

Dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez

Lorena Fuentes^{1*}, Yolimar Aguilar², Yaxcelys Caldera¹ e Iván Mendoza¹

¹ Laboratorio de Investigaciones Ambientales. Núcleo Costa Oriental del Lago. Universidad del Zulia. Cabimas, estado Zulia, Venezuela. *lfuentesp@hotmail.com

² PRODUZCA. Av. Universidad. Sector las 40. Cabimas, estado Zulia, Venezuela.

Recibido: 15-11-2013 Aceptado: 20-06-2014

Resumen

Debido a la gran cantidad de residuos ganaderos que se generan en la Costa Oriental del Lago (Venezuela) se planteó un estudio para su aprovechamiento y minimización del impacto ambiental que producen. El objetivo fue comprobar la efectividad de una dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez. Los ensayos se realizaron a escala laboratorio utilizando agua de la planta de tratamiento Pueblo Viejo, la cual se ajustó con agua del grifo a valores de turbidez entre 50 y 90 UNT. Las muestras de agua diluida se trataron con una dispersión gelatinosa y se caracterizaron fisicoquímicamente. Después de la clarificación se obtuvieron dosis óptimas de 22,8; 34,2; 22,8; y 22,8 ppm para turbiedades de 50, 60, 80 y 90 UNT, respectivamente. La remoción de turbidez osciló entre 71,48% y 81,4% antes de la filtración y entre 93,8% y 98,6% después de ésta. El pH fluctuó entre 6,75 y 7,38, la alcalinidad osciló entre 27,3 y 38,6 mgCaCO₃/L y la remoción de color varió entre 83,3% y 95,0% después del filtrado. Los resultados demuestran la efectividad de la dispersión gelatinosa de huesos bovinos como coagulante natural para el proceso de clarificación de aguas con baja turbidez.

Palabras clave: Clarificación de aguas, dispersión gelatinosa, coagulante natural, huesos de bovinos.

Bovine bone gelatinous dispersion for clarification of water with turbidity low

Abstract

Due to the large amount of livestock waste that is generated on the Costa Oriental del Lago (Venezuela) has proposed a study for its use and minimizing the environmental impact they produce. The aim was to test the effectiveness of a bovine bone gelatin dispersion for clarification of water with low turbidity. Bench scale assays were performed using water from the treatment plant of Pueblo Viejo, which was adjusted with tap water to turbidity values between 50 to 90 NTU. Diluted water samples were treated with gelatinous dispersion and characterized physicochemically. The optimal doses of 22.8, 34.2, 22.8 and 22.8 ppm were obtained after clarification for turbidity

of 50, 60, 80 and 90 NTU, respectively. Turbidity removal ranged between 71.48% and 81.4% before filtration and between 93.8% and 98.6% after. The pH ranged between 6.75 and 7.38, alkalinity ranged between 27.3 and 38.6 mgCaCO₃/L and color removal varied between 83.3% and 95.0% after filtering. The results demonstrate the effectiveness of the bovine bone gelatin dispersion as natural coagulant for water clarification process with low turbidity.

Key words: Water clarification, gelatinous dispersion, natural coagulant, bovine bone.

Introducción

Los residuos ganaderos tienen diversas aplicaciones. A partir de estiércol de ganado y mediante un proceso de fermentación anaerobia se puede obtener metano, el cual tiene utilidad como combustible y en la producción de electricidad [1]. Por otra parte, los huesos, cabezas y vísceras son comúnmente utilizados para alimentación animal debido a su bajo valor comercial, también son incinerados o simplemente desechados [2]. Asimismo, a partir de residuos como pieles, cartílagos y huesos de mamíferos, se extraen gelatinas de origen animal, cuya proteína principal es el colágeno que no es soluble en agua [3].

Alrededor del 70% de la masa de un hueso lo constituye la fase mineral (hidroxiapatita), mientras que el 30% lo representa la matriz orgánica, constituida en un 90% por la proteína colágeno [4]. El colágeno forma una triple hélice que se enlaza a través de puentes de hidrógeno. Cuando se hierve el colágeno con agua, se convierte en la conocida proteína hidrosoluble denominada gelatina; al enfriar la solución, no se regenera el colágeno, sino que cuaja, formando un gel. El tratamiento separa las hebras de la hélice, rompiendo uniones hidrógeno entre cadenas y reemplazándolas por puentes con moléculas de agua [5], las cuales dan lugar a una dispersión coloidal [6].

