

# EVALUACIÓN DE COAGULANTES DE EXTRACTOS NATURALES DE *Moringa oleifera* Y *Jatropha curcas* EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAFÉ

Laura Vanessa Quintero Yepes\*; Nelson Rodríguez Valencia\*\*

---

**QUINTERO Y., L.V.; RODRÍGUEZ V., N. Evaluación de coagulantes de extractos naturales de *Moringa oleifera* y *Jatropha curcas* en las aguas residuales del café. Revista Cenicafé 69(1):68-82. 2018**

Se realizó la evaluación del efecto coagulante de los extractos de *Moringa oleifera* y *Jatropha curcas* sobre aguas residuales del café a pH original, después de realizarles un tratamiento primario y adicionando al tiempo hidróxido de calcio y el extracto natural, sobre las aguas residuales del café. Para los tratamientos evaluados con agua residual a una concentración de DQO de 12.500 ppm (valor mínimo de concentración proveniente del beneficio ecológico del fruto en tanques de fermentación) se determinó que no hubo diferencias estadísticas, a un grado de confiabilidad del 95% (prueba Tukey) en la remoción de DQO, para los tratamientos T6: Extracto de *J. curcas* + Ca(OH)<sub>2</sub> (3.000 ppm), T5: Extracto de *J. curcas* (1.500 ppm) + Ca(OH)<sub>2</sub> (2.600 ppm) y T4: Extracto de *J. curcas* (1.500 ppm); sin embargo, estos tres tratamientos fueron estadísticamente diferentes de T1: Tratamiento testigo con sulfato de aluminio y T2: Extracto de *M. oleifera* (4.000 ppm) + Ca(OH)<sub>2</sub> (2.600 ppm), aunque entre éstos no hubo diferencias estadísticas en las remociones de DQO. Para los tratamientos evaluados utilizando agua residual a una concentración de DQO de 25.000 ppm logró determinarse que no se presentaron diferencias estadísticas, a un grado de confiabilidad del 95%, en la remoción de DQO para los tratamientos T1: Tratamiento testigo con sulfato de aluminio y T3: Extracto de *M. oleifera* (5.000 ppm). Para todos los tratamientos evaluados se obtuvieron remociones superiores al 60% en la DQO.

**Palabras clave:** Tratamiento de aguas, contaminación hídrica.

---

## EVALUATION OF NATURAL EXTRACTS COAGULANTS OF *Moringa oleifera* AND *Jatropha curcas* IN COFFEE WASTEWATER

The evaluation of the coagulant effect of the *Moringa oleifera* and *Jatropha curcas* extracts on coffee wastewater was made in coffee wastewater at original pH after a primary treatment and adding, at the same time, calcium hydroxide and natural extract to the coffee wastewater. For the treatments evaluated with residual water at a COD concentration of 12,500 ppm (minimum value of concentration from the ecological process of the berries in fermentation tanks), there were no statistical differences in COD removal for T6: Extract of *J. curcas* + Ca (OH)<sub>2</sub> (3,000 ppm), T5: Extract of *J. curcas* (1,500 ppm) + Ca (OH)<sub>2</sub> (2,600 ppm), T4: Extract of *J. Curcas* (1,500 ppm). However, these three treatments were statistically different from T1: Control treatment with aluminum sulphate and T2: *M. oleifera* extract (4,000 ppm) + Ca (OH)<sub>2</sub> (2,600 ppm), although there were no statistical differences in COD removals between these two last treatments. For the treatments evaluated using wastewater at a COD concentration of 25,000 ppm there were no statistical differences in the removal of COD for T1: Control treatment with aluminum sulfate, and T3: *M. oleifera* extract (5,000 ppm). For all treatments evaluated, removals above 60% in COD were obtained.

**Keywords:** Water treatment, water pollution.

---

\*Asistente de Investigación e \*\*Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Poscosecha, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

Las aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café se caracterizan por tener una alta acidez (entre 110 y 220 mg NaOH/g DQO), valores de pH bajos (entre 3 y 4 unidades) y altas concentraciones de contaminación orgánica, expresada como DQO (entre 25.000 y 100.000 mg.L<sup>-1</sup>, dependiendo de la cantidad de agua utilizada en el beneficio del fruto de café) (11).

En Cenicafé, desde 1984, se han evaluado diferentes procesos físicos, químicos y biológicos, para disminuir la contaminación generada por las aguas residuales del café y obtener unos vertidos que cumplan con lo dispuesto por la normativa colombiana en el decreto 1594 de 1984 (vigente aún para vertimientos al suelo) y en la resolución 631 del 2015 (para vertidos a cuerpos de agua superficial).

Los resultados obtenidos en las investigaciones desarrolladas en Cenicafé establecen que, para la topografía colombiana y por costo-eficiencia, el mejor tratamiento para las aguas residuales del café es biológico, utilizando la digestión anaeróbica y empleando sistemas modulares para el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del café, SMTA (11).

Los altos tiempos de retención hidráulica en los SMTA (una semana), aunado a la gran sensibilidad del sistema biológico ante incrementos de cargas hidráulicas y cargas orgánicas y los altos tiempos requeridos para la recuperación del sistema (superiores a un mes) (11), han hecho necesaria la búsqueda de alternativas de tratamiento diferentes a los sistemas biológicos anaerobios.

Una de las alternativas que puede ser viable para la depuración de las aguas residuales del beneficio del café es el tratamiento químico por medio de procesos de coagulación-floculación con sales químicas, los cuales son procesos

de desestabilización química de las partículas coloidales, que se producen al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas, por medio de la adición de productos químicos (coagulantes), después de la desestabilización dichas partículas se aglomeran formando floculos que se sedimentan fácilmente (10).

Sin embargo, el tratamiento químico tiene altos costos y los productores que estén certificados con sellos ambientales no tienen permitido utilizar este tipo de productos químicos en sus procesos. Por ello, el uso de coagulantes naturales, obtenidos a partir de diferentes partes de diversas especies vegetales, los cuales ejercen un papel similar al de las sales químicas, se constituyen en una alternativa que debe ser estudiada y evaluada con el fin de satisfacer las necesidades tecnológicas de los caficultores, para el tratamiento de las aguas residuales.

Las evaluaciones de coagulantes naturales a base de especies vegetales se han concentrado principalmente en las especies de *Moringa oleifera* y *Opuntia ficus*, para el tratamiento de aguas residuales (8). Yongabi (9), reportó la capacidad coagulante y desinfectante de la *Moringa oleifera*, *Jatropha curcas* (piñón mexicano), *Pleurotus tuberregium sclerotium* (hongo basidiomiceto) e *Hibiscus sabdariffa* (rosa de Jamaica), comparándolas con el alumbre (sulfato de aluminio) en muestras de aguas residuales.

