

**COMPARACIÓN DE LA ACCIÓN COAGULANTE DEL MANHIDROX
RESPECTO AL SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B
EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL
BENEFICIADO HÚMEDO DEL CAFÉ**

**DIANA MARCELA GIRALDO CASTAÑO
ISABEL CRISTINA MONTOYA PINEDA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA
PEREIRA
2008**

**COMPARACIÓN DE LA ACCIÓN COAGULANTE DEL MANHIDROX
RESPECTO AL SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B
EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL
BENEFICIADO HÚMEDO DEL CAFÉ**

**DIANA MARCELA GIRALDO CASTAÑO
ISABEL CRISTINA MONTOYA PINEDA**

Trabajo de grado para optar al título de Tecnóloga Química

**Director
Ariel Felipe Arcila
Químico Industrial**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA
PEREIRA
2008**

NOTA DE ACEPTACIÓN TRABAJO DE GRADO

Comparación de la acción coagulante del Manhidrox respecto al sulfato de aluminio granulado tipo "B" en el tratamiento de las aguas residuales del beneficio húmedo del café.

Presentado por:

DIANA MARCELA GIRALDO CASTAÑO
ISABEL CRISTINA MONTOYA PINEDA

El suscrito director y jurados del presente trabajo de grado, una vez revisada la versión escrita y presenciado la sustentación oral, decidimos otorgar la nota de:

Con la connotación de: _____

Para la constancia firmamos en la ciudad de Pereira hoy _____

El director: _____
Nombre: Ariel Felipe Arcila

Jurado: _____
Nombre:

Pereira, Abril de 2008

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. JUSTIFICACIÓN	11
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. MARCO TEÓRICO	15
3.1 HISTORIA DEL CAFÉ	15
3.2 TAXONOMÍA Y ENTORNO DEL CAFÉ	16
3.3 EXPLOTACIÓN Y ECONOMÍA DEL CAFÉ EN COLOMBIA	21
3.4 BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ	22
3.5 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES	26
4. METODOLOGÍA	31
4.1 MUESTREO	31
4.2 REVISIÓN DE LOS PARÁMETROS A EVALUAR	31
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
5.1 CARACTERÍSTICAS DEL INSUMO USADO	35
5.2 DATOS DE MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA MUESTRA No.1	36
5.2.1 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 1 CON MANHIDROX	36
5.2.2 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 1 CON MANHIDROX SIN SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B	38
5.2.3 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 1 CON SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B	38

	Pág.
5.3 DATOS DE MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA MUESTRA No.2	40
5.3.1 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 2 CON MANHIDROX	40
5.3.2 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 2 CON MANHIDROX SIN SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B	41
5.3.3 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 2 CON SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B	42
5.4 DATOS DE MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA MUESTRA No.3	44
5.4.1 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 3 CON MANHIDROX	45
5.4.2 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 3 CON MANHIDROX SIN SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B	45
5.4.3 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 3 CON SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B	46
5.5 DATOS DE MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA MUESTRA No.4	48
5.5.1 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 4 CON MANHIDROX	48
5.5.2 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 4 CON MANHIDROX SIN SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B	49
5.5.3 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 4 CON SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B	50
6. GRÁFICOS	52
7. CONCLUSIONES	60
8. BIBLIOGRAFÍA	61
9. RECOMENDACIONES	63

LISTA DE TABLAS

	Pág.	
TABLA No. 1	Parámetros del vertimiento según decreto 1594 de 1984	31
TABLA No. 2	Métodos de Análisis.	32
TABLA No. 3	Especificaciones del Manhidrox.	35
TABLA No. 4	Especificaciones del Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B	35
TABLA No. 5	Especificaciones del Sulfato de Aluminio granulado tipo B	35
TABLA No. 6	Características iniciales de la muestra No. 1.	36
TABLA No. 7	Ensayo de jarras para la muestra No. 1 con Manhidrox.	37
TABLA No. 8	Parámetros finales de la muestra No. 1 con una concentración de 1000 mg/L de Manhidrox	37
TABLA No. 9	Ensayo de jarras para la muestra No. 1 con Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B	38
TABLA No. 10	Parámetros finales de la muestra No. 1 con una concentración de 1000 mg/L de Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B	38
TABLA No. 11	Ensayo de jarras para la muestra No. 1 con Sulfato de Aluminio granulado tipo B	38
TABLA No. 12	Parámetros finales de la muestra No. 1 con una concentración de 1000 mg/L de Sulfato de Aluminio granulado tipo B	39
TABLA No. 13	Porcentaje de remoción de la muestra No.1 para los tres coagulantes con una DQO inicial de 9128 mg O ₂ /L	39
TABLA No. 14	Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales De la muestra No.1 para los tres coagulantes con una Concentración inicial de SST de 3200 mg/L	39
TABLA No. 15	Características iniciales de la muestra No.2	40
TABLA No. 16	Ensayo de jarras para la muestra No. 2 con Manhidrox	41
TABLA No. 17	Parámetros finales de la muestra No. 2 con una concentración de 1000 mg/L de Manhidrox	41
TABLA No. 18	Ensayo de jarras para la muestra No. 2 con Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B.	41

	Pág.
TABLA No.19 Parámetros finales de la muestra No. 2 con una concentración de 600 mg/L de Manhídrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B	42
TABLA No. 20 Ensayo de jarras para la muestra No. 2 con Sulfato de Aluminio granulado tipo B.	42
TABLA No. 21 Parámetros finales de la muestra No. 2 con una concentración de 1000 mg/L de Sulfato de Aluminio granulado tipo B.	42
TABLA No. 22 Porcentaje de remoción de la muestra No.2 para los tres coagulantes con una DQO inicial de 8834 mg O ₂ /L	43
TABLA No. 23 Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos Totales, de la muestra No. 2 para los tres coagulantes con Una concentración inicial de SST de 3900 mg/L	43
TABLA No. 24 Características iniciales de la muestra No. 3	44
TABLA No. 25 Ensayo de jarras para la muestra No. 3 con Manhídrox	45
TABLA No. 26 Parámetros finales de la muestra No. 3 con una concentración de 1800 mg/L de Manhídrox	45
TABLA No. 27 Ensayo de jarras para la muestra No. 3 con Manhídrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B.	45
TABLA No. 28 Parámetros finales de la muestra No. 3 con una concentración de 1300 mg/L de Manhídrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B.	46
TABLA No. 29 Ensayo de jarras para la muestra No. 3 con Sulfato de Aluminio granulado tipo B.	46
TABLA No. 30 Parámetros finales de la muestra No. 3 con una concentración de 1800 mg/L de Sulfato de Aluminio granulado tipo B.	46
TABLA No. 31 Porcentaje de remoción de la muestra No.3 para los tres coagulantes con una DQO inicial de 6503 mg O ₂ /L.	47
TABLA No.32 Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos Totales, de la muestra No. 3 para los tres coagulantes Con una concentración inicial de SST de 2900 mg/L	47
TABLA No.33 Características iniciales de la muestra No.4.	48
TABLA No.34 Ensayo de jarras para la muestra No. 4 con Manhídrox.	48
TABLA No.35 Parámetros finales de la muestra No. 4 con una concentración de 3700 mg/L de Manhídrox.	49
TABLA No.36 Ensayo de jarras para la muestra No. 4 con Manhídrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B.	49

	Pág.
TABLA No.37 Parámetros finales de la muestra No. 4 con una concentración de 3400 mg/L de Manhidrox sin Sulfato de aluminio granulado tipo B.	49
TABLA No.38 Ensayo de jarras para la muestra No. 4 con Sulfato de Aluminio granulado tipo B.	50
TABLA No.39 Parámetros finales de la muestra No. 4 con una concentración de 3500 mg/L de Sulfato de Aluminio granulado tipo B.	50
TABLA No.40 Porcentaje de remoción de la muestra No.4 para los tres coagulantes con una DQO inicial de 9253 mg O ₂ /L.	50
TABLA No. 41 Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales, De la muestra No. 4 para los tres coagulantes con Una concentración inicial de SST de 3000 mg/L	51

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
GRÁFICO No.1 Ensayo de jarras con Manhidrox para la muestra No. 1.	52
GRÁFICO No.2 Ensayo de jarras con Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B para la muestra No.1	52
GRÁFICO No.3 Ensayo de jarras con Sulfato de Aluminio granulado tipo B para la muestra No. 1	53
GRÁFICO No.4 Ensayo de jarras con Manhidrox para la muestra No. 2.	53
GRÁFICO No.5 Ensayo de jarras con Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B para la muestra No.2.	54
GRÁFICO No.6 Ensayo de jarras con Sulfato de Aluminio granulado tipo B para la muestra No. 2	54
GRÁFICO No.7 Ensayo de jarras con Manhidrox para la muestra No. 3.	55
GRÁFICO No.8 Ensayo de jarras con Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B para la muestra No.3	55
GRÁFICO No.9 Ensayo de jarras con Sulfato de Aluminio granulado tipo B para la muestra No. 3.	56
GRÁFICO No.10 Ensayo de jarras con Manhidrox para la muestra No. 4.	56
GRÁFICO No.11 Ensayo de jarras con Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B para la muestra No. 4.	57
GRÁFICO No.12 Ensayo de jarras con Sulfato de Aluminio granulado tipo B para la muestra No. 4.	57
GRÁFICO No.13 Concentración de los tres coagulantes frente a la Demanda Química de Oxígeno para la muestra No. 1.	58

	Pág.
GRÁFICO No.14 Concentración de los tres coagulantes frente a la Demanda Química de Oxígeno para la muestra No. 2.	58
GRÁFICO No.15 Concentración de los tres coagulantes frente a la Demanda Química de Oxígeno para la muestra No. 3.	59
GRÁFICO No.16 Concentración de los tres coagulantes frente a la Demanda Química de Oxígeno para la muestra No.4.	59

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
IMAGEN No. 1 Coffe arábica	19
IMAGEN No. 2 Ramas y hojas de café robusta	20
IMAGEN No. 3 Despulpo o Descerezado del café	22
IMAGEN No. 4 Tanques para realizar la fermentación del café	23
IMAGEN No. 5 Método del tacto para determinar si el proceso de fermentación del café ha terminado.	23
IMAGEN No 6 Método del palo para determinar el momento de finalización del proceso de fermentación del café	24
IMAGEN No. 7 Proceso de lavado.	24
IMAGEN No. 8 Proceso del secado del café en patio	25
IMAGEN No. 9 Instrumento para ensayo de jarras	34

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se centra en la realización de múltiples ensayos de jarras con aguas residuales producto del beneficiado húmedo del café (específicamente de las aguas del lavado), con el fin de comparar la acción coagulante-floculante del Manhidrox respecto al sulfato de aluminio granulado tipo B, este último coagulante, comúnmente usado en el tratamiento de aguas residuales, además comparar el Manhidrox y el sulfato de aluminio granulado tipo B frente a la remoción de DBO₅, DQO, S.S.T, grasas y aceites respecto al decreto 1594 del Ministerio de Salud.

La realización de la parte práctica del proyecto se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Aguas de la Universidad Tecnológica de Pereira, efectuándose pruebas para determinar parámetros iniciales y finales de DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), SST (Sólidos Suspendidos Totales), pH, grasas y aceites.

En las gráficas se muestra la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como parámetro que determina el contenido de la materia orgánica químicamente oxidable, contra diferentes concentraciones del coagulante usado.

1. JUSTIFICACIÓN

La región cafetera fue el corazón económico del país a lo largo del siglo pasado debido a que está ubicada en el centro de la geografía productiva nacional y ha sido por seis décadas el gran proveedor de divisas para el desarrollo de Colombia, pero a pesar de sus grandes beneficios a nivel económico y ambiental, este último, debido a la protección de los recursos hídricos ya que las plantaciones cafetaleras actúan como embalses naturales favoreciendo la infiltración de agua de lluvia en el suelo, protección contra la erosión debido a que se favorece la infiltración de aguas de lluvia y efectos favorable sobre los suelos por el aporte continuo de materia orgánica (hojas y material leñoso), el cultivo de café también posee algunas desventajas ya que la carga contaminante que provoca el beneficiado del café es muy alta y acentuada debido a que el consumo de agua es bastante alto, además de generar tres tipos de contaminantes: aguas de despulpo, aguas de lavado, y la pulpa. El beneficio húmedo de un kilogramo de café provoca, mediante la generación de las aguas de lavado y despulpo una contaminación equivalente a la generada por 5,6 personas adultas durante un día [1]. Lo cual indica que la contaminación que se produce es muy acentuada.

La gran cantidad de desechos que se producen en el beneficiado del café es debido a que el café maduro presenta una composición en la cual el grano, que es la parte aprovechable para el procesamiento del café, representa el 20% del volumen total de la fruta, de manera tal que, el procesamiento de beneficiado genera un 80% de volumen procesado en calidad de desechos, cada uno en un grado diferente constituye un riesgo para el medio ambiente. Por lo tanto al finalizar con el proceso de beneficiado se encuentra con grandes cantidades de agua con altos contenidos de materia orgánica de origen inestable la cual debe pasar por un tratamiento previo antes de ser vertidos en cuerpos receptores o alcantarillados sanitarios [1].

El tratamiento de esta agua comprende varias etapas, entre ellas se encuentra la coagulación-floculación, que es un procedimiento que se lleva a cabo para eliminar los sólidos en suspensión, es decir para eliminar gran parte del material. La coagulación consiste en la adición de una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión, es decir hace que las partículas en suspensión que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, esta vez sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. Una vez se halla llevado a cabo la adición del coagulante se deriva el proceso de floculación que consiste en una agitación suave y lenta, esto con el fin de que las partículas entren más en contacto, para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración.

El coagulante usado generalmente en las plantas de tratamiento son las sales de aluminio y de hierro (coagulantes metálicos) debido a su bajo costo y fácil dominio. El Sulfato de Aluminio es un coagulante metálico el cual ha sido históricamente empleado en el tratamiento de las aguas producto del beneficiado del café, no solo como coagulante-floculante si no también en la clarificación del agua [2].

La empresa MINEROS DE SAN ANTONIO (Apia, Risaralda) desarrolló un producto denominado "Manhidrox", cuyo compuesto activo es manganato de sodio adicionado con 30% de sulfato de aluminio [3], al cual le confieren propiedades coagulantes y mejores resultados que los obtenidos con el sulfato de aluminio en el beneficiado del café.

Se tiene evidencia de que el manganato en el tratamiento de aguas ya ha sido útil; ya que posee propiedades como:

- Insoluble y floculante con propiedades adsorbentes frente a cationes pesados.
- Oxidante de la materia orgánica disuelta o en suspensión (fenoles, compuestos azufrados, ácidos húmicos, bases orgánicas, etc.) e insolubilizando metales pesados por oxidación a estados superiores de valencia en los que son insolubles.
- Eliminación de olores y sabores desagradables.