Específicamente, la gelatina sin sabor ha sido aplicada en la clarificación de jugos [6]. La gelatina porcina ha sido efectiva en cuanto a su actividad floculante, lo cual se ha relacionado con su contenido de colágeno parcialmente degradado [7].

Para la clarificación del agua, han sido reportados diversos productos naturales de origen vegetal como las semillas de la planta *Moringa oleifera* Lam [8,9], *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb [10], la tuna *Opuntia cochinellifera* (L.) Mill. [11], *Opuntia wentiana* [12], *Hylocereus lemairei* [13], cactus *Lefaria* [14]. También se ha referido el empleo de coagulantes de origen animal como el quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* [15], y otros autores sugieren que las gelatinas de origen animal también pueden ser empleadas como coagulantes en aguas o en jugos de pseudofrutos de merey [16, 6, 7].

El propósito de este estudio fue comprobar la eficiencia de una dispersión gelatinosa de huesos bovinos en la clarificación de aguas con baja turbidez.

Parte experimental

Obtención del coagulante de origen animal (Dispersión gelatinosa de huesos bovinos)

Se seleccionaron huesos de reses recién sacrificadas, se limpiaron y desangraron. Estas muestras fueron suministradas por el Matadero Industrial Costa Oriental del Lago (MATICOLCA) ubicado en el municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia (Venezuela) y trasladadas bajo refrigeración hasta el Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL).

Las muestras de huesos vacunos se limpiaron, se eliminó la carne adherida a éstos, se extrajo la parte interna (médula) y se dejó reposar durante 25 min en un vaso de precipitado con agua del grifo para facilitar el desangramiento. Cada muestra de médula fue colocada en un vaso de precipitado al cual se le adicionó agua del grifo hasta completar 100 mL, se sometió a agitación y calentamiento (50-70 °C) durante 30 min y se dejó en reposo durante 20 min, observándose tres fases: grasosa, aceitosa y acuosa. La fase acuosa se separó por filtración y se utilizó como coagulante, dado que en ella se encuentra la

proteína disuelta (colágeno); además, ensayos preliminares permitieron determinar su potencial como coagulante.

Se calculó la concentración inicial del coagulante en función de la porción de médula disuelta o presente en la fase acuosa, la cual fue 1,14 % m/v. Para ello se pesaron 40 g de médula quedando retenidos en el papel de filtro 39,74 g, que representan 0,26 g de médula disuelta, mientras que el volumen de la fase acuosa fue de 22,8 mL. De la fase acuosa se midieron dosis de 2 mL, 3 mL, 4 mL, 5 mL y 6 mL, las cuales se adicionaron a las muestras de agua turbia contenida en cada vaso de precipitado (1 L) del equipo de jarras, equivalentes a 22,8 ppm; 34,2 ppm; 45,6 ppm; 57,0 ppm y 68,4 ppm; respectivamente.

Preparación del agua diluida

El agua cruda se recolectó mediante un muestreo no probabilístico en el tanque de almacenamiento (previo al tratamiento) ubicado en la planta potabilizadora Pueblo Viejo (municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia, Venezuela) y se trasladaron en recipientes plásticos herméticos de 80 L de capacidad al Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia (LIANCOL). Las muestras se caracterizaron fisicoquímicamente (turbidez, pH, color y alcalinidad) y se almacenaron bajo refrigeración (5-8°C). Las muestras de agua cruda presentaron niveles de turbidez superiores a los requeridos en este estudio, por lo cual se adicionó agua del grifo y se ajustaron a valores de 50, 60, 80 y 90 UNT.