En Colombia, se ha evaluado la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de centrales de sacrificio. Los resultados demostraron la eficiencia de las semillas para remover la turbidez entre un 85,0% y 86,7%, mientras que la remoción de color alcanzó porcentajes entre 67,4% y 93,0%, con una aplicación de dosis de 7.500 mg.L<sup>-1</sup> a una concentración del 5% (5).

Para el caso de las aguas residuales del café, Gutiérrez *et al.* (4) evaluaron el efecto del polvo de semilla de *Moringa oleifera*, comparándola con sulfato de aluminio, encontrando que el polvo de la semilla de *Moringa oleifera* es más efectivo en la remoción de los diferentes parámetros fisicoquímicos. La dosis óptima encontrada en el estudio fue de 4 g por 600 mL de agua residual.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el uso de extractos naturales de dos especies vegetales con capacidad depurativa, como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales del café y comparar su eficiencia con la obtenida usando sales químicas, ya que utilizan el mismo principio de tratamiento (coagulación-floculación), valorando parámetros como la eficiencia de remoción de carga orgánica, en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendedos Totales (SST).

Para ello, se realizaron diferentes pruebas de tratamiento al agua residual del beneficio del café, utilizando extractos de dos especies vegetales, *Moringa oleifera* y *Jatropha curcas*. Se realizó la selección de las dosis óptimas, se determinó la carga orgánica (medida como DQO) del agua residual tratada y se comparó con la carga orgánica del agua residual sin tratamiento para determinar la eficiencia de remoción en cada uno de los tratamientos evaluados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el proceso de tratamiento de las aguas residuales del beneficio por medio del proceso de coagulación-floculación, se seleccionó la semilla de dos especies vegetales *Moringa oleifera* y *Jatropha curcas* como el órgano de mayor efecto coagulante (1, 4, 6, 7, 9).

Las semillas de *Jatropha* y de *Moringa* se sometieron a procesos de descascarado, secado a 30°C hasta peso constante, y molienda.

A las semillas secas y molidas se les realizó la extracción de grasas, por medio de un procedimiento de extracción sólido-líquido, en un equipo Soxhlet, usando etanol como solvente, a una concentración de 10% P/V (3), y se realizó la extracción del compuesto coagulante utilizando cloruro de sodio a una concentración de 1,0 N, sometiendo la muestra a un proceso de licuefacción y posterior filtración (6).

Se realizaron pruebas de coagulación con la semilla seca molida y con el extracto líquido obtenido después de realizar la extracción del compuesto coagulante, se evaluó el efecto sobre las aguas residuales a pH original, después de realizar el tratamiento primario con  $\text{Ca(OH)}_2$  y adicionando al tiempo el extracto y el hidróxido de calcio.

La evaluación del efecto coagulante de los extractos se hizo mediante el test de jarras; para ello se aplicó el extracto en 500 mL de agua residual (unidad experimental) y se realizó una agitación a 120 rpm durante 5 min, seguidamente se agitó a 60 rpm durante 25 min y, finalmente, se dejó sedimentar (a temperatura ambiente) por 24 h. Después de este proceso se determinó la absorbancia (por espectrofotometría), a una muestra de 25 mL. Por cada dosis evaluada se tuvieron diez unidades experimentales. Se utilizó como testigo un coagulante químico (sulfato de aluminio), utilizando el mismo procedimiento de aplicación que para el extracto natural y tipo de agua residual.

Una vez realizadas las pruebas con las dos especies vegetales y en cinco dosis diferentes, se seleccionó la dosis óptima para cada extracto y el procedimiento adecuado

para su aplicación, esta selección se realizó teniendo en cuenta la absorbancia (variable de interés).

Finalmente, a las muestras de agua tratada que presentaron los menores valores de absorbancia se les realizó la determinación de la DQO (ppm) y de los SST (ppm).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada una de las evaluaciones realizadas

### **Evaluación del efecto de la semilla seca y molida de *M. oleifera*, sin extracción de grasas y del compuesto coagulante, en el tratamiento del agua residual del café a diferentes condiciones.**

Inicialmente, los ensayos se realizaron a una concentración de 12.500 ppm como DQO, con el fin de determinar la metodología apropiada para realizar la aplicación y así realizar la experimentación a una concentración más alta (25.000 ppm como DQO).

### **Tratamiento del agua residual pH original.**

La primera prueba se realizó aplicando el polvo de *M. oleifera* sobre el agua residual del beneficio del café a pH original, pero no se observó acción coagulante (Tabla 1), lo anterior dado que el pH del agua residual del café es ácido y el rango óptimo de acción de la *M. oleifera* se encuentra en valores de pH entre 6,0 y 9,0 (6).

**Tratamiento del agua residual proveniente del tratamiento primario.** La segunda evaluación se realizó al agua tratada, separada por sedimentación proveniente del tratamiento primario (2). En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en esta etapa. En las evaluaciones realizadas se encontró que los

menores valores de absorbancia se presentaron cuando se utilizó una dosis de *M. oleifera* entre 6.000 y 6.800 ppm, con unos valores de absorbancia de 0,157 y 0,156 y valores de pH de 4,94 y 4,91, respectivamente.

### **Tratamiento del agua residual con la mezcla de hidróxido de calcio y *M. oleifera*.**

La tercera evaluación se realizó aplicando el hidróxido de calcio y la *M. oleifera* en una sola etapa. Para las dosis de hidróxido se tomó como referencia lo encontrado en investigaciones de Cenicafé (2). Teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 3, cuando se utiliza una mezcla de hidróxido de calcio con la semilla de *M. oleifera* seca y molida, para el tratamiento de aguas residuales del beneficio del café, a una concentración de 12.500 ppm como DQO, las dosis óptimas para el tratamiento son 2.600 ppm de hidróxido de calcio y 4.000 ppm de moringa. En la Figura 1 se observa el aspecto del agua después de realizar el tratamiento.

### **Evaluación del efecto del extracto líquido de *M. oleifera* después de realizar la extracción de grasas y del compuesto coagulante, en el tratamiento del agua residual del café a diferentes condiciones**

La cuarta evaluación consistió en utilizar el extracto líquido de *M. oleifera* después de realizar los procedimientos de extracción de grasas y tratamiento salino, para ello se utilizó el agua residual proveniente del tratamiento primario y el agua original, realizando la mezcla del extracto con el hidróxido de calcio a una concentración de 2.600 ppm.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 4, cuando se utilizó el extracto de *M. oleifera* sobre el agua residual proveniente del tratamiento primario las menores absorbancias se presentaron a una dosis de 3.000 ppm (0,442

**Tabla 1.** Prueba de coagulación con moringa a pH original.

| Dosis<br>Moringa (ppm) | pH (unidades) |          | Absorbancia (unidades) |          | Turbidez (FTU) |          |
|------------------------|---------------|----------|------------------------|----------|----------------|----------|
|                        | Promedio      | C.V. (%) | Promedio               | C.V. (%) | Promedio       | C.V. (%) |
| 2.000                  | 4,12          | 3,60     | 1,623                  | 3,17     | 1.028          | 2,73     |
| 4.000                  | 3,89          | 2,89     | 1,793                  | 2,71     | 1.031          | 3,82     |
| 6.000                  | 3,59          | 1,53     | 2,027                  | 4,44     | 1.101          | 6,12     |

