

*Revista*  
**AGUNKUYA**

Inteligencia de la mano de la academia

~ VOLUMEN 2, NÚMERO 1. ENERO-JUNIO DE 2012 ~

**Pablo Oliveros Marmolejo<sup>†</sup>**  
**Gustavo Eastman Vélez**  
Miembros Fundadores

**Marta Sandino de Oliveros**  
Miembro de la Asamblea General

**Marcela Oliveros Sandino**  
Presidente Asamblea General  
Consejera Corporativa

**Carlos Patricio Eastman Barona**  
Miembro Asamblea General  
Presidente Consejo Directivo Seccional Pereira  
Consejero Ejecutivo

**Fernando Laverde Morales**  
Rector Nacional-Representante Legal  
Presidente del Consejo Superior

**Gelca Patricia Gutiérrez Barranco**  
Rectora Sede Valledupar

---

## Política Editorial

La *Revista Agunkuya* es una publicación académica de carácter científico que tiene como propósito la divulgación del conocimiento generado a partir de investigaciones, reflexiones y disertaciones que contribuyan a ampliar el conocimiento en todos los campos de las ciencias. Esta publicación se dirige a la comunidad académica en general y de manera especial a docentes y estudiantes.

---

**AGUNKUYA**

*Agunkuya*, Revista del Centro de Investigación y Desarrollo Valledupar - CIDVA / Fundación Universitaria del Área Andina Sede Valledupar  
**ISSN: 2027-9574 / Volumen 2, Número 1 / enero-junio de 2012.**

Centro de Investigación y Desarrollo Valledupar - CIDVA.  
Transversal 22 Bis # 4-105, Valledupar - Cesar, Colombia.  
Correo electrónico: agunkuya@gmail.com

El contenido de los documentos publicados es responsabilidad de los autores y no compromete al Director ni al Editor de la revista, al Centro de Investigación y Desarrollo Valledupar - CIDVA, ni a la Fundación Universitaria del Área Andina. Se autoriza la reproducción citando la fuente.

---

# AGUNKUYA

## Director

### **Ph. D. Marlon José Bastidas Barranco**

Director Centro de Investigación  
y Desarrollo Valledupar - CIDVA

## Editor

### **Dr. Juan Carlos Londoño Jaramillo**

Decano de Ingenierías  
Fundación Universitaria del Área Andina  
Sede Valledupar

## Comité Científico

### **Marlon José Bastidas Barranco**

Ph. D. en Ingeniería  
Universidad Nacional de Colombia

### **Luis Carlos Ángulo Argote**

Ph. D. en Ingeniería  
Universidad de Antioquia

### **Gail Gutierrez Ramírez**

Ph. D. en Ingeniería  
Universidad Pontificia Bolivariana

### **Eric Alexander Guevara Redondo**

Microbiólogo  
Universidad del Cesar

## Comité Editorial

### **Juan Carlos Londoño Jaramillo**

Especialista en Alta Gerencia  
Universidad de Cartagena

### **Ober Adiel Romero Arias**

Especialista en Salud Ocupacional  
Fundación Universitaria del Área Andina

### **Freddy Francisco Botello Socarrás**

Especialista en Minería a Cielo Abierto  
Fundación Universitaria del Área Andina  
Sede Valledupar

### **Catalina Morales Morales**

Especialista en pedagogía para el aprendizaje autónomo  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

### **Marlon José Bastidas Barranco**

Ph. D. en Ingeniería  
Universidad Nacional de Colombia

### **Josefina Isabel Hernández Sabana**

Especialista en Diseño y Evaluación de Proyectos  
Universidad del Norte, Barranquilla

### **Lina Patricia Rodríguez Becerra**

Especialista en Gerencia Integral de Proyectos  
Universidad Militar Nueva Granada

### **Eric Alexander Guevara Redondo**

Microbiólogo  
Universidad del Cesar

## Staff Editorial

### **Rosa Fermina García**

Jefatura de Publicaciones  
Bibliotecóloga,  
Especialista en Docencia Universitaria (E)

### **Leonardo Escobar Barrios**

Corrección de estilo

### **www.editoria.co**

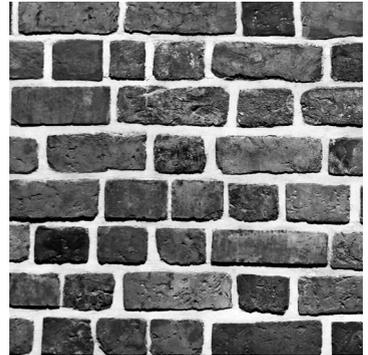
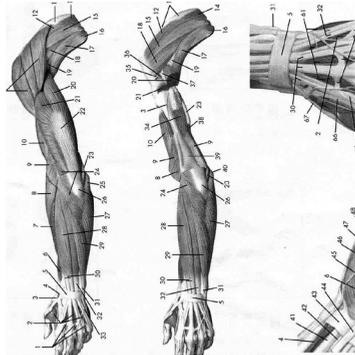
Diagramación y diseño gráfico

### **Editorial Kimpres Ltda.**

Impresión y acabados

# Contenido

~ VOLUMEN 2, NÚMERO 1. ENERO-JUNIO DE 2012 ~



---

12

Cálculo del impacto socioeconómico de la inversión de los recursos de regalías de carbón y compensaciones en el municipio de La Jagua de Ibirico

*Calculation of the economic impact of asset allocation of coal royalties and compensation in the Jagua de Ibirico's municipality*

AZARAE L. CARRILLO

---

22

Determinación de los factores de riesgo ergonómico a nivel de miembro superior en los trabajadores del área administrativa de la Fundación Médico Preventiva en la ciudad de Valledupar, Cesar

*Determination of ergonomic risk factors to level of upper limb in the of the administrative area workers of the Foundation Medicates Preventive in Valledupar city, Cesar*

LIYANETH DAZA OÑATE  
MILENA PAOLA BARROS CHICA  
DINO CARMELO MANCO JARABA  
MARIO ALEJANDRO MANCO JARABA

---

32

Determinación de la calidad de los ladrillos a partir de la estimación de la resistencia última en las canteras de Valencia de Jesús, Las Casitas y El Cielo, en el municipio de Valledupar, Cesar

*Determining quality of bricks, from the last resistance estimation in Valencia de Jesus, Las Casitas and El Cielo quarries, Valledupar's municipality, Cesar*

COTES, D.  
NÚÑEZ, D.  
SABOGAL, L.

---

**6****Editorial**

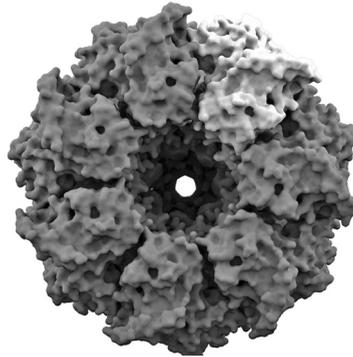
Un enfoque realista  
para la minería de hecho

---

**98**

Normas para  
la publicación  
de artículos

---



---

**42**

Producción de bioetanol  
a partir de jacinto de agua  
(*Eichhornia crassipes*)  
respecto a otros materiales  
lignocelulósicos

*Bioethanol production from  
hyacinth water (Eichhornia  
crassipes) vs other materials  
regarding lignocellulosic*

**KAREN OSPINO VILLALBA  
LUIS ALBERTO RÍOS**

---

**64**

Hidrolizados proteicos  
y perspectivas del  
modelamiento en cinética  
enzimática de proteínas:  
una revisión

*Hydrolyzed protein and  
prospects of modeling  
in protein enzyme kinetics:  
Review*

**OMAR ALFREDO FIGUEROA MORENO  
JOSÉ EDGAR ZAPATA MONTOYA  
LINA MARGARITA BUELVAS  
ORIENTA ORTIZ**

---

**80**

Formación inicial y práctica  
del profesor: análisis desde  
las caracterizaciones del  
pensamiento del profesor

*Initial formation and teacher  
practice: Analysis from  
the teacher thinking  
characterizations*

**FÉLIX MOVILLA CONTRERAS  
HUGO PARRA SANDOVAL  
JHONY BOLAÑO OSPINO  
OVIDIO BAQUERO BONILLA**



## Un enfoque realista para la minería de hecho

**N**uestro país tiene una oferta minera muy grande y variada: oro<sup>1</sup>, níquel, carbón, esmeraldas, platino, caliza, sal, arcillas, arenas silíceas, minerales de cobre, roca fosfórica y manganeso, magnesita, barita, yeso y varios tipos de rocas ornamentales. Sobre las modalidades de extracción de estos minerales nos dice la Defensoría del Pueblo:

La primera formal y de gran escala; la segunda a escalas menores, tradicional y artesanal, con una reconocida carencia de tecnología adecuada y definida, en muchos casos, informal y de subsistencia, lo que la hace insegura, poco rentable, no competitiva y ambientalmente no sostenible”<sup>2</sup>.

---

1 Tiene esta forma de explotación fuerte presencia en lo aurífero, pero primeramente en los materiales de construcción.

2 Defensoría Delegada para los Derechos Colectivos y del Ambiente, diciembre de 2010. Minería de hecho.

La minería de hecho no sólo está fuertemente extendida en nuestro territorio (son 15.000 familias en el 44%<sup>3</sup> de los municipios del país y el 30% de las explotaciones mineras<sup>4</sup>), sino que es la más antigua forma de explotación de los recursos naturales, vinculada generalmente a la familia como a pequeñas cantidades.

Se podría decir que es un fenómeno de casi toda América Latina. Tiene un peso específico en la economía, en especial, porque las zonas en las que se localiza, además de rurales y de difícil orden público, tienen altos índices de necesidades básicas insatisfechas y sus protagonistas son personas de condición socioeconómica baja.

También es cierto que la minería de hecho no tiene participantes homogéneos, ya que se identifican comunidades de campesinos, indígenas, afrocolombianos, colonos y empresarios informales, hasta grupos al margen de la ley (guerrilla, paramilitares y bandas emergentes).

Esto último causa estigmatizaciones y situaciones que traen a la justicia penal a actuar en la problemática sin diferenciar mucho, olvidando que muchos de estos mineros son extorsionados, obligándolos a pagar mensualmente, quitándoles parte de la producción o cobrándoles cuotas por volumen de producción. Por eso se debe diagnosticar el fenómeno haciendo necesarias diferenciaciones, combatiendo las mafias sin acabar la minería en pequeña escala o la minería de hecho, pues acabarlas reproduciría más la ilegalidad generando más marginación, sobre todo porque estas asociaciones voluntarias o forzosas se presentan en zonas alejadas, de gobernabilidad deficiente, sin medios de comunicación y abandonadas por la acción estatal.

Esta forma de minería está reconocida por instrumentos internacionales y por nuestra legislación interna, ordenando su promoción y asesoría para lograr su legalización, habida cuenta de que son aproximadamente 3.600 minas<sup>5</sup> sin título debidamente registrado, a las cuales el gobierno fallidamente<sup>6</sup> ha intentado varias veces legalizar. Entre los obstáculos para su legalización tenemos el accionar de grupos armados muy corrientes en estas zonas que permean la actividad en muchas ocasiones, además el desplazamiento forzado, la descomposición social, la estigmatización por parte del gobierno (confundiéndolos a todos con los grupos armados) y los excesivos filtros.

3 Los departamentos de Córdoba (86 %), Boyacá (69 %), Risaralda (64 %), Quindío (62 %), Valle del Cauca (55 %), Caldas (52 %) y Antioquia (46 %) tienen el mayor porcentaje de municipios con minería de hecho.

4 Según cifras de la Defensoría del Pueblo.

5 Unidad de planeación minero energética (UPME). Plan Nacional de Desarrollo Minero para el periodo 2007-2010. Bogotá, Editorial Scripto, agosto de 2007, pero seguramente son muchas más.

6 En el año 2007, de 3 631 solicitudes de legalización, sólo se perfeccionaron 23 contratos de concesión (cifras de la Defensoría del Pueblo).

Como toda actividad minera, tiene un impacto en los ecosistemas, sumado a deplorables prácticas, explotación en zona de páramo, clandestinidad, etc., lo cual reprochamos y exigimos sea reparado y modificado pero, es bueno decirlo, nunca comparable con el impacto de la gran minería aunque ésta sea legal y formal. Entre estas formas de explotación minera existe un innegable conflicto por la expansión con título en mano de la gran minería a las zonas de explotación de la minería de hecho y tradicional. A los que practican esta última se les ha negado de vieja data la titularización de esos territorios.

No se puede olvidar que hablamos de una actividad ejercida en condiciones inadecuadas. En buena parte, por provenir de la pobreza ésta es minería de sobrevivencia, su mercado es restringido, no se manejan grandes volúmenes de producción, por eso:

Se traduce en una actividad que enfrenta costos de explotación altos y que sobrevive buscando abaratarlos con métodos empíricos de producción, frecuentemente con altos impactos ambientales. La pobreza siempre está asociada a la ausencia de capacitación y formación y al apego a formas atávicas y rutinarias de producción, sin cambios o transformaciones sustanciales<sup>7</sup>.

Todo ello reconocido por el Consejo Económico y Social de la Organización de las Naciones Unidas, en el Comité de Recursos Naturales. Decisión 1994/308:

[...] la minería en pequeña escala debe considerarse desde el punto de vista más amplio del desarrollo socioeconómico y la erradicación de la pobreza para un gran número de personas que participan en la minería artesanal en todo el mundo, las actividades de minería constituyen una red de seguridad ya que proporcionan ingresos durante épocas económicas difíciles. Dado que la mayoría de esas actividades se realizan en zonas rurales, la minería artesanal es un arma eficaz contra la pobreza rural y la migración de las zonas rurales a las urbanas y, como tal, debe recibir apoyo. Cuando un gobierno toma medidas para crear un entorno más propicio para los mineros artesanales está aumentando también el acceso de la población a una red de seguridad de los ingresos y generando capacidad para liberarse de la pobreza, la asistencia a ese sector puede servir también de mecanismo importante para prestar la ayuda social que tanto necesitan la población y las zonas involucradas.<sup>8</sup>

---

7 Defensoría Delegada para los Derechos Colectivos y del Ambiente, diciembre de 2010. Minería de hecho.

8 Citado por la Defensoría en el mencionado estudio.

Por eso recomienda:

Prestar asistencia técnica a la minería artesanal, al igual que asistencia en esferas como actividades optativas que generen ingresos, la educación, la salud y el apoyo de la mujer, en tanto que la minería artesanal constituye un soporte fundamental de sobrevivencia que puede ser propicio para incrementar actividades de desarrollo socioeconómico integral y multisectorial.

Visión que deberíamos tener en cuenta legisladores y gobierno para construir una política pública coherente que *caracterice sin ambigüedad* esta práctica productiva, adoptando las recomendaciones internacionales de prestar asistencia técnica, apoyo en educación, salud, medio ambiente, emprendimiento, *abandonando la vaguedad o dualidad* actual, en la que a veces se trata el asunto o problemática desde lo social y otras veces desde el *Código penal*.

El *Código de minas*<sup>9</sup> establece en sus Artículos 159 y 160 que la exploración y explotación ilícita de yacimientos mineros constituye delito cuando se realicen trabajos de exploración, de extracción o captación de minerales de propiedad nacional o de propiedad privada, sin el correspondiente título minero vigente o sin la autorización del titular de dicha propiedad.

Ley 685 de 2001. Artículo 159. Exploración y Explotación Ilícita. “La exploración y explotación ilícita de yacimientos mineros, constitutivo del delito contemplado en el artículo 244 del Código Penal, se configura cuando se realicen trabajos de exploración, de extracción o captación de minerales de propiedad nacional o de propiedad privada, sin el correspondiente título minero vigente o sin la autorización del titular de dicha propiedad”.

Artículo 160. Aprovechamiento ilícito. El aprovechamiento ilícito de recursos mineros consiste en el beneficio, comercio o adquisición, a cualquier título, de minerales extraídos de áreas no amparadas por un título minero. En estos casos el agente será penalizado de conformidad con lo establecido en el artículo 244 del Código Penal, exceptuando lo previsto en este Código para la minería de barequeo.

La minería ilegal es según el Ministerio de Minas y Energía:

- La desarrollada sin estar inscrita en el Registro Minero Nacional y, por lo tanto, sin título minero.

---

<sup>9</sup> La Ley 1382 de 2010 la declarada inexecutable por la Corte Constitucional, mediante Sentencia C-366-11 según Comunicado de Prensa de la Sala Plena del 13 de mayo 2011, magistrado ponente Dr. Luis Ernesto Vargas Silva. Efectos diferidos por el término de dos (2) años.

- Trabajos y obras de exploración sin título minero.
- La amparada por un título minero, cuya extracción, o parte de ella, se realiza por fuera del área otorgada en la licencia.

Pero, no obstante, el mismo Estado por ministerio de la ley tiene en cuenta los procesos de legalización minera, considerando y utilizando el concepto de “minería de hecho” en lugar de “minería ilegal” para relacionar a las personas que sin título minero vigente llevan a cabo actividades mineras (ni la minería ilegal ni la de hecho tienen licencia ambiental).

Al respecto, se considera que el concepto de “minería de hecho”, en lugar del concepto de “minería ilegal”, refleja de una mejor manera la realidad social de las personas que ejercen esta actividad con cierto tiempo de antelación y como medio de subsistencia y que, en muchos casos, no han logrado regularizar o legalizar sus actividades debido a las dificultades en el cumplimiento de los requisitos exigidos por las autoridades mineras y ambientales para tal fin, aunado a los obstáculos tecnológicos, educativos y de distancias geográficas que deben suplir estas comunidades para tener acceso a la información<sup>10</sup>.

Con el decreto 2715 de 2010 surgió una nueva mirada de la minería: *la minería tradicional*, diferenciada de las anteriores en que tenía que cumplir con:

- que los trabajos mineros se hayan adelantado en forma continua durante 5 años.
- una existencia mínima de 10 años anteriores a la vigencia de la Ley 1382 de 2010, es decir, el 9 de febrero de 2010.

Igual que la minería ilegal y de hecho en que los mineros practican la actividad sin el correspondiente registro minero, pero por incumplimiento de esos dos requisitos (de difícil prueba) se excluyen así a la minería de hecho e ilegal. Requisitos que por su carácter clandestino e informal (muchos en desplazamiento y problemas de orden público) son difíciles de probar, pero que, aun cumpliéndolos, si existiere solicitud o título anterior se pierde el derecho.

La finalidad perseguida por la política pública es formalizar a estos mineros para que dentro de las cuentas y programas gubernamentales aumenten su productividad, respeten el medio ambiente, reduzcan los índices de accidentalidad, tributen y paguen regalías.

---

<sup>10</sup> Defensoría del Pueblo, *Ibidem*.

Es conveniente resaltar un aspecto en el cual esta minería se diferencia de la gran minería. Mientras la primera (la GM) se despliega como enclaves que no se encadenan con la economía local la pequeña minería sí lo hace, tal como lo reconoce la Cepal:

La pequeña minería se caracteriza por: intensa utilización de mano de obra, precarias condiciones de seguridad e higiene, ocurrencia universal, bajo desarrollo tecnológico, conflictividad social y legal, generación de encadenamientos productivos locales, abastecimiento de mercados locales, bajos costos de producción, potenciador de desarrollos geopolíticos, amplia gama de productos, multiplicidad de actores, potenciador de proyectos mayores, deterioro ambiental, variabilidad de volúmenes y tamaño por mineral y por región, explorador de nuevos yacimientos, alternativa laboral para sectores afectados por la pobreza, dinamizador de las economías locales y amplia distribución geográfica. En: Cepal. *La llamada pequeña minería: un renovado enfoque empresarial*. Chaparro, E. Santiago, Chile, 2000.

Vale la pena redoblar esfuerzos para legalizar esta actividad, deslindándola del contrabando, el lavado de dineros, la financiación de grupos armados. En especial construir una política pública que enfoque la problemática desde el punto de vista económico y social, no penal, adoptando medidas recomendadas por Naciones Unidas y otras instituciones como diagnóstico de las regiones mineras, estudios geológicos mineros, diseño de proyectos mineros especiales, capacitación de mineros, otorgarles contratos de concesión bajo condiciones especiales, asesorarlos en los estudios técnicos, económicos, ambientales y legales, con el apoyo de la fuerza pública cesar los cierres de minas y judicialización de mineros, realizar los procesos de consulta previa y el derecho de prelación de las comunidades étnicas.

**Félix José Valera Ibáñez**  
*Senador de la Republica*



MEDICIÓN

# Cálculo del **impacto socioeconómico** de la inversión de los recursos de **regalías de carbón** y compensaciones en el municipio de La Jagua de Ibirico

*Calculation of the economic impact  
of asset allocation of coal royalties and compensation  
in the Jagua de Ibirico's municipality*

**Azarael Carrillo**

Estudiante de Ingeniería de Minas, Coordinador del Semillero de Investigación Geológico Minero "SIGEM",  
Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia.  
[azaraelcarrillo\\_jr@hotmail.com](mailto:azaraelcarrillo_jr@hotmail.com)

---

## RESUMEN

El municipio La Jagua de Ibirico recibe una contraprestación económica por la explotación del carbón dentro de su jurisdicción territorial denominada regalías y compensaciones, este gran beneficio económico debería ser utilizado con transparencia, eficiencia, impacto, equidad y sostenibilidad para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del municipio, para disminuir el índice de necesidades básicas insatisfechas (NBI) y, posteriormente, en proyectos que generen desarrollo económico, tecnológico, cultural y educativo. Este municipio ubicado en el departamento del Cesar ha recibido regalías directas por la explotación del carbón dentro de su territorio por más de quince años y aún no ha disminuido el NBI en menos del 15 %, que es lo permitido por la ley, para iniciar a invertir en proyectos que generen desarrollo económico a la región. En el año 1993, antes del inicio de la explotación minera en el municipio, su NBI era 71,81 % y tras quince años ejecutando los recursos de regalías esta cifra se mantiene superior al 50 %.

**Palabras clave:** compensación económica, NBI, regalías.

---

## ABSTRACT

*The municipality of La Jagua de Ibirico receives an economic consideration by coal mining within its territorial jurisdiction called royalties and economic compensation, this great economic benefit should be used with transparency, efficiency, impact, equity and sustainability for improving the quality of life of the inhabitants of the municipality, decreasing the Unsatisfied Basic Needs Index (NBI), and later in projects that generate economic, technological, cultural and educational development. This municipality located in the Cesar's department has received direct royalties by coal mining within its territory for more than fifteen years and the NBI has not decreased even to less than 15 %, which is the permitted by law, to start investing in projects that generate economic development to the region, its actual NBI is greater than 50 %. In 1993, before the start of mining in the municipality, its NBI was 71,81 % and after fifteen years running the royalties resources this figure remains above 50 %.*

**Key Words:** Economic compensation, NBI, royalties.

## Introducción

**L**as regalías son una fuente importante de financiación para el desarrollo territorial que deben administrarse siguiendo los principios de transparencia, eficiencia, impacto, equidad y sostenibilidad. La atomización de las inversiones con cargo a estos recursos, su transitoriedad, la incertidumbre en su cuantificación y las debilidades en materia de ejecución exigen que el Gobierno nacional, en coordinación con las entidades territoriales, avance en la implementación de estrategias que permitan mejores resultados en el uso de estos recursos (DNP, 2007).

El municipio La Jagua de Ibirico, ubicado en el departamento del Cesar, ha recibido regalías directas por la explotación del carbón dentro de su jurisdicción por más de quince años y aún no ha disminuido el NBI hasta lo permitido por la ley para iniciar a invertir en proyectos que generen desarrollo económico al sector.

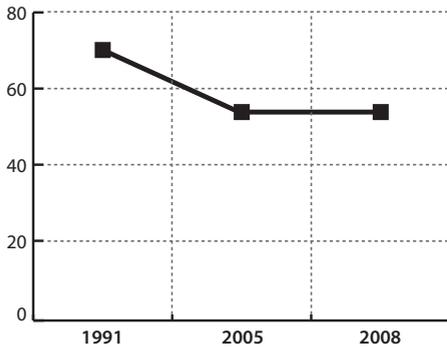
El impacto ambiental causado por las actividades mineras que desarrollan en el municipio es altamente negativo debido a las partículas menores a 10 micras generadas por la explotación del carbón, las cuales se alojan directamente en los alveolos pulmonares, lo que afecta la salud de los habitantes, así como la deforestación y remoción de la capa orgánica de grandes áreas que causa la disminución del caudal de los ríos y el descenso del nivel freático.

Además de los impactos descritos, existen otras consecuencias ambientales negativas de menor importancia, pero que sumados poseen cifras representativas. Desde el punto de vista social existe una ambigüedad entre el impacto causado, debido a la generación de empleos de estos proyectos mineros, pero esto a su vez induce al asentamiento de personas en la cabecera municipal para aprovechar la oportunidad económica por la que atraviesa la región, esto aumenta la prostitución infantil, la apertura de múltiples negocios que distribuyen bebidas alcohólicas, la drogadicción, la inseguridad, entre otros.

La compensación de estos aspectos negativos debe ser retribuida a la población mediante el mejoramiento de su calidad de vida, al disminuir a menos del 15 % el NBI y posteriormente la elaboración de proyectos para impulsar el desarrollo económico, social y cultural del municipio.

## Análisis del NBI de 1993 a 2008

En el año 1993, cuando el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) publicó el NBI nacional, el municipio no había recibido ningún dinero por concepto de regalías, todavía no existían las actividades mineras presentes en la actualidad. Al momento de realizarse el censo del año 2005 el municipio tenía 10 años de recibir dinero por concepto de regalías, tiempo en el cual se disminuyó aproximadamente un 15 % el NBI.

**Figura 1.** Disminución del NBI de 1993 a 2008.

En la publicación del NBI de 2008, realizada por el DANE, no se halló el dato a través de encuestas, como en los dos casos anteriores, sino que estos datos fueron obtenidos mediante deducción, teniendo en cuenta el comportamiento nacional de la disminución del NBI entre el año 1993 y 2005. Estos datos pueden no representar la realidad actual del municipio en el año 2008.

El NBI ha disminuido desde 1993 a 2008 en un 16.16 %; ha manejado un promedio de disminución de 1.08 % por año, pero fue de 1993 al 2005 donde obtuvo la mayor disminución con un promedio de disminución de 1.33 % anual y con una reducción de 2005 a 2008 de tan solo 0.05 % por año.

## Indicadores

### Social

#### Salud

Desde el año 2006 hasta la fecha, La Jagua presentó un índice de mortalidad infantil menor al 15 por mil nacidos vivos, lo

cual está acorde con la meta propuesta por el departamento para el año 2015 para cumplir los objetivos del milenio.

Por su parte, el 33.6 % de las adolescentes entre los 10 y 19 años están o han estado en estado de embarazo. La meta departamental para el año 2015 es reducir ese índice al 15 %. En el año 2009 se reportaron 8 casos de sida en el municipio, 6 casos más que en el año 2006, un valor bajo en relación con los casos presentados a nivel departamental, que para este año sumaban un total histórico de más de 1200 casos. El número de casos es equivalente al del municipio de Valledupar, donde se encuentra ubicada la capital del departamento. Estos índices son preocupantes y ante estos casos la administración municipal no ha hecho una labor eficaz para disminuirlo, lo cual ha representado un aumento en la actualidad y podría seguir de esta manera en los próximos años (Gobernación del Cesar, 2009).

La polución generada por las actividades mineras a cielo abierto en áreas cercanas a la cabecera municipal genera un impacto ambiental al aire, esto puede afectar a los seres humanos y causarles enfermedades respiratorias, lo que en el municipio se manifiesta con un 8.18 % del total de casos de enfermedades; este valor es bajo pese a tener una polución alta emitida por la minería.