Prueba de jarras (coagulación, floculación y sedimentación)

En un equipo de jarras Modelo JLTG (Leaching Test Digital) se simuló la fase de clarificación que contempla el proceso de potabilización del agua y que a su vez comprende las etapas de mezcla rápida (100 rpm durante 1 min), mezcla lenta (30 rpm durante 20 min) y sedimentación (0 rpm durante 30 min). Al inicio de la mezcla rápida se adicionaron las diferentes dosis del coagulante derivado de huesos bovinos (dispersión gelatinosa). Los ensayos se realizaron por triplicado a 25 ± 1 °C.

Filtración

La fase de filtración se simuló con embudos, soporte universal, soporte para filtración y papel de filtro Double Rings, grado cualitativo, N° 102, 125 mm.

Medición de parámetros fisicoquímicos

Se midieron los parámetros fisicoquímicos turbidez, pH, color y alcalinidad en las aguas diluidas sin tratamiento y con tratamiento (diferentes dosis de la dispersión gelatinosa). Para este último caso, los valores se registraron antes y después del proceso de filtración.

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos se siguió la metodología indicada en el Standard Methods [17]. Los instrumentos de medición utilizados fueron: turbidímetro HF Cientific (turbidez), potenciómetro ORION 3 STAR Benchtop (pH), comparador colorimétrico visual Orbeco Hellige (color) y material volumétrico, ácido sulfúrico y anaranjado de metilo (alcalinidad).

Evaluación de la eficiencia del sulfato de aluminio como coagulante

Con sulfato de aluminio (sólido) se preparó una solución acuosa y se realizaron experimentos

similares a los efectuados con la gelatina de huesos bovinos, utilizando las mismas turbiedades iniciales y dosis de 30, 40, 50, 60 y 70 ppm. Esto con la finalidad de comparar la eficiencia de ambos coagulantes en cuanto a la remoción de turbidez.

Resultados y discusión

El agua cruda presentó las siguientes características fisicoquímicas: turbidez (260-320 UNT), color (200-300 UC Pt-Co), pH (7,30-7,89) y alcalinidad (30-48 mgCaCO₃/L). Dado el rango de turbidez seleccionado en este estudio, se realizó un ajuste de este parámetro y la caracterización de las muestras de agua diluida se presenta en la Tabla 1. Al evaluar los parámetros fisicoquímicos en estas muestras ajustadas a diferentes valores de turbidez (50, 60, 80 y 90 UNT) se observa que todas presentan un pH permisible (7,38-7,96), pues de acuerdo a las Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable de Venezuela [18] éste debe fluctuar entre 6,5 y 8,5 unidades.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de aguas diluidas antes del proceso de clarificación con el coagulante natural (dispersión gelatinosa)

Turbidez (UNT)	pH	Color (UC Pt-Co)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)
50	7,71	100	36
60	7,96	100	36
80	7,38	100	40
90	7,55	100	38

La alcalinidad osciló entre 36 y 40 mg CaCO₃/L y según refiere Merrit [19] las alcalinidades con valores menores de 75 mg CaCO₃/L son bajas. Los resultados arrojados para el color (100 UC Pt-Co) excedieron los valores establecidos en las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela [18], pues el valor máximo aceptable es 15 UC Pt-Co.

Después del tratamiento de las muestras de agua turbia con el coagulante obtenido a partir de una suspensión gelatinosa de huesos bovinos, se observa la remoción de turbidez que produce el mismo. En la Tabla 2 se especifican los valores de turbidez decantada (antes de filtrar) por triplicado para cada una de las dosis evaluadas, los promedios y las desviaciones estándar.

Tabla 2. Turbidez decantada para cada dosis de la suspensión gelatinosa de huesos bovinos, promedios y desviaciones estándar