Datos promedio de diez réplicas. C.V.: Coeficiente de Variación

**Tabla 2.** Pruebas de coagulación con el agua residual proveniente del tratamiento primario.

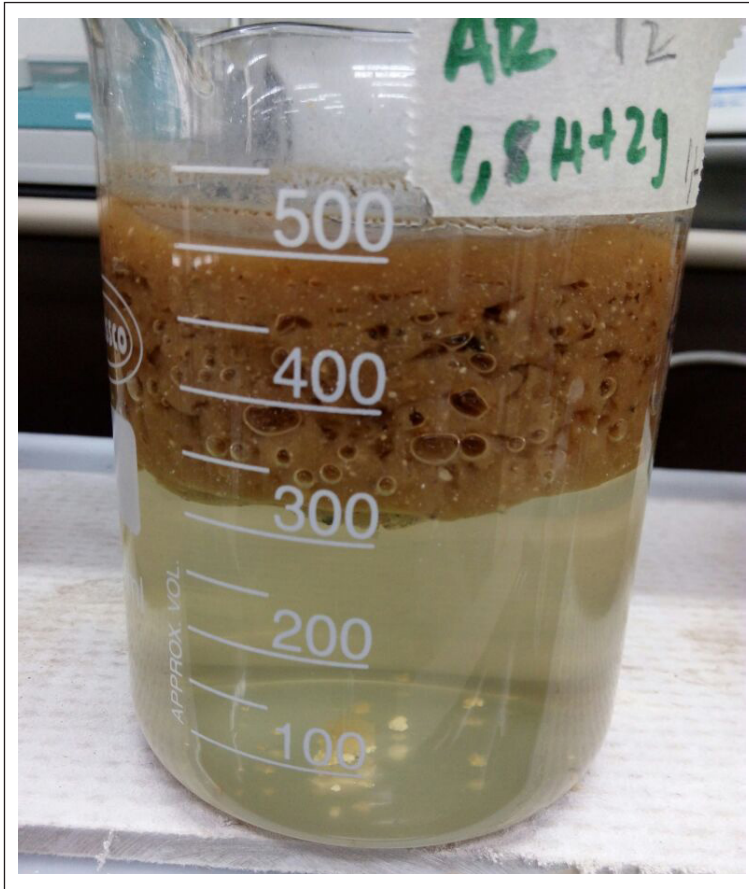
| Dosis<br>Moringa (ppm) | pH (unidades) |          | Absorbancia (unidades) |          | Turbidez (FTU) |          |
|------------------------|---------------|----------|------------------------|----------|----------------|----------|
|                        | Promedio      | C.V. (%) | Promedio               | C.V. (%) | Promedio       | C.V. (%) |
| 3.000                  | 6,18          | 0,43     | 0,498                  | 1,93     | 172            | 4,44     |
| 4.000                  | 5,86          | 0,87     | 0,310                  | 3,97     | 152            | 6,93     |
| 4.800                  | 5,51          | 0,76     | 0,258                  | 2,96     | 144            | 5,67     |
| 5.200                  | 5,47          | 0,62     | 0,191                  | 1,48     | 113            | 6,27     |
| 5.600                  | 5,14          | 1,18     | 0,166                  | 3,08     | 93             | 7,90     |
| 6.000                  | 4,94          | 0,65     | 0,157                  | 2,22     | 70             | 6,43     |
| 6.800                  | 4,91          | 0,67     | 0,156                  | 2,41     | 69             | 6,38     |
| 7.600                  | 4,76          | 0,57     | 0,169                  | 1,72     | 77             | 4,40     |
| 8.000                  | 4,57          | 1,21     | 0,189                  | 2,63     | 99             | 5,90     |
| 8.400                  | 4,44          | 0,85     | 0,275                  | 1,91     | 137            | 7,50     |

Datos promedio de diez réplicas. C.V.: Coeficiente de Variación

**Tabla 3.** Resultados de la evaluación utilizando la mezcla de hidróxido de calcio - Ca(OH)<sub>2</sub> y *M. oleifera*.

| Dosis<br>Hidróxido de calcio (ppm) | Moringa (ppm) | pH (unidades) |          | Absorbancia (unidades) |          | Turbidez (FTU) |          |
|------------------------------------|---------------|---------------|----------|------------------------|----------|----------------|----------|
|                                    |               | Promedio      | C.V. (%) | Promedio               | C.V. (%) | Promedio       | C.V. (%) |
| 2.600                              | 2.000         | 5,82          | 0,95     | 0,252                  | 2,88     | 109            | 8,16     |
|                                    | 3.000         | 5,74          | 1,45     | 0,291                  | 2,65     | 113            | 8,62     |
|                                    | 4.000         | 5,75          | 1,27     | 0,153                  | 6,56     | 49             | 6,20     |
|                                    | 5.000         | 5,63          | 0,92     | 0,230                  | 5,37     | 80             | 6,59     |
|                                    | 5.500         | 5,11          | 1,47     | 0,610                  | 2,29     | 235            | 4,83     |
| 3.000                              | 2.000         | 5,87          | 1,55     | 0,439                  | 4,85     | 164            | 4,07     |
|                                    | 3.000         | 5,78          | 0,71     | 0,296                  | 2,09     | 142            | 3,84     |
|                                    | 4.000         | 5,76          | 1,24     | 0,197                  | 1,77     | 69             | 5,09     |
|                                    | 5.000         | 5,67          | 1,51     | 0,250                  | 4,65     | 135            | 3,28     |
|                                    | 5.500         | 5,29          | 3,54     | 0,552                  | 3,95     | 162            | 6,42     |

Datos promedio de diez réplicas. C.V.: Coeficiente de Variación



**Figura 1.** Aspecto del agua residual del café tratada, adicionando hidróxido de calcio y *M. oleifera*.

**Tabla 4.** Resultados de la evaluación utilizando el extracto líquido de *M. oleifera*.

| Tipo de agua                                     | Dosis         | pH (unidades) |          | Absorbancia (unidades) |          | Turbidez (FTU) |          |
|--------------------------------------------------|---------------|---------------|----------|------------------------|----------|----------------|----------|
|                                                  | Moringa (ppm) | Promedio      | C.V. (%) | Promedio               | C.V. (%) | Promedio       | C.V. (%) |
| Agua residual después del tratamiento primario   | 1.000         | 5,69          | 0,37     | 0,908                  | 1,07     | 300            | 3,86     |
|                                                  | 2.000         | 5,54          | 0,45     | 0,831                  | 1,60     | 259            | 10,29    |
|                                                  | 2.500         | 5,39          | 0,28     | 0,499                  | 0,68     | 206            | 4,22     |
|                                                  | 3.000         | 5,20          | 0,42     | 0,442                  | 0,87     | 154            | 5,19     |
|                                                  | 3.500         | 4,97          | 0,84     | 0,584                  | 0,46     | 260            | 6,87     |
| Agua residual + 2.600 ppm de hidróxido de calcio | 1.000         | 5,52          | 0,36     | 0,420                  | 0,34     | 164            | 5,35     |
|                                                  | 2.000         | 5,31          | 0,34     | 0,376                  | 0,95     | 109            | 3,74     |
|                                                  | 2.500         | 5,18          | 0,53     | 0,170                  | 0,79     | 96             | 3,24     |
|                                                  | 3.000         | 4,99          | 0,49     | 0,153                  | 1,51     | 69             | 7,87     |
|                                                  | 3.500         | 4,53          | 0,72     | 0,199                  | 0,83     | 108            | 5,61     |