#### Educación

Desde el año 2007 al 2009 se amplió la cobertura en educación, ampliándola un 3 %, lo que resultó totalmente innecesaria.

rio porque ya para el año 2007 la cobertura sobrepasaba en 17 puntos al 100 %. Esta sobreoferta genera costos adicionales destinados a la educación, lo cual no garantiza una buena calidad educativa. (Gobernación del Cesar, 2009).

La Jagua cuenta con una mala calidad educativa, a pesar de contar con una excelente cobertura. El 44 % de los bachilleres del 2001 al 2010 obtuvo un puntaje bajo en las pruebas del ICFES. Esta problemática se debe a la falta de inversión en el mejoramiento de la calidad estudiantil, debido a que no se cuenta con ningún profesor con un grado de estudio superior a pregrado en los colegios oficiales del municipio.

El 7 % de la población actual de La Jagua de Ibirico es iletrada, la meta del departamento es llegar al 1 % de la población iletrada (Gobernación del Cesar, 2009).

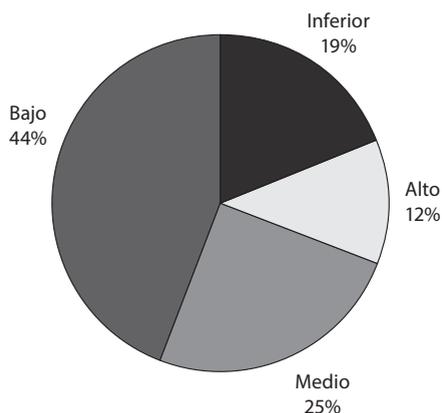
## Economía

### Actividades económicas en el área urbana

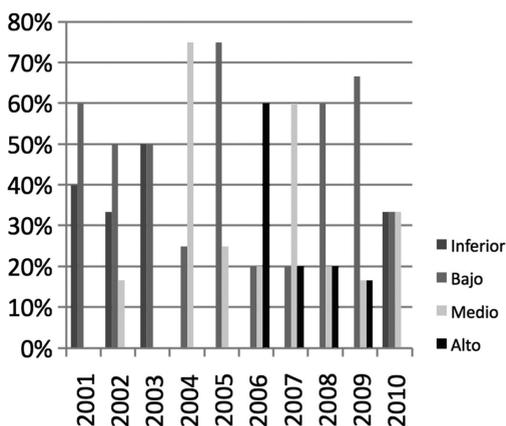
En el municipio de La Jagua solo el 61 % de los establecimientos cuentan con registro mercantil, existe un 39 % restante que no lo posee. Dado que la administración municipal recibe grandes cantidades de dinero por regalías, presta poca atención al recaudo de los demás impuestos, creando en esta manera una mala cultura de pago de impuestos comerciales en la población. De los establecimientos que cuentan con registro mercantil, solo el 52 % se encuentra al día con el respectivo pago (Cámara de Comercio de Valledupar, 2009).

La falta de recursos ha llevado a los comerciantes a alquilar locales comerciales para la ejecución de sus actividades.

**Figura 2.** Calificación de la prueba ICFES de 2001 a 2010.



**Figura 3.** Evolución de la calidad educativa (2001-2010).



Solo el 7 % de las actividades comerciales e industriales del municipio cuentan con establecimiento propio, dejando en tela de juicio la falta de presupuesto que optimice la calidad de vida (CCV, 2009).

Del total de las actividades comerciales el 30 % se encuentra dedicado a la informalidad, lo que a nivel general representa un índice de 17 % de la totalidad de las actividades económicas en el municipio. El 20 % de los servicios prestados son restaurantes, esto se debe a la gran cantidad de habitantes que se encuentran en la cabecera municipal pensionados debido a su trabajo en las diferentes minas existentes en el municipio.

Según una encuesta realizada por la cámara de comercio de Valledupar, en el año 2009 en el municipio el 31 % de los propietarios de empresas o negocios no ha recibido capacitación alguna para el manejo de una empresa.

## Saneamiento

### *Acueducto y alcantarillado*

El municipio cuenta con una cobertura del 94.8 % de acueducto y alcantarillado, pero la calidad del servicio es deficiente, aunque el servicio se presta de manera constante en toda la población, el agua que llega a la cabecera municipal no es apta para el consumo. La cobertura de alcantarillado para el año 2008 era de 71 %, tuvo un incremento de 24 % en el año 2009, esta mejoría ayuda a su vez a mejorar el saneamiento en el municipio y disminuir posibles casos de epidemias.

## Aseo

La cobertura del aseo aumentó en 13 % del año 2008 al 2009, lo cual es un gran avance en saneamiento para el municipio, alcanzando un 98 %, debido a esto el arrojado de basuras en áreas urbanas se disminuye y proporciona un mejor control en la generación de epidemias.

## Seguridad

La criminalidad en el departamento del Cesar se registra en 5 distritos estratégicos, donde se caracteriza el delito en tres categorías básicas: la primera de ellas se denomina “integridad”, la segunda categoría “patrimonio económico” y la última integrada por tres delitos importantes “secuestro, extorsión y terrorismo”. El municipio de La Jagua se encuentra contenido en el distrito 3, junto con Codazzi y Becerril.

En el distrito 3 en el año 2009 ocurrieron el 4 % de los casos de criminalidad total en el departamento y en el año 2010 se mantuvo el mismo porcentaje. Este distrito es el que presenta menor criminalidad en el departamento, lo cual se debe a la alta oferta de empleo existente en los tres municipios que integran el distrito, los cuales tienen la actividad minera en común, donde la mayoría de los habitantes son empleados directos de las empresas mineras u obtienen ingresos derivados de este sector, como el arrendamiento de habitaciones para los trabajadores mineros (Observatorio de vida convivencia y seguridad ciudadana, departamento del Cesar, 2010).

De los casos de criminalidad presentados en el distrito 3, en el año 2009, en el 62.5 % de los casos se realizaron capturas en flagrancia y en el año 2010 ese porcentaje aumentó al 68 %. En una encuesta realizada por la Cámara de Comercio de Valledupar en el año 2009, los habitantes califican la labor policiaca como regular, aunque el distrito es el más seguro en el departamento. El alto porcentaje de capturas en flagrancia se debe al pequeño tamaño de las cabeceras municipales, que es donde se presenta la mayoría de los casos delincuenciales (Observatorio de vida convivencia y seguridad ciudadana, departamento del Cesar, 2010).

## Relación de los indicadores con los requerimientos mínimos de cubrimiento de los servicios básicos

Los recursos que reciben las entidades territoriales por concepto de regalías tienen como propósito cubrir las necesidades básicas de la población; por lo tanto, las asignaciones se orientan principalmente a la inversión en proyectos que permitan a más colombianos tener acceso a los servicios de educación básica, salud, agua potable y alcantarillado (DNP, 2007).

Los municipios deben destinar el 90% de sus regalías a proyectos de inversión, siempre y cuando hayan alcanzado los niveles de cubrimiento en materia de

mortalidad infantil, salud de la población pobre, educación básica, agua potable y alcantarillado de conformidad con lo previsto en el Decreto 1151 de 2007. Cuando no hayan alcanzado tales niveles de cubrimiento, los municipios deben destinar el 75 % de sus regalías a dicho propósito. Los recursos no destinados a alcanzar y mantener los niveles de cubrimiento en materia de coberturas se pueden utilizar para financiar proyectos prioritarios contemplados en el Plan de desarrollo municipal (DNP, 2007).

Al municipio de La Jagua de Ibirico sólo le falta aumentar en 4 puntos la cobertura de la salud de la población pobre, que es aquella que pertenece al nivel I y II del Sisbén y la mortalidad infantil disminuirla a 10 por mil nacidos vivos, para poder cumplir con las coberturas mínimas exigidas por el decreto 1151 de 2007. Aunque la cobertura en acueducto supera a la mínima requerida, esta no es totalmente potable debido a que no es apta para el consumo humano, la administración municipal debe invertir el 75 % de las regalías recibidas en estos tres aspectos hasta cumplir las coberturas mínimas requeridas.

**Tabla 1.** Coberturas mínimas.

Sectores	Porcentaje
<b>Mortalidad infantil máxima</b>	10 por mil
<b>Salud de la población pobre</b>	100
<b>Educación básica</b>	100
<b>Agua potable</b>	93.5
<b>Alcantarillado</b>	89.4

**Tabla 2.** Paralelo entre indicadores y coberturas mínimas del Decreto 1151 de 2007.

Indicadores	Municipio La Jagua	Coberturas mínimas	Relación
<b>Mortalidad infantil máxima</b>	13,7 X mil	10 X mil	-3.7 X mil
<b>Salud de la población pobre</b>	96 %	100 %	- 4 %
<b>Educación básica</b>	12 0 %	100 %	+30 %
<b>Agua potable</b>	94,8 %	93,5 %	+1,3 %
<b>Alcantarillado</b>	94,8 %	89,4 %	+5,4 %

## Análisis de la inversión de las regalías en el municipio y del desarrollo de la ejecución presupuestal

El municipio de La Jagua del Ibirico fue suspendido en el giro de los recursos de regalías y compensaciones el 22 de mayo de 2006 y se encuentra sometido desde la vigencia fiscal 2007 a condiciones especiales de giros graduales y condicionados, por lo cual después de esa fecha sólo ha podido realizar ejecución de recursos a partir de la inversión incorporada en los planes de desempeño formulados.

**Tabla 3.** Recursos de regalías causados por Ingeominas (CGR, 2009).

Vigencia	Valor causado Ingeominas (\$ millones)
<b>2006</b>	52.121
<b>2007</b>	66.635
<b>2008</b>	77.783
<b>Total</b>	<b>196.539</b>

**Tabla 4.** Recursos de regalías pagados por el municipio de La Jagua de Ibirico (CGR, 2009).

Vigencia	Valor pagado (\$ millones)	Pagado coberturas (\$ millones)	% coberturas
<b>2006</b>	27.926	14.727	48,00
<b>2007</b>	9.945	1.827	18,37
<b>2008</b>	12.671	11.413	90,07

Durante la vigencia 2006, el municipio de La Jagua de Ibirico pagó con recursos de regalías un total de \$ 27.926 millones, de los cuales \$ 14.729 millones, equivalentes al 48 % de dicho total fueron asignados a sectores definidos como prioritarios en la Ley 1151 de 2007. Durante la vigencia 2007, el municipio de La Jagua de Ibirico pagó con recursos de regalías un total de \$ 9.945 millones, de los cuales \$ 1.827 millones, equivalentes al

18,37 % de dicho total, fueron asignados a sectores definidos como prioritarios.

Durante la vigencia 2008, el municipio de La Jagua de Ibirico pagó con recursos de regalías un total de \$ 12.671 millones, de los cuales \$ 11.413 millones, equivalentes al 90,07 % de dicho total, fueron asignados a sectores definidos como prioritarios.

## Conclusiones

El municipio de La Jagua de Ibirico no ha tenido una inversión transparente, eficiente, de impacto, equitativa y sostenible de las regalías, en los sectores definidos como prioritarios en la Ley 1151 de 2007.

Se han realizado inversiones innecesarias en sectores donde ya se han alcanzado los niveles requeridos, ejemplo de esto es la educación, donde se cuenta con 120 % de cobertura de la población, pero una deficiente calidad educativa.

Los índices que ha alcanzado el municipio actualmente, aunque están conforme con lo que exige la ley, son de mala calidad, uno de estos casos se puede observar en el servicio de acueducto y alcantarillado, donde el porcentaje de cobertura está por encima del exigido por la ley de inversión de los recursos de regalías, pero su calidad no es la adecuada para garantizar una buena calidad de vida en la población.

En relación con la cantidad neta de recursos obtenidos por el municipio por concepto de regalías en más de 15 años y

la inversión de estos, el NBI actual debería estar conforme a lo exigido por la ley, es decir, por debajo del 15 % y actualmente estos recursos deberían estar siendo invertidos en proyectos que generarán desarrollo económico, tecnológico, cultural y educativo en la región.

## Referencias bibliográficas

**Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (1993).** Porcentaje de hogares y personas pobres y en miseria según NBI (Necesidades Básicas Insatisfechas). Total nacional, por departamentos y municipios del país y por áreas (urbanas y rurales), obtenidos a partir del Censo de Población y Vivienda realizado en 1993. Bogotá: DANE.

**Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (2005).** Censo general 2005, Necesidades Básicas Insatisfechas. Bogotá: DANE.

**Departamento Nacional de Planeación (2007).** Resultados de la gestión fiscal de los mandatarios locales 2006-2007 (Artículo 79 Ley 617 de 2000). Bogotá: DNP.

**Departamento Nacional de Planeación** (noviembre de 2007). Actualización de la cartilla: Las regalías en Colombia. Bogotá: DNP.

**Contraloría General de la República** (noviembre de 2009). Regalías directas al municipio de La Jagua de Ibirico, vigencias fiscales 2006, 2007 y 2008. Bogotá: CGR.

**Ministerio de Hacienda y Crédito Público** (2009). Informe de viabilidad del municipio de La Jagua de Ibirico, Cesar, al cierre de vigencia 2009. Bogotá: Ministerio de Hacienda.

**Observatorio de vida, convivencia y seguridad ciudadana, departamento del Cesar** (abril de 2010). Boletín Informativo de

Criminalidad en el Departamento del Cesar, del 01 de enero al 12 marzo en los años 2009-2010. Valledupar.

**Cámara de Comercio de Valledupar (2009).** Censo industrial y comercial. La Jagua, 2009. Valledupar.

**Gobernación del Cesar (2008).** Cesar en cifras 2007-2008. Valledupar: Oficina Asesora de Planeación Departamental.

**Gobernación del Cesar (2009).** Cesar en cifras 2009. Valledupar: Oficina Asesora de Planeación Departamental.



# Determinación de los factores de **riesgo ergonómico** a nivel de **miembro superior** en los trabajadores del área administrativa de la Fundación Médico Preventiva en la ciudad de Valledupar, Cesar

*Determination of ergonomic risk factors to level of upper limb in the of the administrative area workers of the Foundation Medicates Preventive in Valledupar city, Cesar*

**Liyaneth Daza Oñate**

Bacterióloga, Especialista en Gerencia de Salud Ocupacional, Valledupar, Cesar.  
[liyaneth1@hotmail.com](mailto:liyaneth1@hotmail.com)

**Milena Paola Barros Chica**

Bacterióloga, Especialista en Gerencia de Salud Ocupacional, Valledupar Cesar.  
[mibachi\\_1987@hotmail.com](mailto:mibachi_1987@hotmail.com)

**Dino Carmelo Manco Jaraba**

Estudiante de Ingeniería de Minas, Fundación Magdalena  
[dimanco1990@hotmail.com](mailto:dimanco1990@hotmail.com), [dino\\_manco@hotmail.com](mailto:dino_manco@hotmail.com)

**Mario Alejandro Manco Jaraba**

Estudiante Intensivista, Madrid, España.  
[mario\\_mannco@hotmail.com](mailto:mario_mannco@hotmail.com)

---

## RESUMEN

Los desórdenes musculoesqueléticos en miembros superiores (MMSS) son un problema de salud en el aparato locomotor causantes de ausentismo e incapacidades laborales, debido a que realizan una serie de actividades de alta concentración, esfuerzos y movimientos repetitivos durante tiempo prolongado, ocasionando lesiones como la tendinitis del manguito rotador, epicondilitis, la tenosinovitis de Dequervain y el síndrome del túnel carpiano.

Esta investigación se realizó con estudiantes de la especialización en gerencia de salud ocupacional e ingeniería de minas de la Fundación Universitaria del Área Andina, sede Valledupar, Cesar, en ésta se empleó una metodología intencional, clasificándolos por el tiempo, la edad, lugar de trabajo en la clínica Médicos Preventivas y con cuestionario nórdico estandarizado, obteniendo sintomatología de dolor en cuello, mano, muñeca derecha y hombro derecho, debido a que estos segmentos del cuerpo deben realizar movimientos repetitivos y contracción estática en los músculos de cuello durante la jornada laboral.

**Palabras clave:** factores de riesgo ergonómico, trabajadores del área administrativo, miembro superior.

---

## ABSTRACT

*The disorders muscle skeletal in top members (MMSS) are a problem of health in the locomotive device causers of absenteeism and labor disabilities, due to the fact that they realize a series of activities of high concentration, efforts and movements repetitively during long time causing injuries as the tendinitis of the muff rotador, epicondilitis, the tenosinovitis of quervain and syndrome of the tunnel carpiano.*

*This research was conducted with students from specialization of occupational health management and mine engineering university Foundation of the Andina area at Cesar Valledupar headquarters, which used a international methodology classifying by time, age, workplace preventive medical clinic and standardized Nordic questionnaire, getting symptoms of neck pain, right wrist and right shoulder, this is because these body segment must perform repetitive movements and static contraction in neck muscle during the workday.*

**Key Words:** Factors of ergonomic, hard-working risks of the area administrative officer, top member.

## Introducción

**L**a sistematización de los procesos les ha permitido a los empresarios reducir el número de personas y al mismo tiempo aumentar la producción, pero esta situación en cierta forma no beneficia a los trabajadores.

A pesar del desarrollo tecnológico en los actuales puestos de trabajo del área administrativa de la Fundación Médico Preventiva en la ciudad de Valledupar, Cesar, los empleados realizan combinación de actividades, manejo de cargas y tareas que requieren contracción de manos, muñecas y hombros, además de posturas forzadas sostenidas, lo que ocasiona esfuerzos estáticos en diversos músculos (Fonseca, M., 2011).

El mecanismo de aparición de las lesiones musculoesqueléticas es de naturaleza biomecánica y existen teorías que explican por qué se presentan. La teoría diferencial de la fatiga (desequilibrio cinético y cinemático), la teoría acumulativa de la carga (repetición) y la teoría de esfuerzo excesivo (fuerza) (Vernaza, P. y Sierra, C., 2005).

El presente estudio determinó los factores de riesgo ergonómico a nivel de miembro superior en trabajadores administrativos de la Fundación Médico Preventiva, teniendo en cuenta que dentro de este personal existen casos en los cuales al realizarles los exámenes de ingreso se le sugieren descartar patologías referentes a alteraciones osteomusculares como síndrome de túnel carpiano.

Con esta investigación se logró establecer recomendaciones que atiendan a la salud de los trabajadores y de la misma manera se consideran algunos nuevos elementos para mejorar y superar deficiencias en el programa de salud ocupacional implementado dentro de la empresa.

## Metodología

El estudio se realizó con una población de 20 trabajadores de diferentes sexos y edades del área administrativa (Figura 1) según la información suministrada por la división de recursos humanos de la Fundación Médico Preventiva, dentro de los cuales se tuvieron en cuenta los criterios de selección. La técnica empleada fue un muestreo estratificado descriptivo y el instrumento que se utilizó para el desarrollo de esta investigación fue el cuestionario nórdico estandarizado, en el que se indagó al trabajador sobre las molestias y dolores osteomusculares y análisis de puestos de trabajo, por medio de este se tuvieron en cuenta aspectos como: antigüedad en puesto de trabajo, descripción de la actividad, secuencia de tareas, medidas antropométricas y de medios de trabajo (escritorio, silla, computador) (Salazar, Viveros, Mina, Dorado y Mosquera, 2011).

Con el fin de evaluar los diversos aspectos relacionados con la población en la cual se realizó el estudio, se tuvieron en cuenta las siguientes técnicas para la recolección de datos:

- Se obtuvo el listado de los trabajadores a evaluar por parte de la división de recursos humanos con la información de cargo y dependencia para seleccionar a los trabajadores que participarían en el estudio y se tuvieron en cuenta los criterios de selección.
- Se visitaron las diferentes áreas de trabajo con el fin de dialogar con los trabajadores para intercambiar expectativas y de igual forma obtener el consentimiento por escrito de la participación en el estudio.
- Se aplicaron 20 cuestionarios nórdicos estandarizados con el objeto de interrogar al trabajador sobre la presencia de molestia o de dolor osteomuscular en los miembros superiores durante los últimos 3

meses, además simultáneamente se utilizaron 20 formatos de análisis de puesto de trabajo, en los que se consignaron aspectos relacionados con la postura, el patrón laboral, la actividad, el puesto de trabajo, la mesa, la silla y los instrumentos de trabajo.

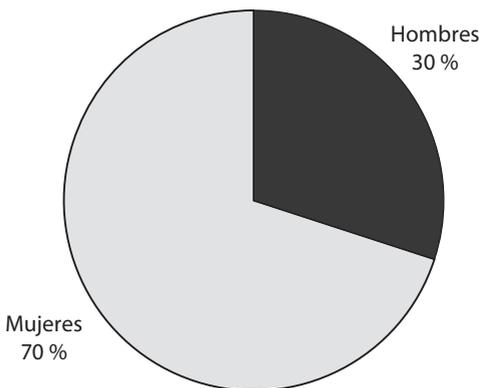
## Resultados

Se realizaron 20 cuestionarios nórdicos estandarizados para interrogar sobre la presencia de molestia o de dolor osteomuscular en los miembros superiores durante los últimos 3 meses; por otro lado, se realizaron análisis de puesto de trabajo para consignar aspectos relacionados con la postura, el patrón laboral, la actividad, el puesto de trabajo, la mesa, la silla y los instrumentos de trabajo (Juno, N. y Janthe, M., 2011).

Los grupos de edades de mayor proporción se presentaron en la población comprendida entre las edades de 20 y 40 años, equivalente al 75 %, esto se debe a que es un intervalo de vida laboral activa más productiva (Tabla 1). Se puede apreciar que el 55 % (11/20) de la población en estudio presentó molestias en miembros superiores. En las personas que participaron en el estudio, el promedio de antigüedad en el puesto de trabajo es de 1 a 5 años, que corresponde al 65 % (Tabla 2).

El estudio reportó que en orden de aparición las sintomatologías dolorosas más frecuentes en los trabajadores administrativos fueron: cuello en un 27%;

**Figura 1.** Porcentaje por género en la población de los trabajadores del área administrativa de la Fundación Medico Preventiva, Valledupar (Cesar).



mano, muñeca derecha, en un 23 %; hombro derecho un 19 %, hombro izquierdo un 11 %, codo, antebrazo derecho, un 8 %; mano, muñeca izquierda, un 8 % y codo, antebrazo derecho, un 4 % (Figura 2).

El 55 % (11 de 20) de las personas que presentaron molestias en miembros superiores manifestaron tener antecedentes de sintomatología dolorosa en su mayor proporción en codo, antebrazo izquierdo, el 100 %, desde hace 7 y 9 meses y además, al mismo tiempo, en el 50 % de los casos en codo antebrazo derecho, mientras que mano, muñeca derecha, en un 66.7 % y en mano, muñeca izquierda, el 50 % de los casos expresan que sus antecedentes iniciaron en un tiempo de 10-12 meses (Figura 3). En la población de estudio existe una relación en la in-

tensidad de dolor severo, el cual se presente en hombro derecho en un 20 %, en codo antebrazo derecho un 50 % y en un 33,3 % mano, muñeca derecha. (Figura 4) (Gonzales, Valero y Caballero, 2004).

De los análisis de los puestos de trabajo del personal administrativo, teniendo en cuenta que en cada lugar de trabajo debe estar adaptado al trabajador y por lo tanto para disminuir los factores de riesgo ergonómico a nivel de miembros superiores se deben subir un 51.6 % o bajar un 48.4 % la maquinaria y acercar las herramientas de trabajo en un 100 %, de acuerdo con los requerimiento de cada persona, con el fin de evitar la aparición de la sintomatología en cuello, hombro, codo y muñeca (Tabla 3).

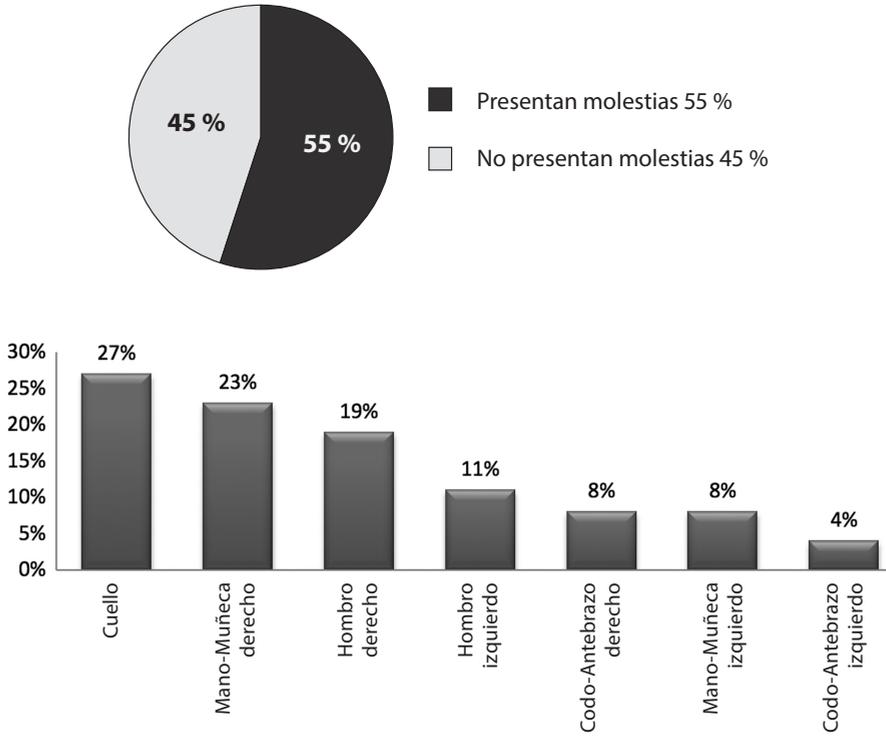
**Tabla 1.** Distribución de los trabajadores según grupos de edades en el área administrativa de la Fundación Medico Preventiva, Valledupar (Cesar).

Grupos de edades	Número de participantes	Porcentaje relativo	Porcentaje acumulativo
20-30 años	7	35 %	35 %
31-40 años	8	40 %	75 %
41-50 años	4	20 %	95 %
Más de 50 años	1	5 %	100 %

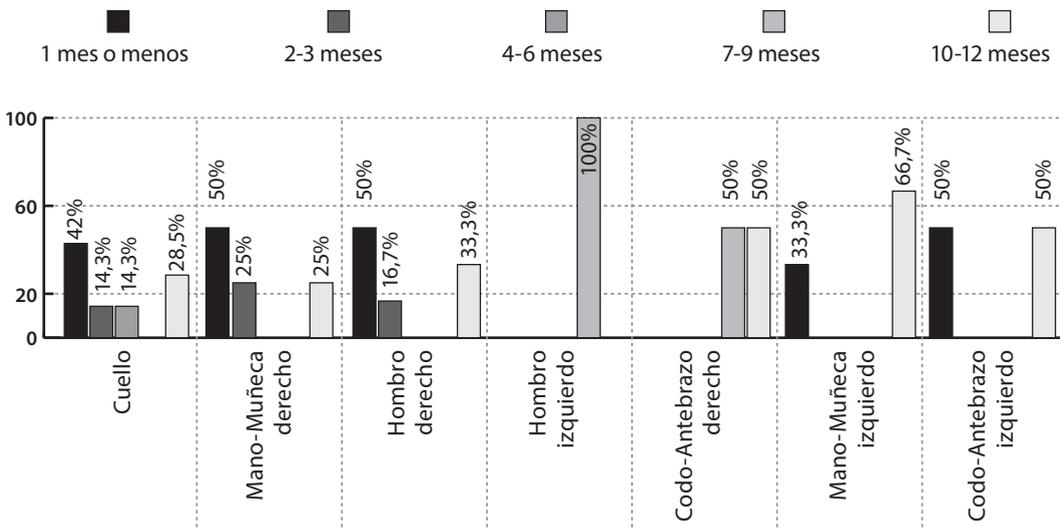
**Tabla 2.** Distribución de la población trabajadora según antigüedad en los puestos de trabajo en el área administrativa de la Fundación Medico Preventiva, Valledupar (Cesar).

