

## **Extracción de Proteínas del Lactosuero de la Leche de Cabra Mediante la Aplicación de Campos Eléctricos Pulsantes de Alta Intensidad (CEPAI)**

**Diego F. Tirado\***, Diofanor Acevedo y Piedad M. Montero

Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Departamento de ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación NUSCA, Avenida el Consulado, Calle 30 No. 48-152. Cartagena, Bolívar-Colombia.  
(e-mail: dtiradoa@unicartagena.edu.co)

\* autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

*Recibido Ene. 19, 2015; Aceptado Mar. 25, 2015; Versión final May. 23, 2015, Publicado Oct. 2015*

---

### **Resumen**

Se estudió la técnica de aplicación de campos eléctricos pulsantes de alta intensidad (CEPAI) en la separación de la proteína del lactosuero fresco de leche de cabra. Para ello, se construyó un equipo prototipo de laboratorio. Se estandarizaron los voltajes, amperajes y tiempos de descarga, utilizando tres tipos de material: titanio, tungsteno y acero inoxidable, siendo este último el que mejor resultado mostró, ya que no hubo contaminación electrolítica de la muestra. En los experimentos se usó corriente alterna y corriente directa. Se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y pruebas de conductividad a los materiales a utilizar. El método CEPAL resultó ser un buen mecanismo para tratar lactosuero de desecho de la industria láctea. También resultó ser un método eficaz en la obtención de fracciones de proteína con potencial uso en la industria alimentaria.

*Palabras clave: campos eléctricos pulsantes, proteína de lactosuero, voltaje, amperaje*

## **Goat Milk Whey Protein Extraction by Applying Pulsed Electric Fields of High Intensity (PEF)**

### **Abstract**

The technique of pulsed electric fields of high intensity (PEF) in the separation of whey protein fresh goat milk was studied. For this, a lab equipment was constructed. Voltages, amperages and download times were standardized using three types of material: titanium, tungsten and stainless steel. The latter showed to be the best since there was not electrolytic pollution of the sample. In the experiments alternate current and direct current were used. Physico-chemical, microbiological and conductivity tests were performed. The method of PEF turned out to be a good mechanism to treat waste whey from the dairy industry. It also shows to be an effective method for obtaining protein fractions with potential use in the food industry.

*Keywords: pulsed electric fields, whey protein, voltage, amperage*

## INTRODUCCIÓN

La aplicación de campos eléctricos pulsantes de alta intensidad (CEPAI) es una técnica desarrollada en la conservación de alimentos mediante proceso no térmico, con la que se obtiene un producto de gran calidad parecido al producto fresco. Esta técnica, cada vez más estudiada y perfeccionada, debe su importancia a la capacidad de estabilizar alimentos sin variar la calidad original, a diferencia de los procesos térmicos que suelen tener efectos negativos, como la alteración de las propiedades organolépticas y las pérdidas de nutrientes termolábiles de los alimentos (Spilimbergo *et al.*, 2014; He *et al.*, 2014; Fernández *et al.*, 2010). La técnica se basa en la propiedad que tienen los alimentos fluidos, que están compuestos principalmente por agua y nutrientes como vitaminas, triglicéridos y minerales, de ser muy buenos conductores eléctricos debido a las altas concentraciones de iones que contienen y a su capacidad de transportar cargas eléctricas (Fernández *et al.*, 2010).

El sistema CEPAL consta de varios componentes, entre ellos un interruptor, una fuente de potencia, una cámara de tratamiento, un banco de condensadores, equipo de medición de voltaje, temperatura, corriente y equipo de envasado aséptico (Raventós, 2010). Resultados de varios estudios indican que la intensidad de campo, la duración, la cantidad y la forma del pulso son las principales variables que afectan a la actividad de las proteínas (Lin *et al.*, 2013; Ojeda-Armaignac *et al.*, 2012; Peña *et al.*, 2010). Los primeros estudios de aplicación de CEPAL se centran en la esterilización a baja temperatura, sin embargo, hasta hace poco, se descubrió que esta técnica puede ser ampliamente utilizada para extraer ingredientes a partir de productos naturales, con las ventajas de rendimiento no térmico, rapidez, eficiencia, bajo consumo de energía y baja contaminación (He *et al.*, 2014).