Dosis de coagulante \ Turbidez inicial	Dosis de coagulante					CONTROL
	22,8 ppm	34,2 ppm	45,6 ppm	57,0 ppm	68,4 ppm	
50 UNT	14,5	13,9	14,7	15,6	16,7	31,0
	15,5	16,1	16,5	17,5	18,9	32,1
	12,5	12,8	12,6	12,5	14,1	33,0
PROMEDIO	14,26	14,26	14,6	15,2	16,5	32,0
Desviación S.	1,53	1,68	1,95	2,52	2,4	1,0
60 UNT	13,5	11,8	12,4	12,2	12,8	42,6
	14,0	10,9	12,7	13,1	12,8	43,8
	12,9	10,8	12,2	12,1	13,0	45,0
PROMEDIO	13,46	11,16	12,43	12,46	12,8	43,8
Desviación S.	0,55	0,55	0,25	0,55	0,12	1,2
80 UNT	16,5	18,3	20,1	19,9	20,1	72,5
	15,9	19,1	20,5	18,9	19,95	71,3
	17,1	17,95	18,5	19,9	20,1	74,1
PROMEDIO	16,5	18,45	19,7	19,58	20,05	72,06
Desviación S.	0,6	0,59	1,06	0,58	0,09	1,4
90 UNT	20,95	22,3	22,9	23,0	23,31	79,9
	19,95	21,3	22,3	23,75	23,1	81,3
	21,3	24,5	26,7	27,95	28,3	86,5
PROMEDIO	20,73	22,7	23,96	24,9	24,9	82,56
Desviación S.	0,7	1,64	2,39	2,67	2,94	3,48

Desviación S.: Desviación Estándar

En la Tabla 2 y en la Figura 1 se presenta la tendencia de la turbidez residual después del tratamiento con las diferentes dosis del coagulante natural (dispersión gelatinosa de huesos bovinos), a los valores de turbidez inicial de 50, 60, 80 y 90 UNT, antes y después de filtrar, respectivamente. Se observa que después del tratamiento para una turbidez inicial de 50 UNT se obtuvo una dosis óptima de 22,8 ppm y una turbidez residual de 14,26 UNT, representando un porcentaje de remoción de 71,48%. Luego de simular la fase de filtración, la turbidez se ubica en un intervalo de 0,7 a 1,0 UNT, con porcentajes de remoción entre 98,0% y 98,6%, cumpliendo con lo establecido en las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela (máximo 5 UNT) [18].

Para una turbidez inicial de 60 UNT con una dosis óptima de 34,2 ppm se obtuvo una turbidez de 11,16 UNT antes de filtrar (Tabla 2) y porcentaje de remoción de 81,4%, lo que indica que el coagulante fue eficaz. Después de filtrar, los valores fluctuaron entre 1,0 y 1,5 UNT (Figura 1), alcanzando porcentajes de remoción de 98,3% y 97,5 %, respectivamente.

Con respecto al valor de turbidez inicial correspondiente a 80 UNT, se observa en la Tabla 1 que para la dosis óptima de 22,8 ppm, la turbidez residual fue de 16,5 UNT. El porcentaje de remoción para esta turbidez inicial alcanzó 79,37%. Cabe destacar que después de filtrar el agua, los valores de turbidez fluctuaron entre 4,0 y 4,98 UNT (Figura 1); los porcentajes de remoción oscilaron entre 93,8% y 95,0%.