Antigüedad en puesto de trabajo	Número de participante	Porcentaje relativo	Porcentaje acumulativo
1-5 años	13	65 %	65 %
6-10 años	4	20 %	85 %
Más de 10 años	3	15 %	100 %

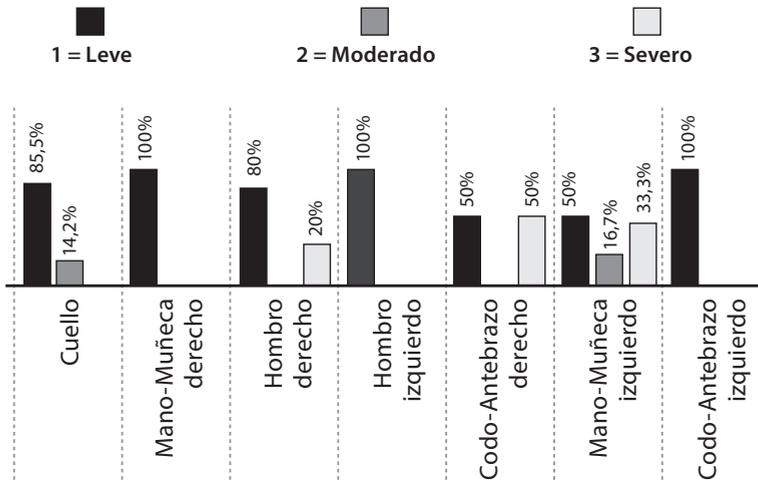
**Figura 2.** Presencia y frecuencia de las molestias osteomusculares en miembros superiores en los trabajadores del área administrativa de la Fundación Medico Preventiva, Valledupar (Cesar).



**Figura 3.** Antecedentes de molestias en miembros superiores en los trabajadores del área administrativa de la Fundación Medico Preventiva, Valledupar (Cesar).



**Figura 4.** Cuantificación de la intensidad de dolor en miembros superiores en los trabajadores del área administrativa de la Fundación Medico Preventiva, Valledupar (Cesar).



**Tabla 3.** Asociación de factores de riesgo ergonómico con aparición de lesiones musculoesqueléticas.

Medios de trabajo		N.º de personas		Ajuste		Segmento comprometido
Maquinaria	Componente	Sí	No	Subir	Bajar	
1. Computador	Monitor			7		Cuello
	Medida ojo – suelo	17 (85 %)	3 (15 %)	-41.20%	10 (58.8 %)	
2. Silla	Apoyabrazos			3	1	Codo
	Medida codo – silla	4 (20 %)	16 (80 %)	-75 %	-25 %	
3. Escritorio	Soportateclado					Codo
	Medida codo-suelo	13 (65 %)	7 (35 %)	5 (38.5 %)	8 (61.5 %)	Hombro
4. Herramientas	(Teclado, ratón, calculadora, etc.)				Acercar	Hombro
		20 (100 %)	0		-100 %	Codo
	Alcance máximo - alcance mínimo					Muñeca

## Discusión

Los resultados de la investigación muestran que la población tuvo conformada en su mayoría por mujeres en edad productiva, quienes desempeñan labores en las cuales ejecutan movimientos repetitivos de muñeca y dedos, seguido de contracción estática en los músculos de cuello y espalda. Algo similar expresa el estudio realizado por Hildebrandt, en el cual se considera que la postura y el movimiento son factores de riesgo para la aparición de lesiones musculoesqueléticas en miembros superiores y en espalda.

De igual forma, el estudio hecho por Ekberg y Vieira revela que más del 70 % de personas que trabajan frente a un computador presentan dolores y molestias frecuentes en miembros superiores y espalda (Gonzales, Valero y Caballero, 2004).

En nuestro estudio se encontraron resultados afines a los expresados anteriormente en las investigaciones mencionadas, debido a que en el personal administrativo manifestó en un alto porcentaje sintomatología en cuello en un 27 %, mano, muñeca derecha un 23 %, hombro derecho un 19 %. De la misma manera, declararon tener antecedentes de síntomas en su mayoría en codo antebrazo izquierdo en un 100 %, a partir de 7 o 9 meses y asimismo el 50 % de los casos en codo antebrazo derecho, mientras que mano, muñeca derecha un 66.7 % y en mano, muñeca izquierda, el 50 % desde hace 10 y 12 meses.

En los encuestados, el 20 % expresa tener una intensidad severa en hombro derecho, un 50 % en codo antebrazo derecho y un 33,3 % mano, muñeca derecha. Esto contribuye a la evidencia científica planteada por Kumar sobre la presunción de que todas las lesiones musculoesqueléticas ocupacionales son de origen biomecánico (Luttman, 2004).

Haciendo una comparación sobre los resultados obtenidos en los cuestionarios nórdicos estandarizados para la sintomatología de las alteraciones musculoesqueléticas y los análisis de los puestos de trabajo en la población administrativa de la fundación Médico Preventiva, podemos decir que al tomar medidas ergonómicas se evidenció que se deben realizar ajustes a la maquinaria, en las cuales a componentes del equipo como el monitor, el 85 % (17/20) de las personas necesita modificar la altura del monitor para obtener compatibilidad entre la medida ojo-suelo y evitar alteración a nivel de cuello (inciso 1, Tabla 3).

Con respecto a la medida de la silla, se pudo observar que el 80 % (16/20) no posee apoyabrazos, mientras que el 20 % (4/20) sí lo tiene, pero deben realizar ajustes para obtener una compatibilidad entre la medida codo-silla y evitar movimientos de flexoextensión de codo y abducción de hombros (inciso 2, Tabla 3).

En los análisis de los puestos de trabajo, se encontró que de los escritorios el 35 % (7/20) no poseían soportateclado, lo cual predispone al personal a sufrir de episodio de hombro doloroso, hombro,

codo doloroso y el síndrome del túnel del carpiano, además el 65 % (13/20) de las personas deberían realizar ajustes a la altura inferior del soportateclado para que exista afinidad con la medida codo-suelo para evitar movimiento de flexión y extensión de codo y muñecas (inciso 3, Tabla 3).

La totalidad de la población evaluada debe realizar ajustes en la ubicación de las herramientas de trabajo (teclado, *mouse*, calculadora, carpeta, impresora, etc.) para la compatibilidad en la zona óptima entre el alcance mínimo y el alcance máximo en cada trabajador para evitar compromiso a nivel de codo, muñecas, hombro y tronco (inciso 4, Tabla 3) (Sáez, Arriagada, Marco y Manríquez, 2006).

En términos generales sobre factores de riesgo, se pudo demostrar que los participantes se encuentran a diario en presencia de riesgo ergonómico debido al trabajo estático y repetitivo, por lo cual se justifica la implementación de un programa de vigilancia de patologías musculoesqueléticas con el fin de evitar la reducción en la productividad laboral, incapacidades temporales y permanentes e inhabilidad para realizar las actividades ocupacional del oficio, sumado esto a un incremento en los costos de compensación en el trabajador.

## Recomendaciones

Es necesario implementar y desarrollar un programa de educación a los trabajadores, haciendo énfasis en los principios

ergonómicos, con el fin de prevenir y reducir el riesgo de desórdenes musculoesqueléticos y un programa de pausas activas cada 2 horas de entre 5 y 10 minutos para garantizar trabajadores sanos y productivos. Es conveniente realizar análisis de puestos de trabajo periódicamente y además que se tengan en cuenta las recomendaciones hechas en cada uno de los puestos de trabajo.

Se recomienda para otras investigaciones incluir factores de riesgos comportamentales, como actividad física, antropometría y factores psicosociales, constitución morfológica, entre otros que permitan establecer cómo estos pueden afectar el riesgo de padecer alteraciones musculoesqueléticas en poblaciones expuestas a factores de riesgo ergonómico.

## Conclusiones

La presencia de sintomatología de dolor en la población de acuerdo al cuestionario nórdico estandarizado se encuentra con mayor porcentaje en cuello, mano, muñeca derecha y hombro derecho, debido a que estos segmentos del cuerpo deben realizar movimientos repetitivos y contracción estática en los músculos de cuello durante la jornada laboral. De la misma manera, tienen antecedentes desde hace 10-12 y 7-9 meses, con una intensidad severa de dolor en hombro derecho, codo-antebrazo derecho y mano-muñeca derecha.

Se identificaron las condiciones en los puestos de trabajo con el fin de asociarlos con los factores de riesgos ergonómicos a

nivel de miembros superiores, resultan-  
do no adecuados para los trabajadores, ya  
que deben realizarle ajustes a la maqui-  
naria (monitor, silla, escritorio) y herra-  
mientas de trabajo para evitar alteracio-  
nes en cuello, hombro, codo y muñeca.

## Referencias bibliográficas

- Fonseca, M.** (2011). Desórdenes del sistema musculoesquelético por trauma acumu-  
lativo en estudiantes universitarios de  
computación e informática. En: Ciencia y  
Tecnología, IX Congreso Internacional de  
Ergonomía, pp. 4-28. Recuperado de: [www.  
semec.org.mx/archivos/9-47.pdf](http://www.semec.org.mx/archivos/9-47.pdf)
- Gonzales, J., Valero, H. y Caballero, E.** (2004).  
Estudio de riesgos de lesiones muscu-  
loesqueléticas en las fábricas de pinturas  
“Vital” y de helados “Coppelia”. *Salud y  
trabajo*, 2-8.
- Gonzales, R. y Romero, E.** (1994). Alteraciones  
músculo-esqueléticas en transcriptoras de  
datos de una empresa siderúrgica. *Salud de  
los Trabajadores*, 2, 2-9.
- Juno, N. y Janthe, M.** (2011). Trastornos  
musculoesqueléticos y la fatiga como  
indicadores de deficiencias ergonómicas  
en la organización del trabajo. *Salud de los  
Trabajadores*, 12 (2), 27-41.
- Luttman, A.** (2004). Prevención de trastor-  
nos musculoesqueléticos en el lugar de  
trabajo (serie protección de la salud de los  
trabajadores, n.º 5). En: *Institución federal  
de seguridad y salud ocupacional*, pp. 2-8.  
Recuperado de: [www.who.int/  
pwh/2004/9243590537.pdf](http://www.who.int/pwh/2004/9243590537.pdf)
- Salazar, C., Viveros, J., Mina, J., Dorado, C.  
y Mosquera, C.** (2011). Factores de riesgo  
asociados a sintomatología de dolor mus-  
culoesquelético en descortezadores de la  
cooperativa agroforestal del Cauca (Cootra-  
forc). Popayán. *Revista Cubana de Salud y  
Trabajo*, 3-9.
- Sáez, V., Arriagada, C., Marco, K y Manrí-  
quez, O.** (2006). Prevalencia de lesiones  
musculoesqueléticas y factores de riesgo  
en trabajadores de plantas procesadoras  
de crustáceos en Chile. *Revista Ciencia &  
Trabajo*, 3-7. Recuperado de: [www.cienciay-  
trabajo.cl/pdfs/13/Pagina%20100.pdf](http://www.cienciay-<br/>trabajo.cl/pdfs/13/Pagina%20100.pdf).
- Vernaza, P. y Sierra, C.** (2005). Dolor muscu-  
loesquelético y su asociación con factores  
de riesgos ergonómicos, en trabajadores  
administrativos. *Revista de Salud Pública*, 7,  
2-6. Recuperado de: [www.scielosp.org/pdf/  
rsap/v7n3/v7n3a07.pdf](http://www.scielosp.org/pdf/<br/>rsap/v7n3/v7n3a07.pdf)

Determinación de la **calidad de los ladrillos** a partir de la estimación de la resistencia última en las canteras de Valencia de Jesús, Las Casitas y El Cielo, en el municipio de Valledupar, Cesar .

*Determining quality of bricks, from the last resistance estimation, in Valencia de Jesus, Las Casitas and El Cielo quarries, Valledupar's municipality, Cesar*

Cotes, D., Núñez. D., Sabogal, L.

Estudiantes de Ingeniería de Minas de la Fundación Universitaria del Área Andina, sede Valledupar, Colombia.

[dacotes16@hotmail.com](mailto:dacotes16@hotmail.com)

[kal-maikol@hotmail.com](mailto:kal-maikol@hotmail.com)

---

## RESUMEN

Alrededor de 30.000 ladrillos se producen en los hornos artesanales de las canteras de Valencia de Jesús, Las Casitas y El Cielo, ubicadas a las afueras de municipio de Valledupar, Cesar, los cuales son elaborados con manera artesanal, este factor motivó el estudio de la resistencia de estos, para identificar en qué parte del proceso de elaboración del ladrillo se debe trabajar para que estos puedan ser certificados como de calidad. Se realizó un estudio con un enfoque descriptivo para determinar la calidad de los ladrillos producidos en las canteras de Valencia de Jesús, Las Casitas y El Cielo, en el cual se recolectaron muestras, las cuales fueron sometidas a ensayos de compresión simple y se determinó su resistencia última para luego compararla con la resistencia establecida en la NSR98, que como mínimo debe ser 10 MPa, además se analizó el proceso de elaboración del ladrillo implementado en estas canteras con el fin de determinar en qué parte de éste se encuentran las falencias.

**Palabras clave:** resistencia, ensayo a compresión simple, esfuerzo, deformación, hornos.

---

## ABSTRACT

*Around 30.000 bricks are produced in the artisan ovens in Valencia de Jesús, Las Casitas and El Cielo, located outside Valledupar, Cesar, which are made in a traditional way; this motivated the study of the resistance of these, for identifying which part of the brick elaboration process in is necessary to work for these can be considered as quality bricks. This project was done with a descriptive focusing for determining the quality of the bricks elaborated in Valencia de Jesús, Las Casitas and El Cielo quarries, in these some samples were gathered and then they were submitted to simple compression tests, their resistance was obtained and compared with NSR98 resistance, which should be 10 MPa, also, the brick elaboration process in these quarries was analyzed for determining which part the weaknesses are in.*

**Key Words:** Resistance, simple compression test, stress, deformation, ovens.

## Introducción

**E**l ladrillo es el más antiguo de los materiales de construcción empleado por el hombre, a través de la historia ha sido elaborado con diferentes componentes, entre estos se destaca el adobe. El adobe fue llevado al horno en el año 3000 a. C., en la ciudad de Ur, tercera ciudad más antigua del mundo (después de Eridú y Uruk, pertenecientes a la cultura sumeria), formándose lo que actualmente se denomina el *ladrillo de arcilla o cerámico*. A partir de aquel entonces se levantaron enormes construcciones de ladrillos asentados con betún o alquitrán, como la torre de Babel (“Etemenanki”, zigurat de 8 pisos) y en la época del rey Nabucodonosor 11 (Babilonia, 600 a. C.) se construyeron edificios de hasta 4 pisos (San Bartolome, 1994).

Las canteras de Valencia de Jesús, Las Casitas y El Cielo han sido la principal fuente de sustento de las familias de las familias de los corregimientos a los que pertenecen estas ladrilleras. En estas canteras los ladrillos se procesan a partir de las arcillas propias del subsuelo de esta región y de otros materiales que se someten a cocción mediante unos hornos, proceso que le transfiere al ladrillo cierta resistencia del muro estructural en el que estará. En Colombia, esta resistencia debe cumplir con la especificada en la NSR98.

A estos ladrillos no se les hace ningún control de calidad, debido a que esta actividad se lleva a cabo para brindar un

sustento a las personas que habitan los corregimientos ante la carencia de otra fuente de empleo, ya que la agricultura decayó, y es algo que se ha venido transmitiendo de generación en generación. Debido a la relevancia de esta actividad, es importante que el proceso de elaboración del ladrillo se lleve a cabo en las mejores condiciones posibles, teniendo en cuenta proporciones exactas de los componentes utilizados para la materia prima en dicho proceso.

Tal como lo plantea Saroza, Rodríguez, Menéndez y Barroso (2008), la relación arcilla-arena del suelo es de gran importancia para el adobe debido a que, si no hay suficiente arcilla en la mezcla, no se conseguirá la cohesión necesaria de todas las partículas para soportar las acciones a las que estará sometido y se desmorona. Por el contrario, si no hay suficiente arena, el ladrillo se fisura por retracción de la arcilla durante el proceso de secado.

En los resultados obtenidos, se encontró que el proceso de elaboración del ladrillo utilizado en estas canteras es en su totalidad artesanal, es decir, que se basan en los conocimientos empíricos, además se comprobó que la resistencia de los ladrillos ante el esfuerzo producido por el ensayo a la compresión simple no superan los 5 Mpa. De acuerdo con lo planteado por la NTC 4205 (Norma Técnica Colombiana, 2011), se debe considerar el defecto principal el no cumplimiento de la resistencia. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se concluyó que en estas canteras no tienen en cuenta nin-

gún fundamento teórico para el proceso de la elaboración del ladrillo que ayude en la obtención de un producto óptimo; esto contribuyó al hecho de que los ladrillos no cumplieran con los parámetros de resistencia establecidos en la NSR98 (Norma Sismoresistente Colombiana, 1998).

## Materiales y métodos

### Toma de muestras

Para la realización de este proyecto nos dirigimos a cada una de las canteras mencionadas anteriormente para recolectar las muestras y además detectar cómo es el proceso de elaboración con el fin de que esta información nos permita identificar en qué se debe mejorar para la obtención de un producto de mejor calidad.

Nos apoyamos en los parámetros de elaboración propuestos por Gonzáles (2008) para elaborar un formato de captura, en donde se incluyeron los elementos más importantes en dicho proceso. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en cada una de las visitas a estas canteras.

#### *Cantera de Valencia de Jesús*

El proceso de elaboración de los ladrillos en esta cantera es completamente artesanal, la materia prima utilizada en dicha elaboración es la arcilla, arena y el cisco (cascarilla de arroz). La materia prima es extraída del subsuelo del terreno donde está ubicada la ladrillera, la cual se selecciona mediante observación de forma

manual, donde el criterio de selección radica en la menor cantidad de arena que contenga la arcilla, como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1.** Extracción de arcilla.



Para el acopio, la materia prima se transporta en carretilla, eventualmente se utiliza retroexcavadora, debido a que no se cuentan con los recursos para que el uso de la retroexcavadora sea permanente, una vez transportado el material se acopia en el lote, donde queda expuesto a la intemperie, cuando humedece la materia prima, se hace más modelable.

**Figura 2.** Acopio.



**Figura 3.** Cisco.



Los materiales que constituyen la mezcla son arcilla, arena, cisco y agua, donde la proporción de cada uno de estos materiales depende de la ubicación de la arcilla extraída, debido a que en el terreno encontramos un suelo que por inspección visual se determinó que era limoso, de limo arcilloso a limo arenoso, y por otro lado un suelo con arcilla pura, en éste se requiere de más cisco para reemplazar a la arena que no está presente en ésta.

**Figura 4.** Mezcla.



La proporción de la mezcla utilizada es de 8 baldes (2 litros) de ésta para elaborar 1.000 ladrillos (bocadillos) más 4 baldes de agua.

Se mezclan los tres ingredientes al mismo tiempo en un molde de madera con dimensiones preestablecidas de 30 cm de largo, 15 cm de ancho, 9 cm de alto, el peso del ladrillo compuesto por arcilla y arena es 7.5 kg y compuesto por arcilla y cisco es 6.5 kg.

Se realiza la mezcla en 24 horas, se deja en el molde, se seca de 8 a 10 días en una muralla.

**Figura 5.** Secado en tendido.



**Figura 6.** Secado en muralla.



El horneado de los ladrillos se lleva a cabo en hornos móviles, el combustible utilizado para la cocción es la leña, en el horno se deja el ladrillo máximo 32 ho-

ras si es en invierno para un horno con capacidad de 10000 ladrillos, el horno se encamisa, es decir, se recubre, en donde después de 24 horas alcanza una temperatura de 3.700 °C.

**Figura 7.** Horno tipo pampa.



El proceso de enfriado se lleva a cabo en el mismo horno, en donde después del tercer día de estar sellado se descamisa. El tiempo de cocción es de 32 horas y el de enfriamiento es también de 32 horas.

La producción del ladrillo depende de la cantidad de trabajadores que haya en cada horno, si hay dos se producen 1000 ladrillos en el día.

En esta actividad están vinculadas en un total de 40 hornos alrededor de 360 personas, tanto directa como indirectamente. El ladrillo que se produce es para el consumo de la costa Caribe, principalmente para el departamento del Cesar y para las ciudades de Sincelejo, Cartagena, San Ángel, entre otros.

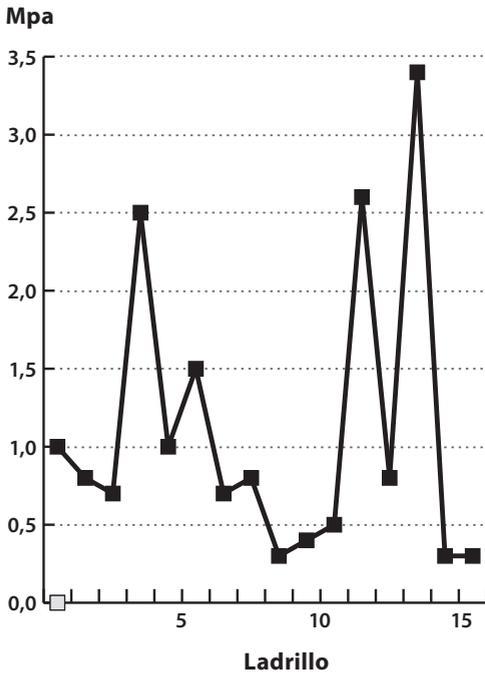
El precio estipulado para el ladrillo a nivel de cooperativa oscila entre 280 y 300 pesos por unidad.

## Determinación de la resistencia última a la compresión uniaxial del ladrillo

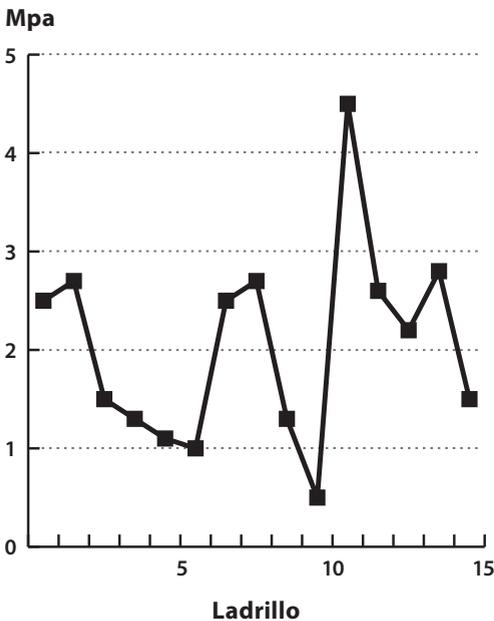
**Tabla 1.** Resultados de los ensayos de los ladrillos de Valencia de Jesús.

Valencia de Jesús			
Ladrillos	Fuerza (N)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)
1	27500	27000	1,02
2	43000	45000	0,96
3	25600	27000	0,95
4	120000	45000	2,67
5	27000	27000	1
6	41200	27000	1,53
7	18900	27000	0,7
8	20900	27000	0,77
9	12600	45000	0,28
10	18700	45000	0,42
11	118600	45000	2,64
12	34500	45000	0,77
13	151200	45000	3,36
14	12800	45000	0,28
15	12200	45000	0,27

**Figura 8.** Esquema de los resultados de los ensayos de los ladrillos en Valencia de Jesús



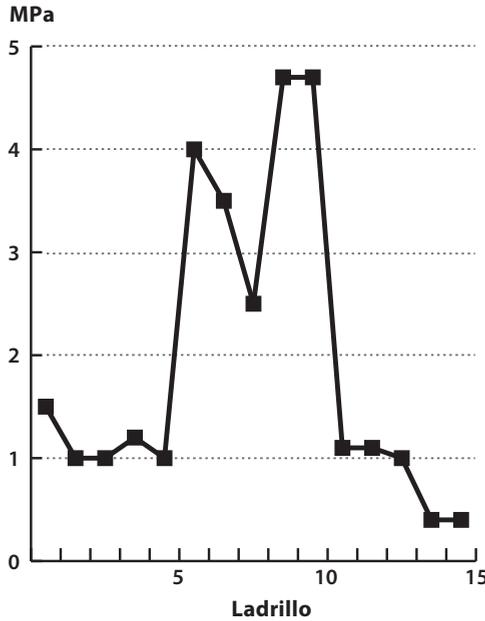
**Figura 9.** Esquema de los resultados de los ensayos de los ladrillos en Las Casitas.



**Tabla 2.** Resultados de los ensayos de los ladrillos de Las Casitas.

Las Casitas				
Ladrillos	Ubicación	Fuerza (N)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)
1	Sierra	11000	45000	2,4
2	Daga	123000	45000	2,7
3	Terrón	56470	45000	1,45
4	Sierra	35950	27000	1,33
5	Daga	29000	27000	1,07
6	Terrón	28000	27000	1,04
7	Sierra	111000	45000	2,5
8	Daga	124000	45000	2,8
9	Daga	60000	45000	1,3
10	Sierra	12000	27000	0,4
11	Daga	120000	27000	4,4
12	Terrón	70000	27000	2,6
13	Sierra	100000	45000	2,2
14	Daga	122000	45000	2,7
15	Terrón	70000	45000	1,6

**Figura 10.** Esquema de los resultados de los ensayos de los ladrillos de El Cielo.



## Análisis de la información

La figura 8 nos muestra que la resistencia de los ladrillos ensayados en la cantera Valencia de Jesús no superan los 3.5 MPa, lo cual es muy bajo con respecto a lo planteado por la NSR98, que es de 10 MPa para ladrillos de mampostería no estructural y 15 MPa para ladrillos de mampostería estructural.

Los valores obtenidos de los ladrillos ensayados en la cantera Las Casitas nos muestran que la resistencia de estos ladrillos no supera los 4.5 MPa, sin importar la ubicación en el horno de cada uno de los ladrillos, lo cual tampoco da una garantía de calidad.

En la última figura, perteneciente a la cantera El Cielo, la resistencia de las muestras no supera los 5 MPa, si bien es cierto que es ligeramente mayor que las otras dos canteras antes mencionadas, tampoco posee los requisitos mínimos de calidad que plantea la NSR98

## Conclusiones

Con la culminación de este proyecto, se estableció que la resistencia de los ladrillos no corresponde con la que plantea la NSR98, puesto que la resistencia de los ladrillos en cada una de las canteras analizadas no supera los 5MPa, el cual es un valor muy inferior en comparación con el que plantea la norma, que es de

15 MPa para mampostería estructural y de 10 para mampostería estructural. De acuerdo con esto concluimos que la forma artesanal en la que se elaboran estos ladrillos no es la adecuada, por lo cual se hace necesario la implementación de tecnología de punta para fabricar productos competitivos como hornos de llama invertida que garantiza que la cocción del ladrillo sea uniforme, combustible como el carbón, maquinaria para el proceso de extracción, mezcla y moldeado de los componentes del ladrillo, que permita que las edificaciones de la región o de cualquier parte del país a donde estas muestras llegan estén bien soportadas ante cualquier evento de sismo o, al momento de adicionar una carga más a la edificación, se debe implementar un proceso de tecnificación que permita que cada una de las personas beneficiadas con esta actividad tengan una mejor calidad al exportar un producto de mejor calidad, para eso es necesario el apoyo de entidades gubernamentales o empresas que estén dispuestas a colaborar con el desarrollo de esta actividad.