El suero lácteo o lactosuero es considerado un contaminante importante en las aguas residuales lácteas y un problema ambiental para resolver (Sarbon *et al.*, 2015; Rico *et al.*, 2015). Además, este subproducto del proceso de elaboración del queso retiene cerca del 55% de los nutrientes de la leche (Kinsella y Whitehead, 1989; Morr y Foegeding, 1990), dentro de los cuales se encuentran proteínas séricas de un apropiado balance en aminoácidos, alta digestibilidad y excelentes características funcionales, lo que ha inducido al desarrollo de procesos de fraccionamiento y concentración de los constituyentes del mismo (Kinsella y Whitehead, 1989; Durham *et al.*, 1997). En algunos países la aplicación de procesos de fraccionamiento y concentración en el tratamiento del suero ha permitido obtener concentrados con un contenido proteínico entre 30 y 80%, los cuales están siendo empleados para el enriquecimiento de alimentos como el pan, sopas y bebidas, contribuyendo a aliviar las deficiencias proteínicas provocadas por el desmedido crecimiento poblacional, y por la escasez y encarecimiento de los alimentos proteínicos convencionales (Morr y Foegeding, 1990).

Chacón (2005) estimó un aumento en la existencia de más personas en el planeta que consumen leche de cabra, a las que consumen cualquier otro tipo de leche, tal es el caso, que la FAO proyectó que para el año 2000 la demanda mundial de leche de cabra sería de 242 millones de toneladas, contra una oferta estimada de 177,6 millones de toneladas, en su mayoría producida en los países tropicales en desarrollo (entre ellos Colombia), donde se ubica el 95% de la población caprina. Económicamente, la leche de cabra es importante en muchas regiones, representando el 2% de toda la leche comercializada a nivel mundial. Lo anterior, indica que el aumento de la producción y transformación mundial de leche de cabra, trae consigo la potencial contaminación por sus productos, entre ellos el lactosuero (Acevedo *et al.*, 2015).

El suero lácteo presenta importantes contenidos de proteína, grasa, lactosa y calcio (Sarbon *et al.*, 2015; Acevedo *et al.*, 2014; Miranda-Miranda *et al.*, 2009). En relación al contenido proteínico, las proteínas séricas de la leche son globulares (Benítez *et al.*, 2008); entre ellas, las presentes en mayor cantidad son la  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -LG) y la  $\alpha$ -lactoalbúmina ( $\alpha$ -LA) y como constituyentes menores se encuentran lactoferrina, lactoperoxidasa, inmuno-globulinas y glicomacropéptidos, entre otras (Van de Voorde *et al.*, 2014; Alvarado-Carrasco y Guerra, 2010). A pesar que el lactosuero, por ser un abundante y fácilmente disponible subproducto de la industria del queso, una vez fue considerado como material de desecho, ahora se considera como una fuente valiosa de proteínas y se utiliza ampliamente como un ingrediente alimentario (Sarbon *et al.*, 2015). Para la obtención de las proteínas lactoséricas diversas técnicas y métodos han sido empleados, tales como la ultrafiltración (Van de Voorde *et al.*, 2014; Marcelo y Rizvi, 2008). También ha sido factible el uso de ácidos como catalizadores en la precipitación proteínica y el empleo de tratamientos térmicos (Jakymec *et al.*, 2001; Uribarrí *et al.*, 2004), siendo este último, el proceso más antiguo utilizado para la recuperación (Uribarrí *et al.*, 2004). La industria alimenticia, y láctea en particular, se ha interesado siempre por encontrar nuevos métodos para la conservación de los alimentos con el objeto de mejorar la higiene y seguridad del producto final, aumentar su vida útil y mantener un sabor natural en los mismos (Van de Voorde *et al.*, 2014; Sarbon *et al.*, 2015). El objetivo del presente trabajo fue estudiar la técnica de aplicación CEPAL en la separación de la proteína del lactosuero fresco a partir de leche de cabra usando un prototipo construido para este fin. Lo anterior con el propósito de encontrar mecanismos que ayuden a tratar un efluente de la industria láctea, al mismo tiempo que se obtienen fracciones con potencial uso en la industria alimentaria como materia prima de alimentos para consumo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Prueba de conductividad eléctrica*

Se aplicaron pruebas de conductividad eléctrica al titanio, tungsteno y acero inoxidable H14, materiales preseleccionados para la construcción de la cámara. Estos materiales se escogieron por tener alta conductividad eléctrica (Callister, 2002), y además producir baja contaminación electrolítica (Esteban *et al.*, 2011; Anguiano *et al.*, 1996).