Datos promedio de diez réplicas. C.V.: Coeficiente de Variación

en promedio). Sin embargo, el aspecto del agua seguía siendo turbio (164 NTU en promedio).

Cuando se aplicó el extracto líquido mezclado con el hidróxido de calcio los menores valores de absorbancia (0,153 en promedio) se presentaron a una dosis de 3.000 ppm, con valores promedio de pH y turbidez de 4,99 y 69 NTU, respectivamente.

Después de evaluar las diferentes metodologías de aplicación del coagulante obtenido de la semilla de *M. oleifera*, se encontró que la metodología más apropiada es la adición de hidróxido de calcio (a una dosis de 2.600 ppm), agitación y seguidamente, la adición de la semilla seca y molida de *M. oleifera*, ya que para estas condiciones se presentaron los menores valores de absorbancia y turbidez. La efectividad del tratamiento se explica por el acondicionamiento del pH (a valores óptimos para el funcionamiento del coagulante), y al posible efecto floculante del material

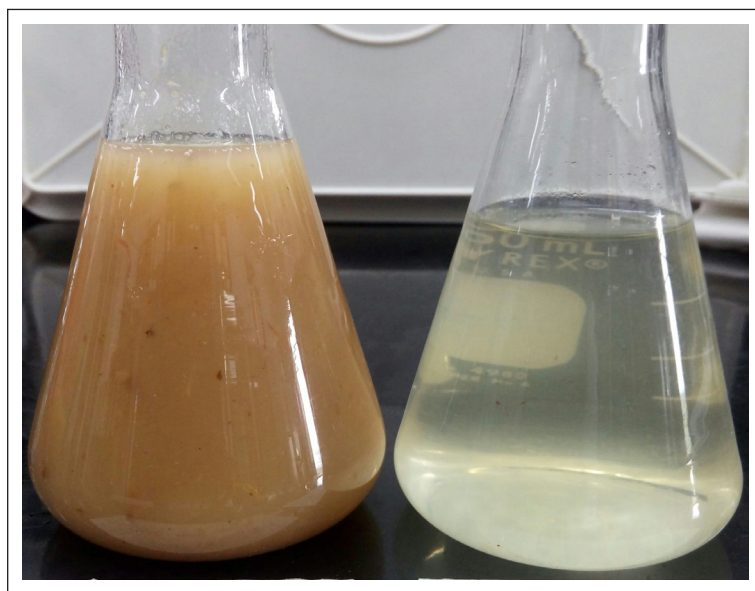
inerte, aún en suspensión, que acompaña al hidróxido de calcio utilizado.

### **Tratamiento del agua residual a una concentración de 25.000 ppm como DQO.**

Para el agua residual a una concentración de 25.000 ppm se realizó la evaluación adicionando hidróxido de calcio, agitando y seguidamente agregando la semilla seca y molida de *M. oleifera*, dado que fue la metodología que presentó los mejores resultados cuando se realizó la evaluación a una concentración de 12.500 ppm.

En la Figura 2 se presenta el aspecto del agua residual antes y después de realizar el tratamiento con *M. oleifera*, en las condiciones óptimas.

Se evaluaron dos dosis de hidróxido de calcio, tomando como referencia los resultados del tratamiento primario (2), y se evaluaron cinco dosis de *M. oleifera*, con diez repeticiones para cada una.



**Figura 2.** Aspecto del agua residual del café a 25.000 ppm de DQO antes y después del tratamiento.

En la Tabla 5 presentan los resultados obtenidos para las evaluaciones realizadas al agua a una concentración de 25.000 ppm de DQO.

Cuando se utiliza agua residual del beneficio del café a una concentración de 25.000 ppm como DQO, la dosis óptima para el tratamiento son 4.600 ppm de hidróxido de calcio y 5.000 ppm de semilla de moringa seca y molida.

**Evaluación del efecto del extracto líquido de *J. curcas*, después de realizar la extracción de grasas y del compuesto coagulante, en el tratamiento del agua residual del café a diferentes condiciones**

Para el caso de *J. curcas* se evaluó únicamente el extracto líquido, debido a que cuando se realizaron las pruebas con el polvo seco y molido, éste no se diluyó en el agua residual, por lo tanto, no se presentó algún cambio en las características del agua. Las evaluaciones se realizaron sobre aguas residuales del beneficio del café en dos concentraciones

(12.500 y 25.000 ppm como DQO), se evaluó el efecto sobre el agua residual al pH original y con la adición de hidróxido de calcio a dos concentraciones diferentes, tomando como referencia los resultados del tratamiento primario, en este caso se agregó el hidróxido de calcio al tiempo con el extracto de *J. curcas*, dado que el efecto coagulante de la *J. curcas* se presenta a pH ácidos (1).

En Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos en las evaluaciones de coagulación de *J. curcas* para el agua residual a una concentración de 12.500 ppm.

Según los resultados presentados cuando se aplica el extracto de *J. curcas* al agua residual a pH original, los menores valores de absorbancia (0,516 en promedio) se obtuvieron a una dosis de 1.500 ppm, con un valor promedio de pH del agua residual tratada de 3,55.