Además el Manganato por si solo contribuye a la coagulación, ya que el producto resultante en la reacción de desproporción del Manganato, el dióxido de Manganeso, como sustancia insoluble forma coágulos que pueden favorecer la precipitación de materias en suspensión y coloides en el agua [3].

El Sulfato de Aluminio se utiliza como coagulante de impurezas en disolución de todo tipo de aguas ya sea para uso industrial o domestico, además de su bajo costo, la función primordial del coagulante es la de suministrar iones capaces de neutralizar efectivamente las cargas eléctricas de la mayor parte del material coloidal existente en el agua y así causar su precipitación.

Lo que se busca con este proyecto, es llevar a cabo una comparación entre el Manhidrox y el Sulfato de Aluminio con el fin de minimizar los efectos negativos de esta actividad en nuestros recursos naturales.

El presente trabajo pretende evaluar la efectividad del Manhidrox en el tratamiento de aguas residuales producto del beneficio del café, basado en los parámetros que presenta el decreto 1594 que reglamente el uso de los cuerpos de agua (Ministerio de Salud decreto No 1594), tomando como referencia el trabajo de

grado sobre "Evaluación de la efectividad del Manhidrox en el tratamiento terciario de las aguas residuales de las porquizas" [3].

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la efectividad real del uso de Manhidrox (Manganato de Sodio, con 30% de Sulfato de Aluminio) frente al uso de Sulfato de Aluminio como coagulante en el tratamiento de aguas residuales producto del beneficiado húmedo del café (aguas del lavado).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las aguas residuales provenientes del lavado del café y realizar las determinaciones físico-químicas iniciales, para así llevar a cabo una comparación con las determinaciones físico-químicas finales de la respectiva muestra de agua. Una vez se haya realizado el tratamiento con el coagulante, ya sea Manhidrox o sulfato de aluminio.
- Comparar la acción coagulante del Manhidrox frente al sulfato de aluminio granulado tipo "B" que es el producto comúnmente usado como coagulante en la purificación de agua potable y agua residual.
- Determinar la cantidad de residuos solubles que permanecen en el sobrenadante, es decir en el líquido sedimentado, y verificar si son permitidos por el ministerio de salud, decreto No. 1594, y en el caso de ser permitidos por esta normatividad, establecer si la concentración de residuos presentes en el sobrenadante se encuentra dentro de los parámetros óptimos para ser vertidos en cuerpos receptores o alcantarillados sanitarios.
- Determinar la dosis adecuada del Manhidrox con respecto a la concentración de la DQO como parámetro que determina el contenido de la materia orgánica químicamente oxidable, para reducir la carga contaminante que se encuentra presente en las aguas producto del beneficiado húmedo del café, específicamente de las aguas del lavado.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 HISTORIA DEL CAFÉ.

El café proviene de la zona que hoy se conoce como Etiopía. De aquí se expandió a muchas zonas de África como Egipto incluyendo Yemen [4]. También se sabe que de Etiopía paso a Arabia y a la India, probablemente a través de peregrinos musulmanes que viajaban a la Meca. [5].

Pero quienes jugaron un papel muy importante en la difusión del café fueron los pueblos de religión y cultura musulmana, particularmente los árabes. En el Siglo XIV, los árabes llevan la planta a Yemen, donde aparecen las primeras plantaciones y descubren las virtudes y posibilidades económicas del café, ya que desarrollaron todo el proceso de cultivo y procesamiento del café y lo guardaron como un secreto (Historia del Café) [4], tanto así que guardaron sigilosamente las técnicas de cultivo y procuraron por todos los medios impedir la salida de las semillas [6].

Pero la expansión del café como cultivo la iniciaron los holandeses para no tener que depender mas de los árabes, lográndose esto a través de un comerciante holandés llamado Nicolás Witizen, después de muchos intentos, logró obtener unas semillas, las que llevó a la antigua Batavia (hoy Yakarta en Indonesia).

De esta forma Holanda llegó a dominar la producción mundial de café. Se cree que fueron los holandeses, quienes en 1714 trajeron las primeras semillas de café al nuevo mundo, en la Guayana Holandesa (hoy Surinam).

Existen varias versiones sobre la llegada del café a Colombia. Para algunos las primeras semillas o plantas entraron por el oriente a territorios de los departamentos de Norte de Santander y Santander, procedentes de Venezuela; para algunos otros, el cafeto llegó por la región de Urabá, desde Centro América. La versión mas autorizada sobre la plantación de las primeras semillas de café en territorio colombiano es la del sacerdote jesuita español José Gumilla, quien consigna en su obra "El Orinoco Ilustrado" la siembra de la planta en la misión Santa Teresa de Tabage, fundada por la compañía en la desembocadura del río Meta en el Orinoco, hacia 1730.

Son muchas las noticias de siembra de café en distintas regiones del país durante el siglo XVIII; el Virrey Caballero y Góngora, en carta de 1787, afirma que el café se produce bien en todas las regiones de Girón (Santander) y Muzo (Boyacá); sin embargo el cultivo industrial de la planta solo se inicio hacia la tercera década del siglo XIX ya que la primera exportación registrada por la cifra de 2.592 sacos de 60 kilos data del año 1835 [7].

Desde 1850 los dueños de los cultivos se encargaron de difundirlos a otras regiones del país. La difusión del café se facilitó mucho entre 1874 y 1900 después de la construcción del Ferrocarril de Antioquia, esto hizo mucho más fácil para los productores de café el transportar sus cultivos a través del país [8].

Colombia es rica en su diversidad en vegetación y minerales. No se necesitó mucho tiempo para darse cuenta de que el café era un producto imperativo para la economía colombiana. Fue a finales de los años 1800 que el café emergió como el principal producto de exportación de Colombia. Las ganancias del café ayudaron a levantar la economía, y el dinero recaudado se invirtió en el sector industrial. Otras exportaciones han permanecido en segundo plano, mientras que las correspondientes al café sumaron el 60% de las ganancias por exportaciones colombianas hasta finales de los años 1980 [4].

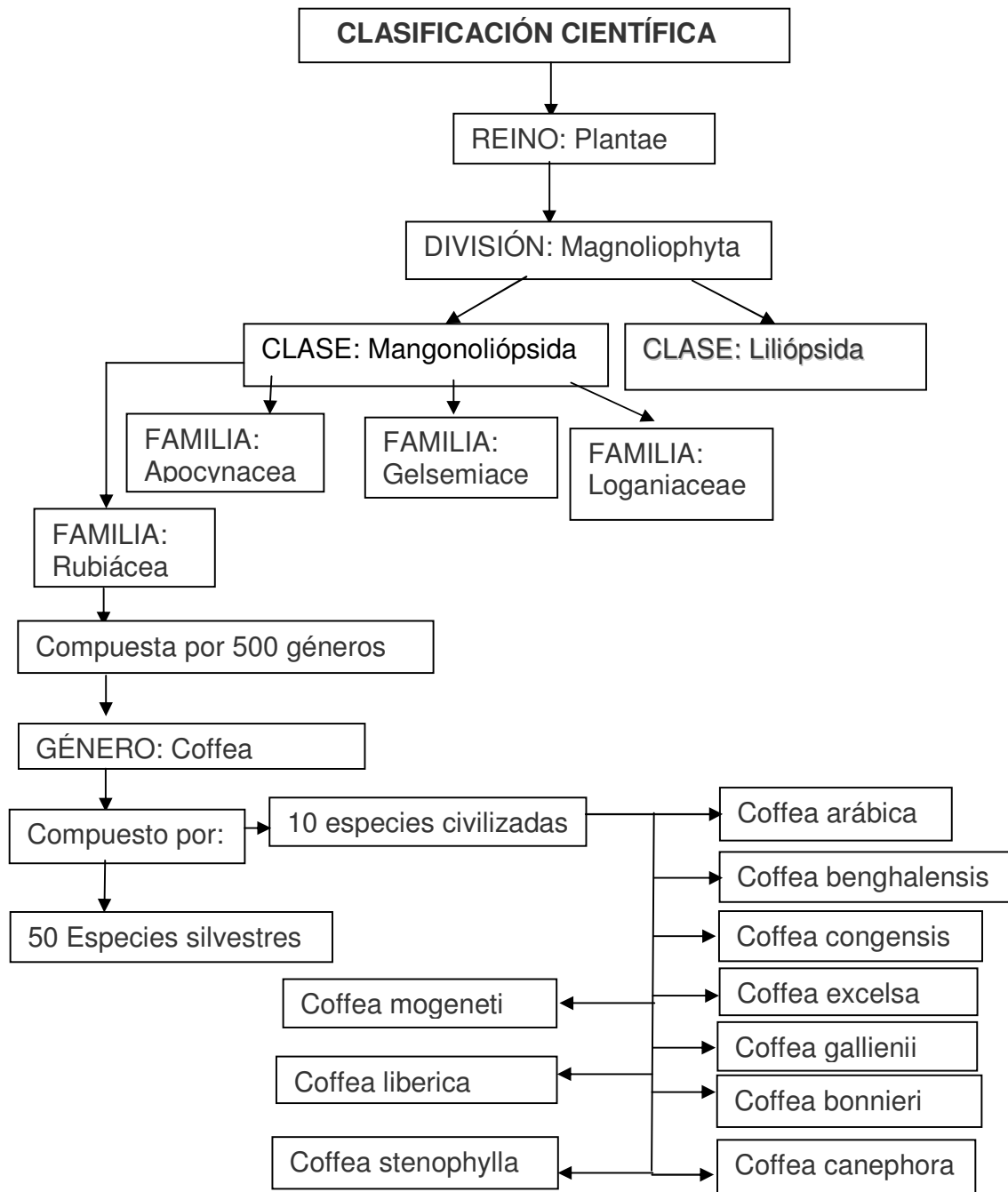
3.2 TAXONOMIA Y ENTORNO DEL CAFÉ

El cafeto o planta productora de café es un arbusto que se da en la región tropical de la tierra. Pertenece a la gran familia de las rubiáceas, muy numerosa ya que abarca 500 géneros y 8.000 especies [7]. Uno de esos 500 géneros de la familia rubiácea es la *Coffea*, que a su vez comprende 10 especies civilizadas, las cuales son cultivadas por el hombre y 50 especies silvestres.

Entre las especies civilizadas las más importantes son la *Coffea* Arábica L. y la canéfora o Robusta.

La especie Arábica L. fue clasificada por el botánico sueco Carlos de Linneo en el año de 1753 y a ella pertenece el 70% de los cafetales en el mundo.

El cafeto de la especie Arábica L. tiene numerosas variedades; de las que más se cultivan en Centro y Suramérica son la variedad típica, que es la variedad tipo de la especie; es decir la que tiene el mayor número de características que la distinguen; la variedad Borbón, la variedad Caturra y la variedad Maragogipe [9].



REINO PLANTAE:

El reino Plantae se refiere a los organismos eucariotas pluricelulares autótrofos, que presentan celularidad de tipo "vegetal", organizada en tejidos con especialización funcional.

El reino Plantae comprende los musgos, helechos, coníferas y plantas con flores, en una variedad que supera las 250.000 especies.

DIVISIÓN MAGNOLIOPHYTA:

Conocida también como Angiosperma, nombre común de la división o filo de plantas con flor, que constituyen la forma de vida vegetal dominante. Se conocen cerca de 230.000 especies, hay muchas todavía ignoradas. Aproximadamente las dos terceras partes de todas las especies son propias de los trópicos.

CLASE MAGNOLIÓPSIDA:

Es un taxón de plantas, cuya circunscripción (es decir, de que subtaxones esta compuesto) coincide con las dicotiledóneas, llamadas así por tener durante las primeras etapas del desarrollo dos cotiledones, siendo los cotiledones las hojas primordiales constitutivas de la semilla y se encargan de distintos tipos de reservas, como proteínas, lípidos y azúcares.

FAMILIA RUBIACEAE:

Son una familia de plantas llamadas normalmente la "familia del café". Es una gran familia que reúne unas 8000 especies distribuidas por toda la tierra, aunque tienen su máxima expresión en los trópicos, donde esta representada, sobre todo, por plantas leñosas.

GENERO COFFEA:

Son un género que contiene diez especies civilizadas y 50 especies silvestres nativas, estas plantas son nativas del sur de Asia y el África subtropical. Se cultivan extensamente por sus semillas o granos, ya que se utilizan tostados y molidos para la elaboración del café. La popularidad de éste hace que la importancia económica del cafeto sea extraordinaria, siendo uno de los productos vegetales más importantes del mercado global.

De las 10 especies civilizadas las más importantes son la *Coffea arábica* L y la *Coffea canephora* o Café robusta. Entre la especie arábica y la robusta el primer lugar en importancia corresponde a la arábica, puesto que el 70% del café que se consume en el mundo pertenece a esta especie, en sus distintas variedades. La especie canephora o robusta representa el 30% restante.

La especie arábica se cultiva particularmente en América y en algunas regiones del África y Asia; la especie canephora se cultiva particularmente en África por sus condiciones especiales. Las dos especies se cultivan en distintos climas y altitudes: altura, para arábica y zona baja para canephora [7].

A continuación las tres principales especies de Café cultivadas en el mundo.

ESPÉCIE COFFEA ARÁBICA:

Se trata de un arbusto pequeño liso, de hojas lustrosas. Las hojas son relativamente pequeñas, pero varían en anchura, promediando de 12-15 cm. de largo y más o menos 6 cm de ancho, de forma oval o elíptica. Posee flores fragantes de color blanco o cremoso, la baya es elíptica, más o menos de 1.5 cm de largo, al principio de color verde, después de color rojo y con el tiempo de color azul-negro. Las semillas varían de tamaño de 8.5 a 12.7 mm de largo [10].



IIIMAGEN No. 1 COFFEA ARABICA

ESPECIE COFFEA CANEPHORA:

Se trata de un árbol o arbusto liso, con hojas anchas que a veces adquieren una apariencia corrugada u ondulante, tiene flores blancas, algunas a veces ligeramente difusas con rosa.

También llamado café robusta probaron estar mucho mejor adaptados para las tierras bajas, cálidas y húmedas de Indonesia, Ceilán, la India y otras regiones donde había fallado la *C. arabica*. Aunque pronto se descubrió que la calidad del grano robusta es bastante inferior a las variedades arábicas, aunque también mostró características favorables como inmunidad o gran resistencia a la roya y baja cantidad de fruta para la proporción de grano seco en comparación con el café arábigo, gran capacidad productora y capacidad para retener la fruta en el árbol por algún tiempo después de su plena madurez.