### *Material de construcción del prototipo*

Los electrodos fueron de sacrificio, según la Ley de Faraday, debido a que en el proceso electrolítico migran hacia el seno del agua residual los iones que desestabilizan los coloides (Marriaga-Cabrales y Machuca-Martínez, 2014), por ello se hizo un estudio preliminar para su correcta selección tal como lo han hecho otros autores (Dávila *et al.*, 2009a; 2009b; 2011). La selección del material para construir el prototipo se basó en el que mejor resultado diera al momento de reaccionar con el lactosuero, ocasionando menor contaminación electrolítica según metodología de Ojeda-Armaignac *et al.*, (2012). Las pruebas se realizaron usando una fuente de 110 voltios (V) y 20 amperios (amp). Luego de escoger el material con mejores resultados se procedió a la construcción del prototipo y estandarización de los voltajes, amperajes y tiempos de descarga con respecto al volumen (Dávila *et al.*, 2011). La estandarización del volumen con el cual se debía trabajar, estaba basado en la capacidad de la cámara, pues volúmenes menores podrían ocasionar desviación en los resultados esperados.

### *Estandarización del proceso*

Para la determinación de voltaje, amperaje y tiempo de descarga adecuado se realizaron pruebas con diferentes voltajes en intervalos de tiempo regulando el amperaje hasta seleccionar el método más eficaz de acuerdo a la observación de la precipitación y reacciones químicas de las proteínas del lactosuero (Dávila *et al.*, 2009a; 2011). Se hizo una filtración de las muestras tratadas con CEPAL para separar la fase sólida de la acuosa, luego se secaron y pesaron las proteínas extraídas. Finalmente se determinó el porcentaje de extracción, calculando así el rendimiento (Marriaga-Cabrales y Machuca-Martínez, 2014).

En busca de determinar el método más eficaz en la precipitación y obtención de proteínas del lactosuero de leche de cabra se realizaron pruebas con voltajes de 110, 220 y 600 V; y amperajes de 20, 30, 40, 50, 60, 70, y 80 Amp en corrientes AC y DC, utilizando una fuente, y dos tipos de soldadura industrial. Las descargas se realizaron en intervalos de 10 segundos con el propósito de establecer el tiempo de descarga en cada pulsación, permitiendo así estandarizar tiempo, amperaje y voltaje; referenciado en la precipitación de las proteínas séricas (Dávila *et al.*, 2009a; 2011; Ojeda-Armaignac *et al.*, 2012; Marriaga-Cabrales y Machuca-Martínez, 2014). Una vez terminada la descarga se midieron la temperatura y pH a cada una de las muestras de lactosuero, con el objetivo de controlar estas variables, pues ellas tienen efectos de desnaturalización de las proteínas séricas a temperaturas superiores a los 60 °C y pH de 6,5, lo que conllevaría a la no consecución de los objetivos planteados (Dávila *et al.*, 2009a; 2009b; 2011).

### *Extracción de proteínas de lactosuero*

Realizados los tratamientos con CEPAL a las muestras del lactosuero se separó la fase sólida de la acuosa por medio de una filtración con papel transmembrana. Para la determinación del porcentaje de extracción de proteínas del lactosuero de leche de cabra utilizando CEPAL se procedió a trasladar los materiales sólidos que quedaron en el papel filtro (proteínas séricas) a un vidrio de reloj previamente tarado, posteriormente se pesaron cada una de las muestras y se registraron los pesos indicados en la balanza analítica Ohaus Adventure con precisión de 0,0001 g. Luego se llevaron a una cámara de secado a temperatura de 50 °C por tres horas, pues al momento de retirarlos del papel filtro contenían un porcentaje de humedad que podía influir en el rendimiento. Al cabo de las tres horas se retiraron las muestras de la cámara y se dejaron enfriar a temperatura ambiente y nuevamente se tomaron los pesos correspondientes a cada muestra para así realizar los cálculos de rendimiento (Dávila *et al.*, 2009b).

### *Pruebas microbiológicas y determinación del contenido proteínico*

Para demostrar la efectividad del método se implementaron pruebas microbiológicas y determinación del contenido proteínico del lactosuero antes y después de aplicar CEPAL. La determinación proteínica se realizó por el método Kjeldahl (A.O.A.C., 2003) y las pruebas microbiológicas se determinaron mediante conteo de Aerobios mesófilos en Plate Count (UFC/mL) y coliformes totales en caldo EMB (UFC/mL). Cabe aclarar que los análisis se practicaron al lactosuero fresco y al residuo líquido remanente después de la filtración.

*Diseño experimental y tratamiento de datos*

Se empleó un diseño experimental completamente al azar en donde las variables manipuladas (variables independientes) fueron: material de construcción, tipo de corriente (AC o DC), voltaje, amperaje, tiempo de electrocoagulación; y las variables medidas (variables dependientes) fueron: contaminación electrolítica, rendimiento de extracción, temperatura, pH, calidad microbiológicas y determinación del contenido proteínico.