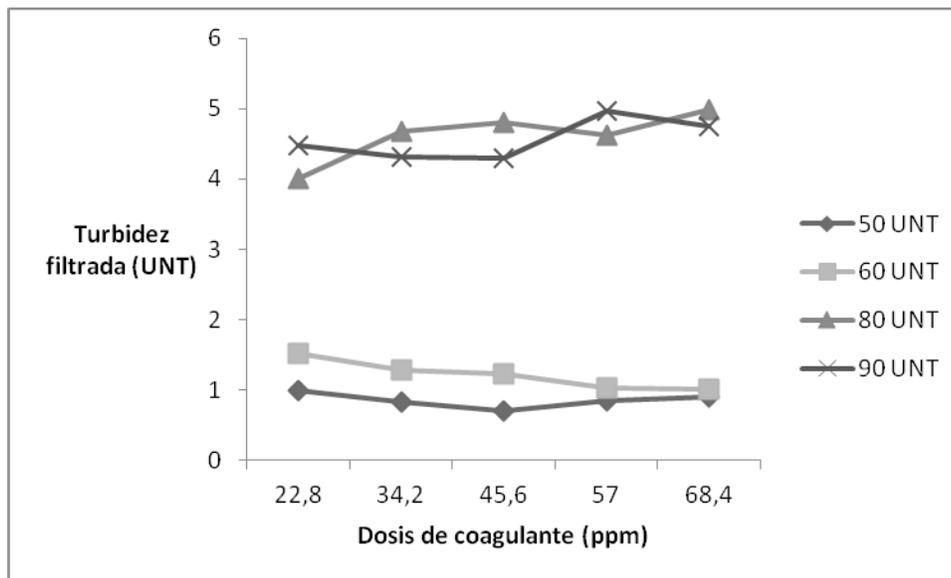


Figura 1. Remoción de turbidez (después de filtrar) en muestras de agua tratadas con una dispersión gelatinosa de huesos bovinos

Para la turbidez inicial más alta que fue evaluada en esta investigación (90 UNT), la dosis óptima fue de 22,8 ppm y la turbidez antes de filtrar se ubicó en 20,73 UNT (Tabla 2), representando un porcentaje de remoción de turbidez de 77,0%. Posterior a la fase de filtración, la turbidez fluctuó entre 4,30 UNT y 4,96 UNT (Figura 1), con porcentajes de remoción que variaron entre 95,2% y 94,5%, respectivamente.

En la Tabla 2 se observa que antes de filtrar, el coagulante natural tuvo un comportamiento progresivo, pues para los valores de turbidez inicial evaluados se cumplió que a mayor dosis la turbidez residual aumenta, excepto para la turbidez inicial de 60 UNT a una dosis de 22,8 ppm, representando una disminución de la remoción de turbidez. Estos resultados muestran similitud con los reportados por Mendoza *et al.* [8] y Caldera *et al.* [9] para *Moringa oleifera*, debido a que en general al aumentar la dosis de coagulante, aumenta la turbidez y disminuye la remoción. Igualmente, en un estudio previo se indicó que el aumento de la concentración de un coagulante obtenido de *Samanea saman* produjo el descenso de la remoción de turbidez [21].

Fuentes *et al.* [15] reportaron que al evaluar muestras de agua con turbiedades iniciales de 50, 60, 80 y 90 UNT tratadas con quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti*, a medida que aumenta la dosis, disminuye la remoción de turbidez; coincidiendo con el comportamiento del coagulante evaluado en el estudio presente.

Sin embargo, los resultados con la dispersión gelatinosa difieren de los citados en cuanto al comportamiento de la dosis óptima, puesto que esta variable se mantiene en 22,8 ppm, excepto

para una turbidez inicial de 60 UNT; mientras que para *M. oleifera* la dosis óptima disminuye con el incremento de la turbidez inicial [8,9].

Para turbiedades de 60 y 80 UNT, la dispersión gelatinosa difiere de los coagulantes *Opuntia cochinellifera* [11] y *Opuntia wentiana* [12], porque con estas cactáceas al incrementarse la dosis disminuye la turbidez y aumenta la remoción.

En la Figura 1 se puede apreciar que después de filtrar, todos los valores cumplieron con las especificaciones indicadas en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (0–5 UNT) [18].

El control (muestra de agua sin coagulante) utilizado para cada una de las turbiedades iniciales evaluadas, no presentó mayor variación. Para valores de turbidez inicial correspondientes a 50, 60, 80 y 90 UNT los controles presentaron turbiedades decantadas de 32,00; 43,80; 72,06 y 82,56 UNT, respectivamente.

El rango de pH para las diferentes turbiedades iniciales y dosis analizadas estuvo entre 6,67 y 7,58 antes de la filtración y entre 6,75 y 7,38 después de esta etapa. Los valores no presentaron una variación significativa en comparación con el control. Los resultados obtenidos al evaluar este parámetro antes y después de filtrar, se compararon con las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela y cumplieron con lo establecido en las mismas (6,5 a 8,5 unidades) [18]. De manera similar Mendoza *et al.* [9] y Caldera *et al.* [9] al efectuar estudios de potabilización de aguas con semillas de *M. oleifera* reportaron valores entre 7,00-8,00 y 6,7-7,5 unidades de pH, respectivamente.