Una de las principales causas de que los ladrillos elaborados en estas canteras no sean de buena calidad radica en el hecho de que no se maneja una proporción exacta de los componentes del ladrillo, además la homogenización no es muy eficiente pues no se cuenta con la tecnología necesaria para que esta fase en la elaboración del ladrillo sea adecuada, lo que provoca la aparición de fisura, debido a que si no se homogeniza la mezcla puede aparecer materia orgánica, que es

el principal causante de la baja resistencia de estos materiales. Por otra parte, no contar con hornos de buena calidad que garanticen que el proceso de cocción sea eficaz le resta resistencia al ladrillo.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar sus agradecimientos a la Fundación Universitaria del Área Andina, al ingeniero civil Javier Orozco, quien nos brindó el apoyo y los conocimientos necesarios para el desarrollo de este proyecto de investigación en su última etapa, al laboratorio de resistencia de materiales Altahona, al gerente administrativo y financiero Ernesto Altahona y al ingeniero Otoniel Avendaño por permitirnos realizar los ensayos a la compresión simple de los ladrillos en sus instalaciones y por asesorarnos en la parte técnica para el desarrollo de este proyecto, también a la ingeniera mecánica Lina Rodríguez por todo el apoyo brindado desde la coordinación de investigación de la Fundación Universitaria del Área Andina.

## Referencias bibliográficas

- San Bartolomé, A.** (1994). *Construcciones de albañilería-comportamiento sísmico y diseño estructural* (1ª. ed.). Lima, Perú: Fondo Editorial.
- Saroz, B., Rodríguez, M. A., Menendez, J. M. y Barroso, I. J.** (2008). Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes del

Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba. *Revista científica Informes de la construcción*, Vol. 60, 511, 41-47.

**Norma Técnica Colombiana (NTC 4205).**  
Primera actualización, 2011.

**Norma colombiana de diseño y construcción sismo resistente NSR98.**

**González, F.** (2008). *Proceso de fabricación del ladrillo*. Puebla: Universidad Politécnica de Puebla, Ingeniería electrónica y telecomunicaciones.

**Beer, F. y Johnston, E.** (1993). *Mecánica de materiales*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.

**Begliardo, H., Sánchez, M., Panigatti, M., Caseneve, S., y Fornero, G.** *Ladrillos de suelo-cemento elaborados con suelos superficiales y barro de excavación para pilotes*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad regional Rafaela.

**Gere, J. M.** (1986). *Mecánica de materiales* (2ª ed.).

**Hernández, R., Fernández, C. y Batista, P.** (1997). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw-Hill.

**Rodríguez, M. y Saroza, B.** (Junio de 2006). Identificación de la composición óptima del adobe como materia de construcción de una escuela en Cuba. *Materiales de construcción*, vol. 56, 282, 53-62.

**Sánchez, T. y Ramírez, T.** Uso de cascarilla de arroz como fuente energética en ladrilleras. Programa de energía, ITDG, Perú.



REVISIÓN

# **Producción de bioetanol** a partir de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) respecto a otros materiales lignocelulósicos

*Bioetanol production from hyacinth water (Eichhornia crassipes) vs other materials regarding lignocellulosic*

**Karen Ospino Villalba**

Ingeniera agroindustrial. Universidad Popular del Cesar. Universidad de Antioquia.  
Grupo de Investigación Procesos Físicoquímicos Aplicados. Medellín, Antioquia, Colombia.  
[ingenierakov@gmail.com](mailto:ingenierakov@gmail.com)

**Luis Alberto Ríos**

Ingeniero químico. Ph.D. en Ciencias Naturales. Universidad Técnica de Aachen.  
Docente de la Universidad de Antioquia. Grupo de Investigación Procesos Físicoquímicos Aplicados.  
[lariospfa@gmail.com](mailto:lariospfa@gmail.com)

---

## RESUMEN

Se realizó una revisión general sobre la disponibilidad de materias primas en Colombia y de las diversas etapas de transformación que se recomiendan para la producción de etanol lignocelulósico en la actualidad. A lo largo de la exploración teórica realizada, se hizo una comparación con reportes existentes sobre la *Eichhornia crassipes*, con la finalidad de exponer diferencias y similitudes que permitan exaltar la importancia de ampliar las opciones de materias primas a la hora de considerar producir bioetanol. En lo referente a pretratamientos y métodos de hidrólisis de biomasa lignocelulósica, se hizo énfasis en los principios que rigen estos procedimientos. En este trabajo igualmente se presentan resultados preliminares sobre el aprovechamiento del jacinto de agua proveniente de embalses de las Empresas Públicas de Medellín (EPM) para la producción de bioetanol. Este esfuerzo responde a la necesidad de agrupar información valiosa, que ofrezca una perspectiva sobre las tecnologías que existen para producir este tipo de biocombustible y de cómo se han aplicado a diferentes fuentes, en particular el jacinto de agua.

**Palabras clave:** etanol lignocelulósico, *Eichhornia crassipes*, pretratamiento de biomasa.

---

## ABSTRACT

*A general review was conducted about the availability of raw materials in Colombia and processing steps recommended in lignocellulosic ethanol production currently. With theoretical exploration was made a comparison with existing reports about the *Eichhornia crassipes*, in order to explain differences and similarities that allow exalt the importance of expanding commodity options when considering producing bioethanol. Regarding pretreatment and hydrolysis methods lignocellulosic biomass, the emphasis was on the principles governing these procedures. This paper also presents results of the utilization of Water Hyacinth reservoirs of Empresas Públicas de Medellín (EPM) for the production of bioethanol. This effort responds to the need to bring together valuable information that provides an overview of the technologies available to produce this type of biofuel and how they have been applied to various sources, in particular the Water Hyacinth.*

**Key Words:** Lignocellulosic ethanol, *Eichhornia crassipes*, biomass pretreatment.

## Introducción

**L**a garantía de seguridad energética en el largo plazo y los cambios climáticos hacen imperiosa la sustitución de los combustibles derivados del petróleo, lo cual ha puesto la atención en el uso de azúcares fermentables provenientes de lignocelulosa, por ser la mayor fuente de carbohidratos renovables en el mundo (Singh, Pant *et al.*). Se dice que la lignocelulosa es el material más abundante en la naturaleza (Jeewon, 1997), este es un polímero complejo principalmente compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo sus proporciones en peso seco generalmente de 35 a 50 % para la celulosa, entre 20 y 35 % para la hemicelulosa y entre 10 y 25 % para la lignina (ZhiguangZhu, 2009).

El uso de materiales lignocelulósicos, producto de cultivos energéticos, residuos agroindustriales y forestales para producción de biocombustibles de segunda generación pueden disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al tiempo que no se compite con materias primas del sector alimentario (Singh, Pant *et al.*). Sin embargo, la bioconversión de estos materiales requiere la separación de la lignina, seguida de la hidrólisis de los principales azúcares que componen la holocelulosa (glucosa, galactosa, manosa, xilosa y arabinosa), lo cual hace que el proceso de producción de etanol lignocelulósico sea más costoso y complejo que el que se produce a partir de materiales

ricos en almidón y otros sacáridos más sencillos (Mabee, McFarlane *et al.*).

Los materiales lignocelulósicos pueden clasificarse en pastos, residuos agrícolas y forestales, cultivos energéticos, entre otros. Estos materiales cumplen un papel muy importante en la producción de etanol, en tanto su disponibilidad, variabilidad y sostenibilidad pueden afectar la planificación de la producción (Sukumaran; Surender *et al.*).

El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es una planta acuática perteneciente a la familia *Pontederiaceae*, originaria de Brasil y Ecuador, de uso ornamental para la descontaminación de aguas. Esta planta se reproduce sexual y asexualmente y es de rápido crecimiento, lo cual la ubica como una de las malezas acuáticas más nocivas, debido al impacto ambiental que genera poreutrofización de aguas. En países en desarrollo ha sido vista como una opción viable para la producción de biocombustibles (Ganguly; Chatterjee *et al.*).

La composición de la biomasa del jacinto de agua es de aproximadamente 48 % de hemicelulosa, 18 % de celulosa y 3,5 % de lignina (J. N., 2002), que a pesar de presentar variaciones en diferentes reportes, se coincide en que presenta altos contenidos de hemicelulosa y bajos contenidos de lignina. El uso de estas malezas para su transformación en etanol presenta desventajas en cuanto a las dificultades de recolección y requerimientos técnicos para su disposición, para lo cual es necesario la adopción de métodos y costos efectivos de pretratamiento, desintoxica-

ción, sacarificación y fermentación para sus tecnologías de producción (Aswathy, Sukumaran *et al.*).

Este trabajo cuenta con una visión global sobre la producción de bioetanol a partir de diversas materias primas en comparación con el jacinto de agua, teniendo en cuenta su disposición, composición y diferentes técnicas de conversión y éste muestra resultados preliminares relacionados con el aprovechamiento de esta materia prima para la producción de etanol.

## Materiales lignocelulósicos

Una de las principales ventajas que ofrece el uso de los materiales lignocelulósicos a la hora de producir biocombustibles como el etanol es su condición de ser renovable, podría por esto brindar un suministro de combustible sostenible en el largo plazo; igualmente se potenciaría la generación de empleo rural; entre otros aspectos (Mabee, McFarlane *et al.*). Esta situación ha llevado a que se realicen múltiples trabajos con diferentes materiales lignocelulósicos como tallos de alfalfa, mostaza de Etiopía, el álamo, el lino y el cáñamo, en donde se estudian las diferencias en el impacto ambiental (González-García, Moreira *et al.*); rastrojo de maíz y pasto varilla, con los cuales se ha trabajado en las tecnologías de conversión a etanol (Spatari; Bagley *et al.*); se han documentado estudios tecnoeconómicos del uso de paja, eucalipto, álamo

y pasto varilla (Gnansounou y Dauriat); métodos de conversión para caña de azúcar (Shields y Boopathy); incluso influencia de tratamientos fisicoquímicos en tapioca y jacinto de agua (Abraham y Kurup 1996); entre muchos otros.

## Una visión general de las materias primas para producir bioetanol

Los biocombustibles reciben una clasificación de acuerdo a la naturaleza de su materia prima y las tecnologías de conversión utilizadas; de acuerdo a esto existen biocombustibles de primera, segunda y tercera generación. Los biocombustibles de primera generación en general se fabrican a partir de insumos de procedencia agrícola y están conformados por las partes alimenticias de las plantas, de manera que el etanol de primera generación se puede producir, por ejemplo, a partir de jugo la caña de azúcar, granos de maíz, jugo de la remolacha o betabel, entre otros; materiales que presentan una disponibilidad inmediata de azúcares reductores para su fermentación; este tipo de biocombustibles compiten directamente con productos del sector alimentario, lo cual genera un impacto social negativo.

Por su parte, los biocombustibles de segunda generación abarcan generalmente residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa. Para la producción de etanol pueden usarse diversos materiales, tales como el

bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz (tallo, hojas y olote), la paja de trigo, el aserrín, las hojas y ramas secas de árboles, entre otros. En este caso, los procesos tecnológicos tienen mayor complejidad, lo cual puede ser desventajoso, pero no existe competencia con el sector alimentario. Finalmente, los biocombustibles de tercera generación comprenden vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética entre los cuales se encuentran pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido; estos materiales generan balances positivos en la emisión de gases, debido a su ciclo vital, a pesar de presentar la desventaja de competir con el frente agrícola de otros productos (Álvarez, 2009).

Una vez se conoce la naturaleza general de los diferentes tipos de biomasa que puede ser usada para producir etanol, se hace necesario como criterio de discusión conocer la disponibilidad de los diferentes tipos de materiales lignocelulósicos, como eje de esta revisión.

## Disponibilidad de materias primas

La disponibilidad de materias primas está enfocada principalmente a los materiales lignocelulósicos con que se cuenta en América Latina, en especial Colombia, la cual goza de gran potencial productivo en materia de biocombustibles como el etanol, puesto que posee una alta disponibilidad y variedad de biomasa lignocelulósicos, lo que obedece a su rica biodi-

versidad y variedad climática.

Una de las materias primas que principalmente cuentan con un amplio potencial para la producción de etanol lignocelulósico en el país es el bagazo de caña de azúcar, cuyo rendimiento hacia el año 2003 fue de 123 toneladas por hectárea con alrededor de 206.000 Ha cultivadas, de las cuales se generaron en términos de residuos lignocelulósicos 23.1 toneladas por hectárea distribuidos en hojas verdes (13.3 %), hojas secas (64.2 %), cogollo (7.5 %) y caña remanente (15 %), los cuales representan el 25 % del peso de la caña limpia (Cardona *et al.*, 2005).

Otra de las materias primas importantes son los residuos generados por la cosecha de maíz con una producción en 2003 de alrededor de 1.195.000 toneladas de 565.000 hectáreas sembradas. Este cultivo genera gran cantidad de biomasa, de la cual el 50 % no es cosechada y está representada en estructuras de la planta como son caña, hojas, panoja, entre otras (Cardona *et al.*, 2005).

La cascarilla de arroz también puede considerarse como una alternativa lignocelulósica importante a la hora de producir biocombustibles. A nivel mundial la FAO reporta una producción de 607.000.000 Tm de arroz *paddy* en el año 2004, de los cuales Colombia aportó 27.209.081 Tm. Si se considera que la cascarilla de arroz representa alrededor del 20 % del peso de un grano de arroz completo, se puede pensar en una producción de residuo de 134.000.000 Tm y 544.182 Tm, a nivel mundial y de Colombia (Sánchez *et al.*, 2010).

Otras industrias de las cuales se pueden obtener materias primas prometedoras son la industria de jugos cítricos y la panelera, de las cuales se pueden obtener residuos con amplia disponibilidad. En el primer caso se puede dar aprovechamiento al bagazo y las cáscaras con una producción nacional de 305.000 Tm y suponiendo que el 50 % se destine a la industria de biocombustibles se generarían cantidades de desechos de alrededor de 76.250 Tm (Sánchez *et al.*, 2010).

Según datos publicados por el Ministerio del Medio Ambiente, hasta 2002 el área con plantaciones forestales comerciales en el país era de 174.241 hectáreas. Las especies plantadas con mayor área sembrada se destacan en la Tabla 1.

Por otra parte, está la visión de dar aprovechamiento a otro tipo de materiales que no compiten con el frente agrícola tradicional y que pueden tener un importante valor energético. En este caso se postula al jacinto de agua, que se introdujo en varios países hace más de un siglo como una planta ornamental, convirtiéndose pronto en una especie invasora gracias a su adaptabilidad a una amplia variedad de ecosistemas de agua dulce y a la interferencia humana, de manera que se han invertido grandes esfuerzos y dinero para su manejo.

Téngase en cuenta además que en muchos países no se cuenta con información precisa a cerca de su disponibilidad por su condición de planta invasora y

**Tabla 1.** Principales especies usadas en reforestación comercial en Colombia.

Nombre científico	Nombre común	Origen	Área (Ha)
<i>Cupresus lusitánica</i>	Ciprés	Exótica	9982.2
<i>Especies varias</i>	Varias	Exótica	6802.37
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	Exótica	5024.2
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	Exótica	15265.9
<i>Eucalyptus sp</i>	Eucalipto	Exótica	2155.49
<i>Gmelina arborea</i>	Melina	Exótica	5083.8
<i>Pachira quinata</i>	Ceiba tolúa	Nativa	6394
<i>Pinus caribaea</i>	Pino	Exótica	10365.7
<i>Pinus patula</i>	Pino	Exótica	53197.64

Fuente: Sitep (Sistema de Información Técnica de Plantaciones Forestales), 1999.

uso ornamental; sin embargo, se deben exaltar amplias ventajas frente a otros materiales lignocelulósicos como son: rápido crecimiento, altas concentraciones de celulosa con bajas concentraciones de lignina, la no competencia con cultivos herbáceos por espacio, luz y nutrientes, resistencia a plagas, insectos y enfermedades, entre otros aspectos (Anjanabha, Bhattacharya y Pawan Kumar, 2010).

A pesar de no contar con estadísticas generales sobre el crecimiento del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), en Colombia existen múltiples estudios que documentan su presencia en gran parte de sus ecosistemas acuáticos, como en Cundinamarca (Hernández *et al.*, Bustamante, 2010), Córdoba (Quirós *et al.*, 2009), Canal del Dique (Aguilera, 2006), Antioquia (EPM, 2010), entre otros.

## Composición química de diferentes materias primas

En el caso de las maderas, se puede decir que existen dos componentes químicos mayoritarios en ésta: la lignina (18-35 %) y los carbohidratos (65-75 %). Ambos son materiales poliméricos complejos. Cantidades menores de otros materiales, principalmente en forma de extractivos orgánicos y minerales inorgánicos (cenizas) también están presentes en la madera (4-10 %). Generalmente, la madera tiene una composición elemental de (50 % carbono, 6 % hidrógeno, 44 % oxígeno y trazas de varios iones metálicos). En la Tabla 2 se presenta la composición de algunas de las principales especies forestales de Colombia.

**Tabla 2.** Composición química de las especies forestales en Colombia (Prota, 2010).

Nombre común Especie (Acosta, 2004)	Celulosa (%)	H-celulosa (%)	Lignina (%)
<b>Ciprés</b> <i>Cupresus lusitánica</i>	39-40	23	31-33
<b>Eucalipto</b> <i>Eucalyptuscamaldulensis</i>	41-50	14-19	18-34
<b>Eucalipto</b> <i>Eucalyptusglobulus</i>	45	23	27
<b>Eucalipto</b> <i>Eucalyptusgrandis</i>	41,2	28,3	23,2
<b>Melina</b> <i>Gmelinaarborea</i>	47	20	29
<b>Pino</b> <i>Pinuscaribaea</i>	48,06	18,95	29,51
<b>Pino</b> <i>Pinuspatula</i>	48,75	32,75	18,5

**Tabla 3.** Composición de diferentes materias primas (lignocelulósicos) para la industria.

Componentes	Materias primas (fracción en porcentajes)				
	Tallos de alfalfa	Mostaza de Etiopía	Álamo	Virutas de lino	Cáñamo
<b>Lignina</b>	15,8	18,7	21,3	26,6	18,0
<b>Cellulosa</b>	27,5	32,7	43,2	47,7	37,4
<b>Hemicelulosa</b>	23,0	21,9	26,6	17,0	27,6
<b>Cenizas</b>	8,1	5,2	1,5	1,0	5,2

Fuente: (González-García, Moreira et al.)

**Tabla 4.** Composición del jacinto de agua según diferentes autores.

Autores	Componentes en porcentaje base seca (%)			
	Lignina	Celulosa	Hemicelulosa	Cenizas
<b>Anjanabha Bhattacharya y PawanKumar, 2010</b>	10	25	35	20
<b>Abdelhamid y Gabr (1991)</b>	9,27	19,5	33,4	25,7
<b>Bolenz et al. (1990)</b>	7	31	22	15
<b>Patel et al. (1993)</b>	7,8	17,8	43,4	20,2
<b>Sornvoraweat y Kongkiattikajorn (2010)</b>	4,37	19,02	32,69	-
<b>J. N. (2002)</b>	3.50	18.20	48.7	-
<b>Girisuta et al. (2008)</b>	27.7		46.7	-
<b>Poddar et al. (1991)</b>	9.93	25.61	18.42	-
<b>Chanakya et al. (1996)</b>	26.36	33.97	18	-
<b>Mukherjee et al. (2004)</b>	15.2	36.5	22.0	-
<b>Ahn et al. (2011)</b>	12.22	34.19	17.66	-
<b>Ma et al. (2010)</b>	2.8	18.2	29.3	1.2

Los altos contenidos de celulosa y hemicelulosa pueden tomarse como un criterio para suponer que se puede disponer de mayor cantidad de azúcares fermentables a partir de un material lignocelulósico, sin embargo, la cantidad de lignina presente dificulta el acceso a estos polisacáridos.

Por otra parte, existen muchos otros materiales lignocelulósicos con potencial energético de los cuales se ha reportado su composición (González-García, Moreira *et al.*). A continuación, se presentan algunos ellos, a manera de dar a conocer una gama más amplia de opciones.

En la Tabla 3 se evidencia que materiales como el álamo, las virtutas de lino y el cáñamo son ricos en celulosa, sin embargo, sus altos contenidos de lignina representan un reto a la hora de liberar los azúcares contenidos en los polisacáridos.

## Composición del jacinto de agua

En este aparte se presenta una tabla comparativa de la composición del jacinto de agua reportada por diferentes autores.

Si se parte de la Tabla 4, se puede ratificar que la mayoría de las veces se obtuvo un contenido mayor de hemicelulosa que de celulosa (salvo por el reporte de Bolenz *et al.*, 1990), presentándose a su vez bajos contenidos de lignina y cantidades significativas de celulosa, lo que ratifica que este tipo de biomasa, en cuanto a su composición, puede resultar prometedora para la producción de bioetanol.

## El jacinto de agua como materia prima energética

Existen algunos criterios ideales a tener en cuenta a la hora de estudiar el potencial para la producción de biocombustibles de un cultivo o biomasa lignocelulósica en particular. Entre estos atributos biológicos algunos autores plantean, por ejemplo, que la vegetación sea de crecimiento natural, preferiblemente perenne, altos contenidos de celulosa y bajos contenidos de lignina de acuerdo a la materia seca, que sean de fácil degradabilidad, no competencia con cultivos herbáceos por espacio, luz y nutrientes, resistencia a plagas y enfermedades y, finalmente, que no sean propensos a la contaminación genética por hibridación con cultivos alimenticios (Anjanabha Bhattacharya y PawanKumar, 2010).

De acuerdo con la Tabla 4, se puede decir que la *Eichhornia crassipes* cuenta con una composición adecuada para la producción de biocombustibles como el etanol, por su potencial para producir azúcares reductores y contenidos bajos de lignina. Los bajos contenidos de lignina indican que se pueden usar métodos menos severos fisicoquímicamente para su separación. Por otra parte, esta planta acuática crece rápidamente y lo hace prácticamente en cualquier hábitat, con poco o ningún tipo de mantenimiento especial (Anjanabha Bhattacharya y Pawan Kumar, 2010). Otro punto a exaltar es el hecho de que el jacinto de agua no com-

pite por recursos terrestres con cultivos alimenticios y se ha demostrado que la capacidad de producir etanol a partir de éste es comparable con otros residuos agrícolas (Mishima, Tateda *et al.*, 2006).

Estudios previos han abordado la posibilidad de utilizar jacinto de agua como biomasa para biocombustibles (Rahman; Chowdhury *et al.*, 1986; Abraham y Kurup, 1996; J. N., 2002). Estos estudios indican que es una planta prometedora para la producción de etanol.

## Bioetanol de materiales lignocelulósicos

La producción de biocombustibles como el etanol está encaminada a la optimización de procesos, en donde se opta por el uso de tecnologías costo efectivas y la materia prima juega un papel fundamental, razón por la cual se opta por el uso de sustratos baratos, lo cual ha motivado a probar diversos materiales lignocelulósicos (Ganguly, Chatterjee *et al.*).

A pesar de que la producción de etanol a partir de azúcares y almidón está muy desarrollada, tiene ciertas limitantes en términos de rendimiento, sin olvidar otras desventajas que se mencionaron en apartes anteriores, cuando se hacía referencia a biocombustibles de primera generación. Estas limitantes son básicamente los bajos rendimientos de etanol por hectárea de materia prima en comparación con otras formas más frecuentes de los azúcares en la naturaleza como los de origen lignocelulósico (Hamelinck,

Hooijdonk *et al.*, 2005). Sin embargo, los procesos para obtener etanol a partir de este tipo de fuentes (biomasa lignocelulósica) requieren etapas de transformación un poco más complejas para la hidrólisis –principalmente– de celulosa en azúcares y la fermentación de estos azúcares en etanol, teniéndose como punto crítico para el aumento de la eficiencia, y, por ende, para el mayor aprovechamiento del material, una etapa de pretratamiento que rompa las estructuras celulares, logre la remoción de la lignina (Jeewon, 1997) y facilite el acceso a los azúcares (Hamelinck, Hooijdonk *et al.*, 2005).

A continuación, se dará mayor profundidad a cada una de las etapas generales de producción de etanol lignocelulósico, de acuerdo a su naturaleza y la composición de los materiales empleados.

## Pretratamientos de materia prima lignocelulósica

Cada tipo de materia prima requiere un método de pretratamiento en particular para minimizar la degradación del sustrato y maximizar el rendimiento en azúcares. Por lo tanto, establecer tecnologías costo-efectivas de pretratamiento de biomasa celulósica es un desafío para la producción de etanol (Graf y Koehler, 2000).

Para acondicionar la biomasa es posible que como fase inicial deban ser empleados pretratamientos mecánicos para la reducción de tamaños de partículas y

aumento de la superficie de contacto, encaminados a mejorar la interacción con catalizadores. Sin embargo, estas tecnologías van encaminadas a la búsqueda de mecanismos de bajo consumo energético (Hamelinck, Hooijdonk *et al.*, 2005).

En general, los métodos de pretratamiento se pueden clasificar en tres categorías, que incluyen los físicos, químicos, biológicos y combinaciones de éstas (Zheng *et al.*, 2009).

Para la comparación de estos pretratamientos en general existen diversos criterios que permiten evaluar su efectividad, como, por ejemplo, la preservación de las fracciones de hemicelulosa, la formación limitada de inhibidores debido a la degradación de productos, reducción al mínimo del consumo de energía y la rentabilidad; igualmente existen otros factores a considerar como son la recuperación de coproductos de alto valor (por ejemplo, la lignina y las proteínas), reciclado de los catalizadores y tratamiento de residuos (Zheng *et al.*, 2009).

## Pretratamientos físicos

Para la aplicación de pretratamientos físicos no se hace uso de agentes químicos y se pueden mencionar algunos como la explosión de vapor no catalizada, pretratamiento con agua líquida caliente (liquid hot water pretreatment (LHW)), trituración mecánica y radiación de alta energía, siendo el primero el más utilizado (Zheng *et al.*, 2009).

La explosión con vapor no catalizada también es conocida como autohidrólisis y consiste en llevar la biomasa lignocelulósica a temperaturas elevadas (generalmente por encima de 150 °C) con agua presurizada, esto induce la formación de ácidos por la solubilización de compuestos de naturaleza ácida y la desesterificación en la hemicelulosa. La liberación de estos compuestos ácidos redundará en la catálisis de la reacción (Yoon, 1998).

En el pretratamiento con agua líquida caliente (LHW), la presión se utiliza para mantener el agua en estado líquido a temperaturas elevadas (Rogalinski; Ingram *et al.*, 2008). Se ha reportado que este método tiene potencial para mejorar la digestibilidad de la celulosa, la extracción de azúcar y recuperación de pentosas, con la ventaja de producir toxicidad baja o nula (van Walsum; Allen *et al.*, 1996).

La trituración mecánica es capaz de alterar la cristalinidad de la celulosa, reducir el grado de polimerización y aumentar la superficie específica de la biomasa. Sin embargo, por los altos consumos energéticos que requiere y su ineficiencia para remover la lignina frente a otro tipo de pretratamientos hace que pocas veces se utilice como método exclusivo (Yoon, 1998).

## Pretratamientos químicos

En este aparte se hará referencia a pretratamientos que hacen uso de agentes químicos para delignificar y liberar polisacáridos y azúcares de materiales ligno-

celulósicos. Se incluirán aquellos denominados pretratamientos fisicoquímicos, que combinan métodos físicos y químicos. Estos particularmente suelen ser los más eficientes y competitivos en términos económicos frente a los métodos biológicos y físicos (Brodeur; Yau *et al.*).

Como uno de los principales pretratamientos químicos que se encuentran son de tipo alcalino, los cuales implican el uso de bases, tales como sodio, potasio, calcio e hidróxido amonio. El mecanismo de acción de estos agentes químicos consiste en la degradación de cadenas de ésteres y glucosídicas, lo que desencadena la alteración estructural de la lignina, de la estructura cristalina de la celulosa y solvatación de la hemicelulosa (Brodeur; Yau *et al.*). Recientemente, se ha demostrado la eficacia del hidróxido de sodio para las maderas duras, paja de trigo, mijo y maderas blandas con contenidos de lignina inferiores al 26 % (Zhao, Wang *et al.*, 2008).