En el estudio se llevó a cabo un muestreo aleatorio dirigido, y se empleó un diseño aleatorio completamente al azar. Las determinaciones se efectuaron por triplicado y los resultados expresados como la media con su desviación estándar. Se utilizó el programa PHARM/PCS versión 4, se calcularon la media y la desviación estándar de los resultados en los análisis efectuados.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN***Material de construcción del prototipo*

En la selección del material para la construcción de la cámara continua se observó que el electrodo de tungsteno presentó electrólisis, por lo tanto no es recomendable para este proceso (Orozco *et al.*, 2013; Gallegos *et al.*, 2012). Con el electrodo de titanio se manifestó una contaminación electrolítica, ya que hubo un severo desprendimiento de partículas que producen una contaminación de la muestra mostrando un color verde oscuro, mientras que con el acero inoxidable tipo H14 los resultados fueron positivos, ya que no hubo contaminación electrolítica ni electrólisis, por esta razón se decidió construir la cámara con este material.

*Estandarización del proceso*

Después de realizadas las pruebas con los diferentes voltajes y amperajes referenciando el tiempo de descarga y el tipo de corriente, se pudo determinar que los tratamientos realizados a las muestras utilizando AC y variando voltajes y amperajes junto con los tiempos de descarga no fueron efectivos, pues la precipitación de las proteínas se dio a pequeña escala.

En la aplicación de DC combinando los voltajes de 110 y 220V con amperajes de 20, 30, 40, 50, 60, 70 y 80, con intervalos de 10 segundos de descarga se pudo observar que el tratamiento utilizado no logró precipitar las proteínas de lactosuero, por lo tanto se decidió experimentar con un voltaje mayor (600 V). Se utilizó un equipo TIG de soldadura industrial, al cual se le graduaba el amperaje, y de esta forma se analizó cada muestra variando amperios y tiempo hasta llegar a la estandarización deseada. Se evidenció, que la eficiencia en la extracción incrementó con el aumento de densidad de corriente al igual que lo reportan otros autores. Arango y Garcés (2007) trataron de determinar niveles óptimos de pH, densidad de corriente y tiempo durante la electrocoagulación de aguas de la industria láctea. Estos autores, durante las pruebas exploratorias probaron electrodos de sacrificio y variaron el pH y la densidad de corriente, midiendo extracciones de sólidos a diferentes tiempos, encontrando que la eficiencia en la extracción incrementa con el aumento de densidad de corriente y el tiempo, al igual que en este estudio.

En este trabajo, inicialmente se logró estandarizar el tiempo, el cual fue de 20 segundos, pues al dejar más tiempo las descargas se presentó un pardeamiento severo de las proteínas séricas precipitadas en la cámara. Posteriormente se probó cada amperaje hasta encontrar el método más adecuado. Al final se pudo determinar que los parámetros que mejor resultado ofrecieron fueron 20 segundos, 60 Amp y 600 V con DC, ya que obtuvo una mayor precipitación y no se presentó pardeamiento en el producto, a diferencia de los tratamientos con 70 y 80 Amp, en los cuales se observó mayor precipitación pero también carbonización de las proteínas, dado que la temperatura que alcanzaba la cámara a estos amperajes sobrepasaba los 60 °C. Los resultados de precipitación se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1: Voltajes y amperajes en función del tiempo de descarga

Voltaje (Kv)	Amperaje	Tiempo (s)	Resultado
0,11	10 a 80	10-20	No precipitación
0,22	10 a 80	10-20	No precipitación
0,60	10 a 80	10	Poca precipitación
0,60	10 a 50	10	Poca precipitación
0,60	60 a 80	10	Mayor precipitación

El pH y temperatura de las muestras luego del tratamiento a 600 V, 20 Amp DC y 20 segundos se observan en la Tabla 2. Resultados similares obtuvieron Ojeda-Armaignac *et al.*, (2012), quienes en el estudio comparativo del uso de electrodos de hierro y aluminio en el proceso de electrocoagulación de la vinaza

determinaron que a medida que aumenta la densidad de corriente en el proceso de electrocoagulación de la vinaza, se obtiene mayor cantidad de sólidos en la espuma.