En la Tabla 3 se observa que antes de filtrar, para valores iniciales de turbidez correspondientes a 50, 60, 80 y 90 UNT, los resultados referidos al parámetro color de acuerdo a sus dosis óptimas fueron 26,7; 18,3; 25,00 y 26,7 UC Pt-Co; y después de filtrar se obtuvieron valores de 11,7; 5,00; 10,00; y 15,00 UC Pt-Co, respectivamente. Los porcentajes de remoción de color variaron entre 66,7% y 81,7% antes de filtrar y entre 83,3% y 95% después de filtrar, siendo superiores a los reportados para *S. griseus*, pues para esta cactácea los valores de remoción antes de filtrar fluctuaron entre 16,7%-80% y después de esta etapa oscilaron entre 70%-92,9% [10].

La Tabla 3 muestra que después de la filtración todos los valores de color cumplieron con lo especificado en la normativa (0-15 UC Pt-Co) [18]. Al comparar los resultados del control con los de las aguas diluidas tratadas, se evidencia la efectividad de la dispersión gelatinosa de huesos bovinos en la remoción de color del agua.

Después de aplicar el coagulante natural, el comportamiento de la alcalinidad no tuvo una variación apreciable, es decir, se mantuvo de manera similar al rango inicial del agua cruda (36-40 mg CaCO₃/L), lo cual implica que no se alteró con la adición del coagulante. Antes de filtrar las muestras, los valores oscilaron entre 30 y 39 mg CaCO₃/L; y después de filtrar, variaron entre 27,3 y 38,6 mg CaCO₃/L.

Tabla 3. Parámetro color en aguas de baja turbidez tratadas con una dispersión gelatinosa de huesos bovinos

Dosis (ppm) Turbidez Inicial (UNT)	Color antes de filtrar (UC Pt-Co)						Color después de filtrar (UC Pt-Co)					
	22,8	34,2	45,6	57	68,4	C*	22,8	34,2	45,6	57	68,4	C*
50 UNT	30 30	30 30	40 40	40 40	40 40	50 100	10 5	10 5	10 10	10 10	10 10	12,5 15
PROMEDIO	20	20	20	20	20	100	20	20	20	20	20	20
Desviación S.	26,7	26,7	33,3	33,3	33,3	83,3	11,7	11,7	13,3	13,3	13,3	15,8
60 UNT	5,8	5,8	11,6	11,6	11,6	28,9	7,6	7,6	5,8	5,77	5,8	3,82
PROMEDIO	20	20	25	25	25	100	5	5	10	10	10	15
Desviación S.	20	20	25	25	25	100	5	5	5	10	10	20
80 UNT	20	15	20	25	25	100	5	5	10	10	10	20
PROMEDIO	20	18,3	23,3	25	25	100	5	5	8,3	10	10	18,3
Desviación S.	0	2,89	2,89	0	0	0	0	0	2,89	0	0	2,89
90 UNT	25	25	25	25	30	100	10	10	15	15	15	30
PROMEDIO	25	25	25	25	25	100	10	10	10	15	15	30
Desviación S.	25	25	25	25	25	100	10	10	15	15	15	30
90 UNT	25	25	25	25	26,7	100	10	10	13,3	15	15	30
PROMEDIO	0	0	0	0	2,89	0	0	0	2,89	0	0	0
Desviación S.	25	25	30	30	30	100	15	15	15	15	15	30
90 UNT	25	25	25	30	30	100	15	15	15	15	15	30
PROMEDIO	30	30	30	30	30	100	15	20	20	20	20	40
Desviación S.	26,7	26,7	28,3	30	30	100	15	16,7	16,7	16,7	16,7	33,3
	2,89	2,89	2,89	0	0	0	0	2,89	2,89	2,89	2,89	5,77

C*: Control

Desviación S.: Desviación Estándar

Al comparar la efectividad como coagulante del producto natural con respecto al de uso tradicional y de origen químico (sulfato de aluminio), se observa en la Tabla 4 que al aplicar la dispersión gelatinosa de huesos bovinos en aguas diluidas con turbiedades iniciales de 50, 60, 80 y 90 UNT, las dosis óptimas fueron 22,8; 34,2; 22,8 y 22,8 ppm; y para el sulfato de aluminio se obtuvieron dosis óptimas de 60, 50, 40 y 70 ppm, respectivamente.