IMAGEN No. 2 RAMAS Y HOJAS DE CAFÉ ROBUSTA

ESPECIE COFFEA LIBERICA:

Es un arbusto o árbol liso. Las hojas son más bien grandes y brillantes, las flores blancas de 7 a 6, reunidas varias en racimos axilares, la baya o fruto es oval, más o menos de 2.5 cm de largo, al principio roja después negra cuando está madura, arrugada cuando está seca. La semilla es de 1.27 cm o un poco más, este árbol crece hasta 10 a 15 m de altura, y puede soportar la exposición al sol mejor que la mayoría de los otros miembros del género, a su vez que posee una buena retención de sus frutos maduros, pero produce granos de baja calidad.

El café liberiano llamado así, es nativo de los alrededores de Monrovia en Liberia.

3.3 EXPLOTACIÓN Y ECONOMÍA DEL CAFÉ EN COLOMBIA

La superficie total de Colombia es de 113.891.400 hectáreas. Dentro de este total la zona cafetera abarca 7.300.000 hectáreas, de las cuales 1.010.000 hectáreas tienen cafetales.

En Colombia se lleva a cabo del cultivo de Café arábica, siendo las condiciones para su crecimiento las siguientes; la temperatura ideal debe fluctuar entre los 18 y 27 grados centígrados; la altitud ideal entre los 1.200 y 1.800 metros sobre el nivel del mar y la precipitación atmosférica entre 2.000 y los 2.500 milímetros por año.

La comercialización del café en Colombia esta a cargo de la Federación Nacional de Cafeteros siendo esta una entidad reguladora encargada de fijar los precios internos del grano por medio de un comité de precios de acuerdo a su cotización en los mercados extranjeros y del estado de la economía interna del país.

La Federación esta obligada en comprar todo el café que le vendan los productores desde un kilogramo en adelante, además, la entidad establece las normas de calidad y el grado de pureza para propiciar sus compras y su posterior exportación.

El comercio externo del café en Colombia comienza en 1835 mediante la primera exportación de café que fue de 2592 sacos de 60 kilogramos cada uno.

Actualmente el volumen de producción anual de café en Colombia fluctúa entre los 10 y los 13 millones de sacos de 60 kilogramos que le dan al país el segundo lugar como productor mundial del grano después de Brasil y el primero como productor de café suave.

El beneficio económico es muy favorable ya que las exportaciones anuales de Café producen divisas por valores de hasta de 1500 millones de dólares; este volumen de exportación coloca a Colombia como el segundo país exportador de café en el mundo como ya se había señalado, con una participación del 16% en los volúmenes mundiales y del 13% en los ingresos.

Las ventas externas de café representan para Colombia en los últimos años más del 60% del ingreso total de divisas por concepto de las exportaciones provenientes del sector agrícola y más del 50% de las divisas generales por las exportaciones totales.

También en los últimos años la contribución del sector cafetero en los ingresos corrientes del estado es del 21%.

Las labores de cultivo, beneficio, transporte, mercadeo e industria del café constituyen la principal actividad económica nacional y dan empleo directo o indirecto a 10% de la población del país [11].

3.4 BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ

El beneficio vía húmeda que consiste en: despulpado, fermentación, lavado, secado y trillado, es el método empleado en Colombia y algunos países centro americanos.

3.4.1 Descerezado o Despulpo

El proceso de descerezado o despulpo del café se lleva a cabo por medio de una maquina denominada despulpadora, descerezadora o peladora. La maquina descerezadora consta generalmente de un tambor mecánico forrado de una lámina de cobre. Para facilitar el proceso de despulpo, se coloca un chorro de agua que cae en forma permanente sobre el tambor. Para evitar daños en el café lo mejor es descerezar el fruto el mismo día que se recolecta.



IMAGEN No. 3 DESPULPO O DESCEREZADO DEL CAFÉ

3.4.2 Fermentación

El proceso de fermentación o vinagración es la etapa mas larga de todas ya que abarca de 24 a 30 horas, se realiza en grandes tanques, los cuales son denominados tanques de fermentación.

El propósito de esta etapa es lograr que el mucílago o capa viscosa que envuelve a el pergamino se descomponga, y así poder ser eliminada fácilmente por medio del lavado, la fermentación no debe durar más de 30 horas, si se emplea mas tiempo se disminuye la calidad de la bebida.

Los tanques para la fermentación se construyen de madera, cemento o de eternit, no sirven los tanques de hierro pues manchan el pergamino.



IMAGEN No. 4 TANQUE PARA REALIZAR LA FERMENTACION DEL CAFÉ

3.4.3 Lavado

Una vez terminada la fermentación, cuando al café se le detecta la producción de ácidos volátiles como el ácido acético, por medio del olor, se produce el lavado, se saca un puñado del tanque para lavarlo en una vasija con agua, luego se frota entre las manos, y si se siente áspero y produce un sonido cascado, debe comenzar el lavado, también se puede determinar si el café está listo para ser lavado, si al momento de meter un palo en el tanque el hueco que forma este al sacarlo permanece.

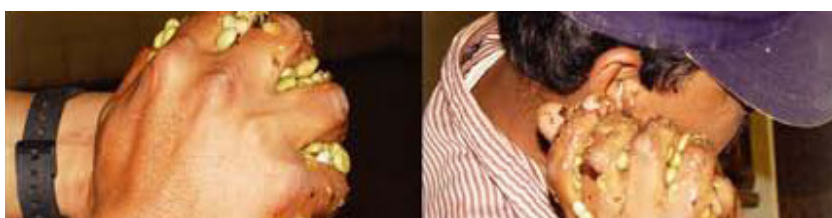


IMAGEN No. 5 METODO DEL TACTO PARA DETERMINAR SI EL PROCESO DEL FERMENTACION DEL CAFÉ HA FINALIZADO.



IMAGEN No. 6 MÉTODO DEL PALO PARA DETERMINAR EL MOMENTO DE FINALIZACION DEL PROCESO DE FERMENTACION

El lavado del café debe hacerse con sumo cuidado para evitar que queden restos de mucílago en el pergamino. Si el café está mal lavado los granos se sienten suaves al tocarlos, en cambio cuando el café está bien lavado los granos son ásperos al tocarlos y producen ruido al tocarlos.



IMAGEN No. 7 PROCESO DE LAVADO

3.4.4 Secado

El secado constituye otra etapa del beneficio del café, determinante de su calidad, el mejor secado es el que se hace al sol.

Antes de exponer el café al sol para su secado es preciso escurrirlo. El proceso de escurrido se inicia en los tanques y se concluye en camillas con piso de anjeo o de esterilla de guadua. Una vez escurrido, el café se pasa a los secadores abiertos u oreadores para concluir su secado, si es secado al sol es preciso que los secadores deban estar dotados de techos corredizos para cubrir rápidamente el café en caso de lluvia.

El secado debe hacerse lo más uniformemente posible, para lograrlo es preciso regar el grano en capas de unos tres o cuatro centímetros de espesor y revolverlo completamente unas cuatro veces al día. Para secar el café mojado hasta seco de agua, se requieren unas dos horas de sol. Para secar el café seco de agua, hasta pergamino seco listo par la trilla, se necesitan unas 30 horas de sol aproximadamente.

También puede secarse el café por un sistema mecánico de guardiolas, que son una maquinas semejantes a grandes hornos, calentados con fuerza eléctrica o cualquier combustible. Estas maquinas efectúan el secamiento del café en menos de un día, lo cual significa un ahorro de tiempo considerable frente a el sistema natural, que demanda entre cinco y diez días.



IMAGEN No. 8 PROCESO DE SECADO DEL CAFÉ EN PATIO

3.4.5 La Trilla

Los procesos anteriores, requeridos en el proceso de beneficio del café tienen como objetivo dejar el grano como (“Café de trilla”) o pergamino seco y se realiza generalmente, en las fincas cafeteras.

Cuando el café llega a su punto de trilla y su humedad es del 13 % adquiere un color oro, un poco más oscuro que el recién lavado.

El café como sale de las manos del productor se denomina “Pergamino” y antes de quedar listo para la exportación o para su venta a los tostadores nacionales, se le somete finalmente al proceso de trilla que consiste en desprenderle a los granos el pergamino, o sea, esa cobertura gruesa de color amarillo oro que protege a la almendra.

El proceso de trilla es el siguiente: El café pergamino, después de pesado, se echa en tolvas provistas en su fondo de bandas sinfín que transportan el grano a unos elevadores que los llevan a silos metálicos donde, al caer, por gravedad y fuertes corrientes de aire, el café va quedando en partes limpio de piedras, puntillas grandes, ramas, papeles y otras impurezas, luego por salidas localizadas en la base de los silos, el café va a las maquinas de trilla llevado por canales. Estas maquinas consisten en un eje montado sobre valieras y cubierto de planchas de acero con estrías [9].

3.5 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Existen numerosas causas de contaminación hídrica, pero dentro de las más comunes se encuentra el vertimiento de los desechos agroindustriales y domésticos, los cuales generan la destrucción de los recursos hídricos, causando efectos desastrosos sobre los ecosistemas acuáticos y sus componentes.

En el procesamiento de beneficiado del café que se realiza por vía húmeda, genera residuos líquidos altamente contaminantes por sus valores de acidez, contenidos de sólidos y Demanda Química de Oxígeno (DQO), lo cual se ha mencionado anteriormente genera graves desequilibrios en los ecosistemas acuáticos receptores y sus componentes. Es por esta problemática que se vive no solo con el café si no con otros tipos de productos a nivel industrial, que se ha llevado a cabo la implementación de técnicas que permitan reducir el impacto biológico de los efluentes que estas aguas contaminadas producen.

En términos generales se pueden definir los tratamientos de aguas residuales en las siguientes categorías [3]:

- Tratamientos preliminares
- Tratamientos primarios
- Tratamientos secundarios
- Tratamientos terciarios

3.4.1 Tratamientos preliminares: este tipo de tratamiento no refleja un proceso en si, más bien sirve para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Las aguas residuales por lo general contienen gran cantidad de objetos, que no deben llegar a los tratamientos posteriores y deben ser removidos [3].

- Rejillas: el objetivo de este método es retener basura, material sólido voluminoso y demás. Consiste básicamente en un sistema de barras paralelas.
- Tamices: los tamices o mallas son utilizados después de una rejilla de barras para retener sólidos de menor tamaño. Las aberturas de estas mallas pueden variar de 2.5 a 6.0 mm. Las mallas consisten en tambores o cilindros con una malla ajustada al área de la circunferencia. El agua puede ir desde el interior del cilindro hacia fuera o viceversa, quedando la malla cubierta de una capa de material sólido.
- Trituradores: los trituradores son utilizadas como complemento de las rejillas, para cortar y triturar el material grueso presente hasta tamaños de 0.6 a 20 mm sin necesidad de removerlos del flujo. El triturador consta básicamente de un tambor con ranuras a través de las cuales pasan las aguas residuales, y simultáneamente un grupo de un conjunto de dientes cortadores va atravesando las ranuras y tritura el material particulado retenido.
- Desarenadores: son unidades diseñadas para retener arenillas, huesos, semillas, cáscaras de huevo, tierra, objetos metálicos y demás partículas. Este equipo consta de varios canales paralelos en donde se reduce la velocidad para facilitar la sedimentación de partículas inorgánicas.
- Desengrasado: eliminación de la mayor parte de las grasas, aceites y detergentes, que puedan interferir en los procesos anteriores. Este proceso se lleva a cabo inyectando en los tanques aire, para producir la formación de burbujas a las que se adhieren las gotas de aceite y las partículas de espuma, para así de esta manera asciendan a la

superficie donde forman una capa, que posteriormente es extraída de forma mecánica.

3.4.2 Tratamientos primarios: el objetivo del tratamiento primario es el de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y suspendidos, o simplemente aquellos que pueden flotar como las grasas. Es decir es un conjunto de procesos encargados de separar las partículas en suspensión no retenidas en el pre tratamiento.

En un tratamiento primario convencional, cerca de un 60% de los sólidos sedimentables y un 35 % de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) presente en las aguas residuales pueden ser removidos, siendo bueno anotar que compuestos solubles no pueden ser eliminados por este tipo de tratamiento [3].

- Sedimentación Primaria: se lleva a cabo en tanques donde se remueve de un 60 a 65 % de los sólidos sedimentables y de 30 a 35 % de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) presente en las aguas residuales. El modo operante en este paso, es la eliminación de sólidos en suspensión susceptibles de separación por diferencia de densidad. Las partículas más pesadas que el agua son separadas por la acción de la gravedad. Este proceso se utiliza tanto al principio del tratamiento, decantadores primarios, como al final, decantadores secundarios.
- Precipitación Química-Coagulación: la coagulación en el tratamiento de las aguas residuales es un proceso de precipitación química en donde se agregan compuestos químicos con el fin de remover sólidos, y permitiendo a su vez la descarga de los coloides de manera que decanten o floten para así posteriormente poderlos retirar.
- Flotación: consiste en la inyección de aire en una fase líquida, de manera que se formen burbujas que se adhieran a las partículas es decir sólidos en suspensión con una densidad próxima a la del agua, así como aceites y grasas no eliminadas en el tratamiento anterior, presentándose luego un levantamiento de esas debido a las fuerzas ascendentes de las burbujas de aire. Una vez las partículas alcanzan la superficie del tanque donde se efectúa la flotación, son barridas o recogidas por colectores superficiales.
- Precipitación: eliminación de un contaminante determinado por la adición de un producto químico y su transformación en un compuesto insoluble, siendo eliminado posteriormente por decantación.

3.4.3 Tratamientos secundarios: el objetivo de un tratamiento secundario es remover la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables. Estas remociones se realizan fundamentalmente por medio de procesos biológicos en donde se efectúan las mismas reacciones que ocurrirían

en una corriente receptora de aguas residuales, cuando esta tiene una capacidad asimilativa. En el tratamiento secundario las reacciones naturales que tendrían lugar en una corriente receptora son aceleradas para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en periodos cortos de tiempo, empleándose procesos de oxidación biológica. Este mecanismo consiste en la asimilación de la materia orgánica degradable biológicamente por los microorganismos, en presencia de Oxígeno y nutrientes de acuerdo a la siguiente reacción [3]:



Para ello, se utiliza una gran variedad de microorganismos, principalmente bacterias, que convierten la materia orgánica carbonosa en diferentes gases y tejido celular, que es fácilmente separable por decantación. Los procesos biológicos más utilizados se pueden agrupar en cinco tipos.