Como se evidencia en la Tabla 2, con ayuda del aumento en amperaje, el pH disminuye hasta por debajo del punto isoeléctrico de las proteínas del lactosuero de leche de cabra, por lo que el efecto de precipitado podría ser un resultado de la sinergia entre la corriente eléctrica y el punto isoeléctrico alcanzado. Resultados similares evidenciaron Arango y Garcés (2007) en su estudio de electrocoagulación de aguas residuales de una industria láctea. Estos autores encontraron eficiencias altas en la remoción de sólidos a densidades de corriente bajas usando bajo pH, lo cual se puede atribuir a que la misma precipitación de la proteína es impulsada por la llegada a su punto isoeléctrico junto con el campo eléctrico al que está sometida.

Tabla 2: Temperatura y pH de muestra de lactosuero luego de aplicación de CEPAL

Muestra	Temperatura (°C)	pH
Lactosuero fresco	30	5,51±0,32
20seg/20Amp	30,1	3,62±0,24
20seg/30Amp	39,1	3,61±0,14
20seg/40Amp	47	3,63±0,15
20seg/50Amp	52	3,63±0,33
20seg/60Amp	56,1	3,64±0,36
20seg/70Amp	64,3	3,64±0,18
20seg/80Amp	67,5	3,67±0,27

#### Extracción de proteínas de lactosuero

Con la filtración y secado de las muestras tratadas con CEPAL se procedió a la separación de la fase sobrenadante de la precipitada utilizando papel filtro transmembrana, en las cuales se retuvieron las proteínas del lactosuero y se pesaron teniendo en cuenta el contenido de humedad. Posterior al secado se determinó el porcentaje de extracción en 100 mL de muestra. Los resultados se evidencian en la Tabla 3.

Tabla 3: Determinación de extracción de proteínas de lactosuero

Muestra	% de extracción
20seg/20Amp	5,60
20seg/30Amp	5,75
20seg/40Amp	5,26
20seg/50Amp	5,79
20seg/60Amp	9,19
20seg/70Amp	9,58
20seg/80Amp	11,05

Una vez pesadas las muestras en base seca se determinó el porcentaje de extracción tomando como base la resta de los pesos en base húmeda con respecto al peso de la base seca obteniendo el peso neto. Lo anterior representa el porcentaje de extracción en 100 mL de lactosuero. Cabe anotar que en la Tabla 3 las muestras 20/70 y 20/80 representan los mayores porcentajes de extracción, pero como se indicó anteriormente, estas muestras presentaron pardeamiento por las temperaturas alcanzadas en el tratamiento de CEPAL, por lo cual se descartaron. Teniendo en cuenta lo anterior, el tratamiento 20seg/60Amp mostró las mejores características de extracción.

La razón de que a mayores amperajes se den altos porcentajes de extracción de proteínas es debido a que el aumento de las fuerzas eléctricas del medio en donde estas se encuentran provoca una disminución en el grado de hidratación de sus grupos iónicos superficiales. Además, las proteínas al ser un soluto, compiten por el agua y rompen los puentes de hidrógeno e interacciones electrostáticas, de forma que las moléculas proteínicas se agregan y precipitan (Acevedo, 2010).

Para la obtención de las proteínas de lactosuero diversas técnicas y métodos (físicos y químicos) han sido empleados, tales como la ultrafiltración (Muñi *et al.*, 2005; Marcelo y Rizvi, 2008). También ha sido factible el uso de ácidos como catalizador en la precipitación proteínica (Jakymec *et al.*, 2001; Rojas-V *et al.*, 2009) y el empleo de tratamientos térmicos (Jakymec *et al.*, 2001; Uribarrí *et al.*, 2004), siendo este último, el proceso más antiguo utilizado para la recuperación (Vázquez *et al.*, 2010). Según Marriaga-Cabrales y Machuca-Martínez (2014) dentro de las ventajas que presenta la electrocoagulación con respecto a otros tratamientos de extracción de materiales sólidos como las proteínas de este estudio están que la electrocoagulación: i)

produce sobrenadantes con menos sólidos disueltos totales (SDT) en comparación con los tratamientos químicos, así, si se vuelve a utilizar esta agua, el bajo nivel de SDT contribuye a un costo de recuperación de agua inferior; ii) los procesos electrolíticos en la celda de electrocoagulación se controlan eléctricamente sin partes móviles, por lo que requiere menos mantenimiento; iii) separación más rápida y eficaz que la coagulación convencional; iv) el control del pH no es necesario, a excepción de los valores extremos; y v) la cantidad de productos químicos necesarios es pequeña.

#### Pruebas microbiológicas

Referente a las pruebas microbiológicas observadas en la Tabla 4 se observó una disminución de las UFC/mL presentes en cada una de las muestras gracias a la aplicación de CEPAL, lo cual puede ser atribuido a la electroporación de las esporas de los microorganismos presentes (Fernández *et al.*, 2010).