Tabla 4. Comparación del potencial coagulante de la gelatina de huesos bovinos y del sulfato de aluminio en aguas con baja turbidez (antes de filtrar)

Dosis (ppm) Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez con gelatina de huesos bovinos (UNT)						Turbidez con sulfato de aluminio (UNT)					
	22,8	34,2	45,6	57,0	68,4	C*	30	40	50	60	70	C*
50	14,26	14,26	14,6	15,2	16,5	32,0	5,1	2,8	2,3	1,9	2,4	40,0
60	13,46	11,16	12,43	12,46	12,8	43,8	4,4	3,2	2,0	2,8	2,2	52,6
80	16,5	18,45	19,7	19,58	20,05	72,06	3,4	2,3	5,3	4,7	6,2	69,8
90	20,73	22,7	23,96	24,9	24,9	82,56	5,7	4,6	2,6	2,5	2,2	76,7

C*: Control

Con el sulfato de aluminio se emplearon dosis óptimas ligeramente superiores a las de la suspensión gelatinosa y los valores de turbidez después del tratamiento fueron menores con el sulfato de aluminio. Sin embargo, cabe destacar que desde el punto de vista de la salud, el sulfato de aluminio tiene implicaciones sobre ella, mientras que la gelatina derivada de huesos bovinos, además de no producir

ningún problema en el organismo humano, ayuda a minimizar el impacto ambiental que los residuos agroindustriales provocan.

Después de la fase de filtración, las muestras de agua tratadas con ambos coagulantes cumplieron con lo establecido para el parámetro turbidez en Venezuela (máximo 5 UNT) [18], demostrándose la eficiencia de la dispersión gelatinosa de huesos bovinos como coagulante natural (0,7 y 4,98 UNT) y del sulfato de aluminio (0,2 y 1,6 UNT).

La actividad coagulante de la gelatina de huesos bovinos puede atribuirse a su naturaleza proteica, ya que está constituida por moléculas de colágeno desorganizadas. Probablemente, su mecanismo de coagulación sea similar al de *M. oleifera*, coagulante de origen vegetal muy estudiado y para el cual se ha indicado como componente activo una proteína que actúa como un polielectrolito catiónico que se une a las partículas suspendidas y crea enlaces entre ellos, dando lugar a grandes flocúlos en el agua [22]. Sin embargo, se requiere profundizar más al respecto, porque otro coagulante de tipo proteico que se ha reportado en la literatura es la caseína de crema de coco (*Cocos nucifera*), pero dado que en su análisis la movilidad electroforética no se reduce a cero, se sugiere que el mecanismo de coagulación no es de neutralización por carga, sino de adsorción y formación de puente o de heterocoagulación [23].

Conclusiones

Esta investigación permitió comprobar que la dispersión gelatinosa de huesos bovinos es efectiva como coagulante natural para el proceso de clarificación de aguas con valores de turbidez inicial correspondientes a 50, 60, 80 y 90 UNT, arrojando porcentajes de remoción entre 93,8 % y 98,6 % después del proceso de filtración.

Después del tratamiento del agua con la suspensión gelatinosa de huesos bovinos, todos los parámetros evaluados (pH, turbidez, color y alcalinidad) se ajustaron a lo exigido en las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela. Específicamente, el pH estuvo en el rango de 6,75 a 7,38 unidades; la turbidez fluctuó de 0,7 a 4,98 UNT, la alcalinidad se ubicó entre 27,3 y 38,6 mg CaCO₃/L; y el color varió de 5 a 15 UC Pt-Co, después de aplicarse las etapas de coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES) de la Universidad del Zulia (LUZ) por el financiamiento de este proyecto.