- Procesos aerobios: se dan en presencia de oxígeno, se llevan a cabo en balsas en las que se mantiene una concentración adecuada de oxígeno, mediante sistemas mecánicos, como agitación, o mediante inyección de oxígeno puro o aire. Los principales procesos empleados para la eliminación de la materia orgánica son: el proceso de fangos activados, las lagunas aireadas, el reactor de flujo continuo secuencial y el proceso de digestión aerobia.
- Procesos anaerobios: se dan en ausencia de oxígeno, se llevan a cabo en reactores cerrados, generándose gases de reacción ricos en metano, que pueden ser aprovechados para producir energía dado su alto poder calórico.
- Procesos anóxicos: en los que se encuentra la desnitrificación o eliminación del nitrógeno en forma de nitrato por conversión en nitrógeno gas en condiciones anóxicas, (sin oxígeno).
- Proceso aerobios, anaerobios y anóxicos: combinados, procesos de una o varias etapas donde se produce la eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación y eliminación del fósforo.
- Procesos de lagunaje: estanques de estabilización aerobia, se emplean para el tratamiento del agua residual por medio de procesos naturales que incluyen la utilización de algas y bacterias.

3.4.4 Tratamientos Terciarios o Avanzados: la necesidad de tratamientos terciarios o avanzados se ha hecho necesaria a medida que se han hecho sentir los efectos de compuestos que escapan al tratamiento secundario de las aguas residuales. Entre estos compuestos podemos citar el nitrógeno y el fósforo,

metales pesados, DQO soluble y también podríamos incluir el tratamiento y disposición final de lodos. En este tipo de tratamientos se da la adición de reactivos que provoquen reacciones de oxidación o reducción de los compuestos a eliminar [3].

- Cloración: para la desinfección como control de microorganismos, ya sea en aguas de consumo, aguas residuales, piscinas, lodos, etc. Así como oxidante para la oxidación de hierro y manganeso, para el control de olores y sabores, oxidación de sulfuros, remoción de amoníaco y color orgánico, y oxidación de cianuros.
- Ionización: el ozono, O₃, es una forma alotrópica del oxígeno. Es un gas azul, muy tóxico e inestable, con olor picante, y uno de los más potentes germicidas usados en tratamientos de aguas. El ozono tiene una alta efectividad germicida debido a que es un oxidante extremadamente reactivo, que desintegra la pared celular de las bacterias, posee habilidad para remover muchos problemas de color, olor y sabor, se entiende que su efectividad es superior a la del cloro.
- Radiación ultravioleta: se usa para la desinfección de aire, agua y alimentos. Su uso se ve muy limitado por el hecho de que la radiación es absorbida por el agua y por ello el caudal debe presentarse a la radiación en películas delgadas; además no tiene efecto residual. Los microorganismos son destruidos por la luz UV cuando esta penetra a través de las células y es absorbida por el ácido nucleico, provocando una reordenación de la información genética e impidiendo la reproducción nuclear.

4. METODOLOGÍA

La investigación se llevo a cabo en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Tecnológica de Pereira, con los efluentes del beneficio húmedo de café de las cosechas de 2007.

4.1 Muestreo

Se utilizaron aguas del beneficiado húmedo del café, de la especie *Coffea arabica*, la cual tuvo una recolección normal de la finca Los Nogales ubicada en el corregimiento de Altagracia, Vereda Alto Alegrías, el café es una mezcla de variedad Colombia y Caturra; el muestreo se llevo a cabo los sábados en horas de la tarde, ya que es el día donde hay lavado del café y por lo tanto hay mayor carga.

Para preservar la muestra durante el transporte del viaje hacia el laboratorio se refrigero para conservar las propiedades fisicoquímicas del agua residual.

4.2 Revisión de los parámetros a evaluar

Las muestras de agua residual procedentes del lavado del café fueron analizadas en el laboratorio de “Análisis de Aguas y alimentos de la “Universidad Tecnológica de Pereira”, en el área de aguas residuales donde se realizó la caracterización inicial, de igual manera se realizó la caracterización a las muestras después del tratamiento con Manhidrox, Sulfato de Aluminio granulado tipo “B” y Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B.

Los parámetros a evaluar se realizaron siguiendo el decreto 1594, los parámetros son los siguientes:

TABLA No.1 Parámetros del vertimiento según decreto 1594 de 1984.

parámetro	Según decreto
pH	5-9 unidades
Temperatura	< 40 °C
Grasas y aceites	Remoción > 80% en carga
Material flotante	Ausente
Sólidos suspendido totales (SST)	Remoción > 80% en carga
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)	Remoción > 80% en carga
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	-----

Fuente: Decreto 1594 de 1984, artículo 72 [12]

4.3 TABLA No.2 Métodos de análisis.

Parámetro	Método utilizado	Unidades	Referencia del Standart Methods[13]
pH	Electrométrico	Unidades	Sección 4500-H, Pág.4-87
DQO	Reflujo cerrado	mg O ₂ / L	Sección 5220 A, B, Pág.5-12—5-14
DBO ₅	Diluciones winkler	mg O ₂ / L	Sección 5210 C, Pág.5-2—5-10
SST	Gravimétrico	mg / L	Sección 2540 D, Pág.2-57
Grasas y aceites	Extracción Soxhlet	mg / L	Sección 5520 D, Pág.5-38
Manganeso y Aluminio	Absorción atómica	mg / L	Sección 3500 B, Pág.3-43 y Pág.3-76

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, es causada por la materia orgánica (MO) arrojada a las masas y corrientes de agua, la cual se constituye en el alimento para las bacterias que se reproducirán rápidamente. Estas bacterias en condiciones aerobias, consumirán oxígeno, causando la disminución del OD.

La DBO se define como la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la MO presente en el agua residual mediante la acción de bacterias en condiciones aerobias. La DBO es causada por la respiración de las bacterias y cesara al agotarse totalmente la MO. La DBO se efectúa a 5 días y a 20°C, y se denota con el símbolo de DBO₅.

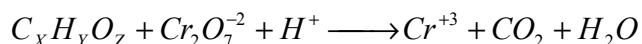
El ensayo de la DBO es de tipo biológico, razón por la cual se debe simular en forma aproximada las condiciones en que la demanda ocurre en los medios naturales. Estas condiciones implican la presencia de Oxígeno y nutrientes (P y N₂), la ausencia de tóxicos, pH y temperatura adecuados, presencia de bacterias en cantidad suficiente, etc. [14].

El ensayo de la DBO se efectúa midiendo el OD (oxígeno disuelto) antes y después de los cinco días.

Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno, DQO, es un modo de medir la energía contenida en los compuestos, pero inicialmente se pensó como un sustituto mas rápido y preciso que la DBO. En lugar de descomponer la MO mediante el metabolismo bacterial, que utiliza la respiración como medio para obtener el oxígeno, en la DQO se utiliza un fuerte agente oxidante en un medio ácido. El agente oxidante más utilizado es el dicromato de potasio, en presencia de sulfato

de plata como catalizador a alta temperatura. La reacción de la MO con el dicromato es como sigue:



La DQO de un compuesto es generalmente mayor que la DBO debido a que muchos compuestos que pueden ser oxidados químicamente no pueden serlo biológicamente, a través de la biodegradación bacteriana. Con frecuencia para un agua residual determinada se puede correlacionar muy bien la DBO con la DQO lo que es un gran beneficio debido a que la DQO toma solo dos o tres horas para hacerlo mientras la DBO requiere de cinco días [14].

Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T)

Los sólidos es otro parámetro de gran importancia en el tratamiento de aguas residuales.

La MO a menudo esta en forma de partículas en suspensión, por lo que es necesario diferenciar entre los Sólidos Suspendidos, SS, y los Sólidos Disueltos, SD. La medición de los Sólidos Suspendidos Totales se hace gravimétricamente, es decir por peso, y consiste en filtrar la muestra con un filtro seco de peso conocido. Después de secarlos en un horno a 105°C se vuelve a pesar el conjunto filtro y sólidos filtrados, y por diferencia se conoce el peso de los sólidos filtrados de un volumen determinado de muestra [14].

pH

El pH es una medida relativa de la acidez o alcalinidad del agua. La acidez natural es producida principalmente por el CO₂ y ocurre cuando el pH esta entre 8.5 y 4.5. Valores de pH mas bajos de 4.5 son debido a la acidez mineral producido por ácidos fuertes como el H₂SO₄, el HCl o el HNO₃. Por otro lado la alcalinidad natural es producida por carbonatos y bicarbonatos y puede llevar el pH hasta valores de 8.3; (se determinó electrométricamente calibrando el equipo con las soluciones tampón [14]).

Grasas y aceites

Las grasas y aceites son compuestos de alcohol y glicerol, son compuestos muy estables y difíciles de descomponer por las bacterias en las aguas residuales. Por lo tanto deben ser removidas antes del tratamiento o traerán problemas en la descomposición de la materia orgánica. Se determinó por el método de Extracción soxhlet [14].

Procedimiento para la determinación de la dosis óptima

Luego de caracterizada el agua residual se procedió a efectuar los respectivos ensayos de jarras, según procedimiento descrito en el libro "Teoría y practica de la purificación del agua" [15]. Se utilizó un instrumento que permite agitar

simultáneamente a una determinada velocidad el agua contenida en una serie de 6 Beakers. En cada Beaker de un litro se adicionó el agua residual y una dosis de Manhdrox, Sulfato de Aluminio granulado tipo "B" o Manhdrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo "B" según fue el caso. Finalmente se agitó el agua a una velocidad de 100 r/m durante 1 minuto y luego a 40 r/m, durante 20 minutos, se utilizó un vaso como blanco y se dejó decantar por 30 minutos, pero el resultado más apropiado no se logró hacer por medio de parámetros físicos como la turbiedad o el cambio de color, debido a la naturaleza de la muestra por lo que se tomaron las 6 muestras y se les determinó la DQO para posterior comparación.

Luego se le determinaron los parámetros físico-químicos a aquel Beaker el cual dio la menor DQO para Manhdrox, Sulfato de Aluminio granulado tipo "B" o Manhdrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo "B" con determinadas concentraciones para posterior comparación.



IMAGEN No. 9 INSTRUMENTO PARA ENSAYO DE JARRAS

Cuantificación del manganato o el aluminio usado

Se efectuó con el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA) del Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira. Se determinó el Manganeso y el Aluminio con digestión ácido sulfúrico y ácido nítrico a las muestras iniciales, a las muestras finales se les determinó el metal de acuerdo al producto usado.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CARACTERÍSTICAS DEL INSUMO USADO

Las tablas No.3, No.4 y No.5 presentan las especificaciones de cada uno de los productos.

TABLA No.3 Especificación del Manhidrox

Producto	Manhidrox
Composición	Manganato de Sodio (70 %) Sulfato de Aluminio (30 %)
formula	NaMnO_3 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
Presentación	Granulado
Peso Neto	250 g

TABLA No.4 Especificación del Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B

Producto	Manhidrox sin Sulfato de Aluminio
Composición	Manganato de Sodio (99,9 %)
formula	NaMnO_3
Presentación	Granulado
Peso Neto	250 g

TABLA No. 5 Especificación del Sulfato de Aluminio granulado tipo B

Producto	Sulfato de Aluminio granulado tipo B
Composición	Sulfato de Aluminio (99,9 %)
formula	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
Presentación	Granulado
Peso Neto	250 g

El propósito del proyecto es realizar una comparación entre la acción coagulante del Manhidrox respecto al Sulfato de Aluminio granulado tipo "B", por lo tanto se llevaron a cabo tres ensayo de jarras a la misma concentración para cada una de las cuatro muestras.

- I. Ensayo de jarras con Manhidrox
- II. Ensayo de jarras con Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo "B"
- III. Ensayo de jarras con Sulfato de Aluminio granulado tipo "B"

5.2 DATOS DE MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA MUESTRA No.1

Muestra No. 1 Datos de campo

- ❖ Día: (sábado 28 de julio de 2007)
- ❖ Hora: en horas de la tarde, ya que en este día se realiza el lavado del café y por lo tanto hay una mayor carga. Se recolectó una muestra puntual de un volumen de 20 Litros.

Una vez realizado el muestreo se procedió a caracterizar el agua, evaluándose los siguientes parámetros: pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Grasas y Aceites y Sólidos Suspendedos Totales (SST).

La tabla No.6 presenta las propiedades físico-químicas iniciales para la muestra No.1, a la cual se le realizó un ensayo de jarras con cada producto.

TABLA No.6 Características iniciales de la muestra No.1

Parámetro	Método usado	Unidades	Valor
pH	Electrométrico	unidades	3,87
DQO	Reflujo cerrado	mg O ₂ /L	9128
DBO ₅	Diluciones Winkler	mg O ₂ /L	8863
SST	Gravimétrico	mg/L	3200
Grasas y aceites	Extracción Soxhlet	mg/L	68

A continuación se muestra la tabla No.7, No.9 y No.11 con concentraciones de 200-1000 mg/L de cada producto.

5.2.1 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA No.1 CON MANHIDROX

En este primer ensayo se observó que la muestra de Manhidrox era poco soluble en el agua, además de no observarse ningún efecto coagulante en el agua a concentraciones de 10 a 200 mg/L; por lo tanto se aumento la dosis del coagulante a un rango de concentración de 200 a 1000 mg/L. Ya que estas aguas mieles son acidas producto de la fermentación de los azúcares presentes (principalmente fructosa, glucosa, galactosa y sacarosa. También están presentes diferentes ácidos orgánicos, entre ellos el galacturónico y el málico. Aunque en las aguas de lavado están en menor proporción que en las aguas de despulpado [16], su pH es bajo observándose bajo estas condiciones que el agua no tiene cambios, por ello se aumento el pH de las aguas mieles a 6,5 unidades notándose un mejor cambio en cuanto a la floculación; además el pH óptimo para trabajar el sulfato de aluminio granulado tipo B es alto y por esto también fue necesario

elevar el pH con los demás productos ya que se debían trabajar todas las muestras en las mismas condiciones.

Para determinar la concentración más óptima de coagulante, se modificó la metodología de un método físico (turbiedad, color) a un método químico (DQO), debido a que el cambio que se lograba visualizar en las jarras era muy leve.

La jarra que arrojó un valor de DQO más óptimo se le llevaron a cabo las demás pruebas como son: DBO₅, Grasas y Aceites, SST y pH.

TABLA No.7 Ensayo de jarras para la muestra No. 1 con Manhidrox

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O₂/L)
Manhidrox	200	4236
Manhidrox	400	4035
Manhidrox	600	4522
Manhidrox	800	4121
Manhidrox	*1000	4012

* Mejor DQO

Se presentó una mejor remoción a una concentración de 1000 mg/L de Manhidrox, en el gráfico No. [1] se muestra este ensayo de jarras.

Tabla No.8 Parámetros finales de la muestra No.1 con una concentración de 1000 mg/L de Manhidrox

pH	DQO (mg O₂/L)	DBO₅ (mg O₂/L)	SST (mg/L)	Grasas y Aceites (mg/L)	Manganeso (mg/L)
7,82	4012	3992	800	26	27,28

5.2.2 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 1 CON MANHIDROX SIN SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B.