Por otro lado, están los pretratamientos con ácidos concentrados o diluidos, dentro de los cuales los más usados son el ácido sulfúrico, clorhídrico, fosfórico y nítrico. Este pretratamiento ha sido usado en pastos, rastrojo de maíz, maderas blandas entre otros, y se caracteriza por remover principalmente hemicelulosa (Brodeur, Yau *et al.*).

Los líquidos iónicos también han cobrado gran importancia para el tratamiento de biomasa lignocelulósica, en tanto solubilizan una amplia variedad de materiales. Típicamente son sales conformadas por un pequeño anión unido a una larga cadena orgánica catiónica y han

sido estudiados en una amplia gama de materiales como el rastrojo de maíz, algodón, bagazo de caña, *switch grass*, paja de trigo, entre otros (Brodeur; Yau *et al.*).

## Pretratamientos biológicos

El tratamiento biológico se refiere al uso de organismos completos o enzimas en el pretratamiento de biomasa lignocelulósica. Para esto son usados tanto los hongos, como las bacterias. Actualmente se trabaja principalmente en residuos agrícolas para el mejoramiento de su digestibilidad. Existen reportes de trabajos con microorganismos como *Aspergillus terreus*, *Trichoderma*Spp., *Cyathusstercoreus*, *Penicilliumcamemberti*, *Streptomycesgriseus* y enzimas como peroxidasa, manganasa, lacasa, entre otros. Estos métodos requieren largos tiempos de residencia (Mtui, 2009).

## Técnicas de hidrólisis y fermentación

Se han realizado considerables esfuerzos en cuanto a investigación para mejorar la hidrólisis de los materiales lignocelulósicos. Muchos métodos de pretratamiento se han implementado en miras de remover la lignina y la hemicelulosa para mejorar significativamente la hidrólisis de la celulosa. Se ha trabajado en la optimización de las enzimas celular a su carga aplicada, de la misma manera se ha trabajado en métodos de sacarificación y

fermentación simultáneas para regular eficazmente el consumo de glucosa en las reacciones de fermentación debido a su efecto inhibitorio de la actividad enzimática, aumentando así el rendimiento y la tasa de hidrólisis de la celulosa (Sun y Cheng, 2002).

## Sacarificación enzimática

La celulosa, que es el polisacárido de principal interés en los procesos mencionados, por estar compuesto de azúcares fermentables a etanol, cuando es obtenido de madera tiene alrededor de diez mil unidades *glucosil* en la cadena que forman fibrillas de moléculas largas, que son estabilizados por numerosos y fuertes enlaces intermoleculares de hidrógeno entre los grupos hidróxilo de las moléculas adyacentes. Los materiales celulósicos presentan zonas que se disponen ordenadamente (cristalinas) separados por regiones menos ordenadas (amorfas) que son puntos susceptibles a ataques químicos y bioquímicos. Este polímero es degradado por las enzimas celulasas que se son capaces de hidrolizarlo a su forma monomérica, la glucosa, que se fermenta naturalmente a etanol por acción microbiana como la de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Bon y Ferrara, 2007).

## Celulasas

La hidrólisis de la celulosa es catalizada por una clase de enzimas conocidas como

celulasas. La mayoría de éstas que se han investigado con fines comerciales son producidas por hongos, debido a que la mayoría de bacterias relevantes que las producen suelen ser de naturaleza anaerobia, de crecimiento lento (Talebnia; Karakashev *et al.*).

Las celulasas son un grupo de tres clases de enzimas que actúan de forma sinérgica para hidrolizar celulosa, como son las endo-beta-1,4-glucanasas que atacan la parte endógena de la cadena de celulosa, las celobiohidrolasas que atacan los extremos del polímero liberando celobiosa, que es en última instancia separada en dos moléculas de glucosa por beta-glucosidasas (Lynd; Weimer *et al.*, 2002). Además existen enzimas que ayudan en este proceso de despolimerización, como son las hemicelulasas y ligninas es que también pueden desempeñar un papel en la hidrólisis. A pesar de la funcionalidad de estos métodos, se puede considerar como punto crítico los altos costos de producción de enzimas y sus dosis excesivas necesarias para hidrolizar la biomasa pretratada (Margeot; Hahn-Hagerdal *et al.*, 2009).

## Hidrólisis y fermentación separadas (SHF)

En este aparte se hace referencia al proceso general de fermentación para la producción de etanol, que no se hace en simultáneo con la fase de hidrólisis. En esta etapa pueden ser usados para la conversión de azúcares manoméricos a

etanol diversos microorganismos, entre hongos y bacterias, usándose industrialmente con frecuencia la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Axelsson, 2011).

Existen diversos factores que condicionan la eficiencia de la fermentación, dentro de los cuales se encuentran algunos como la elección de los microorganismos, tipo de materia prima, el método de pretratamiento, el método de hidrólisis; condiciones ambientales tales como el pH, la temperatura, concentración de sustrato y la concentración etanol. Los criterios comunes para la fermentación con *S.cerevisiae* son normalmente un pH de 5,0 y una temperatura de máximo 37 °C. Es importante aclarar que una de las principales desventajas de este método es la aparición de procesos inhibitorios de la acción microbiana por sustrato (Axelsson, 2011).

Una de las principales ventajas de realizar la hidrólisis de los azúcares poliméricos por separado de la fermentación es el hecho de que en cada unidad de proceso se puede trabajar en sus condiciones óptimas, teniendo en cuenta que las celulasas operan mejor a temperaturas más elevadas que los microorganismos que se usan habitualmente (Olsson; Soerensen *et al.*, 2006).

## Sacarificación y fermentación simultáneas (SSF)

Este método ofrece ventajas frente a la hidrólisis y fermentación separadas (SHF) en cuanto a los problemas de inhibición por sustrato, debido a que una vez se pro-

ducen los azúcares producidos en la reacción enzimática, inmediatamente quedan dispuestos a la acción fermentativa de los microorganismos, al tiempo, es posible que exista un menor impacto de los inhibidores que se generan en los pretratamientos de las materias primas (Öhgren, Bura *et al.* 2007). Sin embargo, debido a que se combinan en una misma unidad de procesamiento, las enzimas y los microorganismos fermentadores suelen trabajarse en condiciones que no son precisamente las más adecuadas para uno u otro actor. De acuerdo a esto, se han reportado que prueban la baja tolerancia de la *Saccharomyces cerevisiae*, situación que obliga a trabajar en condiciones ambientales ineficientes en cuanto a productividad de azúcares y que también pueden afectar la viabilidad de las cepas por el aumento de la concentración de etanol en el medio (Zhao y Xia, 2009).

A pesar de que existen diferencias ventajosas y desventajosas entre los métodos de SHF y SSF, se han reportado trabajos con mejores resultados en términos de eficiencia y tolerancia a la toxicidad para este último (Zheng, Fang *et al.*, Öhgren, Bura *et al.*, 2007; Zhao y Xia, 2009).

## Bioconversión de hemicelulosa

La hemicelulosa, que hace parte de la composición de biomasa lignocelulósica, actualmente representa la fracción más grande que se pierde del etanol celulósico, lo cual se debe principalmente a la naturaleza heterogénea de este polímero

y a la baja acción sobre ella que tienen los microorganismos utilizados a nivel industrial (Gario; Fonseca *et al.*).

Métodos como la hidrólisis ácida liberan la fracción de hemicelulosa, y ésta puede ser recuperada para aumentar los rendimientos de producción de etanol mediante el uso de *Pichia Stipitis*, que es una levadura prometedora para aplicaciones industriales por su capacidad para fermentar la xilosa (principal azúcar pentosa proveniente de la hidrólisis de hemicelulosa) y por no producir xilitol (J. N., 2001). Igualmente se han reportado trabajos en donde se hace uso de *Pachy solentannophilus*, levadura capaz de producir etanol a partir de xilosa (Cheng, Cai *et al.*, 2008).

Es importante aclarar que debido a la alta producción de sustancias inhibidoras mediante la hidrólisis ácida, se hace necesaria la implementación de métodos de detoxificación de los hidrolizados con el fin de aumentar la eficiencia en la producción de etanol (Gario; Fonseca *et al.*; J. N., 2001).

De acuerdo con los altos contenidos de hemicelulosa en el jacinto de agua, reportados por diversos autores las tecnologías encaminadas al aprovechamiento de hemicelulosa resultan muy atractivas (Anjanabha Bhattacharya y Pawan Kumar, 2010; Abdelhamid y Gabr, 1991; Bolenz *et al.*, 1990; Sornvoraweat y Kongkiattikajorn, 2010).

Se han realizado trabajos en donde los productos de la hidrólisis ácida de *Eichhornia crassipes* son detoxificados con tratamientos térmicos e hidróxido

de calcio y fermentados con *Pichia Stipitis*, obteniéndose hasta 76 % de azúcares convertidos a etanol y buena tolerancia a agentes inhibidores (J. N., 2002); igualmente se han obtenido rendimientos de conversión de xilosa generada a través de hidrólisis con ácido diluido de esta misma micrófita de 72,83 %, usando este mismo microorganismo (Kumar, Singh *et al.*, 2009).

En otros trabajos se han aplicado métodos similares de hidrólisis ácida combinando enzimas celulasas y xilanasas para liberar la mayor cantidad de azúcares fermentables (xilosa y glucosa), sometiendo los posteriormente a la acción fermentativa de diferentes cepas de *Saccharomyces cerevisiae* y cocultivos con *Candidatropicalis*, obteniéndose finalmente sacarificación en un nivel de 76,8 % y rendimientos teóricos de etanol de 96,07 % (Sornvoraweat y Kongkiattikajorn, 2010), también se han usado para la conversión de xilosa en etanol, usando como biomasa jacinto de agua, *Candidashehatae* (Isarankura *et al.*, 2007).

## Microorganismos empleados en la fermentación

En apartes anteriores se ha hecho mención a una amplia gama de microorganismos útiles para la conversión de azúcares a etanol. Sin embargo, en esta oportunidad se hará mención a otros que han sido utilizados, tal es el caso del uso de *Can-*

*didatropicalis* y *Candidalusitaniae* sobre algas para producir etanol (Lee y Lee); *Saccharomyces cerevisiae*, como levadura tradicional para producir etanol (Takeshige y Ouchi 1995); se han usado también *Pichiastipitis* (KCTC7228), *Pachysolentanopilus* (KCTC7229) y *Kloeckerasporaosmophila* (KCCM50548) sobre diferentes algas como sustrato (Lee y Lee); en otros trabajos se ha fermentado con *Kluyveromycesfragilis* (Dragone; Mussatto *et al.*), entre otros.

## Materiales y métodos

Se escogieron dos pretratamientos para la biomasa del jacinto de agua con condiciones basadas en la literatura. Se evaluó tanto la producción de azúcares reductores después del proceso de hidrólisis enzimática como la productividad a etanol mediante el sistema SSF (sacarificación y fermentación simultáneas).

## Evaluación de pretratamientos

Los pretratamientos evaluados en jacinto de agua para su posterior transformación en azúcares reductores y etanol fueron explosión con vapor y peróxido alcalino. El objetivo de esta selección preliminar es determinar el tipo de pretratamiento más adecuado para el material. Las condiciones empleadas en la evaluación experimental de cada pretratamiento corresponden a condiciones reportadas en

la literatura bajo las cuales se obtienen altos rendimientos de recuperación de celulosa, hemicelulosa y posteriormente en la conversión de éstos en azúcares fermentables. Las condiciones y modo de operación empleados en la evaluación de cada pretratamiento fueron: peróxido alcalino (temperatura: 35 °C; pH: 11,5; tiempo: tres horas; relación peso/peso: 5 %; concentración de la solución (v/v): 2 %) y explosión con vapor (temperatura: 180 °C; tiempo: cinco minutos; presión: 1 MPa; catalizador H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 2 % (v/v) con 30 % de humidificación).

## Producción de azúcares reductores y etanol

Se realizaron pruebas de fermentabilidad mediante el método de sacarificación y fermentación simultáneas (SSF) en las fracciones sólidas generadas. Se caracterizó el material antes y después de cada pretratamiento, determinando los porcentajes de humedad, cenizas, lignina, celulosa, hemicelulosa y extractivos según lo recomendado por el Renewable Energy Laboratory (NREL).

En la producción de etanol a partir del sistema de hidrólisis y fermentación simultánea (SSF), la enzima usada en este estudio fue la Accellerase 1500® de Genencor y la levadura comercial *Saccharomyces cerevisiae* Ethanol Red®. En este proceso se esterilizó el material lignocelulósico a 0.5 atm por 15 min, para la hidrólisis se montaron los sistemas en un *shaker* a una temperatura de 50 °C (reco-

mendada por Genecor), 150 rpm y *buffer* citrato 0.05M, pH: 4.8 para amortiguar cambios en acidez o alcalinidad del sistema. Simultáneamente, transcurridas 12 horas se inocula la levadura bajando la temperatura a 37 °C y aumentando la agitación a 180 rpm. En esta fase, al erlenmeyer se le acopló un respirómetro, en el cual se asegura que el CO<sub>2</sub> liberado de la reacción se disuelva en la trampa de agua y pesando cada 2 horas el sistema, se calculó la conversión teórica del material en etanol; este SSF fue monitoreado por 72 horas aproximadamente.

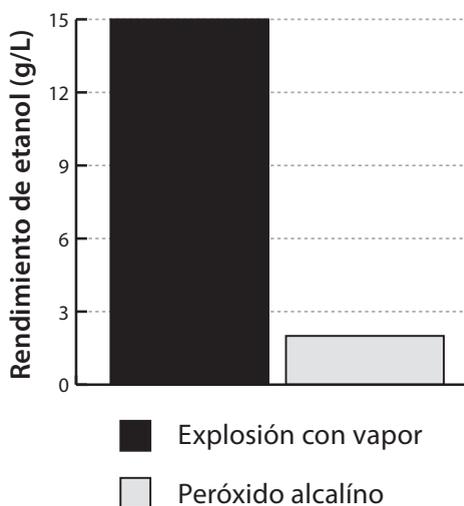
## Resultados y discusión

Se obtuvieron los siguientes resultados de porcentajes de humedad, cenizas, lignina, celulosa, hemicelulosa y extractivos, en su orden fueron: para peróxido alcalino 10,7 %, 7,3 %, 15,7 %, 26,7 %, 36,8 % y 2,8 %; para explosión con vapor 7,8 %, 10,9 %, 11,7 %, 24,7 %, 38,6 % y 6,4 %, considerando que el material antes de ser pretratado presentó 9,6 %, 12,2 %, 14,5 %, 23,0 %, 32,7 % y 7,9 % de los componentes antes mencionados (ver Tabla 5). La fermentabilidad en gramos por litro de etanol encontrada para el material pretratado en cada caso fue: 1,57 para el pretratamiento con peróxido alcalino y 15,21 para la explosión con vapor. Los resultados en términos de caracterización encajan con algunos reportados por otros autores y de acuerdo al parámetro de fermentabilidad se evidencia que explosión con vapor arroja los mejores resultados (ver Gráfica 1).

**Tabla 5.** Caracterización de la biomasa del jacinto de agua.

Biomasa del jacinto de agua			
Composición en porcentajes (%)	Sin pretratar	Pretratamientos	
		Peróxido alcalino	Explosión con vapor
Humedad	9,6	10,7	7,8
Cenizas	12,2	7,3	10,9
Lignina	14,5	15,7	11,7
Celulosa	23,0	26,7	24,7
Hemicelulosa	32,7	36,8	38,6
Extractivos	7,9	2,8	6,4

**Gráfica 1.** Fermentabilidad en gramos por litro de etanol de biomasa de jacinto de agua.



El porcentaje de cenizas hallado, que es del 12,2 %, se encuentra por debajo del 20 % reportado por Bhattacharya y Kumar (2010); incluso el de Bolenz *et al.*, 1990, que corresponde al 15 %. En el caso de la celulosa, hemicelulosa y lignina, se obtuvieron resultados del 23 %, 32,7 % y 14,5 % respectivamente, se puede decir que estos son bastante cercanos a los reportados en la literatura (Sornvoraweat y Kongkiattikajorn, 2010; Patel *et al.*, 1993; Bolenz *et al.*, 1990; Abdelhamid y Gabr, 1991; Bhattacharya y Kumar, 2010).

## Conclusiones

A partir de la revisión realizada, se pudo evidenciar que el jacinto de agua, por su no competencia por recursos ambientales como tierra, luz, nutrientes y su escasa necesidad de requerimientos de mantenimiento de cultivo, asociada a su condición de planta invasiva, puede resultar muy atractivo para la producción de etanol, en comparación con otras materias primas. Sin embargo, se evidencia la falta de información concreta acerca de la disponibilidad de este material para garantizar estabilidad en la producción de combustibles a partir de ésta.

Entre otras cosas, es posible considerar a la *Eichhornia crassipes* como un excelente candidato para la producción de combustibles, como una solución de múltiples vías, puesto que mitigaría el impacto ambiental y efecto económico colateral de su crecimiento desmesurado

(indeseable) en cuerpos de agua, al tiempo que puede ser usado en la descontaminación de medios acuáticos y podría entrar en la gama de opciones industriales para producir bioetanol.

Es importante afirmar que la industria del bioetanol para ser económicamente viable requiere gozar de un abanico amplio de opciones en términos de materias primas, en donde se debe apuntar a la estandarización de métodos, que permita el aprovechamiento integral de éstas.

Los resultados preliminares sobre la composición de biomasa del jacinto de agua y su comportamiento ante la biotransformación a etanol demuestran que es susceptible de ser utilizado para este fin y que el pretratamiento de explosión con vapor es capaz de liberar azúcares que son utilizados por la *Saccharomyces cerevisiae*. El pretratamiento con peróxido alcalino bajo las condiciones estudiadas no exhibe buenos resultados debido a que pueden resultar de baja severidad. Las concentraciones en caldo de 15,21 g/L de etanol a partir de biomasa de jacinto de agua son promisorias en comparación con otros trabajos (Ganguly, A. *et al.*, 2013; Aswathy, U. S. *et al.*, 2010).

Por esta razón, básicamente, los estudios comparativos de materiales lignocelulósicos deben generar aportes para conocer su comportamiento y diseñar alternativas que aumenten la efectividad en los procesos, mas no deben estar direccionados a desechar por completo las opciones existentes.

## Referencias bibliográficas

- Abraham, M. y G. M. Kurup** (1996). Bioconversion of tapioca (*Manihotesculenta*) waste and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). Influence of various physico-chemical factors. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 82 (3),: 259-263.
- Aswathy, U. S., Sukumaran, R. K. et al.** Bio-ethanol from water hyacinth biomass: An evaluation of enzymatic saccharification strategy. *Bioresource Technology*, 101 (3), 925-930.
- Aswathy, U. S., Sukumaran, R. K., Devi, G. L., Rajasree, K. P., Singhanian, R. R., y Pandey, A.** (2010). Bio-ethanol from water hyacinth biomass: an evaluation of enzymatic saccharification strategy. *Bioresource technology*, 101 (3), 925-930.
- Brodeur, G., E. Yau, et al.** (2011). "Chemical and Physicochemical Pretreatment of Lignocellulosic Biomass: A Review." *Enzyme Research*. 2011.
- Cheng, K. -K., B. -Y. Cai, et al.** (2008). "Sugar-cane bagasse hemicellulose hydrolysate for ethanol production by acid recovery process." *Biochemical Engineering Journal*, 38 (1),: 105-109.
- Dragone, G., S. I., Mussatto, et al.** "Optimal fermentation conditions for maximizing the ethanol production by *Kluyveromycesfragilis* from cheese whey powder". *Biomass and Bioenergy*, 35 (5),: 1977-1982.
- Ganguly, A., Halder, S., Laha, A., Saha, N., Chatterjee, P. K. y Dey, A.** (2013). Effect of Alkali Pretreatment on Water Hyacinth Biomass for Production of Ethanol. *Advanced Chemical Engineering Research*, 2 (2).
- Ganguly, A., P. K., Chatterjee, et al.** "Studies on ethanol production from water hyacinthae." A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (0)".
- Gario, F. M., Fonseca, C. et al.** Hemicelluloses for fuel ethanol: A review. *Bioresource Technology*, 101 (13), 4775-4800.
- Gnansounou, E. y A. Dauriat.** "Techno-economic analysis of lignocellulosic ethanol: A review. " *Bioresource Technology*, 101(13): 4980-4991.
- Golias, H., Dumsday, G. J., et al.** (2002). "Evaluation of a recombinant *Klebsiella-oxytoca* strain for ethanol production from cellulose by simultaneous saccharification and fermentation: comparison with native cellobiose-utilising yeast strains and performance in co-culture with thermotolerant yeast and *Zymomonasmobilis*." *Journal of Biotechnology*, 96(2): 155-168.
- González-García, S., M. T. Moreira, M. T., et al.** "Comparative environmental performance of lignocellulosic ethanol from different feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (7): 2077-2085.
- Hamelinck, C. N., G. v. Hooijdonk, G. V. et al.** (2005). "Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle-and long-term". *Biomass and Bioenergy*, 28 (4): 384-410.
- J. N., N.** (2001). "Ethanol production from wheat straw hemicellulose hydrolysate by *Pichiastipitis*." *Journal of Biotechnology*, 87 (1),: 17-27.
- J. N., N.** (2002). "Bioconversion of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xylose a "fermenting yeast." *Journal of Biotechnology*, 97 (2),: 107-116.
- Jeewon, L.** (1997). "Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol." *Journal of Biotechnology*, 56 (1),: 1-24.
- Kumar, A., L. K. Singh, L. K., et al.** (2009). "Bioconversion of lignocellulosic fraction of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to ethanol by *Pichiastipitis*. *Bioresource Technology*, 100(13),: 3293-3297.
- Laser, M., D. Schulman, D., et al.** (2002). "A comparison of liquid hot water and steam pretreatments of sugar cane bagasse

- for bioconversion to ethanol." *Bioresource Technology*, 81(1);: 33-44.
- Lee, S. --M. y J.-H. Lee, J. H.** "Ethanol fermentation for main sugar components of brown-algae using various yeasts." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (0).
- Lee, S. -M. a y nd J.-H. Lee, J. H.** "The isolation and characterization of simultaneous saccharification and fermentation microorganisms for *Laminaria japonica* utilization." *Bioresource Technology*, 102 (10);: 5962-5967.
- Lynd, L. R., Weimer, P. J. et al.** (2002). "Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology." *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 66 (3), (3): 506-577.
- Mabee, W. E., P. N. McFarlane, P. J., et al.** "Biomass availability for lignocellulosic ethanol production." *Biomass and Bioenergy*, (0).
- Margeot, A., B. R. Hahn-Hagerdal, B. R. et al.** (2009). "New improvements for lignocellulosic ethanol." *Current Opinion in Biotechnology*, 20 (3);: 372-380.
- Mishima, D., M. Tateda, M., et al.** (2006). "Comparative study on chemical pretreatments to accelerate enzymatic hydrolysis of aquatic macrophyte biomass used in water purification processes." *Bioresource Technology*, 97 (16);: 2166-2172.
- Öhgren, K., R. Bura, et al.** (2007). A comparison between simultaneous saccharification and fermentation and separate hydrolysis and fermentation using steam-pretreated corn stover. *Process Biochemistry*, 42 (5), 834-839.
- Olsson, L., H. R. Soerensen, H. R. et al.** (2006). Separate and Simultaneous Enzymatic Hydrolysis and Fermentation of Wheat Hemicellulose With Recombinant Xylose Utilizing *Saccharomyces cerevisiae*. *Twenty-Seventh Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals, Humana Press*;: 117-129.
- Rahman, M. M., Chowdhury, A. A. et al.** (1986). "Microbial production of biogas from organic wastes." *Journal of Fermentation Technology*, 64(1);: 45-49.
- Rogalinski, T., T. Ingram, T., et al.** (2008). "Hydrolysis of lignocellulosic biomass in water under elevated temperatures and pressures." *The Journal of Supercritical Fluids*, 47(1);: 54-63.
- Shields, S. y R. Boopathy, R.** "Ethanol production from lignocellulosic biomass of energy cane." *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65(1);: 142-146.
- Singh, A., D. Pant, D. et al.** "Key issues in life cycle assessment of ethanol production from lignocellulosic biomass: Challenges and perspectives." *Bioresource Technology*, 101 (13);: 5003-5012.
- Spatari, S., Bagley, D. M., et al.** "Life cycle evaluation of emerging lignocellulosic ethanol conversion technologies." *Bioresource Technology*, 101(2);: 654-667.
- Srilekha Yadav, K., S. Naseeruddin S., et al.** "Bioethanol fermentation of concentrated rice straw hydrolysate using co-culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia stipitis*." *Bioresource Technology*, 102 (11);: 6473-6478.
- Sukumaran, R. K., Surender, V. J., et al.** "Lignocellulosic ethanol in India: Prospects, challenges and feedstock availability." *Bioresource Technology*, 101(13);: 4826-4833.
- Sun, Y. y J. Cheng, J.** (2002). "Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review." *Bioresource Technology*, 83 (1);: 1-11.
- Swain, M. R., S. Kar, S. et al.** (2007). "Ethanol fermentation of mahula (*Madhuca latifolia* L.) flowers using free and immobilized yeast *Saccharomyces cerevisiae*." *Microbiological Research*, 162 (2);: 93-98.
- Takeshige, K. y K. Ouchi, K.** (1995). "Reconstruction of ethanol fermentation in per-

meabilized cells of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*." *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 79(1); 11-16.

**Talebniya, F., D. Karakashev, D. et al.**

"Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation." *Bioresource Technology*, 101 (13);: 4744-4753.

**Unrean, P. y F. Srienc, F.** "Continuous production of ethanol from hexoses and pentoses using immobilized mixed cultures of *Escherichia coli* strains." *Journal of Biotechnology*, 150 (2);: 215-223.

**Van Walsum, G., S. Allen, S. et al.** (1996).

"Conversion of lignocellulosics pretreated with liquid hot water to ethanol." *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 57-58(1);: 157-170.

**Xu, L. y U. Tschirner, U.** "Improved ethanol production from various carbohydrates through anaerobic thermophilic co-culture." *Bioresource Technology*, 102(21);: 10065-10071.

**Yang, C., Z. Shen, Z. et al.** (2008). "Effect and aftereffect of irradiation  $\dot{\Gamma}^3$  radiation pretreatment on enzymatic hydrolysis of wheat straw." *Bioresource Technology*, 99 (14);: 6240-6245.

**Yoon, H. (1998).** "Pretreatment of lignocellulosic biomass by autohydrolysis and aqueous ammonia percolation." *Korean Journal of Chemical Engineering*, 15(6);: 631-636.

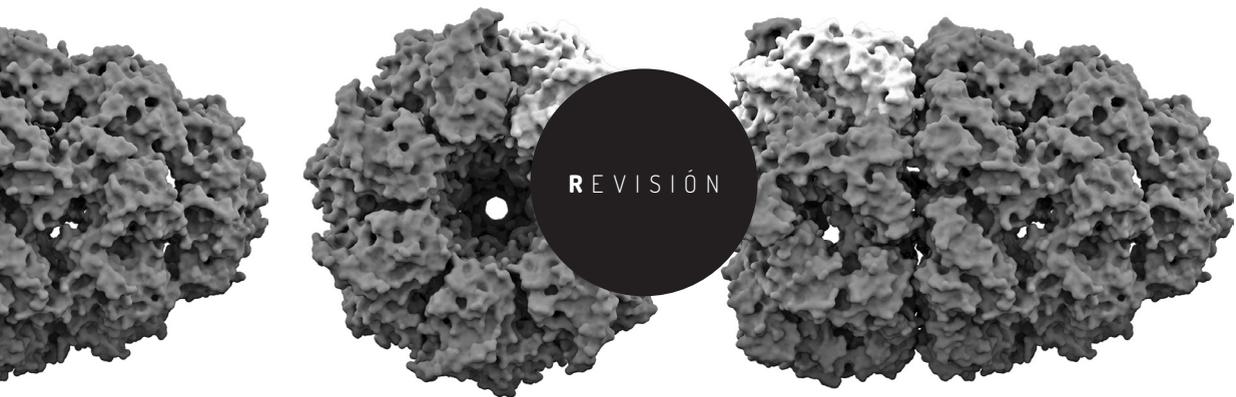
**Zhao, J. y L. Xia, L.** (2009). Simultaneous saccharification and fermentation of alkaline-pretreated corn stover to ethanol using a recombinant yeast strain. *Fuel Processing Technology*, 90 (10), 1193-1197.