Cuando se aplica el extracto de *J. curcas* al tiempo con hidróxido de calcio, a una dosis de hidróxido 2.600 ppm, los menores valores

**Tabla 5.** Resultados de la evaluación utilizando la mezcla del hidróxido de calcio y moringa con agua residual del café a 25.000 ppm.

| Dosis                     |               | pH (unidades) |          | Absorbancia (unidades) |          | Turbidez (FTU) |          |
|---------------------------|---------------|---------------|----------|------------------------|----------|----------------|----------|
| Hidróxido de calcio (ppm) | Moringa (ppm) | Promedio      | C.V. (%) | Promedio               | C.V. (%) | Promedio       | C.V. (%) |
| 4.000                     | 3.000         | 5,79          | 0,78     | 0,489                  | 1,88     | 165            | 4,06     |
|                           | 4.000         | 5,68          | 0,82     | 0,463                  | 1,62     | 160            | 3,39     |
|                           | 5.000         | 5,65          | 0,81     | 0,381                  | 4,03     | 137            | 3,03     |
|                           | 5.500         | 5,50          | 1,15     | 0,160                  | 3,04     | 69             | 7,79     |
|                           | 6.000         | 5,29          | 0,73     | 0,322                  | 2,84     | 87             | 3,34     |
| 4.600                     | 3.000         | 5,90          | 0,80     | 0,476                  | 1,14     | 187            | 2,23     |
|                           | 4.000         | 5,84          | 0,83     | 0,367                  | 2,41     | 158            | 2,83     |
|                           | 5.000         | 5,68          | 0,82     | 0,124                  | 3,54     | 67             | 5,86     |
|                           | 5.500         | 5,60          | 0,75     | 0,192                  | 2,76     | 91             | 6,33     |
|                           | 6.000         | 5,41          | 1,46     | 0,437                  | 5,67     | 197            | 5,38     |

Datos promedio de diez réplicas. C.V.: Coeficiente de Variación



**Tabla 6.** Resultados de la evaluación del efecto coagulante de *J. curcas* sobre agua residual a 12.500 ppm.

| Dosis                     |                | pH (unidades) |          | Absorbancia (unidades) |          | Turbidez (FTU) |          |
|---------------------------|----------------|---------------|----------|------------------------|----------|----------------|----------|
| Hidróxido de calcio (ppm) | Jatropha (ppm) | Promedio      | C.V. (%) | Promedio               | C.V. (%) | Promedio       | C.V. (%) |
| 0                         | 500            | 3,58          | 2,23     | 1,755                  | 4,20     | 698            | 10,95    |
|                           | 1.000          | 3,59          | 1,16     | 0,891                  | 1,15     | 225            | 6,70     |
|                           | 1.500          | 3,55          | 1,93     | 0,516                  | 2,65     | 129            | 3,04     |
|                           | 2.000          | 3,43          | 1,59     | 0,644                  | 1,29     | 147            | 4,08     |
|                           | 2.500          | 3,29          | 0,57     | 0,873                  | 0,69     | 284            | 7,26     |
| 2.600                     | 500            | 5,70          | 0,74     | 0,891                  | 1,81     | 284            | 5,74     |
|                           | 1.000          | 5,49          | 0,26     | 0,546                  | 0,85     | 154            | 7,96     |
|                           | 1.500          | 5,30          | 0,28     | 0,545                  | 1,35     | 151            | 7,77     |
|                           | 2.000          | 4,65          | 1,46     | 0,783                  | 0,96     | 238            | 2,04     |
|                           | 2.500          | 3,42          | 1,00     | 1,267                  | 0,69     | 726            | 1,44     |
| 3.000                     | 500            | 5,89          | 0,82     | 0,955                  | 1,63     | 314            | 2,93     |
|                           | 1.000          | 5,58          | 0,64     | 0,444                  | 1,69     | 135            | 3,18     |
|                           | 1.500          | 5,47          | 0,63     | 0,434                  | 1,77     | 135            | 2,14     |
|                           | 2.000          | 5,13          | 1,11     | 0,681                  | 0,52     | 168            | 1,20     |
|                           | 2.500          | 4,96          | 1,33     | 0,794                  | 0,68     | 178            | 2,38     |

Datos promedio de diez réplicas. C.V.: Coeficiente de Variación

promedio de absorbancia (0,546 y 0,545) se obtuvieron a una dosis de *J. curcas* entre 1.000 y 1.500 ppm, con valores promedio del pH en el agua residual tratada de 5,49 y 5,30, respectivamente.

En la evaluación, utilizando hidróxido de calcio a 3.000 ppm, se observó que los menores valores promedio de absorbancia (0,444 y 0,434) se obtienen a una dosis de *J. curcas* entre 1.000 y 1.500 ppm, con valores de pH del agua residual tratada de 5,58 y 5,47 respectivamente.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, es más apropiado aplicar el extracto de jatropha en una mezcla con hidróxido de calcio, debido al posible efecto floculante del material inerte, aún en suspensión, que acompaña al hidróxido de calcio utilizado, el cual ejerce un efecto floculante sobre el agua residual y hace que precipiten fácilmente los sólidos, además de ello se

forma un precipitado más denso que facilita su separación.

#### **Tratamiento del agua residual a una concentración de 25.000 ppm como DQO.**

Finalmente se evaluó el efecto del extracto de *J. curcas* sobre agua residual del beneficio del café a una concentración de 25.000 ppm, a las mismas condiciones descritas anteriormente para el agua residual a 12.500 ppm.

De acuerdo a los resultados obtenidos, cuando se utiliza *J. curcas* para el tratamiento de aguas residuales a una concentración de 25.000 ppm, a su pH original, los menores valores de absorbancia se presentaron a una dosis de 2.500 ppm (0,628 en promedio), con un pH promedio del agua residual tratada de 3,41.

Cuando se utiliza la mezcla de *J. curcas* con hidróxido de calcio a una concentración de 4.000 ppm, la dosis de *J. curcas* a la

**Tabla 7.** Resultados de la evaluación del efecto coagulante de *J. curcas* sobre agua residual del café a 25.000 ppm.

| Dosis                     |                | pH (unidades) |          | Absorbancia (unidades) |          | Turbidez (FTU) |          |
|---------------------------|----------------|---------------|----------|------------------------|----------|----------------|----------|
| Hidróxido de calcio (ppm) | Jatropha (ppm) | Promedio      | C.V. (%) | Promedio               | C.V. (%) | Promedio       | C.V. (%) |
| 0                         | 1.500          | 3,57          | 0,70     | 0,987                  | 0,24     | 291            | 0,97     |
|                           | 2.000          | 3,50          | 0,40     | 0,670                  | 0,69     | 193            | 1,60     |
|                           | 2.500          | 3,41          | 0,57     | 0,628                  | 0,46     | 186            | 1,29     |
|                           | 3.000          | 3,37          | 0,61     | 0,790                  | 0,22     | 223            | 4,46     |
|                           | 3.500          | 3,28          | 0,60     | 0,867                  | 0,55     | 249            | 2,01     |
| 4.000                     | 1.500          | 5,39          | 0,29     | 0,887                  | 0,50     | 183            | 2,63     |
|                           | 2.000          | 5,19          | 0,33     | 0,680                  | 0,56     | 147            | 3,41     |
|                           | 2.500          | 5,11          | 0,40     | 0,549                  | 0,53     | 110            | 8,43     |
|                           | 3.000          | 4,89          | 0,43     | 0,687                  | 0,63     | 127            | 4,56     |
|                           | 3.500          | 4,63          | 0,89     | 0,803                  | 1,28     | 205            | 2,86     |
| 4.600                     | 1.500          | 5,59          | 0,60     | 1,003                  | 0,66     | 280            | 2,36     |
|                           | 2.000          | 5,38          | 0,68     | 0,805                  | 0,52     | 261            | 3,46     |
|                           | 2.500          | 5,25          | 0,66     | 0,704                  | 1,14     | 198            | 3,52     |
|                           | 3.000          | 4,88          | 1,12     | 0,741                  | 0,37     | 209            | 2,37     |
|                           | 3.500          | 4,51          | 1,17     | 0,829                  | 0,40     | 234            | 2,53     |

Datos promedio de diez réplicas. C.V.: Coeficiente de Variación

cual se presentan los menores valores de absorbancia (0,549 en promedio) es de 2.500 ppm, con un valor final promedio de pH de 5,11. Para la mezcla utilizando 4.600 ppm de hidróxido de calcio, los menores valores de absorbancia (0,704 en promedio) se presentaron a la misma concentración de *J. curcas* que para 4.000 ppm.