Tabla No.9 Ensayo de jarras para la muestra No. 1 con Manhidrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B (Manganato de Sodio).

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	200	3605
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	400	3840
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	600	3272
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	800	3176
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	*1000	3048

* Mejor DQO

Al igual que con el tratamiento con el Manhidrox se presentó una mejor remoción a una concentración de 1000 mg/L de Manhidrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B en el gráfico No. [2] se muestra este ensayo de jarras.

Tabla No.10 Parámetros finales de la muestra No.1 con una concentración de 1000 mg/L de Manhidrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B.

pH	DQO (mg O ₂ /L)	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	SST (mg/L)	Grasas y Aceites (mg/L)	Manganeso (mg/L)
7,92	3048	2976	1000	24	0,63

5.2.3 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA No.1 CON SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B

TABLA No.11 Ensayo de jarras para la muestra No.1 con sulfato de aluminio granulado tipo B

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)
Sulfato de Aluminio	200	4995
Sulfato de Aluminio	400	4982
Sulfato de Aluminio	600	4982
Sulfato de Aluminio	800	4846
Sulfato de Aluminio	*1000	4521

* Mejor DQO

Al igual que con el tratamiento con los dos anteriores coagulantes se presentó una mejor remoción a una concentración de 1000 mg/L de sulfato de aluminio granulado tipo B, en el gráfico No. [3] se muestra este ensayo de jarras.

TABLA No. 12 Parámetros finales de la muestra No.1 con una concentración de 1000 mg/L de sulfato de aluminio granulado tipo B.

pH	DQO (mg O₂/L)	DBO₅ (mg O₂/L)	SST (mg/L)	Grasas y Aceites (mg/L)	Aluminio (mg/L)
6,68	4521	4105	700	30	3,07

TABLA No.13 Porcentaje de remoción de la muestra No.1 para los tres coagulantes con una DQO inicial de 9128 mg O₂/L.

Coagulante	Manhidrox	Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	Sulfato de Aluminio granulado tipo B
Concentración (mg/L)	1000	1000	1000
DQO (mg O₂/L)	4012	3048	4521
DQO (mg O₂/L) removida	5116	6080	4607
% de remoción	56,0	66,6	50,5

TABLA No. 14 Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales (SST) de la muestra No. 1 para los tres coagulantes con una concentración inicial de (SST) de 3200 mg/L

Coagulante	Manhidrox	Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	Sulfato de Aluminio granulado tipo B
Concentración (mg/L)	1000	1000	1000
SST (mg/L)	800	1000	700
% de SST removidos	75.00	68.75	78.12

Para la muestra No.1 se observa que para 1000 mg/L de Manhidrox, Manhidrox sin sulfato de aluminio y sulfato de aluminio granulado tipo B se obtienen las mejores DQO (ver gráficos No.1, No.2, No.3). Además se observa que para el Manhidrox sin sulfato de aluminio a 1000 mg/L se obtiene una menor DQO comparado con los otros productos (ver gráfico No.13), en la tabla No.13 se muestra el % de remoción el cual fue mejor para el Manhidrox sin sulfato de

aluminio lo que indica que este producto actúa mejor en la oxidación de la materia orgánica. Pero el mayor porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) se encontró con el sulfato de aluminio seguido por el Manhidrox, tal como se especifica en la tabla No. 14.

5.3 DATOS DE MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA MUESTRA No.2

Muestra No. 2 Datos de campo

- ❖ Día: (sábado 4 de agosto de 2007)
- ❖ Hora: en horas de la tarde, ya que en este día se realiza el lavado del café y por lo tanto hay una mayor carga. Se recolectó una muestra puntual de un volumen de 20 Litros.

Una vez realizado el muestreo se procedió a caracterizar el agua, evaluándose los siguientes parámetros: pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Grasas y Aceites y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

La tabla No.15 presenta las propiedades físico-químicas iniciales para la muestra No.2, a la cual se le realizó un ensayo de jarras con cada producto.

TABLA No. 15 Características iniciales de la muestra No.2

Parámetro	Método usado	Unidades	Valor
pH	Electrométrico	unidades	4,10
DQO	Reflujo cerrado	mg O2/L	8834
DBO5	Diluciones Winkler	mg O2/L	8225
SST	Gravimétrico	mg/L	3900
Grasas y aceites	Extracción Soxhlet	mg/L	75

A continuación se muestra la tabla No.16, No.18 y No.20 con concentraciones de 200-1000 mg/L de cada producto.

5.3.1 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 2 CON MANHIDROX

Para la muestra número dos se llevo a cabo la reproducción del los datos ya obtenidos con la muestra número uno.

TABLA No. 16 Ensayo de jarras para la muestra No. 2 con Manhidrox

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O₂/L)
Manhidrox	200	6425
Manhidrox	400	5622
Manhidrox	600	6023
Manhidrox	800	4819
Manhidrox	*1000	4417

* Mejor DQO

Se presentó una mejor remoción a una concentración de 1000 mg/L de Manhidrox, en el gráfico No. [4] se muestra este ensayo de jarras.

TABLA No. 17 Parámetros finales de la muestra No.2 con una concentración de 1000 mg/L de Manhidrox

pH	DQO (mg O₂/L)	DBO₅ (mg O₂/L)	SST (mg/L)	Grasas y Aceites (mg/L)	Manganeso (mg/L)
7,49	4417	3185	1800	24	10,60

5.3.2 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA No. 2 CON MANHIDROX SIN SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B.

TABLA No. 18 Ensayo de jarras para la muestra No. 2 con Manhidrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B (Manganato de Sodio).

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O₂/L)
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	200	4015
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	400	3614
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	*600	2409
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	800	3614
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	1000	3614

* Mejor DQO

Se presentó una mejor remoción a una concentración de 600 mg/L de Manhidrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B, en el gráfico No. [5] se muestra este ensayo de jarras.

TABLA No. 19 Parámetros finales de la muestra No.2 con una concentración de 600 mg/L de Manhdrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B.

pH	DQO (mg O2/L)	DBO5 (mg O2/L)	SST (mg/L)	Grasas y Aceites (mg/L)	Manganeso (mg/L)
7,85	2409	2361	1900	22	14,08

5.3.3 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO.2 CON SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B.

TABLA No. 20 Ensayo de jarras para la muestra No.2 con sulfato de aluminio granulado tipo B.

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O2/L)
Sulfato de Aluminio	200	4819
Sulfato de Aluminio	400	4819
Sulfato de Aluminio	600	4819
Sulfato de Aluminio	800	4819
Sulfato de Aluminio	*1000	4417

*Mejor DQO

Se presentó una mejor remoción a una concentración de 1000 mg/L de sulfato de aluminio granulado tipo B, en el gráfico No. [6] se muestra este ensayo de jarras.

TABLA No. 21 Parámetros finales de la muestra No.2 con una concentración de 1000 mg/L de sulfato de aluminio granulado tipo B.

pH	DQO (mg O2/L)	DBO5 (mg O2/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)	Aluminio (mg/L)
6,87	4417	3200	1600	36	2,88

TABLA No. 22 Porcentaje de remoción de la muestra No.2 para los tres coagulantes con una DQO inicial de 8834 mg O₂/L.

Coagulante	Manhidrox	Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	Sulfato de Aluminio granulado tipo B
Concentración (mg/L)	1000	600	1000
DQO (mg O₂/L)	4417	2409	4417
DQO (mg O₂/L) removida	4417	6425	4417
% de remoción	50	72,7	50

TABLA No. 23 Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales (SST) de la muestra No. 2 para los tres coagulantes con una concentración inicial de (SST) de 3900 mg/L

Coagulante	Manhidrox	Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	Sulfato de Aluminio granulado tipo B
Concentración (mg/L)	1000	600	1000
SST (mg/L)	1800	1900	1600
% de SST removidos	53.85	51.28	58.97

Aunque en la muestra No.2 se trabajo con las mismas concentraciones de los productos que en la muestra No.1 no se obtuvieron iguales resultados puesto que la concentración de la materia orgánica químicamente oxidable es diferente para cada muestra. En el gráfico No.4 y en el gráfico No.6 se indica que para una concentración de 1000 mg/L de Manhidrox y de sulfato de aluminio se obtiene igual DQO de 4417 mg O₂/L, en el gráfico No.5 se observa que para el Manhidrox sin sulfato de aluminio a una concentración de 600 mg/L se obtiene una DQO de 2409 mg O₂/L casi la mitad de la obtenida con los otros productos (ver gráfico No.14), obteniéndose también en esta muestra un mayor % de remoción con el Manhidrox sin sulfato de aluminio, pero al igual que en la muestra No. 1, el Sulfato de aluminio es el que mejor porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) arroja, seguido del Manhidrox, como se observa en la tabla No. 23.

5.4 DATOS DE MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA MUESTRA No. 3

Muestra No. 3 Datos de campo

- ❖ Día: (sábado 18 de agosto de 2007)
- ❖ Hora: en horas de la tarde, ya que en este día se realiza el lavado del café y por lo tanto hay una mayor carga. Se recolectó una muestra puntual de un volumen de 20 Litros.

Una vez realizado el muestreo se procedió a caracterizar el agua, evaluándose los siguientes parámetros: pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Grasas y Aceites y Sólidos Suspendedos Totales (SST).

Debido a que los resultados de DQO más óptimos correspondían a las concentraciones más altas del coagulante, se procedió a aumentar la concentración del coagulante para realizar comparaciones y determinar el rango de concentración más óptimo.

La tabla No.24 presenta las propiedades físico-químicas iniciales para la muestra No.3, a la cual se le realizó un ensayo de jarras con cada producto.

TABLA No. 24 Características iniciales de la muestra No.3

Parámetro	Método usado	Unidades	Valor
pH	Electrométrico	unidades	3,82
DQO	Reflujo cerrado	mg O2/L	6503
DBO5	Diluciones Winkler	mg O2/L	5748
SST	Gravimétrico	mg/L	2900
Grasas y aceites	Extracción Soxhlet	mg/L	96

A continuación se muestra la tabla No.25, No.27 y No.29 con concentraciones de 1300-3100 mg/L de cada producto.

5.4.1 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO.3 CON MANHIDROX

TABLA No. 25 Ensayo de jarras para la muestra No.3 con Manhdrox

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)
Manhidrox	1300	2845
Manhidrox	*1800	1626
Manhidrox	2200	2032
Manhidrox	2700	2439
Manhidrox	3100	2032

*Mejor DQO

Se presentó una mejor remoción a una concentración de 1800 mg/L de Manhdrox, en el gráfico No. [7] se muestra este ensayo de jarras.

TABLA No. 26 Parámetros finales de la muestra No.3 con una concentración de 1800 mg/L de Manhdrox.

pH	DQO (mg O ₂ /L)	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)	Manganeso (mg/L)
7,51	1626	1708	0	23	3,50

5.4.2 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 3 CON MANHIDROX SIN SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B.

TABLA No.27 Ensayo de jarras para la muestra No. 3 con Manhdrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B (Manganato de Sodio).

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	*1300	1440
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	1800	1720
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	2200	2200
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	2700	2200
Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	3100	1760

* Mejor DQO

Se presentó una mejor remoción a una concentración de 1300 mg/L de Manhidrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B, en el gráfico No. [8] se muestra este ensayo de jarras.

TABLA No. 28 Parámetros finales de la muestra No.3 con una concentración de 1300 mg/L de Manhidrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B.

pH	DQO (mg O ₂ /L)	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)	Manganeso (mg/L)
7,89	1440	1624	250	18	25,62

5.4.3 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO.3 CON SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B.

TABLA No. 29 Ensayo de jarras para la muestra No. 3 con sulfato de aluminio granulado tipo B.

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)
Sulfato de Aluminio	1300	2845
Sulfato de Aluminio	*1800	1626
Sulfato de Aluminio	2200	2032
Sulfato de Aluminio	2700	2032
Sulfato de Aluminio	3100	2436

*Mejor DQO

Se presentó una mejor remoción a una concentración de 1800 mg/L de sulfato de aluminio granulado tipo B, en el gráfico No. [9] se muestra este ensayo de jarras.

TABLA No. 30 Parámetros finales de la muestra No.3 con una concentración de 1800 mg/L de sulfato de aluminio granulado tipo B.

pH	DQO (mg O ₂ /L)	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)	Aluminio (mg/L)
6,71	1626	1678	0	33	<0,34

TABLA No. 31 Porcentaje de remoción de la muestra No.3 para los tres coagulantes con una DQO inicial de 6503 mg O₂/L.

Coagulante	Manhidrox	Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	Sulfato de Aluminio granulado tipo B
Concentración (mg/L)	1800	1300	1800
DQO (mg O₂/L)	1626	1440	1626
DQO (mg O₂/L) removida	4877	5003	4877
% de remoción	75	77,9	50

TABLA No. 32 Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales (SST) de la muestra No. 3 para los tres coagulantes con una concentración inicial de (SST) de 2900 mg/L

Coagulante	Manhidrox	Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	Sulfato de Aluminio granulado tipo B
Concentración (mg/L)	1800	1300	1800
SST (mg/L)	0	250	0
% de SST removidos	100.00	91.38	100.00

En los gráficos No.7, No.8, No.9 se observan los ensayos de jarras de la muestra No.3 para el Manhidrox, Manhidrox sin sulfato de aluminio y sulfato de aluminio respectivamente, obteniéndose de allí las concentraciones a las cuales se dio una concentración de DQO más óptima, es decir menor. En el gráfico No.17 se registra que para el Manhidrox sin sulfato de aluminio se obtiene una menor DQO a una concentración de 1300 (mg/L), para los otros coagulantes se obtienen valores mas altos de DQO ambos a una concentración de 1800 (mg/L).

En los ensayos con Manhidrox y sulfato de aluminio se obtiene la eliminación completa de los sólidos suspendido totales (SST) como se observa en la tabla No. 32, esto gracias al aumento en la concentración de ambos coagulantes, al sulfato de aluminio y al óxido de manganeso que ayudan a la sedimentación de estos sólidos, pero al igual que con las demás muestras con el Manhidrox sin sulfato de aluminio se sigue obteniendo el mayor porcentaje de remoción de materia orgánica químicamente oxidable.

5.5 DATOS DE MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA MUESTRA No.4

Muestra No. 4 Datos de campo

- ❖ Día: (sábado 1 de septiembre de 2007)
- ❖ Hora: en horas de la tarde, ya que en este día se realiza el lavado del café y por lo tanto hay una mayor carga. Se recolectó una muestra puntual de un volumen de 20 Litros.

Una vez realizado el muestreo se procedió a caracterizar el agua, evaluándose los siguientes parámetros: pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Grasas y Aceites y Sólidos Suspendedos Totales (SST).