**Zhao, Y., Y. Wang, Y. et al.** (2008). Enhanced enzymatic hydrolysis of spruce by alkaline pretreatment at low temperature. *Biotechnology and bioengineering*, 99 (6), 1320-1328.

**Zheng, P., L. Fang, L. et al.** "Succinic acid production from corn stover by simultaneous saccharification and fermentation using *Actinobacillus succinogenes*." *Bioresource Technology*, 101 (20);: 7889-7894.

**Zhiguang Zhu.** (2009). Investigating biomass saccharification for the production of cellulosic ethanol. Disponible en: [www.scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-05042009-143825/unrestricted/zhiguangzhumsthe-sis-2.pdf](http://www.scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-05042009-143825/unrestricted/zhiguangzhumsthe-sis-2.pdf)





# Hidrolizados proteicos y perspectivas del modelamiento en cinética enzimática de proteínas: **una revisión**

*Hydrolyzed protein and prospects of modeling  
in protein enzyme kinetics: Review*

**Omar Alfredo Figueroa Moreno**

Ingeniero agroindustrial. Docente de la Fundación Universitaria del Área Andina, Sede Valledupar.  
[omfimo22@gmail.com](mailto:omfimo22@gmail.com)

**José Edgar Zapata Montoya**

Ingeniero químico, Magister y Doctor. Grupo de Nutrición y Tecnología de Alimentos,  
Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentos, Universidad de Antioquia, Colombia.

**Lina Margarita Buelvas**

Ingeniera agroindustrial. Docente de la Fundación Universitaria del Área Andina, Sede Valledupar.

**Orieta Ortiz**

Ingeniera química. Docente la Fundación Universitaria del Área Andina, Sede Valledupar.

---

## RESUMEN

Los hidrolizados enzimáticos de proteínas están siendo ampliamente estudiados por sus variadas aplicaciones, que van desde bondades nutricionales y mejoras en las propiedades funcionales, hasta su potencial uso como alimentos nutracéuticos, por sus efectos biológicos específicos. Debido a esto se ha generado en las últimas décadas un interés por el modelamiento de la cinética en la hidrólisis enzimática y la determinación de los parámetros correspondientes, bien a la luz del análisis de los mecanismos enzimáticos supuestos, de los modelos empíricos y aspectos más complejos como el análisis del contexto sistémico de la enzima.

**Palabras clave:** modelos enzimáticos, hidrólisis proteica, cinética enzimática, hidrolizados proteicos.

---

## ABSTRACT

*Enzymatic hydrolysates of proteins are being widely studied for their various applications, ranging from nutritional benefits and improvements in functional properties to their potential use as a nutraceutical food for their biological effects. This generates interest in modeling the kinetics of hydrolysis and determination of kinetic parameters, but in the light of the experimental analysis of assumed enzymatic mechanisms, empirical models and more complex aspects such as analysis of the systemic context of the enzyme.*

**Key Words:** Enzyme models, protein hydrolysis, enzyme kinetic, protein hydrolysates.

## Introducción



Se ha estudiado que los hidrolizados de proteínas potencian diversas características funcionales, como por ejemplo baja viscosidad, mayor capacidad de agitación, dispersión y alta solubilidad, las cuales les conceden ventajas para el uso en muchos productos alimenticios, respecto a las proteínas originales (Kim *et al.*, 2007; Kong *et al.*, 2007; Lamsal *et al.*, 2007; Paraman *et al.*, 2007; Ruiz-Henestrosa *et al.*, 2007; Wasswa *et al.*, 2007; Yin *et al.*, 2008). Lo que los hace ser considerados para su utilización en muchos procesos alimentarios.

Desde el punto de vista de la nutrición, las proteínas y péptidos procedentes de alimentos están siendo empleados con el fin de mejorar algunas funciones biológicas o de tratar de prevenir o reducir el riesgo de enfermedad, pues se ha establecido que algunos péptidos obtenidos por hidrólisis de proteínas son capaces de ejercer efectos biológicos específicos, tales como antimicrobianos, antivirales, anticancerígeno, opioide, antioxidante, antihipertensivo, antitrombótica, citomoduladora. (Gomes, I. *et al.*, 2010; Guerard, F. *et al.*, 2010; Liu, Q. *et al.* 2010; Moller, N. P. *et al.*, 2008; Paul, M., Somkuti, G. A., 2010). Además de sus beneficios en la fabricación de dietas enterales, para personas con desordenes estomacales y problemas de mucosa intestinal (Benítez, R. *et al.*, 2008).

Los péptidos bioactivos son péptidos cortos de aproximadamente 2-30 ami-

noácidos de longitud. Ellos son inactivos dentro de la secuencia de la proteína matriz y pueden ser liberados durante la digestión gastrointestinal, durante la elaboración de alimentos o por hidrólisis con enzimas comerciales (Bernardini, R. D. *et al.*, 2011).

Estos péptidos con actividad biológica han sido aislados a partir de proteínas de variadas procedencia, como leche, sardina, maíz, soja, huevo, gelatina, huesos de cerdo, arroz, pescado, garbanzo, etc. (Benítez, R., 2007; Chen *et al.*, 2007; Girón-Calle, J. *et al.*, 2010; Guerard, F. *et al.*, 2010; Kannana *et al.*, 2010; Yin *et al.*, 2008; You, S. J. *et al.*, 2010; Zhu *et al.*, 2006).

Estudios en hidrólisis de proteínas de plasma bovino han confirmado la existencia de péptidos con actividad inhibidora de la enzimas convertidoras de la angiotensina (ACE) (Hyun, C. K., Park, K. J., 2002; Hyun, C. K., Shin, H. K., 2000). Del mismo modo en que péptidos con actividad antioxidante, efectos inmunomoduladores, antitrombóticos y opioides han sido aislados de variadas proteínas nativas (Hartman, R., Meisel, H., 2007; Liu, Q. *et al.*, 2009). Así como péptidos con propiedades antimicrobianas han sido confirmados en hidrolizados de hemoglobina (Daoud, R. *et al.*, 2005; Mak, P. *et al.*, 2004; Nedjar, N. *et al.*, 2006; Nedjar, N. *et al.*, 2008).

Debido a este uso potencial, existe hoy en día gran interés por predecir los comportamientos de sistemas que contemplan reacciones de hidrólisis enzimática a través de ordenadores, con el fin de dimensionar equipos industriales, pronosticar comportamientos dinámi-

cos, controlar tiempos de proceso y otras variables cinéticas (Figuroa, O. *et al.*, 2012). Es importante resaltar que la optimización de estos procesos depende del comportamiento cinético, que puede llegar a ser muy complejo para sistemas con sustratos, como las proteínas, debido al gran número de enlaces y péptidos (Guadix, A. *et al.*, 2000).

En este artículo se presenta una revisión de los conceptos relacionados con los procesos de hidrólisis enzimática de proteínas, además de una perspectiva sobre modelación en cinética enzimática y su importancia en la comprensión de los sistemas enzimáticos, resaltando las bondades del estudio cinético de las reacciones enzimáticas, tanto desde la perspectiva de la especificación de los mecanismos catalíticos de las enzimas, como una descripción de la cinética enzimática que tiene en cuenta el contexto sistémico en el que se encuentra la enzima.

## Hidrólisis enzimática de proteínas

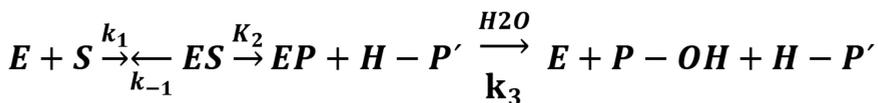
La hidrólisis enzimática de proteínas es una reacción consistente en la ruptura, catalizada por las enzimas, de los enlaces

peptídicos que estructuran las cadenas proteicas, consumiéndose una molécula de agua en el ataque nucleofílico por cada enlace roto, lo cual provoca la liberación de grupos aminos y carboxilos terminales, surgiendo la dependencia del estado de preconización con el pH. (Adler-Nissen, 1986).

Para cuantificar el avance de la reacción, se emplea el criterio del grado de hidrólisis (GH), el cual es una relación entre el número de enlaces peptídicos liberados y el número de enlaces presentes en la proteína nativa. El GH puede ser determinado por los siguientes métodos: 1) estimación del nitrógeno soluble, 2) determinación de los grupos  $\alpha$ -amino liberados, 3) valoración del protón liberado en la hidrólisis y 4) el descenso del punto crioscópico (Guadix, 2002).

## Fuentes proteicas

Para la elección de una fuente proteínica adecuada debe tenerse en cuenta el uso que vaya a tener el hidrolizado, así como el valor agregado del producto final con respecto al sustrato inicial (Benítez, 2007). Este material de partida puede ser de origen animal, vegetal o bacteriano



(1)

y debe seleccionarse teniendo en cuenta el uso que vaya a tener el hidrolizado. Cuando se trata de favorecer propiedades tecnofuncionales, como la capacidad gelificante o espumante, se emplea colágeno, gelatina, huevos, carnes o vísceras, entre otras; como fuente de nitrógeno, en alimentación animal se emplean proteínas de pescado y microbianas, en alimentación humana, principalmente proteínas lácteas y vegetales (Guadix, 2000).

Estas proteínas son también fuentes de péptidos con actividad biológica y pueden ser empleados en la formulación de alimentos funcionales. En esto se destacan las proteínas lácteas, de vísceras de peces, huesos de cerdo, vegetales, hemoglobina y plasma de bovino, entre las que se ha encontrado actividad antioxidante, capacidad inhibidora de la ACE, opioide, antitrombótica y antimicrobianas (Korhonen y Pihlanto, 2003; Ferreira *et al.*, 2007; Xinyan *et al.*, 2010; Jae-Young *et al.*, 2009; Qian Liu *et al.*, 2010; Benítez, 2007; Reddy, K. V. R, *et al.*, 2004).

## Proteasas

Las enzimas proteolíticas o proteasas comerciales hidrolizan los enlaces peptídicos con diferentes grados de intensidad y de selectividad. De esta manera, se usará la enzima más adecuada de acuerdo con la necesidad de la transformación requerida (Badui, 2006).

Con respecto a las enzimas, actualmente se encuentran disponibles comercialmente muchas proteasas de grado

alimenticio (Tabla 1). Estas proteasas pueden ser clasificadas por su origen (animal, vegetal, bacteriano o fúngico), por su modo de acción catalítica (endo- o exo- actividad) o con base en su sitio catalítico (serinproteasas, cisteinproteasas, aspartato proteasas, metaloproteasas, interviniendo los aminoácidos serina, cisteína, ácido aspártico o un catión metálico). Las enzimas tienen una conformación tridimensional específica que cambia en la catálisis generando tensión en la molécula y volviéndola susceptible a reacción, acelerando las velocidades de reacción en el orden de 10<sup>2</sup>-10<sup>11</sup> (Wiley y Sons, 1986).

## Cinética enzimática de proteínas

La cinética enzimática se encarga del estudio de la velocidad con que se dan las reacciones catalizadas por enzimas. Los trabajos publicados en esta área son relativamente escasos y algunos admiten cinética simples de un solo sustrato tipo Michaelis-Menten, como se indica en la ecuación (2) (Mukataka *et al.*, 1992). En estos casos, la estimación de los parámetros cinéticos se hace generalmente a través de la linealización de la ecuación (2), bien en la forma de Langmuir, Lineweave-Burk o Eadie-Hofstee.

$$r = \frac{r_{max}S}{k_m + S}$$

(2)

Del mismo modo, han sido planteados modelos de Michaelis-Menten con doble sustrato. Barros y Malcata (2004) estudiaron la hidrólisis del lacto suero, con cardosin A, una enzima extraída de la flor del *Cynarra cardunculus*. Un modelo tipo Michaelis-Menten con doble sustrato (4 parámetros de ajuste) fue analizado y se consideró la coexistencia de dos sustratos  $\alpha$ -lactoalbúmina y  $\beta$ -lactoglobulinas. La determinación de las constantes cinéticas del sistema pone de manifiesto la mayor afinidad de la enzima por  $\alpha$ -La que por  $\beta$ -Lg. En este modelo, los parámetros fueron evaluados por análisis de regresión no lineal a través de los datos experimentales, obtenidos de la desaparición  $\alpha$ -La y  $\beta$ -Lg, por FPLC.

Anteriormente, Barros y Malcata (2002) habían planteado un modelo que incluía

doble enzima (cardosin A y B) y doble sustrato ( $\alpha$ -La y  $\beta$ -Lg). Estos extractos enzimáticos han sido utilizados por años en la elaboración tradicional de quesos en Portugal y España. Un análisis multirespuesta de regresión no lineal se empleó de igual forma para la evaluación de los ocho parámetros de ajuste y se hallaron resultados similares a los mencionados.

Pese a que según los autores estas aproximaciones eventualmente podrían ser empleadas para simular la hidrólisis del lactosuero con proteasas en general, lo cierto es que, en la mayoría de los casos, modelos como los anteriores resultan insuficientes para explicar cinéticas complejas como la de las proteínas, donde se da la ruptura simultánea de enlaces de distinta reactividad, se generan productos que se convierten a su vez en

**Tabla 1.** Descripción de algunas proteasas comerciales y su clasificación.

Tipo de proteasa	Nombre	Fuente	Temp °C	Intervalo de pH	Sitio de acción catalítica
<b>Serinproteasa</b>					
<b>Animal</b>	Trypsina	Porcino-bovino	30-60	7--9	*Lys (or Arg) ---
	Quimotripsina		45-55	8--9	*Trp (or Tyr, Phe,Leu)
	Elastasa			6--8	*Ala
<b>Bacterial</b>	Substilisín. Carlsberg, 'Alcalase'	Bacillus licheniformis	50-60	6--10	-*AAhf----
	Subst. BPN, Substilisín Novo	Bacillus amyloliquefaciens	40-55	6--10	

\*sitio de acción de la proteasa por el sustrato

AAhf= Aminoácidos hidrofóbicos

sustratos y se manifiestan fenómenos de inhibición y desactivación enzimática (Figueroa *et al.*, 2012).

Esto ha motivado al empleo de modelos que se basan en ecuaciones cinéticas empíricas, que aunque no describen posibles mecanismos de reacción, en algunos casos son útiles para explicar los resultados obtenidos. Margot *et al.* (1997) propusieron modelos empíricos en aras de explicar el comportamiento cinético del sistema lactosuero-tripsina. La reacción fue seguida con la fracción de nitrógeno no proteico (NNP) y bajo condiciones de inactivación moderadas (T menor de 60 °C), el modelo (3) fue probado satisfacto-

riamente; mientras que el (4) explica en gran medida los datos obtenidos, cuando se presentan bajas velocidades de desactivación e inhibición por sustrato y el (5) puede ser empleado cuando se registran fuertes inactivaciones de la enzima

La ecuación (6) representa, por su parte, un balance general en el equilibrio de un reactor discontinuo sujeto a inhibición competitiva y no competitiva por productos, así como inhibición por sustrato. Este modelo se basa en la cinética de Michaelis-Menten extendida, por lo tanto, los parámetros cinéticos pueden ser interpretados.

$$\frac{dNNP}{dt} = \frac{a_1 a_2}{(a_2 + t)^2} + a_3 \tag{3}$$

$$\frac{dNNP}{dt} = a_1 \frac{e_0}{S_0^2} \exp(-a_2 NPN) \tag{4}$$

$$\frac{dNNP}{dt} = a_1 a_2 \exp(-a_2 t) + a_3 a_4 \exp(-a_4 t) \tag{5}$$

$$\frac{S_0}{e_0} \frac{dNNP}{dt} = \frac{a_1 S_0 (a_4 - NNP)}{a_2 + S_0 (a_4 - NNP) + 2 a_3 S_0^2 (NNP - NNP_0) (a_4 - NNP)} \tag{6}$$

Como puede verse, algunos modelos empíricos de naturaleza puramente matemática, así como otros con una sólida formación en los mecanismos de reacción enzimática pueden ser empleados para ajuste de datos de los experimentos de hidrólisis de las proteínas (Margot *et al.*, 1997).

También se han abordado fenómenos de inhibición (competitiva o no competitiva), por sustrato o por productos de hidrólisis, a través de la deducción de ecuaciones de la forma de la ecuación de M-M, basados en el mecanismo de reacción propuesto. Tardioli P *et al.* (2005) ajustaron los resultados experimentales a un modelo de M-M, con inhibición por producto (ecuación 7). El sustrato empleado fue una solución de polipéptidos obtenidos de la hidrólisis secuencial de suero de queso con tripsina, quimotripsina y carboxipeptidasa (50 °C, pH 9.5). La reacción es catalizada por Alcalase® inmovilizada en 10 % de agarosa y seguida por el método del pH-stat. Los parámetros  $k_m$ ,  $k_1$ , y  $k_2$  (constantes de Michaelis, de inhibición y de velocidad, respectivamente) fueron estimados por el método de Levenberg–Marquardt, los valores de inicialización de estos se determinaron empleando la linealización de Lineweaver–Burk. La variable N, en la ecuación (7), corresponde al número de enlaces peptídicos que pueden ser hidrolizadas por Alcalase®, que es cuantificado en los polipéptidos prehidrolizados de partida. Lo cual es razonable, teniendo en cuenta que seguramente un sustrato

que contiene grupos aminos libres que inhiben la hidrólisis presentará una cinética diferente que un grupo de proteínas, y este efecto debe ser considerado de alguna manera. Sin embargo, Sousa *et al.* (2004) habían probado el modelo con éxito en las mismas condiciones, pero a partir de lactosuero entero.

$$r_N = \frac{Ke_0N}{K_m \left[ I \left( \frac{I}{K_I} \right) \right] + N} \quad (7)$$

Es claro que pese a sus limitaciones las aproximaciones de Michaelis-Menten, bien en su forma sencilla o considerando procesos de inhibición, representan un buen punto de partida para el análisis de la cinética enzimática de proteínas. Trusek-Holownia (2008) empleó modelos de M-M, sin inhibición y con inhibición por sustrato, para la obtención de hidrolizados proteicos de caseína en un reactor de membrana.

Además de los efectos de inhibición por sustrato y producto, la contribución de los fenómenos de desactivación enzimáticos pueden ser tenidos en cuenta y deducidos experimentalmente en el análisis de la cinética de hidrólisis enzimática de proteínas, basados en la ecuación de M-M. Así, modelos de la forma general de la ecuación (8) pueden ser empleados, donde a y b pueden tener diferentes expresiones, dependiendo del mecanismo de reacción y definen los parámetros cinéticos del sistema (Tabla 2).

$$\frac{d(DH)}{dt} = a \text{ EXP } [-b(DH)]$$

(8)

Expresiones de este tipo han sido empleadas en reactores Batch para explicar la velocidad de hidrólisis enzimática, con desactivación enzimática y cinética de orden cero, en sustratos como: caseínas (Camacho *et al.*, 1993), lactoalbuminas (Gonzales-Tello *et al.* 1994), hemoglobina bovina (Márquez y Vázquez, 1999), plasma bovino (Figueroa *et al.*, 2012) y sustratos de origen vegetal (Márquez y Fernández, 1993). Mientras que la desactivación enzimática y la inactivación por sustrato fueron corroboradas en un sistema BSA-tripsina (Wei Qi y Zhimin He, 2006). En cada uno de estos casos se establecieron

bases importantes para la optimización de los procesos.

Doping *et al.* (2005) estudiaron el comportamiento cinético de BSA con tripsina, empleando técnicas de agrupamiento. El método combina grupos de componentes que tienen comportamientos cinéticos similares en varios bloques con el fin de reducir el número de variables y parámetros, simplificando de esta forma el complicado sistema. Esta técnica es ampliamente empleada en la industria petroquímica.

Este modelo se basó en la definición de cuatro zonas de pesos moleculares en los hidrolizados obtenidos (Figura 1). El grupo A corresponde a los péptidos de mayor peso molecular y D a los de menor. El modelo establecido fue de M-M con inhibición por sustrato y producto, además de una inactivación de primer orden de la enzima.

**Tabla 2.** Diferentes expresiones de los parámetros a y b para la ecuación exponencial.

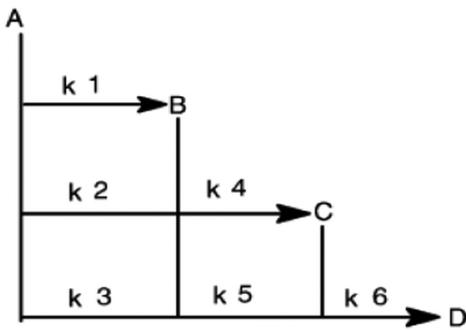
Mechanism	a	a
No inhibition	$\frac{k_2 e_0}{s_0}$	$\frac{k_3 K_m}{k_2}$
Substrate-inhibition	$\frac{k_2 K_s e_0}{s_0 K_s + s_0^2}$	$\frac{k_3 K_m K_s}{k_2 (K_s + s_0)}$
Product-inhibition	$\frac{k_2 e_0 K_p}{s_0 K_p + p K_m}$	$\frac{k_3 K_m K_p s_0}{k_2 (s_0 K_p + p K_m)}$
Substrate and product inhibition	$\frac{k_2 e_0 K_s K_p}{K_s K_p s_0 + K_p s_0^2 + K_m K_s p}$	$\frac{k_3 K_m K_s K_p s_0}{k_2 (K_s K_p s_0 + K_p s_0^2 + K_m K_s p)}$

Fuente: Doping S *et al.*, 2005.

Los parámetros fueron calculados por el método de Marquardt, en dos pasos, desde el nivel inferior (subreacciones con grupos B, C y D), hasta el superior (grupo A).

Una comparación de los valores obtenidos en condiciones experimentales diferentes y los computados en el modelo demostraron que el modelo propuesto predice la distribución de las concentraciones en buena medida. La Tabla 3 muestra los valores de los parámetros estimados en el modelo.

**Figura 1.** Esquema de los cuatro grupos de péptidos de BSA hidrolizados con tripsina.



## Hidrólisis enzimática en reactores de membrana

En los últimos años ha surgido un gran interés en el sector académico e industrial por el uso de reactores de membrana, que presentan una serie de ventajas en relación con los procesos batch tradicionales (Figura 2).

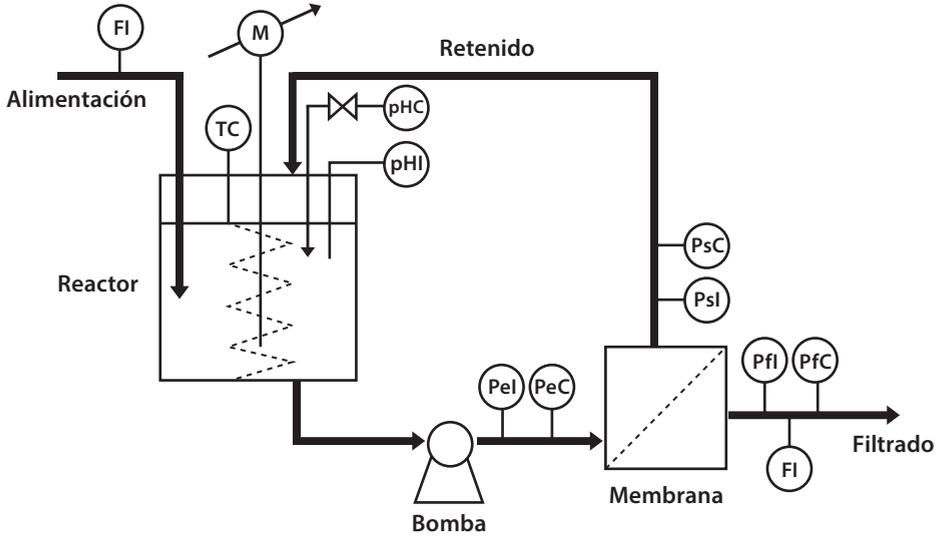
Numerosos trabajos se han desarrollado en reactores de este tipo en el estudio sobre péptidos bioactivos. En una revisión de Prieto (2007) se destacan trabajos como los de Kapel *et al.* (2003-2006), que emplearon un reactor de membrana para la producción continua de un hidrolizado rico en péptido opioide LVV-hemorfina-7, a partir de hemoglobina y pepsina porcina. Guadix *et al.* (2006), en un reactor continuo con membrana de poliéster sulfona, logró reducir en un 99.97 % la alergenicidad de hidrolizados de lactosuero (Prieto, 2007).

**Tabla 3.** Resultado de los parámetros cinéticos estimados con el modelo de agrupamiento (unidades de k son min<sup>-1</sup>).

Reaction	Reaction constant	30 °C	40 °C	50 °C
A → B	k <sub>1</sub>	2,6465	4,6171	10,2481
A → C	k <sub>2</sub>	0,2898	0,4578	0,8737
A → D	k <sub>3</sub>	0,06293	0,1107	0,1830
B → C	k <sub>4</sub>	0,5613	0,8213	1,382
B → D	k <sub>5</sub>	0,2484	0,4268	0,852
C → D	k <sub>6</sub>	0,6030	0,9085	1,3517

Fuente: Doping S *et al.*, 2005.

**Figura 2.** Esquema general de un reactor de membrana



Fuente: Prieto, 2007.

Guadix (2002), hidrolizando proteínas de lactosuero en un reactor de membrana, propone un modelo que considera la reactividad y la accesibilidad de los enlaces susceptibles de ser hidrolizados por la proteasa, representado en la forma general por la ecuación (9). Define a estos factores de reactividad y accesibilidad, expresiones que están en función del grado de hidrólisis y el número de enlaces peptídicos de la proteína.

Prieto (2007), a partir del ajuste de un modelo cinético de desactivación enzimático de primer orden y cinética de hidrólisis de orden cero, determinó los parámetros para optimizar la mínima cantidad de enzima a emplear en un reactor semicontinuo de membrana. Por otro lado, Prieto *et al.* (2007) propusieron un modelo en el que experimentalmente comprobaron una hidrólisis de orden cero y desactivación enzimática de se-

$$S_0 \frac{d(DH)}{dt} = KF_{reactividad} F_{accesibilidad} (DH_{max} - DH)$$

(9)

gundo orden, en un sistema Lactoalbumina-subtilisina (Protex 6L), logrando la optimización de un reactor cíclico de membrana y el ahorro de hasta un 44% de enzimas, comparado con un reactor de operación batch.

## Conclusión

El interés surgido por las diferentes aplicaciones evidenciadas en los hidrolizados enzimáticos de proteína ha generado gran expectativa, tanto en el sector académico como en el industrial. Por lo tanto, se hace necesario que los estudios relacionados con hidrólisis enzimáticas de proteínas vayan más allá de la determinación de condiciones óptimas de trabajo. Esto implica abordar la complejidad de las reacciones de hidrólisis proteicas desde el enfoque del modelamiento de la cinética de reacción, pues factores útiles para el dimensionamiento de reactores industriales, predicción, descripción y control del comportamiento de las variables que interactúan en el proceso, como temperaturas, relación enzima-sustrato, pH, agitación, entre otras, suelen no ser analizados con suficiencia. Mientras que un modelo podría abarcar en forma más amplia ciertas variables y brindar herramientas de gran valor en el análisis de los sistemas. Aclarando que si un modelo es muy simple puede representar insuficientemente un proceso, y cuando es muy complejo, se hace difícil analizarlo estadísticamente con suficiente precisión.