Referencias bibliográficas

1. Flotats X., Campos E. y Bonmatí A. Aprovechamiento energético de residuos ganaderos. 3r Curs d' Enginyeria Ambiental. Aprofitament energètic de residus orgànics. Lleida, 27-29 octubre (1-21), (1997).
2. Salazar C., López A. y Cano J. Efecto del pH y la temperatura en la hidrólisis enzimática de subproductos de la industria bovina. Revista Lasallista de Investigación, Vol. 9, No. 2, (2012), 26-32.
3. Bailach C., Fuster L., Yúsá D., Talens P. y Vicente-Palomino S. Gelatinas y colas para el uso en tratamientos de restauración. Estado de la cuestión. Arché. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV, No. 6 y 7, (2011-2012), 17-22.
4. González R., Ferreira A., Noris K. y Feijoo J. Caracterización de la interacción colágeno-hidroxiapatita. Revista Iberoamericana de Polímeros, Vol. 9, No. 3, (2008), 300-302.

5. Morrison R. y Boyd R. Química Orgánica. Quinta Edición. Pearson Educación: México. (1998).
6. Sindoni M., Caldera E., Pérez A., Marcano L., Parra R. y Marcano C. Evaluación de agentes coagulantes para la formulación de jugo a partir de pseudofrutos de merey. *Agronomía Tropical*, Vol. 57, No. 1, (2007), 61-65.
7. Piazza J. y García A. Meat & bone meal extract and gelatin as renewable flocculants. *Bioresource Technology*, Vol. 101, No. 2, (2010), 781-787.
8. Mendoza I., Fernández N., Ettiene G. y Díaz A. Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de aguas. *Revista Ciencia*, Vol. 8, No. 2, (2000), 235-242.
9. Caldera Y., Mendoza I., Briceño L., García J., Fuentes L. Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, Vol. 41, No. 42, (2007), 244-254.
10. Fuentes L., Mendoza I., López A., Castro M. y Urdaneta C. Efectividad un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, Vol. 34, No. 1, (2011), 48-56.
11. Fuentes L., Mendoza I., Díaz P., Fernández Y., Zambrano A. y Villegas Z. Potencial coagulante de la tuna *Opuntia cochinellifera* (L.) Mill. (Cactaceae) en aguas para consumo humano. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, Vol. 46, No. 2, (2012), 173-187.
12. Parra Y., Cedeño M., García M., Mendoza I., González Y. y Fuentes L. Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) / (cactaceae). *REDIELUZ*, Vol. 1, No. 1, (2011), 27-33.
13. Mendoza I., Fuentes L., Caldera Y., Perdomo F., Suárez A., Mosquera N. y Arismendi H. Eficiencia de *Hylocereus lemairi* como coagulante-floculante en aguas para consumo humano. *Impacto Científico*, Vol. 3, No. 1, (2008), 53-69.
14. Martínez D., Chávez M., Díaz A., Chapín E. y Fernández N. Eficiencia del Cactus *Lefaria* para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, Vol. 26, No. 1, (2003), 27-33.
15. Fuentes L., Contreras W., Perozo R., Mendoza I. y Villegas Z. Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para el consumo humano. *Multi-ciencias*, Vol. 8, No. Extraordinario, (2008), 281-287.
16. Arboleda J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo I. Tercera edición Editorial Mc Graw Hill: Colombia. (1998).
17. APHA- AWWA-WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. (1998)
18. Gaceta Oficial de la República de Venezuela. Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. N° 36.395 del 13 de febrero. Caracas, Venezuela. (1998).
19. Merrit F. (1992). Manual del Ingeniero Civil. México: Mc Graw Hill. Interamericana.
20. Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Resolución Número 2115. Colombia. (2007).
21. González G., Chávez M., Mejías D., Mas y Rubí M., Fernández N. y León G. Uso del exudado gomoso producido por *Samanea saman* en la potabilización de las aguas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, Vol. 29, No. 1, (2006), 14-22.

22. Adejumo, M., Oloruntoba E. y Sridhar M. Use of *Moringa oleifera* (Lam.) seed powder as a coagulant for purification of water from unprotected sources in Nigeria. *European Scientific Journal*, Vol. 9, No. 24, (2013), 1857-1881.
23. Fatombi J., Aimé J., Aminou T., Lartiges B., Topanou N., Barres O. y Josse R. Flocculation of kaolinite suspensions in water by coconut cream casein. *Journal of Water Resource and Protection*, Vol. 3, No. 12, (2011), 918-924.