La tabla No.33 presenta las propiedades físico-químicas iniciales para la muestra No.4, a la cual se le realizó un ensayo de jarras con cada producto.

TABLA No.33 Características iniciales de la muestra No.4

Parámetro	Método usado	Unidades	Valor
pH	Electrométrico	unidades	3,91
DQO	Reflujo cerrado	mg O ₂ /L	9253
DBO5	Diluciones Winkler	mg O ₂ /L	8125
SST	Gravimétrico	mg/L	3000
Grasas y aceites	Extracción Soxhlet	mg/L	70

A continuación se muestra la tabla No.34, No.36 y No.38 con concentraciones de 3300-3700 mg/L de cada producto.

5.5.1 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 4 CON MANHIDROX

TABLA No.34 Ensayo de jarras para la muestra No.4 con Manhidrox

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)
Manhidrox	3300	2976
Manhidrox	3400	2708
Manhidrox	3500	2522
Manhidrox	3600	2180
Manhidrox	*3700	2100

*Mejor DQO

Se presentó una mejor remoción a una concentración de 3700 mg/L de Manhidrox, en el gráfico No. [10] se muestra este ensayo de jarra

TABLA No.35 Parámetros finales de la muestra No.4 con una concentración de 3700 mg/L de Manhdrox.

pH	DQO (mg O2/L)	DBO5 (mg O2/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)	Manganeso (mg/L)
7,18	2100	1805	0	35	6,55

5.5.2 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 4 CON MANHIDROX SIN SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B.

TABLA No.36 Ensayo de jarras para la muestra No.4 con Manhdrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B (Manganato de Sodio).

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O2/L)
Manhdrox sin Sulfato de Aluminio	3300	2263
Manhdrox sin Sulfato de Aluminio	*3400	1850
Manhdrox sin Sulfato de Aluminio	3500	1926
Manhdrox sin Sulfato de Aluminio	3600	2050
Manhdrox sin Sulfato de Aluminio	3700	1926

* Mejor DQO

Se presentó una mejor remoción a una concentración de 3400 mg/L de Manhdrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B, en el gráfico No. [11] se muestra este ensayo de jarras.

TABLA No. 37 Parámetros finales de la muestra No.4 con una concentración de 3400 mg/L de Manhdrox sin sulfato de aluminio granulado tipo B.

pH	DQO (mg O2/L)	DBO5 (mg O2/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)	Manganeso (mg/L)
7,94	1850	1652	200	28	33,04

5.5.3 ENSAYO DE JARRAS PARA LA MUESTRA NO. 4 CON SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B.

TABLA No.38 Ensayo de jarras para la muestra No.4 con Sulfato de Aluminio granulado tipo B.

Coagulante	Concentración (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)
Sulfato de Aluminio	3300	2802
Sulfato de Aluminio	3400	2639
Sulfato de Aluminio	*3500	2150
Sulfato de Aluminio	3600	2639
Sulfato de Aluminio	3700	2628

*Mejor DQO

Se presentó una mejor remoción a una concentración de 3500 mg/L de sulfato de aluminio granulado tipo B, en el gráfico No. [12] se muestra este ensayo de jarras.

TABLA No. 39 Parámetros finales de la muestra No.4 con una concentración de 3500 mg/L de sulfato de aluminio granulado tipo B.

pH	DQO (mg O ₂ /L)	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)	Aluminio (mg/L)
6,69	2150	1721	0	30	4,09

TABLA No. 40 Porcentaje de remoción de la muestra No.4 para los tres coagulantes con una DQO inicial de 9253 mg O₂/L.

Coagulante	Manhidrox	Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	Sulfato de Aluminio granulado tipo B
Concentración (mg/L)	3700	3400	3500
DQO (mg O₂/L)	2100	1850	2150
DQO (mg O₂/L) removida	7153	7403	7103
% de remoción	77,3	80,0	76,7

TABLA No. 41 Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales (SST) de la muestra No. 4 para los tres coagulantes con una concentración inicial de (SST) de 3000 mg/L

Coagulante	Manhidrox	Manhidrox sin Sulfato de Aluminio	Sulfato de Aluminio granulado tipo B
Concentración (mg/L)	3700	3400	3500
SST (mg/L)	0	200	0
% de SST removidos	100.00	93.33	100.00

Aunque en la muestra No.4 se trabajo con concentraciones muy altas de los productos (ver gráficos No.10, No.11, No.12), se observó el comportamiento de cada uno, teniendo en cuenta que estas concentraciones no serian aplicables puesto que para un volumen muy grande de agua producto del beneficio del café se necesitaría una gran cantidad de Manhidrox o de los otros productos.

Con el Manhidrox sin Sulfato de Aluminio se consiguió a una concentración de 3400 (mg/L) una DQO más optima, que la obtenida con los otros productos a unas mayores concentraciones (ver gráfico No.16), (ver tabla No.40).

Con el sulfato de aluminio y el Manhidrox se observó de nueva una remoción total de los sólidos suspendidos totales (SST), como se observa en la tabla No. 41.

No se encontró una dosis óptima, sino un rango de concentración para cada producto donde se obtuvo la mayor remoción de la materia orgánica químicamente oxidable; para el Manhidrox y el sulfato de aluminio granulado tipo B (1000-1800 mg/L) y para el Manhidrox sin sulfato de aluminio (600-1300 mg/L), para las muestras No.1, No.2 y No.3, de acuerdo a los valores obtenidos en las tablas No.14, No.23 y No.32.

El aumento de pH de aproximadamente una unidad fue una constante en la adición del Manhidrox al agua residual del beneficio húmedo del café. En el caso del Manhidrox sin Sulfato de Aluminio granulado tipo B su pH fue más alto ya que no estaba presente este.

6. GRÁFICOS

6.1 MUESTRA No. 1

GRÁFICO No. 1

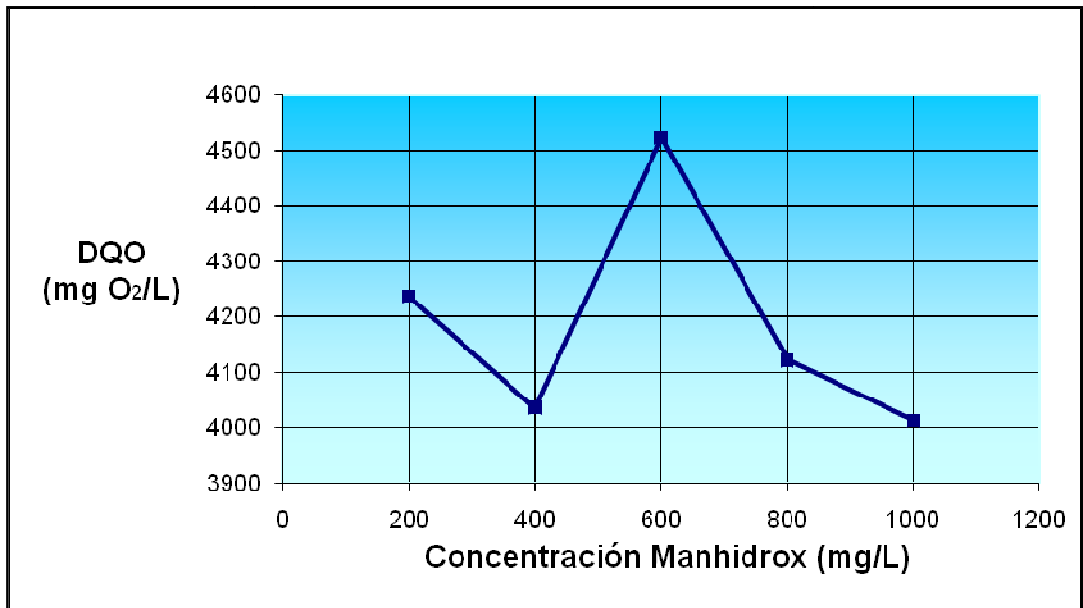


GRÁFICO No. 2

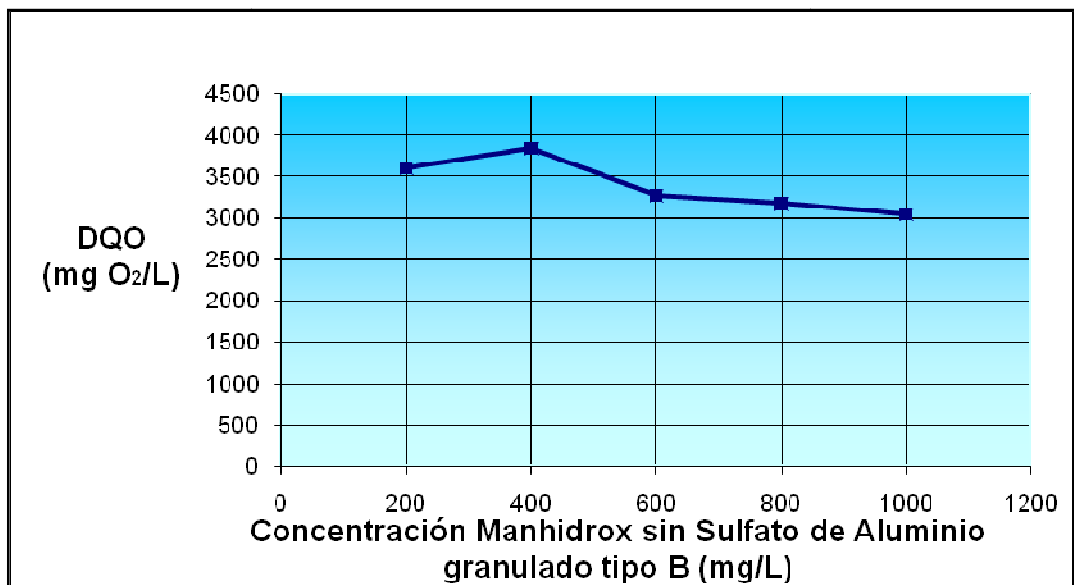
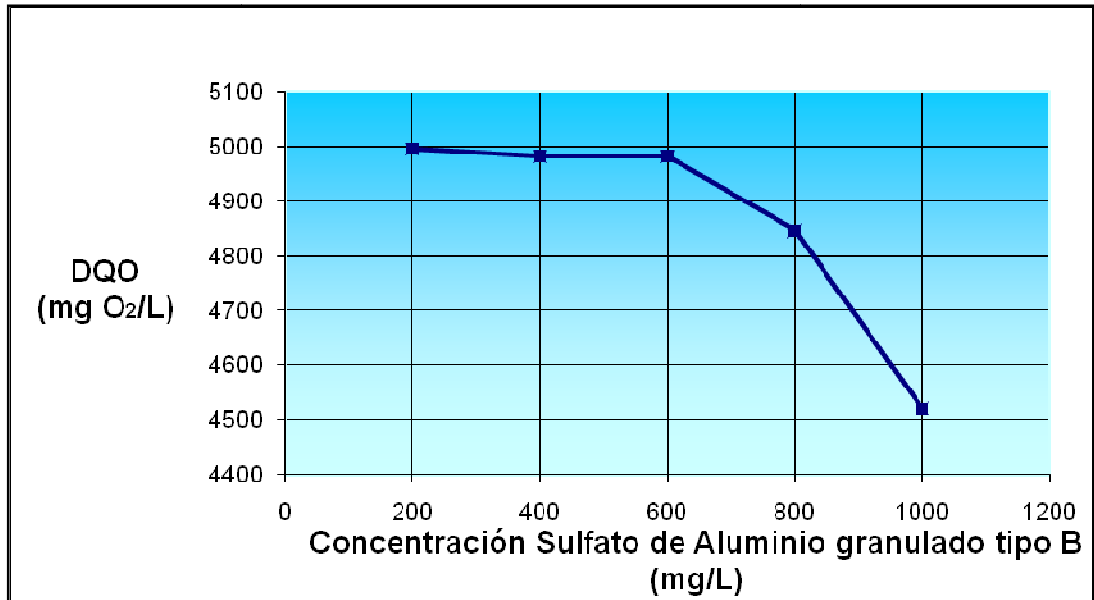