## Referencias bibliográficas

- Adler-Nissen, J.** (1986). Relationship of structure to taste of peptides and peptide mixtures, en: Feeney R. E., Whitaker J. R. (Eds.). *Protein tailoring for food and medical uses*, pp. 97-122.
- Badui, S.** (2006). *Química de los alimentos* (4ª. ed.). México: Person Ediciones.
- Barros, R. and Malcata, X.** (2004). A kinetic model for hydrolysis of whey proteins by cardosin A extracted from *Cynara cardunculus*. *Food Chemistry*, 88, 351-359.
- Barros, R. y Malcata, X.** (2002). Modeling the Kinetics of Whey Protein Hydrolysis Brought about by Enzymes from *Cynara cardunculus*. *J. Agric. Food Chem*, 50, 4347-4356.
- Benítez, R.** (2007). Hidrólisis enzimática de la proteína del hueso de cerdo, propiedades funcionales y usos del hidrolizado [Ph.D. Thesis]. España, Universidad de Lleida.
- Benítez, R. y Ibarz, A.** (2008). Pagan J. Protein hydrolysates: processes and applications. *Acta Bioquím Clín Latinoam.*, 42, 227-236.
- Bernardini, R. D. et al.** (2011). Antioxidant and antimicrobial peptidic hydrolysates from muscle protein sources and by-products. *Food Chemistry*, 124, 1296-1307.
- Camacho, F., González, P., Páez, M., Márquez, M. C., Fernández, V.** (1993). Hidrolisis de caseína con Alcalasa. *Esp Cienc Tecnol Alimen*, 33, 59-70.
- Cheison, S., Wang, Z. y Xu, S. Y.** (2006). Hydrolysis of whey protein isolate in a tangential flow filter membrane reactor I. Characterisation of permeate flux and product recovery by multivariate data analysis. *Journal of Membrane Science*, 2 (283), 45-56.
- Chen, J. et al.** (2007). Preparation of antihypertensive peptides from rice protein by enzymatic hydrolysis and its characteristics. *Trans., Chinese Soc. Agric.*, 23, 210-213.

- Daoud, R. et al.** (2005). New antibacterial peptide derived from bovine hemoglobin. *Peptides*, 26, 713-719.
- Deqing, S., Zhimin, H., Wei, Q.** (2005). Lumping kinetic study on the process of tryptic hydrolysis of bovine serum albumin. *Process Biochemistry*, 5 (40), 1943-1949.
- Ferreira I. M. P. L. V. O. et al.** (2007). Preparation of ingredients an ACE-inhibitory peptide tryptic hydrolysis of whey protein concentrates. *International Dairy Journal*, 17, 481-487.
- Girón-Calle, J., Alaiz, M. y Vioque, J.** (2010). Effect of chickpea (garbanzo) protein hydrolysates on cell proliferation and in vitro bioavailability. *Food Research International*, 43, 1365-1370.
- Gomes, I. et al.** (2010). Hemoglobin-derived Peptides as Novel Type of Bioactive Signaling Molecules. *The AAPS Journal*, 12 (4), 658-669.
- González-Tello, P., Camacho, F., Jurado, E., Páez, M. P., Guadix, E. M.** (1994). Enzymatic hydrolysis of whey proteins. I. Kinetic model. *Biotechnol Bioeng*, 44, 523-528.
- Guadix, A.** (2002). Producción en reactores de membranas de hidrolizados enzimáticos de proteínas lácteas para nutrición enteral. [PhD Thesis]. España, Universidad de Granada.
- Guadix, A.** (2002). *Producción en reactores de membranas de hidrolizados enzimáticos de proteínas lácteas para nutrición enteral*. Granada, España: Universidad de Granada.
- Guadix, A. et al.** (2000). Technological processes and methods of control in the hydrolysis of proteins. *Ars Pharmaceutica*, 41, 79-89.
- Guérard, F. et al.** (2010). Recent developments of marine ingredients for food and nutraceutical applications: a review. *J. Sci. Hal. Aquat.*, 2, 21-27.
- Hartman, R. y Meisel, H.** (2007). Food derived peptides with biological activity: From research to food applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 18, 163-169.
- Hyun, C. K. y Park, K. J.** (2002). Antigenotoxic effects of the peptides derived from bovine blood plasma proteins. *Enzyme and Microbial Technology*, 30, 633-638.
- Hyun, C. K. y Shin, H. K.** (2000). Utilization of bovine blood plasma proteins for the production of angiotensin I converting enzyme inhibitory peptides. *Process Biochemistry*, 36, 65-71.
- Je, J. Y. et al.** (2009). Antioxidant and antihypertensive protein hydrolysates produced from tuna liver by enzymatic hydrolysis. *Food Research International*, 42, 1266-1272.
- Kannana, A. et al.** (2010). Human cancer cell proliferation inhibition by a pentapeptide isolated and characterized from rice bran. *Peptides*, 31, 1629-1634.
- Kim, S. Y., Je, J. Y. y Kim S. K.** (2007). Purification and characterization of antioxidant peptide from hoki (*Johnius belengerii*) frame protein by gastrointestinal digestion. *J. Nutr. Biochem.*, 18, 31-38.
- Kong, X., Zhou, H. y Qian, H.** (2007). Enzymatic preparation and functional properties of wheat gluten hydrolysates. *Food Chem.*, 101, 615-620.
- Korhonen, H. y Pihlanto, A.** (2003). Bioactive peptides: novel applications for milk proteins. *Applied Biotechnology, Food Science and Policy*, 3, 133-144.
- Lamsal, B. P., Jung, S. y Johnson, L. A.** (2007). Rheological properties of soy protein hydrolysates obtained from limited enzymatic hydrolysis. *LWT - Food Sci. Technol.*, 40, 1215-1223.
- Liu, Q. et al.** (2009). Antioxidant activity and functional properties of porcine plasma protein hydrolysate as influenced by the degree of hydrolysis. *Food Chemistry*, 118, 403-410.
- Liu, Q. et al.** (2009). Free radical scavenging activity of porcine plasma protein

- hydrolysates determined by electron spin resonance spectrometer. *Food Science and Technology*, 42, 956-962.
- Mak, P. et al.** (2004). Antibacterial hemoglobin peptides in human menstrual blood. *Peptides*, 25, 1839-1847.
- Margot, A., Flaschel, E. y Renken, A.** (1997). Empirical kinetic models for tryptic whey-protein hydrolysis. *Process Biochemistry*, 32, 217-223.
- Márquez, M. C, Fernández, V.** (1993). Enzymic hydrolysis of vegetable proteins: mechanism and kinetics. *Proc Biochem*, 28, 481-490.
- Márquez, M. y Vázquez, M.** (1999). Modeling of enzymatic protein hydrolysis. *Process Biochemistry*, 35, 111-117.
- Márquez, M., Vázquez, M.** (1999). Modeling of enzymatic protein hydrolysis. *Process Biochemistry*, October;1-2 (35), 111-117.
- Martínez, O. y Martínez, E.** (2006). Proteínas y péptidos en nutrición enteral. *Nutr. Hosp*, 21 (Supl. 2), 1-14.
- Moller, N. P. et al.** (2008). Bioactive peptides and proteins from foods: indication for health effects. *Eur J Nutr.*, 47, 171-182.
- Mukatata, S. et al.** (1992). Extractive bioconversions in aqueous two-phase systems: enzymatic hydrolysis of casein proteins. *Biotech. Bioeng*, 40, 195-206.
- Nedjar, N.** (2006). Isolation and characterization of four antibacterial peptides from bovine hemoglobin. *Peptides*, 27, 2082-2089.
- Nedjar, N.; et al.** (2008). Bovine hemoglobin: An attractive source of antibacterial Peptides. *Peptides*, 29, 969-977.
- Paraman, I. et al.** (2007). Hydrophobicity, solubility, and emulsifying properties of enzyme-modified rice endosperm protein, *Cereal Chem.*, 84, 343-349.
- Paul, M. y Somkuti, G. A.** (2010). Hydrolytic breakdown of lactoferricin by lactic acid bacteria. *J Ind Microbiol Biotechnol.*, 37, 173-178.
- Peng, X. et al.** (2010). Reducing and radical-scavenging activities of whey protein hydrolysates prepared with Alcalase. *International Dairy Journal*, 20, 360-365.
- Prieto, C.** (2007). *Diseño y optimización de un reactor de membrana discontinuo para la hidrólisis enzimática de proteínas*. Granada, España: Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Granada.
- Prieto, C. y col.** (2007). A cyclic batch membrane reactor for the hydrolysis of whey protein. *Journal of Food Engineering*, 78, 257-265.
- Reddy, K. V. R., Yedery, R. y Aranha, C.** (2004). Antimicrobial peptides: Premises and promises. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 24, 536-547.
- Rohwer, J., Hanekom, A., Hofmeyr, J.** (2007). *A Universal Rate Equation for Systems Biology*. Beilstein-Institut.
- Ruiz-Henestrosa, V. P. et al.** (2007). Limited enzymatic hydrolysis can improve the interfacial and foaming characteristics of beta-conglycinin. *J. Agric. Food Chem.* 55, 1536-1545.
- Tardioli, P. et al.** (2005). Kinetic model of the hydrolysis of polypeptides catalyzed by Alcalase immobilized on 10% glyoxyl-agarose. *Enzyme and Microbial Technology*, 36, 555-564.
- Trusek-Holownia, A.** (2008). Production of protein hydrolysates in an enzymatic membrane reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 2 (39), 221-229.
- Wasswa, J. et al.** (2007). Influence of the extent of enzymatic hydrolysis on the functional properties of protein hydrolysate from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) skin, *Food Chem.*, 104, 1698-1704.
- Wei, Q. y Zhimin, H.** (2006). Enzymatic hydrolysis of protein: mechanism and kinetic model. *Front. Chem. China*, 3(1), 308-314.

**Wiley, J. and Sons** (editors). (1986). *Chemical reaction engineering* (second edition). New York.

**Yin, S. et al.** (2008). Effects of limited enzymatic hydrolysis with trypsin on the functional properties of hemp (*Cannabis sativa L.*) protein isolate. *Food Chem.*, 106, 1004-1013.

**Yin, S. et al.** (2008). Effects of limited enzymatic hydrolysis with trypsin on the functional properties of hemp (*Cannabis sativa L.*) protein isolate. *Food Chem.*, 106, 1004-1013.

**You, S. J. et al.** (2010). Multifunctional peptides from egg white lysozyme. *Food Research International*, 43, 848-855.

**Zhu, K.; Zhou, H. y Qian, H.** (2006). Antioxidant and free radical-scavenging activities of wheat germ protein hydrolysates (WGPH) prepared with alcalase. *Process Biochemistry*, 41, 1296-1302.





A NÁLISIS

# Formación inicial y práctica del profesor: análisis desde las caracterizaciones del **pensamiento del profesor**

*Initial formation and teacher practice:  
analysis from the teacher thinking characterizations*

**Félix Movilla Contreras**

M. Sc. en Matemática aplicada de la Universidad del Zulia, Venezuela.  
Institución Educativa Loperena Garupal, Valledupar, Colombia.  
[felmovilla@gmail.com](mailto:felmovilla@gmail.com)

**Hugo Parra Sandoval**

Doctor en Ciencias Humanas de la Universidad del Zulia. Centro de Investigación en Matemáticas  
y Física de la Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.  
[hps1710@gmail.com](mailto:hps1710@gmail.com)

**Jhonys Bolaño Ospino**

M. Sc. en Matemática Aplicada de la Universidad del Zulia, Venezuela.  
Institución Educativa Bello Horizonte, Valledupar, Colombia.  
[jhonysenriquebolano@gmail.com](mailto:jhonysenriquebolano@gmail.com)

**Ovidio Baquero Bonilla**

M. Sc. en Matemática Aplicada, de la Universidad del Zulia, Venezuela.  
Departamento de Matemáticas de la Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Colombia.  
[ovidiobaquero@unicesar.edu.co](mailto:ovidiobaquero@unicesar.edu.co)

---

## RESUMEN

Este artículo muestra un estudio del pensamiento del profesor como referente teórico en la descripción del conocimiento profesional de éste y de la práctica de su ejercicio como el producto de la acción vinculante e integradora que hace con los conocimientos adquiridos en su formación inicial y su experiencia de aula. Se llega a concluir que es necesario e imperativo articular los desarrollos teóricos del pensamiento del profesor a los programas de formación inicial y las acciones de aula que llevan a cabo estos en la práctica docente. Se utiliza un enfoque metodológico documental basado en la revisión exhaustiva de las teorías reportadas en los últimos años sobre el pensamiento del profesor y registros informativos sobre la estructura curricular de los programas de formación inicial de profesores.

**Palabras clave:** pensamiento del profesor, formación inicial, práctica docente.

---

## ABSTRACT

*This paper shows a study of teacher thinking as a theoretical reference in the description of teacher professional knowledge and teacher practice as the product of binding and inclusive action that makes it to the knowledge acquired in their initial training and classroom experience. Conclusion is reached that it is necessary and imperative to articulate the theoretical developments of thought from teacher to initial training programs and classroom activities that are carried out in teaching. It uses a methodological approach based documentary comprehensive review of the theories reported in recent years on teacher thinking and curriculum structure records information about the programs of initial teacher education.*

**Key Words:** Teacher thinking, initial training, pedagogical practice.

## Introducción

**E**l programa de investigación *Pensamiento del profesor* ha aportado grandes desarrollos al conocimiento del docente de y para su enseñanza, al igual que ha podido orientar la investigación educativa hacia el reconocimiento del estatus propio del docente como agente reflexivo e impulsor de la transformación de los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Tanto es así, que Francis (2005) afirma que este programa se ha constituido en uno de los paradigmas de investigación educativa más importantes hasta la fecha.

En atención a la importancia cobrada por el programa de investigación en el ámbito educativo, la presente investigación hace una caracterización la formación inicial y la práctica del pedagogo desde las perspectivas de las categorías del conocimiento profesional del profesor, es por ello que inicialmente se muestra el referente teórico utilizado, para luego desde allí situar las acciones propias llevadas a cabo en los programas de formación docente y su correspondiente práctica pedagógica.

Los trabajos reportados en las últimas décadas asociados con el pensamiento del profesor en su mayoría corresponden a estudios con docentes de nivel preuniversitario (Mellano, 1994; Figueroa y Páez, 2008; Bolívar, 1993 y 2005). No obstante esto, el tema viene cobrando interés creciente en los investigadores en

educación universitaria (Badillo, 2003; Figueroa, 2008; García, 2009), toda vez que el problema de la enseñanza y el aprendizaje de conceptos universitarios pudieran ser resueltos a partir de una muy apropiada conjugación de contenido y didáctica.

En tal sentido, la presente investigación pretende hacer una extensa y exhaustiva revisión de la literatura científica existente en torno al estado del arte de la línea de pensamiento del profesor, para desde allí caracterizar las componentes del conocimiento profesional del profesor y su correspondiente práctica docente.

## Enfoque metodológico

El presente trabajo se enmarca dentro del modelo de investigación documental de naturaleza analítica y descriptiva.

La metodología a utilizar corresponde a un proceso de búsqueda bibliográfica relacionada con los problemas relevantes del pensamiento del profesor y los registros sobre estructura curricular de los programas de formación inicial de profesores, que vendrían a ser los hechos objeto de investigación.

Para la realización del análisis y descripción de los hechos, se procedió atendiendo las siguientes fases:

- **Elaboración de guías de trabajo:** la cual permitió hacer una estructura esquemática del trabajo, tanto de tipo gráfico como conceptual.

- **Fichas bibliográficas:** consistió en la ubicación de los documentos bibliográficos que relatan los hechos objeto de estudio y que posibilitan la clasificación de los reportes de investigación más relevantes.
- **Fichas de contenido:** ayudaron a manejar los datos de autores de textos y de los investigadores que se trabajaron en el estado del arte de nuestro problema de investigación. Estas fichas permitieron un acercamiento inicial al documento final.
- **Análisis de la información:** corresponde a la fase más importante de la metodología, toda vez que allí es donde se le dio identidad al trabajo. Este análisis se hizo teniendo como base los problemas y recomendaciones más relevantes del pensamiento del profesor y que permitieron dar una caracterización de este programa de investigación.
- **Redacción del trabajo:** esta fase, correspondiente al componente lógico de la investigación, permitió apropiarse de elementos formales de presentación de la información y que atendieron a la socialización de la investigación en virtud a la utilización de unos lenguajes y unos medios de comunicación académica.

## Referentes teóricos

### El pensamiento del profesor

Figuroa (2008) señala que “el pensamiento del profesor se define como los procesos lógicos acerca de la enseñanza que vincula las teorías implícitas y la práctica pedagógica, es decir, el pensamiento del pedagogo permite el análisis del trabajo docente”. El presente trabajo asume este concepto toda vez que en el pensamiento del profesor están presentes los procesos lógicos conscientes y otros no conscientes sobre el contexto de la enseñanza, de allí la importancia de que el docente se dé cuenta de lo que piensa y vea si dichos pensamientos se relacionan con sus acciones. Ahora bien, hablar del pensamiento del profesor es asociarlo con las teorías implícitas y las creencias que se encuentran presentes en el docente, por ello las acciones son los efectos observables que tienen lugar en el aula de clase y son esenciales para una buena planificación y toma de decisiones durante la enseñanza.

Dentro de esta perspectiva, la enseñanza en el aula requiere que el docente esté consciente de la complejidad del proceso, puesto que así éste reproduce menos sus comportamientos en la planificación y actividades didácticas significativas y vinculantes con su práctica desde la reflexión.

Por lo anteriormente señalado, se puede decir que cuando el docente piensa lo que va a hacer en clase, refleja la realidad de lo que está dentro de su estruc-

tura mental a través de la adquisición de conocimientos.

Para poder reflejar lo que está dentro de su mente, primeramente ha de pensar sobre su propio pensamiento, esto requiere la organización de las ideas previas que están en su estructura cognitiva. De acuerdo al enfoque psicológico constructivista, el proceso de pensamiento se puede clasificar en tres formas:

- **constructivismo exógeno**
- **constructivismo endógeno**
- **constructivismo dialéctico**

Asociando la reflexión anterior con el pensamiento del profesor, se puede acotar que es un proceso mental que va más allá de la simple adquisición de conocimientos. Implica otras acciones mentales como las ideas, los juicios, las opiniones, las argumentaciones, valores, normas y muchas otras operaciones que se producen dentro del cerebro. De allí la importancia del análisis de lo que ocurre en el pensamiento del profesor, por la posibilidad de explicitar las concepciones y creencias que se encuentran instauradas en los procesos mentales del docente y que se evidencian en la práctica pedagógica.

Luego del análisis precedente, en este trabajo se entiende por pensamiento del profesor el conjunto de ideas, creencias, concepciones, opiniones, principios y teorías implícitas de vida y profesional que posee el docente sobre su quehacer didáctico durante la práctica pedagógica y por tanto se han de revisar dentro las componentes del pensamiento del profesor los siguientes elementos:

- **Práctica pedagógica**, porque allí radica el conjunto de acciones didácticas que emplea el docente durante su labor educativa y
- **Concepciones y creencias**: conjunto de opiniones, ideas, ideologías, entre otras, que están instauradas en el pensamiento del profesor y de las que dependen las acciones didácticas.

## Situar epistemológicamente el programa de investigación pensamiento del profesor

Muchos han sido los estudios asociados con el pensamiento del profesor desde que el profesor norteamericano Lee S. Shulman propuso inicialmente el tema en una conferencia desarrollada en la Universidad de Texas en el año 1983 titulada “El paradigma perdido en la investigación sobre la enseñanza” (Acevedo, 2009), idea que fuera desarrollada posteriormente en la Universidad de Stanford en la segunda mitad de la década de los ochenta con el proyecto de investigación titulado Desarrollo del conocimiento en una profesión: desarrollo del conocimiento en la enseñanza (Bolívar, 1993 y 2005). Desde entonces este nuevo paradigma viene constituyéndose en centro de interés de muchos investigadores que buscan explicar las características de la práctica docente y su eficiencia en los procesos de enseñanza y de aprendizaje.

El pensamiento del profesor, como línea de investigación en las ciencias de la

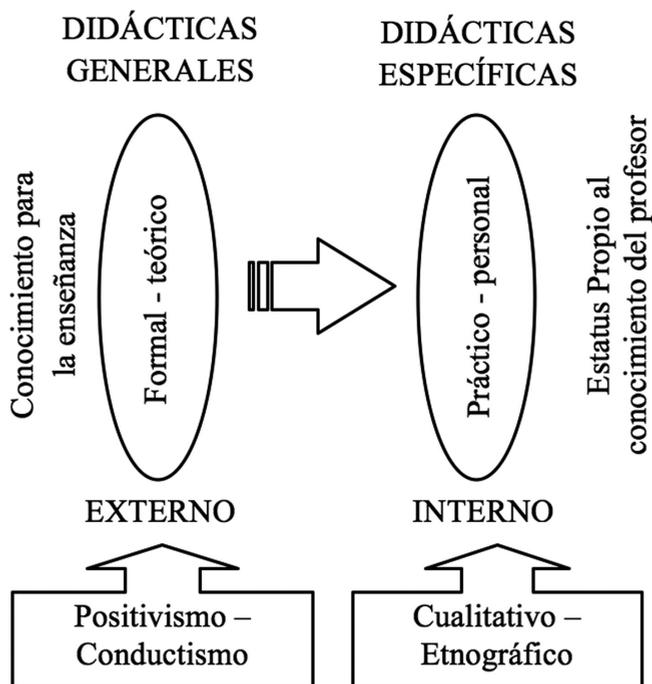
educación, se constituye en un programa de investigación que pretende correlacionar el conocimiento disciplinar que tiene el profesor con la comprensión que tiene éste acerca de una situación de enseñanza y de aprendizaje, es decir, indagar sobre los procesos cognitivos generales y prácticos que explican las planificaciones o actuaciones de los profesores. Este programa de investigación, como lo denominó el mismo Shulman, es mirado desde una revisión epistemológica y permite pasar de un conocimiento *para* la enseñanza, producido por expertos externos que da lugar a las didácticas generales, a un reconocimiento del profesor con estatus propio que abre paso a

las didácticas específicas, es decir, de un conocimiento formal-teórico, procedente de la investigación, a un conocimiento práctico personal que poseen los mismos profesores (Bolívar, 2005).

La Figura 1 muestra un esquema que ubica epistemológicamente el programa de investigación de Shulman.

Los elementos que caracterizan las investigaciones sobre el pensamiento del profesor y que las hacen estructural y epistemológicamente diferentes de otros enfoques previos, tienen que ver con la preocupación que se tiene por conocer cuáles son los procesos de razonamiento que ocurren en la mente del profesor durante su actividad profesional.

**Figura 1.** Ubicación epistemológica del pensamiento del profesor.



En el programa de investigación Pensamiento del profesor se asumen como premisas fundamentales las siguientes:

- El profesor es un sujeto reflexivo, racional, que toma decisiones, emite juicios, tiene creencias y genera rutinas propias de su desarrollo profesional (Serrano, 2010).
- Los pensamientos del profesor guían y orientan su conducta (Clark, 1979, citado en Serrano, 2010).

Para Serrano (2010) estas premisas transformaron la concepción del profesor que hasta entonces respondía a los enfoques conductistas de la enseñanza, pasando a concebirse como un constructivista que continuamente construye, elabora y comprueba su teoría personal del mundo.

En efecto, la caída del positivismo en la segunda mitad del siglo XIX sobre el modo de hacer ciencia supuso alejarse de principios empiristas sobre la manera de estudiar el pensamiento del profesor y pasar principios emergentes del cognitivismo, que permitió, inicialmente y no muy distantes del positivismo, la aparición del modelo de la toma de decisiones y del modelo de procesamiento de la información.

En el modelo de toma de decisiones se concibe al profesor como alguien que está constantemente valorando situaciones, procesando información sobre estas situaciones, tomando decisiones sobre

qué hacer a continuación, guiando acciones sobre la base de estas decisiones, y observando los efectos de las acciones en los alumnos. Al modelo de toma de decisiones le interesa saber cómo decide el profesor, lo que debe hacer dada una situación específica.

El modelo de procesamiento de la información concibe al profesor como una persona que se enfrenta con un ambiente de tareas muy complejo, que aborda ese ambiente simplificándolo, es decir, atendiendo a un número reducido de aspectos del ambiente e ignorando a otros. Desde el enfoque del procesamiento de información se pretende conocer cómo el profesor define la situación de enseñanza y cómo esta definición afecta su conducta.

Desde el modelo de toma de decisiones y el modelo de procesamiento de la información se propuso fundamentalmente estudiar a profesores expertos y profesores principiantes, posteriormente se fue pasando al estudio del conocimiento práctico personal, con un enfoque más cualitativo y etnográfico, focalizado en el estudio interno de la organización del pensamiento, así como sobre la naturaleza reflexiva del conocimiento en acción (Bolívar, 2005).

Las investigaciones sobre pensamientos del profesor asumen también algunos principios de la metodología fenomenológica en el sentido de indagar situaciones y problemas individuales, únicos y específicos (Tesh, 1984, citado en Serrano, 2010).

## Tendencias de estudio en el programa de investigación pensamiento del profesor

Una revisión de los diferentes trabajos hechos en torno al paradigma pensamiento del profesor (Bolívar, 2005; Serrano, 2010; Figueroa y Páez, 2008), puede mostrar una diversidad de líneas de investigación que dan cuenta del posicionamiento del programa, pero también de los distintos enfoques que desde la investigación se vienen haciendo para explicar la práctica del profesor.

Para Carter (1990, citado por Bolívar, 2005), el programa Pensamiento del profesor ha seguido tres líneas sucesivas:

- Estudios sobre el *procesamiento de la información* y comparación entre profesores expertos-principiantes
- Estudios sobre el *conocimiento práctico*, incluyendo conocimiento personal y conocimiento ecológico del aula.
- Estudios sobre *conocimiento didáctico del contenido*.

De igual forma, Wilson, Shulman y Rickert (1987), al situar su programa de investigación de conocimiento del contenido dentro de la investigación sobre el conocimiento del profesor, distinguen entre:

- Conocimiento del profesor y rendimiento de los alumnos.
- Investigación sobre el pensamiento del profesor.

- Nueva investigación sobre conocimiento del profesor, en la que sitúan su propio programa.

Moreno y Azcárate (2003) afirman que a pesar de la diversidad de abordaje de los estudios que versan sobre el pensamiento del profesor, los diferentes trabajos de investigación coinciden en resaltar la íntima relación entre los términos conocimientos, creencias y concepciones. Para estas autoras las creencias hacen parte de las componentes del conocimiento y son entendidas como conocimientos subjetivos, poco elaborados, generados a nivel particular por cada individuo para explicarse y justificar muchas de las decisiones y actuaciones personales y profesionales vividas. Las creencias, afirma Llinares (2007), no se fundamentan sobre la racionalidad, sino más bien sobre los sentimientos, las experiencias y la ausencia de conocimientos específicos del tema con el que se relacionan, lo que las hacen ser muy consistentes y duraderas para cada individuo.

Asimismo, se consideran las concepciones como organizadores implícitos de los conceptos, de naturaleza esencialmente cognitiva y que incluyen creencias, significados, conceptos, proposiciones, reglas, imágenes mentales, preferencias, etc., que influyen en lo que se percibe y en los procesos de razonamiento que se realizan.