En la Tabla 4 también se indica el índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad en este producto según la Resolución 715 de 2009 (Ministerio de la Protección Social, 2009), la cual indica los requisitos sanitarios que deben cumplir los lactosueros como materia prima de alimentos para consumo humano. Según estos límites de referencia, se puede evidenciar que el lactosuero fresco no cumple con los límites permitidos de Aerobios mesófilos ni de Coliformes totales; sin embargo, los tratamientos realizados mediante CEPAL garantizan la inocuidad bajo las condiciones empleadas del producto final, a excepción del tratamiento de 20seg/20Amp, que no cumple con el máximo permisible de Coliformes totales en la menor dilución ensayada.

Tabla 4: Análisis microbiológico del lactosuero antes y después del tratamiento CEPAL

Muestra	Dilución	Aerobios mesófilos (UFC/mL)	Coliformes totales (UFC/mL)
Lactosuero fresco	10 <sup>1</sup>	1140	250
	10 <sup>2</sup>	1000	250
	10 <sup>3</sup>	850	250
20seg/20Amp	10 <sup>1</sup>	250	191
	10 <sup>2</sup>	spider	<10
	10 <sup>3</sup>	40	<10
20seg/30Amp	10 <sup>1</sup>	<250	<10
	10 <sup>2</sup>	53	<10
	10 <sup>3</sup>	10	<10
20seg/40Amp	10 <sup>1</sup>	350	<10
	10 <sup>2</sup>	spider	<10
	10 <sup>3</sup>	<10	<10
20seg/50Amp	10 <sup>1</sup>	24	<10
	10 <sup>2</sup>	21	<10
	10 <sup>3</sup>	<10	<10
20seg/60Amp	10 <sup>1</sup>	<10	<10
	10 <sup>2</sup>	20	<10
	10 <sup>3</sup>	<10	<10
20seg/70Amp	10 <sup>1</sup>	<10	<10
	10 <sup>2</sup>	<10	<10
	10 <sup>3</sup>	<10	<10
20seg/80Amp	10 <sup>1</sup>	<10	<10
	10 <sup>2</sup>	<10	<10
	10 <sup>3</sup>	<10	<10
Índice máximo permisible (Ministerio de la Protección Social, 2009)		1000	<10

#### Determinación del contenido proteínico

Para demostrar la efectividad del método se realizó un análisis de determinación proteínica por el método Kjeldahl al lactosuero fresco, y luego se practicaron los respectivos análisis proteínicos a los sobrenadantes ya filtrados y se observó en los resultados una reducción considerable del contenido proteínico de las muestras (Ver Tabla 5), lo que permitió establecer que la extracción de proteínas del lactosuero utilizando altos pulsos eléctricos es un método eficaz. Hay que tener en cuenta que bajo las condiciones de pH y temperatura de extracción final podría existir un efecto sobre la actividad y funcionalidad de la proteína (Gómez *et al.*, 2013).

Tabla 5: Contenido proteínico al residuo líquido remanente después de la filtración

Muestra	Proteína Bruta (%)
Lactosuero	5,38±0,25
20seg/20Amp	1,76±0,14
20seg/30Amp	1,73±0,12
20seg/40Amp	1,58±0,18
20seg/50Amp	1,43±0,12
20seg/60Amp	1,16±0,10
20seg/70Amp	1,52±0,11
20seg/80Amp	1,32±0,10

## CONCLUSIONES

La cámara recubierta en acero inoxidable no presentó ninguna contaminación electrolítica al momento de reaccionar con el lactosuero. De los resultados se pudo evidenciar que al momento de secar el precipitado se deben utilizar temperaturas cercanas a los 56 °C, ya que esta es la temperatura correspondiente a las mejores condiciones de extracción (20seg/60Amp), y además, las temperaturas mayores causan pardeamiento y degradación de las proteínas del lactosuero de leche de cabra. Se pudo observar que al aplicar los CEPAI se eliminaron coniformes fecales y totales, lo cual da a entender que los tratamientos realizados mediante esta tecnología garantizan la inocuidad bajo las condiciones empleadas del producto final. Se podría inferir que los efectos encontrados en esta tecnología son globales, y que por ende los resultados de esta investigación se pueden extrapolar a otro tipo de leches como la bovina. Se considera el CEPAI como un mecanismo efectivo para tratar un efluente de la industria láctea como lo es el lactosuero, además de un método eficaz de obtención de fracciones con potencial uso en la industria alimentaria como materia prima de alimentos para consumo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por los recursos financieros a la Universidad de Cartagena 2014 por su apoyo al fortalecimiento y sostenibilidad de los grupos de investigación clasificados por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – COLCIENCIAS - 2014. De igual forma agradece al misma Alma máter por la beca otorgada al Ing. Diego Felipe Tirado Armesto para realizar sus estudios de Maestría en Ingeniería Ambiental en la Facultad de Ingeniería.