En la Figura 3 se presenta el aspecto del agua residual después de realizar el tratamiento con *J. curcas* a las condiciones óptimas.

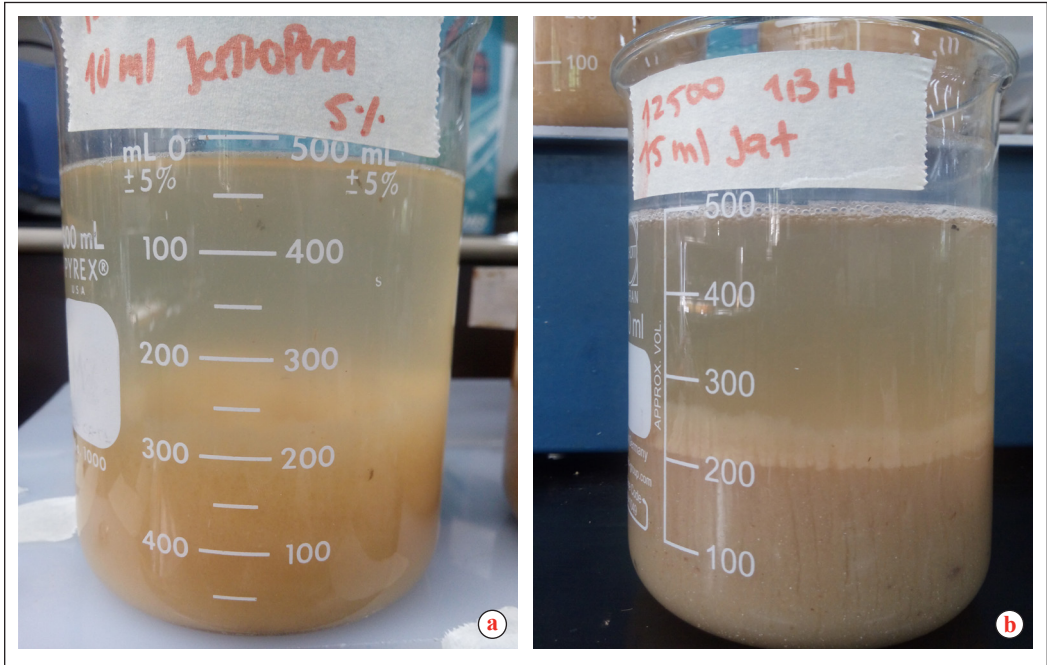
#### **Evaluación del efecto del sulfato de aluminio (testigo), en el tratamiento del agua residual del café a diferentes condiciones**

Para las evaluaciones con sulfato de aluminio se utilizaron las mismas condiciones que con los extractos naturales. En las evaluaciones realizadas con el agua proveniente del tratamiento primario (agua 12.500 ppm de DQO a la cual se le aplicó hidróxido de

calcio) se encontró que los menores valores de absorbancia (0,083 y 0,087 en promedio) se encuentran para una dosis entre 3.000 y 6.000 ppm, con unos valores promedio de pH del agua residual tratada entre 4,96 y 4,21.

En las pruebas de coagulación utilizando la mezcla de hidróxido de calcio y sulfato de aluminio, las menores absorbancias (entre 0,132 y 0,160) se presentan cuando se utilizó una dosis entre 400 y 800 ppm de sulfato de aluminio mezclada con hidróxido de calcio, en una concentración de 2.600 ppm.

De igual forma que con los coagulantes naturales, con el sulfato de aluminio se observó el efecto floculante del material inerte, aún en suspensión, que acompaña al hidróxido de calcio utilizado, el cual optimiza el tratamiento ya que se disminuyen la dosis utilizada en aproximadamente la quinta parte, comparadas con las empleadas para el agua residual proveniente del tratamiento primario.



**Figura 3.** Aspecto del agua residual tratada con el extracto de *J. curcas*. **a.** Jatropha en agua residual a pH original; **b.** Mezcla de Jatropha con hidróxido de calcio.

Finalmente, se realizó la evaluación con agua residual a una concentración de 25.000 ppm de DQO, utilizando la mezcla de sulfato de aluminio con hidróxido de calcio, a una concentración de 4.600 ppm, encontrando que las dosis óptimas del coagulante químico para el agua residual, a una concentración de 25.000 ppm, están entre 1.000 y 1.500 ppm, ya que en este rango se presentaron los menores valores de absorbancia (0,217 a 0,202).

### Caracterización fisicoquímica del agua residual tratada

Una vez realizadas las pruebas de coagulación con cada una de las especies vegetales, se seleccionó la dosis óptima de coagulante, de acuerdo a los valores de absorbancia del agua residual tratada y ésta se caracterizó en los

parámetros: Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspending Totales (a la dosis óptima y a una dosis por encima y otra por debajo de la óptima). Las caracterizaciones también se realizaron al testigo (agua residual tratada con sulfato de aluminio), al agua residual proveniente del tratamiento primario y al agua residual sin tratamiento.

### Resultados del tratamiento con agua residual a 12.500 ppm de DQO.

De acuerdo a los resultados de las caracterizaciones realizadas, se encontró que cuando se utilizó la semilla de *M. oleifera* seca y molida para tratar el agua proveniente del tratamiento primario se lograron remociones en la DQO entre 40,1% y 38,2% y en los SST entre 24,0% y 18,5%, con las mayores remociones cuando se utilizó una dosis de *M. oleifera* de 6.000 ppm. En cuanto al coagulante químico utilizado para

tratar el agua proveniente del tratamiento primario se obtuvo una remoción promedio de la DQO de un 57,8% y de los sólidos suspendidos del 23,0%.

Cuando se utilizó el polvo de *M. oleifera* mezclado con el hidróxido de calcio, para tratar las aguas residuales del beneficio del café, a una concentración de 12.500 ppm, las remociones promedio estuvieron entre 72,3% y 55,0% para la DQO y entre 93,5% y 83,0% para los SST. Las remociones mayores se presentaron para la mezcla de hidróxido de calcio, a una dosis de 2.600 ppm, con el extracto de *M. oleifera* (dosis de 4.000 ppm).

