREDIM.PREPRENSA@GMAIL.COM
TIRAJE: 210 EJEMPLARES