GRÁFICO No. 3



6.2 MUESTRA No. 2

GRÁFICO No. 4

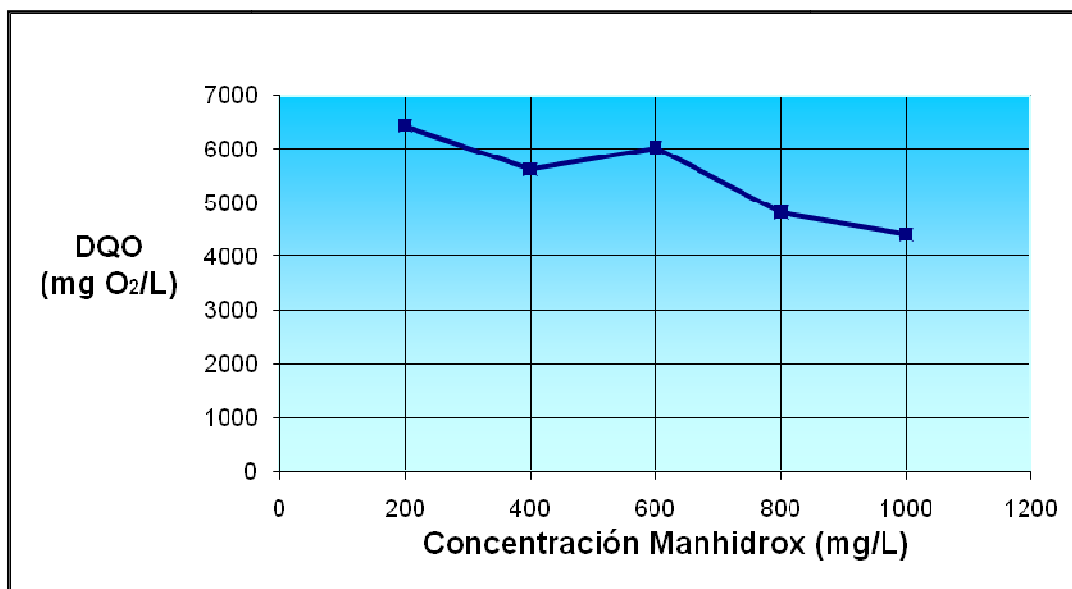


GRÁFICO No. 5

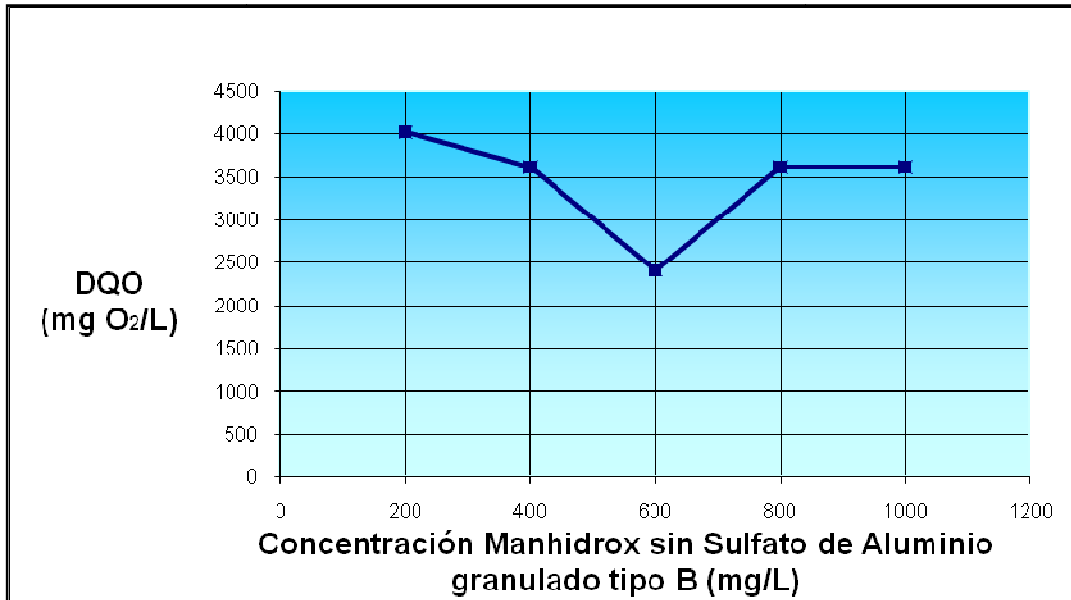
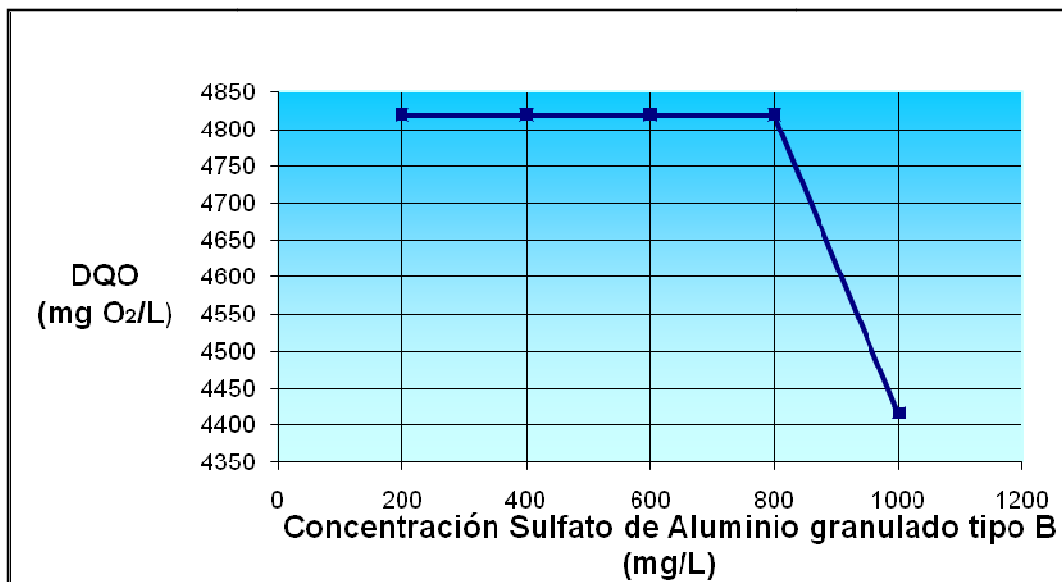


GRÁFICO No. 6



6.3 MUESTRA No. 3

GRÁFICO No. 7

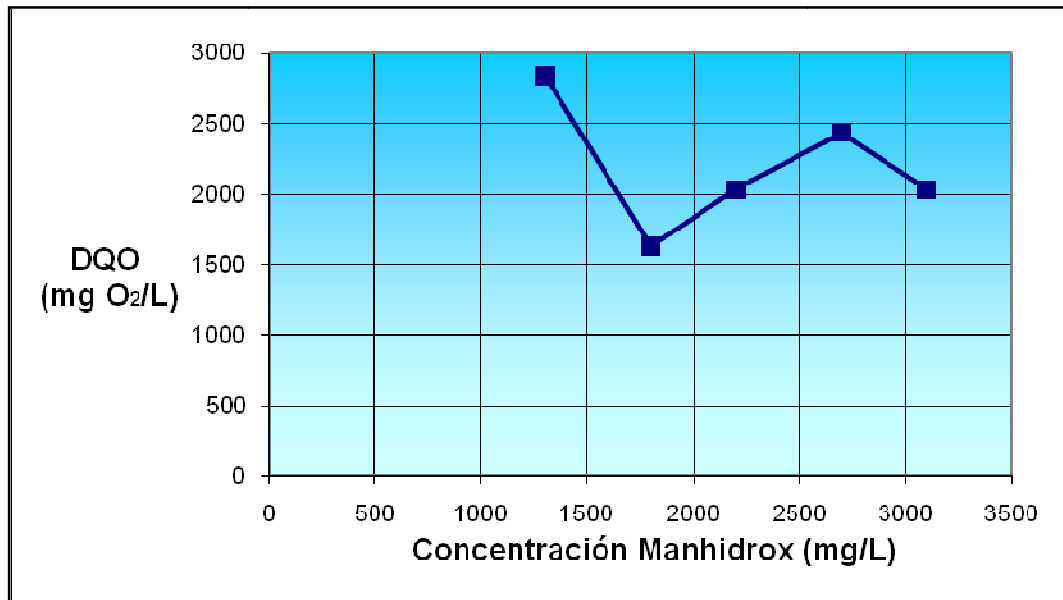


GRÁFICO No. 8

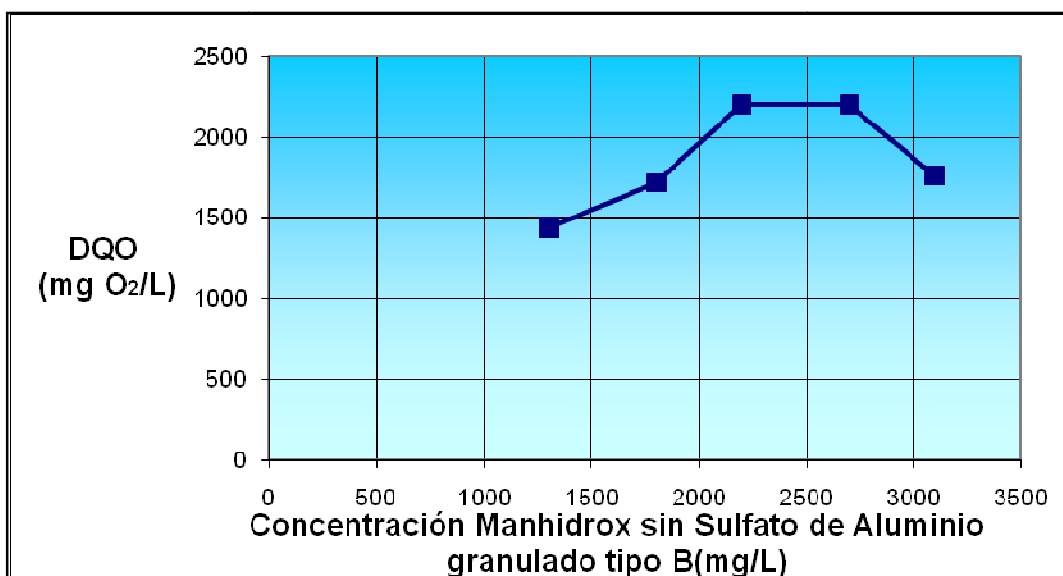
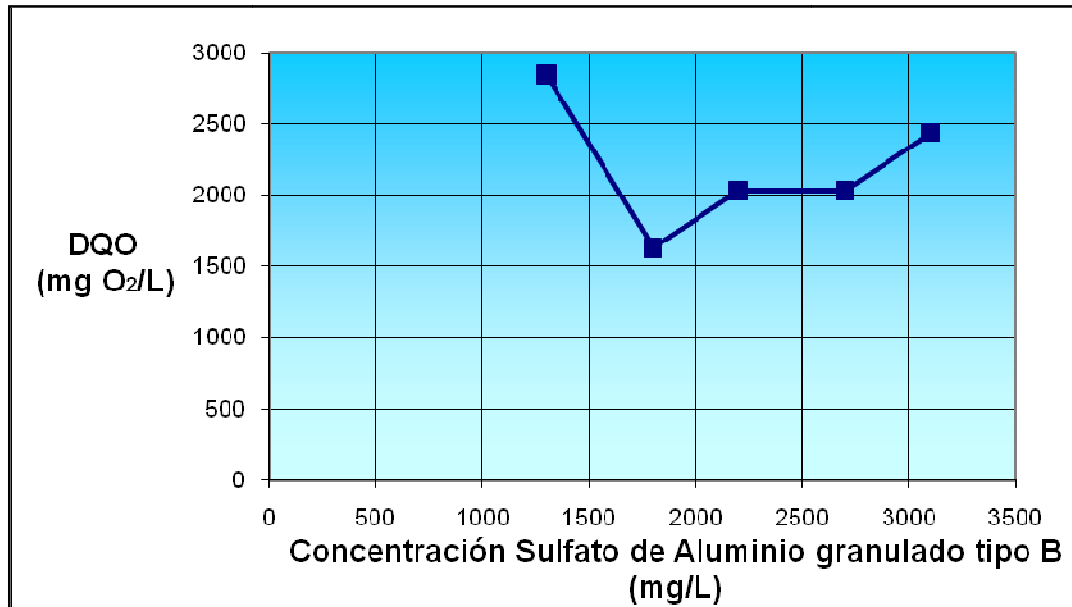