Según los resultados de la caracterización, cuando se realizó el tratamiento con el extracto de *J. curcas* al agua residual a una concentración de 12.500 ppm y a pH original, se obtuvieron remociones promedio en la DQO entre 78,0% y 67,7% y en los sólidos suspendidos entre 86,5% y 68,4%.

Cuando se realizó la mezcla de *J. curcas* con hidróxido de calcio, para tratar las aguas residuales a una concentración de 12.500 ppm, se obtuvieron remociones promedio de la DQO entre 79,2% y 70,1% y de sólidos suspendidos entre 71,5% y 88,6%, presentándose las remociones más altas cuando se utilizó una mezcla de hidróxido de calcio a una dosis de 3.000 ppm con el extracto de *J. curcas*, a una dosis de 1.500 ppm.

**Resultados de tratamiento con agua residual a 25.000 ppm de DQO.** En cuanto al tratamiento del agua residual del beneficio del café, a una concentración de 25.000 ppm de DQO, utilizando la semilla de *M. oleifera* mezclada con hidróxido de calcio, las remociones de la DQO estuvieron entre 77,3% y 68,5% y para los SST entre 92,2% y 82,7%. La dosis con la remoción más

alta estuvo constituida por 4.000 ppm de *M. oleifera* mezclada con 4.600 ppm de hidróxido de calcio.

Para el tratamiento del agua residual a pH original, con el extracto de *J. curcas* se presentaron remociones de DQO promedio entre 65,7% y 66,5% y de SST entre 85,4% y 84,9%.

Finalmente, cuando se realizó el tratamiento del agua residual a 25.000 ppm con la mezcla de hidróxido de calcio y el extracto de *J. curcas* se obtuvieron remociones promedio para la DQO entre 70,7% y 68,5% y para los SST entre 87,0% y 87,9%.

Las remociones promedio encontradas para el testigo (coagulante químico mezclado con el hidróxido de calcio) en el tratamiento del agua residual a 25.000 ppm de DQO fueron de 77,9% para la DQO y 88,2% para los SST.

#### **Análisis estadístico de los resultados obtenidos en los tratamientos óptimos de acuerdo a la absorbancia**

Se realizó un análisis de varianza con una confiabilidad del 95% (prueba Tukey) para las variables de interés: porcentaje de remoción de DQO y porcentaje de remoción de SST, para los tratamientos con menor absorbancia.

En las Tablas 8 a la 11 se presentan los tratamientos seleccionados y los resultados del análisis estadístico, tanto para el agua residual del café a concentraciones de DQO de 12.500 ppm como para 25.000 ppm.

**Resultados de los tratamientos utilizando agua residual con una DQO de 12.500 ppm.** De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Tabla 9), no se presentaron diferencias estadísticas en la

**Tabla 8.** Tratamientos evaluados para el agua residual del café a 12.500 ppm de DQO.

| <b>Tratamiento</b> |                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| T1                 | Testigo (sulfato de aluminio)                        |
| T2                 | Moringa (4.000 ppm)+Hidróxido de calcio (2.600 ppm)  |
| T3                 | Moringa (4.000 ppm)+Hidróxido de calcio (3.000 ppm)  |
| T4                 | Agua residual a pH original +Jatropha (1.500 ppm)    |
| T5                 | Jatropha (1.500 ppm)+Hidróxido de calcio (2.600 ppm) |
| T6                 | Jatropha (1.500 ppm)+Hidróxido de calcio (3.000 ppm) |

**Tabla 9.** Resultados del análisis de varianza para el agua residual del café a 12.500 ppm de DQO.

| <b>DQO</b>         |                              |             | <b>SST</b>         |                              |             |
|--------------------|------------------------------|-------------|--------------------|------------------------------|-------------|
| <b>Grupo Tukey</b> | <b>Remoción Promedio (%)</b> | <b>Tto.</b> | <b>Grupo Tukey</b> | <b>Remoción Promedio (%)</b> | <b>Tto.</b> |
| A                  | 78,77                        | T6          | A                  | 93,46                        | T2          |
| A                  | 78,37                        | T5          | A                  | 93,16                        | T1          |
| A                  | 77,91                        | T4          | B                  | 90,91                        | T3          |
| B                  | 71,99                        | T2          | C                  | 88,55                        | T6          |
| B                  | 71,91                        | T1          | C                  | 87,80                        | T5          |
| C                  | 64,30                        | T3          | D                  | 86,46                        | T4          |

**Tabla 10.** Tratamientos evaluados para el agua residual del café a 25.000 ppm de DQO.

| <b>Tratamiento</b> |                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| T1                 | Testigo (sulfato de aluminio)                        |
| T2                 | Moringa (5.500 ppm)+Hidróxido de calcio (4.000 ppm)  |
| T3                 | Moringa (5.000 ppm)+Hidróxido de calcio (4.600 ppm)  |
| T4                 | Agua residual a pH original +Jatropha (2.500 ppm)    |
| T5                 | Jatropha (2.500 ppm)+Hidróxido de calcio (4.000 ppm) |
| T6                 | Jatropha (2.500 ppm)+Hidróxido de calcio (4.600 ppm) |

**Tabla 11.** Resultados del análisis de varianza para el agua residual del café a 25.000 ppm de DQO.

| <b>DQO</b>         |                              |              | <b>SST</b>         |                              |              |
|--------------------|------------------------------|--------------|--------------------|------------------------------|--------------|
| <b>Grupo Tukey</b> | <b>Remoción Promedio (%)</b> | <b>Ttto.</b> | <b>Grupo Tukey</b> | <b>Remoción Promedio (%)</b> | <b>Ttto.</b> |
| A                  | 77,93                        | T1           | A                  | 92,17                        | T3           |
| A                  | 76,91                        | T3           | B                  | 91,17                        | T2           |
| B                  | 74,91                        | T2           | C                  | 88,50                        | T1           |
| C                  | 70,67                        | T5           | D                  | 87,65                        | T5           |
| D                  | 68,54                        | T6           | D                  | 87,33                        | T6           |
| E                  | 65,71                        | T4           | E                  | 84,86                        | T4           |

remoción de DQO para los tratamientos T6: *J. curcas* (1.500 ppm)+Hidróxido de calcio (3.000 ppm), remoción de DQO 78,77%; T5: *J. curcas* (1.500 ppm)+Hidróxido de calcio (2.600 ppm), remoción de DQO 78,37%; T4: *J. curcas* (1.500 ppm), remoción de DQO 77,91%. Estos tratamientos fueron estadísticamente diferentes del T2: *M. oleifera* (4.000 ppm)+Hidróxido de calcio (2.600 ppm) y del T1: Tratamiento Testigo con sulfato de aluminio; pero entre estos dos últimos tratamientos no hubo diferencias estadísticas, con un grado de confiabilidad del 95%.