Figueroa y Páez (2008), luego del análisis de un número importante de reportes de investigación y como hallazgos asociados con el tema de investigación

Pensamiento del profesor, concuerdan en afirmar que:

el área temática asociada con el pensamiento del profesor es una línea de investigación compleja, predominantemente subjetiva, singular y empapada de múltiples variables, es por ello, que se requiere de prácticas investigativas que tiendan más hacia la reflexión que a la descripción; el propósito básico de la investigación sobre el pensamiento del profesor es la búsqueda de explicación sobre las concepciones, teorías implícitas, creencias, formas de intervención comunicacional en el aula, acciones didácticas y muchos otros elementos de carácter subjetivos que prevalecen durante una práctica educativa.

## Componentes del pensamiento profesional del profesor

La práctica docente es uno de los temas que viene cobrando un interés creciente por parte de investigadores en el área de la educación, pues diferentes estudios (Shulman, 2005; Serrano, 2010; Bolívar 2005; Acevedo, 2009; Llinares, 2007 y Azcárate, 1998) muestran fundamentos teóricos y prácticos del ejercicio profesional del profesor de matemáticas y se establecen, por un lado, caracterizaciones desde su formación inicial y, por otro, un sistema de creencias y concepciones que van a ser determinantes en el accionar

del docente. No obstante los desarrollos teóricos, el presente tratado muestra una visión integradora de la formación inicial que reciben los profesores, su adopción de concepciones y creencias y su correspondiente implicación en su práctica docente.

### *Formación inicial y permanente del profesor*

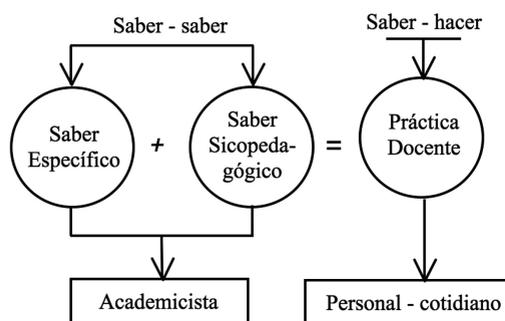
Se entiende aquí por formación inicial aquel proceso de desarrollo por el que atraviesan los estudiantes a profesores, desde un estadio de pericia como aprendices hasta su noviciado como profesores, develando un cuerpo complejo de conocimientos y habilidades que se necesitan para ser un profesor competente.

La formación actual de los profesores está constituida, por un lado, por su formación disciplinar de nivel superior en la licenciatura, y, por otro lado, de una formación sicopedagógica (Azcárate, 1998), la cual se limita a la estructuración de cursos de psicología, pedagogías y didácticas generales.

Esta realidad condiciona el estatus actual del conocimiento profesional del profesor al dejar en sus manos establecer puente entre su formación teórica y su visión práctica. Conocimiento que, de hecho, habitualmente está configurado por dos componentes de naturaleza epistemológica muy diferentes: un *saber* de naturaleza académica y disciplinar, que se basa en la lógica propia de las ciencias matemáticas, y un *saber-hacer* tácito, concreto e inflexivo, basado en la lógica del

pensamiento docente cotidiano y que, en gran medida, orienta y dirige su conducta en el aula (Figura 2).

**Figura 2.** Estructura de los modelos de formación inicial de profesores de matemáticas.



Desde esta panorámica, puede decirse que la formación inicial del profesor es un tema que amerita una revisión presente, toda vez que es desde allí donde deben iniciarse las reflexiones sobre las características del conocimiento profesional deseable que debe ostentar el docente. En tal sentido, Llinares (2007) señala que las investigaciones sobre la práctica y el aprendizaje del profesor deben orientarse hacia la aportación de información que ayude a tomar decisiones sobre la formación de profesores y alude a cuatro elementos esenciales: conjunto de teorías, tareas profesionales, aprendizaje desde la práctica y desarrollo profesional.

Por su parte, Rico (2004) expresa que la principal finalidad de la formación inicial es la de preparar al profesor que comienza su trabajo en el mundo de la educación para la consideración coheren-

te de las múltiples tareas que requiere la docencia y su tratamiento coordinado.

Para Azcárate (1998), el estudio de la formación inicial debe contemplar una articulación de los diferentes saberes en una estructura de conocimiento que permita al individuo integrarse e intervenir autónomamente en situaciones del entorno en que se desenvuelve. Esto, en consecuencia, implica reorganizar la forma de estructuración y presentación de los contenidos matemáticos desde los programas de formación y desde su declaración en las actividades de aula.

La formación de profesores tendrá que responder consecuentemente a los hallazgos que desde los resultados de investigación sobre el pensamiento del profesor se viene haciendo en el ámbito de las ciencias de la educación, que tienen como propósitos abordar la actividad de pensamiento docente y su correspondiente acción en la enseñanza. En tal sentido, y con propósitos aplicativos, las investigaciones habrán de interesarse tanto por las actuaciones del profesor como por los intereses que marcan sus creencias y concepciones (Gómez, 2007).

### *Concepciones y creencias del profesor*

Una revisión de la práctica docente pudiera hacerse desde muchos enfoques o líneas de estudio, pero, sin duda alguna, podemos decir que una de las más influyentes ha sido el estudio de los sistemas

de creencias y concepciones del profesor. Esta línea temática parte de entender las creencias como los conocimientos cotidianos y científicos, generados a nivel particular por cada individuo para explicarse y justificar muchas de las decisiones y actuaciones personales y profesionales vividas (Moreno y Azcárate, 2003). En concordancia con estas autoras, Gil y Rico (2003) plantean que las creencias son verdades personales indiscutibles que no se fundamentan sobre la racionalidad, sino más bien sobre los sentimientos, las experiencias y por su parte las concepciones son organizadores implícitos de los conceptos, de naturaleza esencialmente cognitiva y que influyen en los procesos de razonamiento que realizan.

## Conocimiento base para la enseñanza

Toda actividad educativa tiene como respaldo una serie de creencias y teorías implícitas que forman parte del pensamiento del docente y que orientan sus ideas sobre el conocimiento, su enseñanza y sobre cómo se construye éste o, bien, cómo se aprende. Entender este cuerpo teórico y práctico que caracteriza el accionar de un profesor es lo que vendría a explicar el accionar las relaciones existentes en su práctica profesional y a caracterizar cuáles son los elementos sustanciales del conocimiento base del profesor.

Shulman (1986) propuso que una persona que se dedica a la docencia ha de poseer un conocimiento base para la en-

señanza, entendido éste como el cuerpo de conocimientos, habilidades y disposiciones que un profesor necesita para enseñar asertivamente en una situación dada. Para Shulman este conocimiento base debe incluir al menos siete categorías de conocimiento diferentes:

- Conocimiento del contenido
- Conocimiento didáctico general
- Conocimiento curricular
- Conocimiento didáctico del contenido
- Conocimiento de los estudiantes
- Conocimiento de los contextos educativos
- Conocimiento de los fines y valores educativos.

Posteriormente, Grossman (1990) reduce las siete categorías de Shulman en cuatro categorías más generales, agrupando, tal como se verá, las cuatro últimas en una sola:

- Conocimiento del contenido
- Conocimiento didáctico general
- Conocimiento didáctico del contenido
- Conocimiento del contexto

Esta última clasificación ha sido la que ha orientado mayoritariamente el desarrollo de este programa de investigación (Francis, 2005).

De todas estas componentes del pensamiento del profesor referenciadas, la que más ha sido estudiada como elemento sustancial que determina la práctica pedagógica del profesor es el conocimiento didáctico del contenido y cuyo estudio puede aportar al entendimiento de cómo un profesor principiante que

posee un conocimiento del contenido derivado de su formación inicial, que se va convirtiendo poco a poco experto de la enseñanza del contenido. Es por esto que a continuación me voy a referir a las características esenciales de la formación inicial del profesor de matemática y con ella una mirada conceptual de lo que se entiende como conocimiento didáctico del contenido.

### *Caracterización del conocimiento didáctico del contenido (CDC)*

El conocimiento didáctico del contenido es un elemento central del conocimiento profesional del profesor y desde las aportaciones más recientes resulta fundamental para promover el desarrollo profesional del profesor de matemáticas, toda vez que desde los programas de formación actual se suele estructurar, por un lado, una formación matemática de nivel superior en su licenciatura, y, por otro, una formación sicopedagógica que se limita a la estructuración de cursos de psicología, pedagogías y didácticas generales. Esta realidad condiciona el estatus actual del conocimiento profesional del profesor de los profesores de matemáticas al dejar en sus manos establecer puente entre su formación teórica y su práctica (Azcarate, 1998).

Como lo describe Shulman (1986), el CDC es una especie de amalgama de contenido y didáctica dentro de una comprensión de cómo temas particulares, problemas o situaciones son organiza-

dos, representados y adaptados para la enseñanza. Vendría a ser aquel tipo de conocimiento que desarrolla el profesor para transformar el contenido enseñable en algo didácticamente representable y comprensible por los estudiantes. Para Gudmundsdottir (1990, citado en Bolívar, 2005) es la parte más importante del conocimiento base de la enseñanza y distingue al profesor veterano del novel y al buen profesor del erudito.

Para Pinto (2010) y Pinto y González (2008), el CDC no se limita a estudiar cómo se enseña para obtener conocimiento de la didáctica general, sino que busca que el profesor comprenda lo que se ha de aprender y cómo se debe enseñar el contenido a partir de la propia práctica docente, de la comprensión de cómo el alumno aprende y comprende, resuelve problemas y desarrolla su pensamiento crítico acerca de dicho contenido.

La investigación desarrollada, dentro de este programa, lleva a Grossman (1990) a plantear que los componentes del CDC involucran, además del conocimiento acerca de los estudiantes y de las estrategias didácticas, también del conocimiento del currículum y del contexto de aprendizaje. El valor del CDC está en la posibilidad que tiene el docente de integrar estos componentes, esta categoría sólo es posible entenderla como un todo, puesto que su carácter transformativo y dinámico la convierte en una forma de comprensión particular de quienes se dedican a la docencia. Sin embargo, los procesos que favorecen la formación en el docente, hasta qué punto los planes de

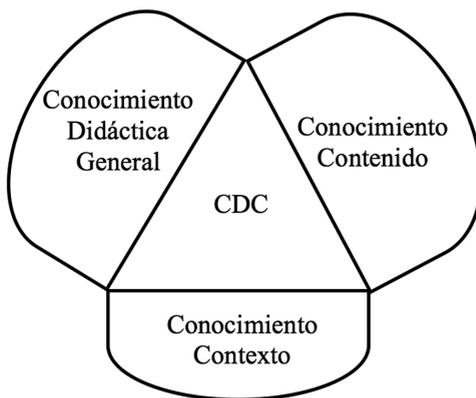
estudio de las facultades de educación lo han concebido, como un componente inclusivo de la formación docente, o bien, como elementos fraccionados sin una posibilidad explícita de síntesis, durante el proceso de formación, son áreas poco investigadas (Francis, 2005).

Grossman (1990) señaló que existen cuatro fuentes desde las cuales es posible observar la generación y desarrollo del PCK: la observación de experiencias de aula, desde su posición como estudiante, hasta como docente en formación; la formación disciplinar, los cursos específicos de pedagogía y la experiencia como docente, ya en el aula.

Como atributo del CDC está la posibilidad que tienen los “buenos” profesores de enseñar de diferentes modos los contenidos de una materia. Gess-Newsome (1999) desarrolló dos modelos teóricos para intentar explicar la formación del CDC: el modelo integrador (Figura 3) y el modelo transformativo (Figura 4). El primero, como categoría producto, resulta de la intersección de la didáctica, el contenido y el contexto, conocimientos que pudieran ser desarrollados por separados y luego ser integrados en la práctica

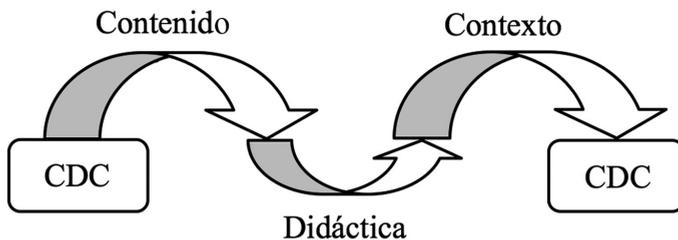
docente. El segundo, contrario al primero, ubica al CDC como resultado de transformación continua y permanente de los tres componentes: didáctica, contenido y contexto, dentro de la práctica misma.

**Figura 3.** Modelo integrador del conocimiento didáctico del contenido (Gess-Newsome, 1999).



Para este mismo autor, estos modelos representan los extremos de un continuo en el cual el integrativo expresa un marco de conocimiento, donde los saberes disciplinar, pedagógico y del contexto se desarrollan por separado y son integrados en el acto docente. Mientras que el transformativo no se ocupa del desarrollo de

**Figura 4.** Modelo transformativo del conocimiento didáctico del contenido (Gess-Newsome, 1999).



estos saberes, sino de cómo son transformados en CDC, como conocimiento base para la docencia. Estos modelos son un importante punto de partida para analizar los planes de formación de docentes.

Actualmente, el desarrollo teórico de esta categoría desarrolla investigación sobre el continuo entre estos dos modelos propuestos por Gew-Newsome (1999). Su impacto se hace evidente en el ámbito de la formación profesional de los y las docentes, tanto en los que están iniciando su proceso formativo como los que ya están en servicio. El debate que promueve recupera una vieja discusión: cuándo y cómo se forma un docente en la pedagogía: cuando ya tiene el conocimiento profundo disciplinar, antes de lo pedagógico, o bien paralelamente, cómo se construye el conocimiento pedagógico del contenido, es decir, por partes o al ser producto de las distintas transformaciones que la experiencia le aporta a los y las docentes, cómo puede reconstruirse en los espacios de formación docente (Francis, 2005).

### *Caracterización del conocimiento del contenido*

Cuando se hace referencia a la componente del conocimiento del contenido, se habla del saber disciplinar específico o saber *per se*, por ejemplo, el conocimiento de la derivada en matemáticas o de las leyes del movimiento de Newton en física. Este conocimiento enmarca elementos históricos, epistemológicos, representaciones, inspiraciones, contextos de

descubrimientos y de justificación, en fin todos aquellos elementos que dieron lugar a su aparición y desarrollo, hasta su visión actual en el contexto de la disciplina y de la enseñanza. El conocimiento del contenido es algo así como la capacidad que tiene el profesor de conversar el contenido con otros colegas desde su visión histórica y práctica.

Es importante resaltar, y de manera categórica, que, si bien es cierto que el conocimiento didáctico del contenido es una componente esencial en el conocimiento profesional del profesor, no lo es menos la componente del conocimiento del contenido, pues descuidar un poco este componente se podría caer en una especie de pedagogisismo etéreo que suele interesarse más en el *cómo* se enseña que en *lo que* se enseña. Aspecto este que, con toda razón, ha ganado un cierto rechazo por los profesores de disciplinas.

Reivindicar una formación avanzada en contenidos, en nuestro contexto, no nos llevaría muy lejos en cuanto a entender la dinámica de las ciencias y nos permitiría aportar elementos significativos en el discurso científico de nuestros docentes.

Ahora bien, de lo que se trata no es profundizar en uno o en otro componente del conocimiento profesional del profesor, ni la de abordar a profundidad contenidos y didáctica como campos separados o aditivos, sino más bien en constituir una amalgama de contenido y didáctica que permita apropiarse un discurso docente que posibilite una mejor y eficiente comprensión de los procesos de enseñanza y de aprendizajes en una sistema educativo.

En este sentido, Shulman (1986) afirma que el manejo profundo de la disciplina, le facilita al docente anticipar los componentes y relaciones del contenido que pueden presentar problemas para su comprensión. Un buen manejo de la disciplina significa saber que algo es así y comprender el porqué de esta naturaleza, pero además saber bajo qué circunstancias se valida este conocimiento: esto será importante en las subsiguientes decisiones pedagógicas que consideren el énfasis curricular.

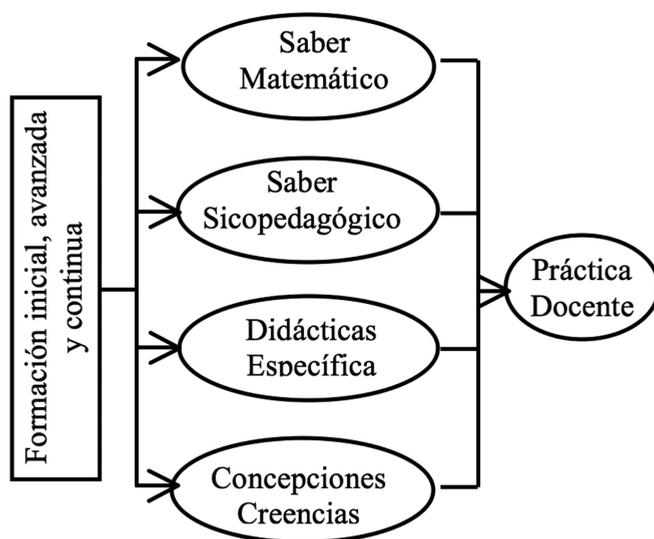
## Caracterización de la práctica docente

Pérez (1987) y Llinares (2000) coinciden en afirmar que la práctica profesional del profesor se ve como el conjunto de ac-

tividades que éste genera cuando realiza las tareas que definen la enseñanza y la correspondiente justificación dada por el profesor, lo cual hace entender que las decisiones determinantes en el accionar del profesor no están inscritas solamente en la ocurrencia del salón de clases, sino que vas más allá, pues son miradas desde una perspectiva de práctica comunitaria, en el sentido en que han de tenerse en cuentas muchos otros elementos del contexto social y profesional, tales como la formación inicial y permanente del profesor, entorno educativo, restricciones institucionales, sistemas de creencias y concepciones de los profesor, entre muchos otros.

Podría decirse que la práctica del profesor presenta características que son derivadas de las relación existente entre el conocimiento del contenido, propio de la formación inicial y permanente del

Figura 5. Características de la práctica docente.



profesor con el conocimiento didáctico del contenido que se construye a partir del conocimiento del contenido y de la visión reflexiva del profesor cuando interactúa con el contexto educativo.

La Figura 5 muestra una estructura esquemática de la relación integradora que hace el docente entre conocimiento del contenido y conocimiento didáctico del contenido como elementos fundantes y predeterminantes de su práctica docente.

Aun cuando el esquema sitúe las características que de alguna forma son influyentes en el accionar del profesor en el aula de clases, es importante decir que los elementos orientadores que intervienen de manera imperativa en el hacer docente son la planificación, la gestión del proceso de enseñanza y aprendizaje y la definición de criterios de evaluación de los aprendizajes de los estudiantes.

## Conclusiones

La práctica del profesor puede caracterizarse desde los elementos construidos en los programas de formación inicial, avanzada y continuada, complementándose con las consideraciones que hace el mismo profesor desde sus creencias y concepciones, así como de su capacidad para hacer de los procesos de enseñanza un estudio de valores curriculares que son formulados desde su análisis didáctico.

En la formación inicial del profesor, se debe priorizar una concepción renovadora del modelo de formación (compe-

tencias profesionales del profesor) en el sentido de desarrollar el conocimiento base de la profesión.

Se sugiere articular que los desarrollos teóricos del pensamiento del profesor se vinculen a los programas de formación inicial, esto es: tratar de hacer más evidentes los vínculos entre el conocimiento del contenido y el conocimiento didáctico del contenido desde los currículos de formación inicial, de tal manera que los conocimientos disciplinares y didácticos puedan servir de sustento académico para la acción de aula.

## Referencias bibliográficas

- Acevedo, J.** (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): el marco teórico. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, vol. 6, n.º 1, 21-46.
- Acevedo, J.** (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (II): una perspectiva. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, vol. 6, n.º 2, 164-189.
- Azcárate, P.** (1998). La formación inicial del profesorado de matemáticas: análisis desde la perspectiva del conocimiento práctico profesional. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, n.º 32, 129-142.
- Badillo (2003).** *La derivada como objeto matemático y como objeto de enseñanza y aprendizaje en profesores de matemáticas de Colombia* [tesis doctoral publicada]. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Bolívar, A.** (2005). Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas. *Revista de Currículo y Formación del Profesorado*, vol. 9, n.º 2, 1-39.

- Bolívar, A.** (1993). Conocimiento didáctico del contenido y formación del profesorado: el programa de L. Shulman. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, n.º 16, 113-124.
- Figuroa, N. y Páez, H.** (2008). Pensamiento didáctico del docente universitario. Una perspectiva desde la reflexión sobre su práctica pedagógica. *Revista Fundamentos en Humanidades*, vol. 18, n.º 2, 111-136.
- Francis Salazar, S.** (2005). El conocimiento pedagógico del contenido como categoría de estudio de la formación docente. *Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación*, vol. 9, n.º 2, 1-18.
- García, L.** (2009). *Un estudio sobre el conocimiento didáctico del contenido de profesores de matemáticas que enseñan cálculo diferencial a estudiantes de carreras en ciencias económicas. La enseñanza basada en problemas como estrategia metodológica y didáctica* [tesis doctoral publicada]. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Gess-Newsome, J.** (1999). Pedagogical content knowledge: an introduction and orientation. En: J. Gess-Newsome y N. G. Lederman (eds.), *Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education* (pp. 3-17). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Gil, F. y Rico, L.** (2003). Concepciones y creencias del profesorado de secundaria sobre enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, vol. 21, n.º 1, 27-47.
- Gómez, P.** (2007). *Desarrollo del conocimiento didáctico en un plan de formación inicial de profesores de matemática de secundaria* [tesis doctoral publicada]. Granada, España: Universidad de Granada.
- Grossman, P.** (1990). *The making of a teacher: teacher knowledge and teacher education*. Nueva York: Teachers College Press.
- Llinares, S.** (2007). Formación de profesores de matemáticas. Desarrollando entornos de aprendizaje para relacionar la formación inicial y el desarrollo profesional. Conferencia invitada en la XIII Jornadas de Aprendizaje y Enseñanza de las Matemáticas-JAEM. Granada, España.
- Llinares, S.** (2000). Intentando comprender la práctica del profesor de matemáticas. J. Ponte y Serrazina, L. (eds.). *Educação Matemática em Portugal, Espanha e Italia. Actas da Escola de Verao-1999*, pp. 109-132.
- Mellano, V.** (1994). Análisis del conocimiento didáctico del contenido, en profesores de ciencias de primaria y secundaria en formación inicial [tesis doctoral publicada]. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Moreno, M. y Azcárate, C.** (2003). Concepciones y creencias de los profesores universitarios de matemáticas acerca de la enseñanza de las ecuaciones diferenciales. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, vol. 21, n.º 2, 265-280.
- Pérez, Á.** (1987). El pensamiento del profesor. Vínculo entre la teoría y la práctica. *Revista de Educación*, n.º 284, 199-221.
- Pinto, J.** (2010). *Conocimiento didáctico del contenido sobre la representación de datos estadísticos: estudios de casos con profesores de estadística en carreras de psicología y educación* [tesis doctoral publicada]. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.
- Pinto, J. y González, M. T.** (2008). El conocimiento didáctico del contenido en el profesor de matemáticas: ¿una cuestión ignorada? *Revista Educación Matemática*, vol. 20, n.º 3, pp. 83-100.
- Rico, L.** (2004). Reflexiones sobre la formación inicial del profesor de matemáticas de secundaria. *Revista de currículum y formación del profesorado*, vol. 8, n.º 1, 1-15.
- Serrano, R.** (2010). Pensamientos del profesor: un acercamiento a las creencias y concepciones sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje en la educación superior. *Revista de Educación*, n.º 352, 267-287.

**Shulman, L.** (2005). Conocimiento y enseñanza: fundamentos de la nueva reforma. *Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, vol. 9, n.º 2.

**Shulman, L.** (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, vol. 15, n.º 2, 4-14.

**Wilson, S., Shulman, L. y Richert, A.** (1987). “150 different ways” of knowing: representations of knowledge in teaching. En: J. Calderhead (ed.), *Exploring Teacher Thinking*. Londres: Cassell, pp. 104-124.

# Lineamientos para la publicación de artículos

## Política editorial

Se publicarán artículos producto de la investigación, revisión y reflexión. Dichos trabajos serán sometidos a evaluación externa y posteriormente recibirán evaluación editorial por parte del comité de la revista. Los trabajos presentados no deben haber sido presentados y/o publicados por otras revistas.

Categorías de artículos según Colciencias (Publindex):

**Artículos de investigación científica y tecnológica:** documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro partes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

**Artículos de reflexión:** documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

**Artículo de revisión:** documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de las investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.

**Artículo corto:** documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investiga-

ción científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.

**Reporte de caso:** documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.

**Revisión de tema:** documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.

**Cartas al editor:** posiciones críticas, analíticas, o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista, que a juicio del comité editorial constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia.

**Editorial:** documento elaborado por el editor, un miembro del comité editorial o un investigador invitado, sobre orientaciones en el dominio temático de la revista.

**Traducción:** traducciones de textos clásicos o de actualidad, o transcripciones de documentos históricos o de interés particular en el dominio de publicación de la revista.

**Documento de reflexión no derivado de investigación:** podrán ser actua-

lizaciones en práctica, legislación en educación o docencia en educación. Estos manuscritos deben cumplir las características enumeradas para los artículos de revisión de tema.

**Reseñas bibliográficas:** escritos breves no mayores a cuatro páginas, que presentan una visión panorámica y crítica sobre un documento científico.

**Otros:** reportajes y entrevistas relacionados con la ciencia y la investigación, acordes con los criterios de la revista.

## Sobre la presentación de los artículos

Todo el manuscrito debe estar elaborado en word tamaño carta, Arial tamaño 12, interlineado 1,5, con las siguientes márgenes: superior 2,5 cm, inferior 2.5 cm, izquierdo 3 cm y derecho 3 cm.

## Estructura del artículo

**Título:** debe estar en español y en Inglés

**Autor(es):** nombre completo, grado académico más alto alcanzado, título profesional (no debe ir el nombre de la institución que otorgó el título), afiliación institucional, teléfono y correo electrónico. El orden de

mención debe reflejar la importancia de la contribución de cada autor. Se debe indicar a cuál de los autores contactar en caso de interés de mayor información.

**Resumen:** en español e inglés. Debe tener una extensión de entre 100 y 250 palabras; debe incluir además objetivos, métodos, resultados y conclusiones.

**Palabras clave:** deben incluirse de tres a siete palabras clave, utilizando los descriptores aceptados por bases de datos internacionales.

**Introducción:** debe mencionar el problema u objetivos, indicando su origen, antecedentes e importancia; los conocimientos existentes sobre el tema, indicando el respaldo bibliográfico.

**Materiales y Métodos:** evidenciar los métodos, aparatos y los procedimientos utilizados. Indicar el tipo de diseño y muestreo utilizados, las principales variables y términos, los instrumentos de recolección de la información, las técnicas y el análisis estadístico, explicando cómo se obtuvieron los resultados.

**Resultados:** se debe presentar el aporte relevante del trabajo.

**Discusión:** mostrar las interpretaciones, generalizaciones, conclusiones y recomendaciones que los resultados indican y las discrepancias con otras investigaciones.

**Agradecimientos:** puede mencionarse un reconocimiento a la cooperación de personas o instituciones que ayudaron materialmente al autor en su trabajo.

**Bibliografía:** se deben citar las referencias bibliográficas, según APA.

**Tablas y figuras:** preferiblemente deben ser originales de los autores; si son modificaciones o reproducciones, es necesario acompañar el permiso correspondiente.

## Selección para publicación

La recepción de un manuscrito no obliga a la publicación del mismo. Los manuscritos recibidos serán revisados por el Comité Editorial y serán sometidos a revisión por pares externos, usualmente expertos en el tema respectivo. El Comité Editorial se reserva el derecho de aceptar, rechazar, solicitar modificaciones y hacer las correcciones que se estimen necesarias para ajustar el manuscrito al estilo de la revista.