## REFERENCIAS

- A.O.A.C., Official Methods of Analysis of the AOAC International. 18th Ed., 780p. Horowitz, W.; Latimer Jr., G.W. (eds) Association of Analytical Chemists. Maryland, United States (2003)
- Acevedo, D., C. Granados y R. Torres, Caracterización reológica del suero costeño de Turbaco, Arjona, El Carmen de Bolívar y uno comercial (Colombia). *Información Tecnológica*, 25(3), 3–10 (2014)
- Acevedo, D., Gelificación fría de proteínas de lactosuero, *Reciteia*, 10(2), 5-23 (2010)
- Acevedo, D., J. Jaimes y C.R. Espitia, Efecto de la Adición de Lactosuero al Queso Costeño Amasado, *Información Tecnológica*, 26(2), 11-16 (2015)
- Alvarado-Carrasco, C. y M. Guerra, Lactosuero como fuente de péptidos bioactivos, *Anales Venezolanos de Nutrición*, 23(1), 42-49 (2010)
- Anguiano, E., A.I. Oliva y M. Aguilar, Estudio de las condiciones óptimas para la preparación electroquímica de puntas de tungsteno para el microscopio de efecto túnel, *Anales de física*, 92(3), 150-158 (1996)
- Arango, A. y L.F. Garcés, Diseño de una celda de electrocoagulación, *Revista Universidad EAFIT*, 43(147), 56-67 (2007)
- Benítez, R., A. Ibarz y J. Pagan, Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones, *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*. 42(2), 227-36 (2008)
- Callister, W.D., Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volumen 1, 524p. Editorial Reverte, Barcelona, España (2002)

- Chacón, A., Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*Capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial, *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), 239-252 (2005)
- Dávila, J.A., F. Machuca y N. Marrianga, Reducción de demanda química de oxígeno, carbono orgánico total y sólidos totales en vinazas mediante electro-flotación/oxidación, *Ingeniería e Investigación*, 29(1), 35-38 (2009a)
- Dávila, J.A., F. Machuca y N. Marrianga, Remoción de sólidos totales de vinazas por electrocoagulación – electroflotación, *DYNA*, 76(158), 41-47 (2009b)
- Dávila, J.A., F. Machuca y N. Marrianga, Treatment of vinasses by electrocoagulation–electroflotation using the Taguchi method, *Electrochimica Acta*, 56(22), 7433–7436 (2011)
- Durham, R.J. y otros tres autores, Whey fractionation wheying up the consequences, *Food-Australia*, 49(10), 460-465 (1997)
- Esteban, P.G. y otros tres autores, Introducción al procesado pulvimetalúrgico del titanio, *Revista de Metalurgia*, 169-187 (2011)
- Fernández, J.J., G.V. Barbosa-Cánovas y B.G. Swanson, Tecnologías emergentes para la conservación de alimentos sin calor, *Arbor*, 168(661), 155-170 (2010)
- Gallegos, A. y otros tres autores, Estudio de variables principales para el establecimiento del régimen de plasma electrolítico a baja potencia, *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 65, 7-15 (2012)
- Gómez, L.J., O. Figueroa y J.E. Zapata, Actividad Antioxidante de Hidrolizados Enzimáticos de Plasma Bovino Obtenidos por Efecto de Alcalasa® 2.4 L, *Información tecnológica*, 24(1), 33-42 (2013).
- He, G. y otros tres autores, Optimisation extraction of chondroitin sulfate from fish bone by high intensity pulsed electric fields, *Food Chemistry*, 164(1), 205–210 (2014)
- Jakymec, M. y otros cinco autores, Cinética de la producción de ácido láctico por fermentación sumergida con lactosuero como sustrato, *Revista Científica*, 9(1), 53-59 (2001)
- Jakymec, M. y otros cinco autores, Cinética de la producción de ácido láctico por fermentación sumergida con lactosuero como sustrato, *Revista Científica (FCVLUZ)*, 11(1), 53-59 (2001)
- Kinsella, J.E. y D.M. Whitehead, Proteins in Whey: Chemical physical and functional properties, *Advances Food Nutri Res.*, 70, 2419-2424 (1989)
- Lin, S. y otros ocho autores, Research on the preparation of antioxidant peptides derived from egg white with assisting of high-intensity pulsed electric field, *Food Chemistry*, 139(1–4), 300–306 (2013)
- Marcelo, P. y S. Rizvi, Physicochemical properties of liquid virgin whey protein isolate, *International Dairy Journal*, 18(3), 236-246 (2008)
- Marcelo, P.A. y S.H. Rizvi, Physicochemical properties of liquid virgin whey protein isolate, *International Dairy Journal*, 18(3), 236-246 (2008)
- Marriaga-Cabrales, N. y F. Machuca-Martinez, Fundamentals of electrocoagulation. Evaluation of Electrochemical Reactors as a New Way to Environmental Protection, *Research Signpost*, pp. 1-16. 37/661 (2), Fort P.O. Trivandrum-695 023, Kerala, India (2014)
- Ministerio de la Protección Social, Resolución 715, Por la cual se modifica el artículo 6º de la Resolución 2997 de 2007, 2p, Bogotá, Colombia (2009)
- Miranda-Miranda, O. y otros cinco autores, Características físico-químicas de sueros de queso dulce y ácido producidos en el combinado de quesos de Bayamo, *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 19(1), 21-25 (2009)
- Morr, C.V. y Foegeding, E.A., Composition and functionality of commercial whey and milk protein concentrates and isolates-A status report, *Food Technol.*, 44(4), 100-112 (1990)