GRÁFICO No. 9



6.4 MUESTRA No. 4

GRÁFICO No. 10

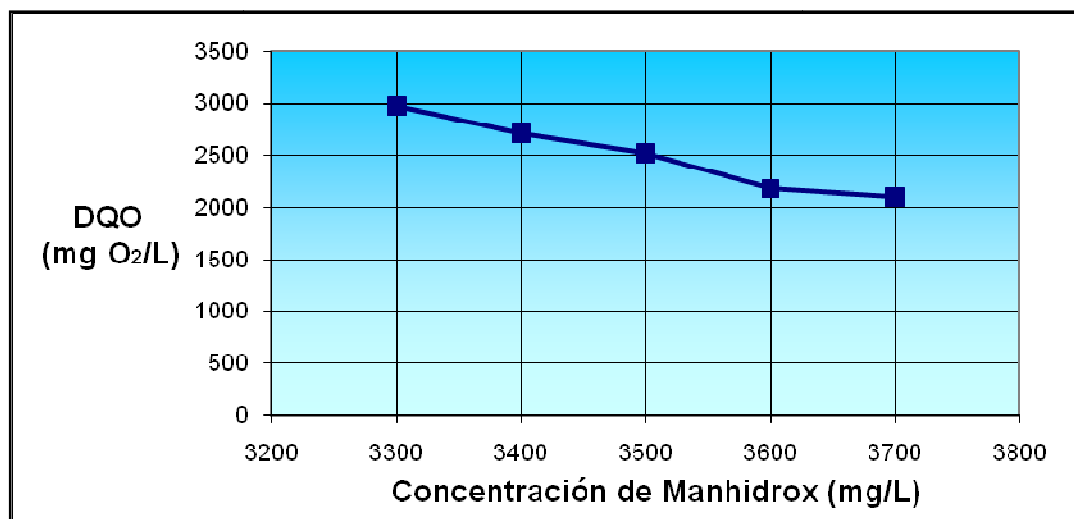


GRÁFICO No. 11

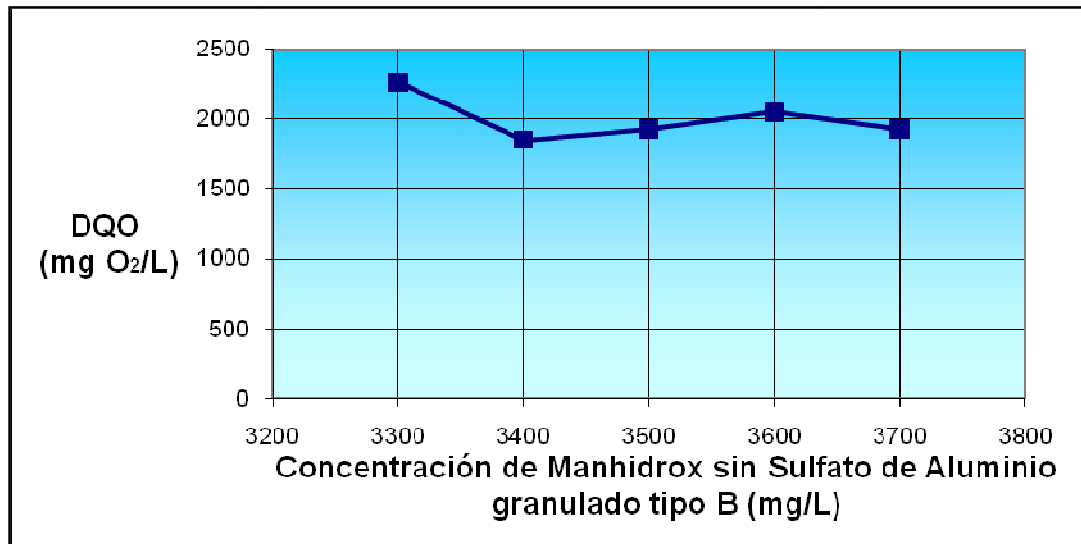


GRÁFICO No. 12

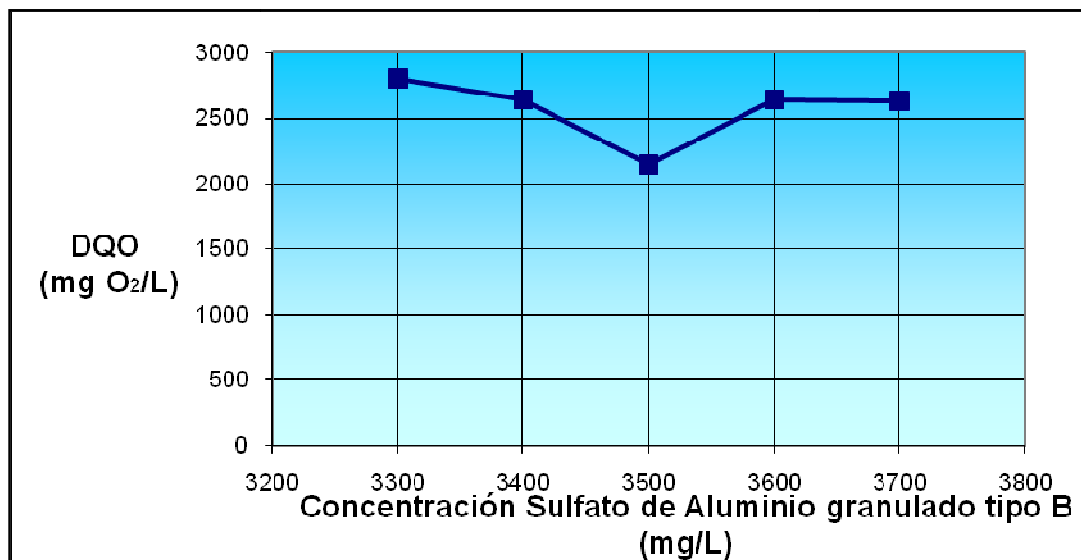


GRÁFICO No. 13

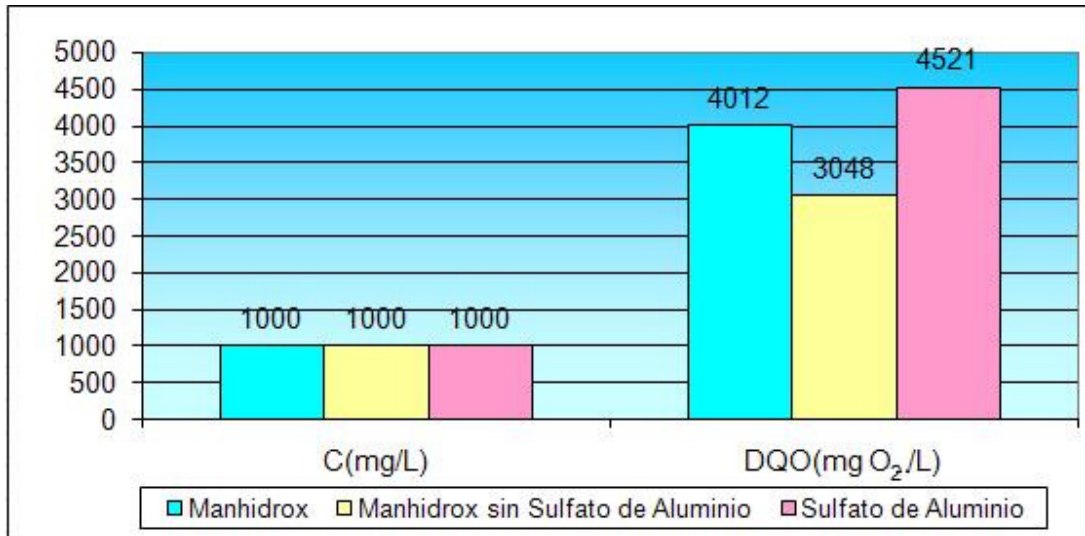


GRÁFICO No. 14

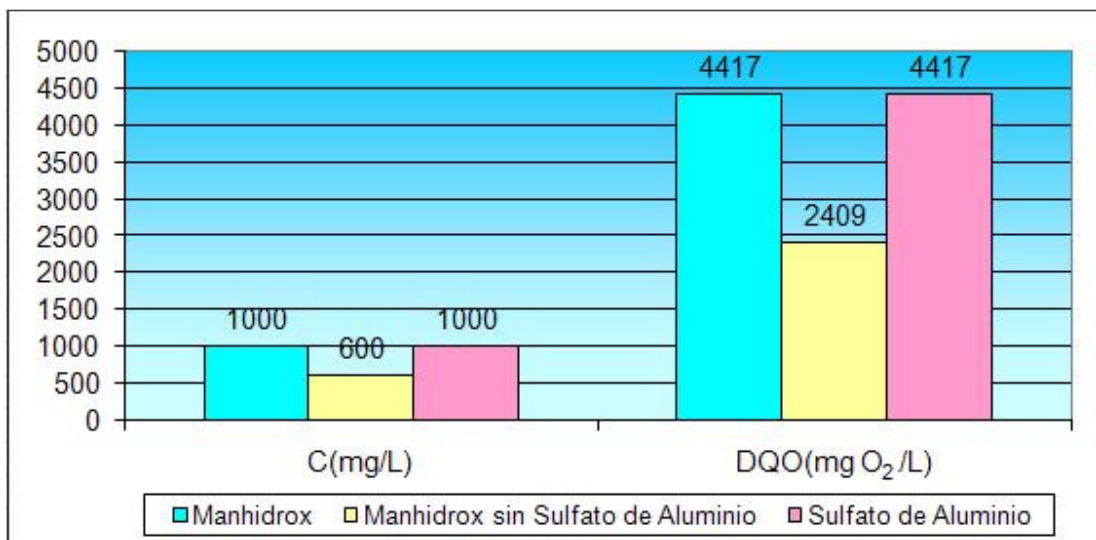


GRÁFICO No. 15

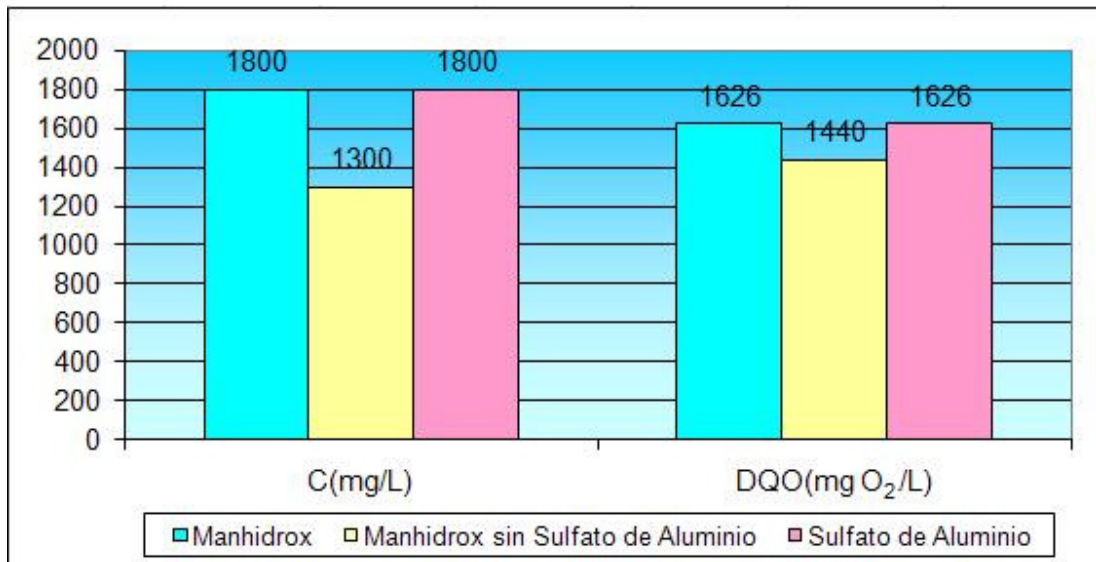
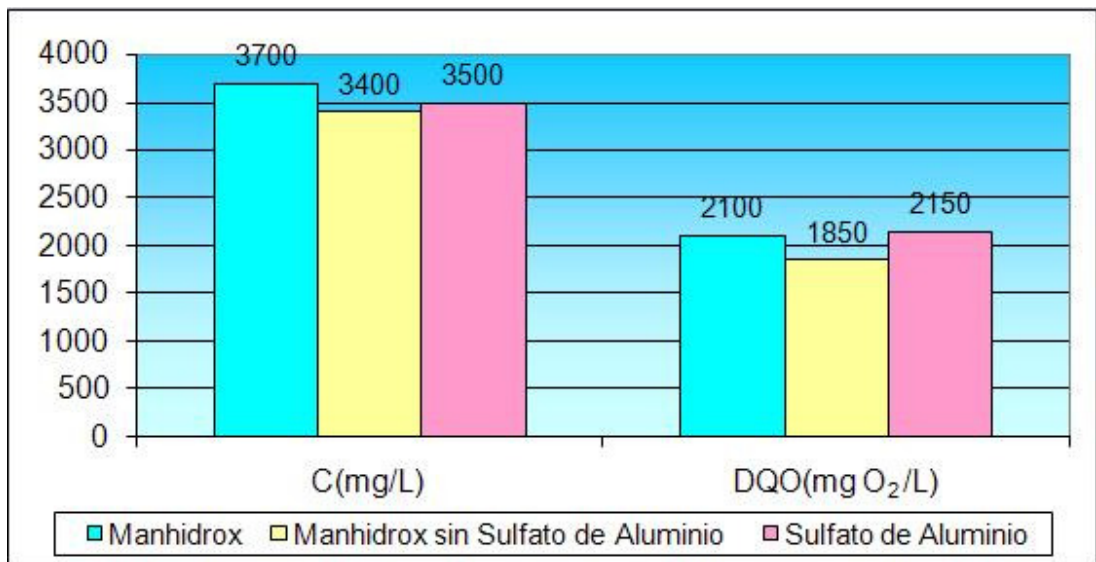


GRÁFICO No. 16



7. CONCLUSIONES

Se observó que en general para las 4 muestras se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de la DQO, con el Manhidrox sin sulfato de aluminio esto debido a que el manganato de sodio (compuesto activo del Manhidrox) es un agente oxidante fuerte, asimismo se observó que con el sulfato de aluminio se obtuvo el mayor porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) para las 4 muestras. El Manhidrox posee ambas propiedades, por el 70 % de manganato de sodio, y el 30 % de sulfato de aluminio presente.

Por lo tanto se concluye que el Manhidrox es un mejor coagulante-floculante comparado con el sulfato de aluminio granulado tipo B en el tratamiento de las aguas residuales producto del beneficio húmedo del café ya que posee ambas propiedades por el manganato de sodio oxidar la materia orgánica y por el sulfato de aluminio granulado tipo B propiciar la sedimentación de los sólidos.

Se encontró un rango de concentración para cada producto donde se obtuvo la mayor remoción de la materia orgánica químicamente oxidable; para el Manhidrox y el sulfato de aluminio granulado tipo B (1000-1800 mg/L) y para el Manhidrox sin sulfato de aluminio (600-1300 mg/L), para muestras con una DQO inicial de 9128 mg O₂/L, 8834 mg O₂/L y 6503 mg O₂/L.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] **PUJOL, Rosendo; ZAMORA, Luís; SANARRUSIA, Maria Luz y BONILLA, Franklin.** Estudio del impacto ambiental del cultivo y procesamiento del café [en línea]. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, (fecha de consulta: 15 de Julio de 2007). Disponible en <http://mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/cambio-actitud/Articulo%20Caso%20del%20Cafe.html>
- [2] **BERMEO, Mirella.** Test de Jarras [en línea]. Guayaquil: Universidad de Guayaquil, facultad de Ingeniería Química, departamento de Ingeniería de aguas. [fecha de consulta: 8 Octubre de 2007]. Disponible en: www.cti.espol.edu.ec/.../nuevoContenido/M2/test%2520de%2520jarras.doc OpenElement -.
- [3] **BARRIENTOS Velásquez, Santiago.** Evaluación de la efectividad del Manhidrox en el tratamiento terciario de las aguas residuales de las porquizas. Pereira 2005. 54p. Trabajo de Grado (Tecnólogo Químico). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología.
- [4] **AGRO TROPICAL.** Historia del Café. [en línea]. Colombia. [fecha de consulta: 2 de Septiembre de 2007]. Disponible en http://www.agrotropical.andes.com/coffee/cafe_historia.htm.
- [5] **MUNDO DEL CAFÉ.** El café ha conquistado el mundo [en línea]. [fecha de consulta: 31 de Agosto de 2007]. Disponible en: <http://www.mundodelcafe.com/historia.htm>.22k
- [6] **FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA.** El café de Colombia. El café, Propagación del Café en el mundo [en línea]. Colombia. [fecha de consulta: 4 de Agosto de 2007]. Disponible en <http://www.cafedecolombia.com/caficultura/propagacion.html>.27k
- [7] **CHALARCA, José.** Vida y Hechos del Café. Bogotá, Común presencia editores (1998).

- [8] **GUIA DEL CAFÉ**. Historia del café y economía del café en Colombia. [en línea]. Colombia. [fecha de consulta: 31 de Agosto de 2007]. Disponible en: <http://www.guiadelcafe.com/article.php?sid=6.29k>
- [9] **CHALARCA**, José. Historia fabulosa de una tasa de café. Bogotá, Federación Nacional de Cafeteros (1997).
- [10] **INFOAGRO**. El Cultivo del Café. [en línea]. [fecha de consulta: 7 de Septiembre de 2007]. Disponible en <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe.asp#2.2.1.-%20COFFEA%20ARABICA.51k1>
- [11] **CHALARCA**, José. El Café en la Vida de Colombia. Bogotá, Federación Nacional de Cafeteros (1997).
- [12] **MINISTERIO DE SALUD**. Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984. Bogotá, (Colombia). Diario Oficial No. 38700 del 23 de Julio de 1984. Artículo 72, de las normas de vertimiento. Disponible en Internet: <http://www.invima.gov.co>.
- [13] **EATON, Andrew D; CLESCERI, Lenore S y GREENBERG, Arnold E. Standart Methods For The Examination Of Water and Wastewater.** APHA, AWWA, WEF. 20 Th edition 1998.
- [14] **OROZCO Jaramillo Álvaro**. Bioingeniería de Aguas Residuales. Teoría y Diseño. [primera edición]. Acodal. Bogotá 2005. 404 p. ISBN: 958-96454-5-3.
- [15] **ARBOLEDA**, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo1. [Tercera edición].Bogotá 2000. ISBN: 958-41-0014-9.
- [16] **ARDILA Otero Fernando**. Aguas Residuales del Beneficio del Café. En: Noticias Químicas. Vol 15, No 60 (sep 1992) p. 14-18. ISSN: 0120-2170.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda que el Manhidrox comercial se venda en polvo para facilitar la solubilidad al momento de preparar las soluciones para el proceso de coagulación-floculación.

Para estudios posteriores con aguas del beneficiado húmedo del café es necesario que los ensayos de jarras se realicen con muestras compuestas, para asegurar representatividad y detectar efectos de la descarga variable de los contaminantes de estas aguas.

Aunque en la finca los Nogales se benefician pequeños volúmenes de café y el agua se mezcla con el de la porqueriza que va a un tanque, en el que luego se deja fermentar y posteriormente se utiliza para riego por gravedad; esto no sucede en todas las fincas por ello es recomendable difundir el presente escrito entre los caficultores que tienen el problema de las aguas del beneficio del café para que realicen un estudio de costo-beneficio en la implementación del Manhidrox.