Con estos resultados se establece como mejor tratamiento desde el punto de vista técnico (para el agua residual a 12.500 ppm) el T6: *J. curcas* (1.500 ppm)+Hidróxido de calcio (3.000 ppm), que si bien no muestra diferencias estadísticamente significativas con T5 y T4, mostró menores valores de absorbancia que T5 y obtener un precipitado más denso que el T4, permitiendo su separación final.

En cuanto a los resultados obtenidos para la remoción de SST (Tabla 9), no hubo diferencias estadísticas significativas, con un nivel de confiabilidad del 95%, para los tratamientos T2: *M. oleifera* (4.000 ppm)+Hidróxido de calcio (2.600 ppm), remoción de SST 93,46% y del T1: Tratamiento Testigo con sulfato de aluminio 93,16%, y los cuales fueron estadísticamente diferentes a los demás tratamientos evaluados, con remociones entre 86,46% (T4) y 90,91% (T3).

### **Resultados de los tratamientos utilizando agua residual con una DQO de 25.000 ppm.**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza para los tratamientos con agua residual a una concentración de 25.000 ppm (Tabla 11), no hubo diferencias estadísticas, con un grado de confiabilidad del 95%, en la remoción de DQO para

los tratamientos T1: Tratamiento Testigo con sulfato de aluminio, remoción de DQO 77,93% y T3: *M. oleifera* (5.000 ppm)+Hidróxido de calcio (4.600 ppm), remoción de DQO 76,91%; los cuales fueron estadísticamente diferentes a los demás tratamientos evaluados.

Se establece como mejor tratamiento desde el punto de vista técnico (para el agua residual a 25.000 ppm) el T3: *M. oleifera* (5.000 ppm)+Hidróxido de calcio (4.600 ppm). Con éste se obtuvo la remoción más alta en términos de DQO (76,91%) y no presentó diferencias significativas estadísticamente con el tratamiento testigo.

En cuanto a los resultados obtenidos para la remoción de SST (Tabla 11), se observan diferencias estadísticas, con un nivel de significancia del 95%, para los diferentes tratamientos evaluados, excepto entre T5: *J. curcas* (2.500 ppm)+Hidróxido de calcio (4.000 ppm), remoción de SST 87,65% y T6: *J. curcas* (2.500 ppm)+Hidróxido de calcio (4.600 ppm), remoción de SST 87,33%.

Gutiérrez y Mera (4) reportan dosis de moringa para el tratamiento de aguas residuales del café de 4 g en 600 mL (6.600 ppm), con remociones promedio en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de un 80,9%.

En este estudio puede concluirse que:

La mezcla de hidróxido de calcio con los extractos naturales hace más eficientes los tratamientos, debido a que permite acondicionar el pH a valores óptimos para el funcionamiento del coagulante. Adicionalmente, el material suspendido de la cal, aún sin disolver, favorece el proceso de floculación, logrando mayores eficiencias en el tratamiento de las aguas residuales.

El coagulante extraído de la semilla de *M. oleifera* no tiene algún efecto sobre las aguas residuales del café cuando éstas se encuentran a pH ácido (pH original del agua residual del café).

Para el caso de *J. curcas* debe aplicarse el extracto líquido después de la extracción de la grasa y el compuesto coagulante, debido a que cuando se aplica el polvo seco y molido éste no se diluye en el agua residual, por lo tanto, no se presenta algún cambio en las características del agua.

Para el tratamiento del agua residual del beneficio del café, a una concentración de 12.500 ppm, se encontró que con la mezcla de hidróxido de calcio con la semilla de *M. oleifera* seca y molida, las dosis óptimas para el tratamiento son 2.600 ppm (2,6 g.L<sup>-1</sup> de agua residual generada) de hidróxido de calcio y 4.000 ppm (4 g.L<sup>-1</sup> de agua residual generada) de *M. oleifera*. Para la mezcla de *J. curcas* con hidróxido de calcio, las condiciones óptimas se presentaron cuando se aplicó una dosis de 3.000 ppm (3 g.L<sup>-1</sup> de agua residual generada) de hidróxido de calcio mezclado con *J. curcas* a una concentración de 1.500 ppm (1,5 g.L<sup>-1</sup> de agua residual generada).

Para el tratamiento del agua residual del beneficio del café, a una concentración de 25.000 ppm como DQO, la dosis óptima es 4.600 ppm de hidróxido de calcio (4,6 g.L<sup>-1</sup> de agua residual generada) y 5.000 ppm (5 g.L<sup>-1</sup> de agua residual generada) de semilla de *M. oleifera* seca y molida. Para la mezcla hidróxido y *J. curcas* la dosis óptima encontrada fue de 4.000 ppm (4 g.L<sup>-1</sup> de agua residual generada) de hidróxido y 2.500 ppm (2,5 g.L<sup>-1</sup> de agua residual generada) de *J. curcas*.

## LITERATURA CITADA

1. ABIDIN, Z.Z.; SHAMSUDIN, N.S.M.; MADEHI, N.; SOBRI, S. Optimization of a method to extract the active coagulant agent from *Jatropha curcas* seeds for use in turbidity removal. *Industrial crops and products* 41:319-323. 2013.

2. CENICAFÉ. Informe anual. Manizales : Cenicafé, 2016. 132 p.
3. GARCÍA F., B. Metodología de extracción *in situ* de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial aplicación en países en vías de desarrollo. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia : Instituto de seguridad industrial, radiofísica y medioambiental, 2007. 121 p.
4. GUTIÉRREZ S., M.L.; MERA A., C.F. Evaluación del efecto coagulante y floculante de la semilla de Moringa (*Moringa oleifera*) como alternativa de manejo de aguas residuales en sistemas integrados de producción agropecuaria. Popayán : Universidad del Cauca, 2014. 90 p.
5. HERNÁNDEZ M., J.L.; CASTRO V., A.F. Determinación de la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* (mo) utilizada como sustancia coagulante en el proceso de coagulación/floculación de las aguas residuales de la central de sacrificio de la ciudad de Popayán, departamento del cauca. Popayán :, 2014. 103 p.
6. OKUDA, T.; BAES, A.U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water research* 35(2):405-410. 2001.
7. PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A.S.; O'NEILL, J.G. A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water: An alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and chemistry of the earth* 35(13):798-805. 2010.
8. YIN, C.Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process biochemistry* 45(9):1437-1444. 2010.
9. YONGABI, K.A. Studies on the potential use of medicinal plants and macrofungi (lower plants) in water and wastewater purification. Bauchi : International organization for biotechnology, 2004.
10. VARGAS C., M.; ROMERO E., L.G. Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología en marcha* 19(4):37-41. 2006.
11. ZAMBRANO F., D.A.; RODRÍGUEZ V., N. Sistemas para el tratamiento de aguas mieles: Investigación aplicada en beneficio de los productores cafeteros. Chinchiná : Cenicafé, 2008. 19 p.