- Muñi, A. y otros cinco autores, Eficiencia de un sistema de ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie para el fraccionamiento y concentración del lactosuero, *Revista Científica (FCV-LUZ)*, 15(4), 361-367 (2005)
- Ojeda-Armaignac, E., R. Hing-Cortón y Y. González-Díaz, Estudio comparativo del uso de electrodos de hierro y aluminio en el proceso de electrocoagulación de la vinaza, *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 43 (2012)
- Orozco, W. y otros cuatro autores, Modificación química de un electrodo de carbón vítreo con meso-tetrafenilporfirina de hierro (III) ([Fe(III)TPP]<sup>+</sup>) para estudiar la reducción de dióxido de carbono y la oxidación de ácido fórmico, *Avances en Química*, 8(3), 121-130 (2013)
- Peña, M.M. y otros tres autores, Impact of high intensity pulsed electric field on antioxidant properties and quality parameters of a fruit juice-soymilk beverage in chilled storage, *Food Science and Technology*, 43, 872–881 (2010)
- Raventós, M., *Industria alimentaria. Tecnologías emergentes*, pp. 77-78, Universidad Politecnica de Catalunya, Catalunya, España (2010)
- Rico, C. y otros tres autores, High-load anaerobic co-digestion of cheese whey and liquid fraction of dairy manure in a one-stage UASB process: Limits in co-substrates ratio and organic loading rate, *Chemical Engineering Journal*, 262(15), 794–802 (2015)
- Rojas-V., E. y otros cinco autores, Aislamiento y rendimiento del GMP mediante precipitación de lactosuero con ácido tricloroacético, *Revista Científica (FCV-LUZ)*, 19(3), 295-302 (2009)
- Sarboon, N.M., F. Badii y N.K. Howell, The effect of chicken skin gelatin and whey protein interactions on rheological and thermal properties, *Food Hydrocolloids*, 45, 83–92 (2015)
- Spilimbergo, S. y otros cuatro autores, Partial permeabilisation and depolarization of *Salmonella enterica* Typhimurium cells after treatment with pulsed electric fields and high pressure carbon dioxide, *Process Biochemistry*, 49(12), 2055–2062 (2014)
- Uribarrí, L. y otros cinco autores, Producción de ácido láctico a partir de suero de leche, utilizando *Lactobacillus helveticus* en cultivo continuo, *Revista Científica*, 14(4), 297-302 (2004)
- Uribarrí, L. y otros cinco autores, Producción de ácido láctico a partir de suero de leche, utilizando *Lactobacillus helveticus* en cultivo continuo, *Revista Científica (FCVLUZ)*, 14(4), 297-302 (2004)
- Van de Voorde, I. y otros cuatro autores, Evaluation of the cold-active *Pseudoalteromonas haloplanktis*  $\beta$ -galactosidase enzyme for lactose hydrolysis in whey permeate as primary step of d-tagatose production, *Process Biochemistry*, 49(12), 2134–2140 (2014)
- Vázquez, F., G.A. Villegas y P.R. Mosqueda, Precipitación de proteínas lactoséricas en función de la acidez, temperatura y tiempo, de suero producido en Comonfort, Guanajuato, México, *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 157-169 (2010)

