

**MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO AGUA, EN EL PROCESO DE  
BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ, PARA LA ASOCIACIÓN DE  
PRODUCTORES DE CAFÉ ESPECIAL "ACAFETO" EN EL MUNICIPIO DE  
FRESNO, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.**

**RODRIGO CRISTÓBAL CÁRDENAS GARZÓN  
JULIO ENRIQUE ORTIZ PRIETO**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
MANIZALES**

**2014**

**MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO AGUA, EN EL PROCESO DE  
BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ, PARA LA ASOCIACIÓN DE  
PRODUCTORES DE CAFÉ ESPECIAL "ACAFETO" EN EL MUNICIPIO DE  
FRESNO DEPARTAMENTO DEL TOLIMA**

**RODRIGO CRISTÓBAL CÁRDENAS GARZÓN**

Ingeniero Agrónomo

**JULIO ENRIQUE ORTIZ PRIETO**

Administrador de Empresas Agropecuarias

Tesis de Grado para optar por el título de  
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director

Nelson Rodríguez Valencia. Ingeniero Químico. PhD.

Investigador científico II. Disciplina Gestión de Recursos Naturales y  
Conservación. Cenicafé

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES**

**MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**V Y VI COHORTE**

Manizales, Caldas

**2014**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma jurado

---

Firma jurado

Manizales, 03 de Febrero, 2014.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores del presente trabajo expresan sus agradecimientos primero que todo a Dios por la vida y a las siguientes personas y entidades.

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, por su apoyo económico para culminar nuestros estudios.

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. “Pedro Uribe Mejía”.

Nelson Rodríguez Valencia. Ingeniero Químico. PhD. Investigador científico II. Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación. Cenicafé. Director de Tesis.

A los caficultores socios de “Acafeto” que participaron en la presente investigación por su tiempo, su paciencia y colaboración permanente.

Julio

A mis padres y a mi esposa Shirley por su paciencia. A mis hijos que son mi razón de ser.

Rodrigo

Un especial agradecimiento a mi esposa July por su paciencia y comprensión. A mis hijas July Marcela y Stephanie, lo mismo a mis nietos Ricardo y Ana Sofía.

A mi padre, que a pesar de nunca haber pisado una escuela siempre me apoyó y animó a estudiar.

A mis hermanas que me apoyaron todo el tiempo.

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b>	<b><i>i</i></b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b><i>vii</i></b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b>	<b><i>ix</i></b>
<b>RESUMEN</b>	<b><i>x</i></b>
<b>ABSTRACT</b>	<b><i>xii</i></b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b><i>1</i></b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b><i>4</i></b>
<b>2.1. OBJETIVO GENERAL</b>	<b><i>4</i></b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b><i>4</i></b>
<b>2.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b><i>5</i></b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b><i>6</i></b>
<b>4. MARCO DE REFERENCIA</b>	<b><i>9</i></b>
<b>4.1. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b><i>9</i></b>
4.1.1. Importancia del recurso hídrico.	<i>9</i>
4.1.2. Generalidades de la caficultura en Colombia	<i>11</i>
4.1.3. Café	<i>14</i>
4.1.3.1. Definición	<i>14</i>
4.1.3.2. Clasificación	<i>14</i>
4.1.4. Beneficio del café	<i>14</i>
4.1.4.1. Despulpado	<i>16</i>
4.1.4.2. Fermentación del mucílago	<i>17</i>
4.1.4.3. Lavado del café en los tanques de fermentación	<i>17</i>
4.1.4.4. Secado del café.	<i>18</i>
4.1.5. Relación del manejo integrado del agua en el proceso de beneficio húmedo del café con el desarrollo sostenible.	<i>19</i>
4.1.5.1. Componente social	<i>19</i>
4.1.5.2. Componente ambiental.	<i>20</i>
4.1.5.3. Componente económico.	<i>20</i>

<b>4.2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>21</b>
4.2.1. Legislación ambiental colombiana relacionada con las aguas residuales y el uso eficiente del agua.	21
4.2.1.1. Decreto Nro. 2811 de 1971	22
4.2.1.2. Decreto N° 1594 de 1984.	22
4.2.1.3. Decreto N°901 de 1997.	24
4.2.1.4. Resolución N°372 de 1998	25
4.2.1.5. Reglamento de agua potable y Saneamiento Básico (RAS).	26
4.2.1.6. Decreto 3100 de 2003	26
4.2.1.7. Decreto 3440 de 2004	27
4.2.1.8. Decreto 3930 de 2010	27
4.2.1.9. Decreto 4728 de 2010	29
4.2.1.10. Decreto 2667 de 2012	29
4.2.1.11. Ley 373 de 1997	29
4.2.1.12. Los beneficiaderos de café y la legislación ambiental colombiana.	30
4.2.2. Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Totales (ST), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).	31
<b>4.3. MARCO DE ANTECEDENTES</b>	<b>32</b>
4.3.1. Características físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales del café.	32
4.3.2. Contaminación generada en el beneficio de café	33
4.3.3. Tanques para la fermentación y el lavado del café.	34
4.3.4. Proceso de digestión anaerobia	35
4.3.4.1. Productos finales	35
4.3.4.2. El proceso microbiológico y bioquímico de la digestión anaerobia.	35
4.3.4.2.1. Hidrólisis.	36
4.3.4.2.2. Etapa fermentativa o acidogénica.	36
4.3.4.2.3. Etapa acetogénica	36
4.3.4.2.4. Etapa metanogénica	36
4.3.5. Tratamiento anaerobio de aguas mieles del café.	37
4.3.6. Otros estudios sobre Sistemas de tratamiento utilizados para las aguas residuales del café.	38
4.3.7. Índice de Calidad del Agua (ICA).	40
4.3.8. Diversidad de ambientes naturales zona de estudio.	45
4.3.8.1. Variables climáticas	45

<b>5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</b>	<b>49</b>
<b>5.1. LOCALIZACIÓN</b>	<b>49</b>
5.1.1. Lugar donde se realizaron las caracterizaciones de las muestras.	51
<b>5.2. METODOLOGÍA</b>	<b>51</b>
<b>5.3. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LAS CARACTERIZACIONES</b>	<b>57</b>
5.3.1. Porcentaje de remoción DQO, ST Y SST	61
<b>5.4. MATERIALES</b>	<b>61</b>
<b>5.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>85</b>
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>86</b>
<b>6.1. ASPECTOS SOCIALES DE LOS ENTREVISTADOS QUE HACEN PARTE DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.</b>	<b>86</b>
6.1.1. Edad del encuestado y género	86
6.1.2. Nivel de escolaridad	87
<b>6.2. INFORMACIÓN SOBRE EL ÁREA EN CAFÉ</b>	<b>88</b>
<b>6.3. INFORMACIÓN SOBRE LA DENSIDAD DE SIEMBRA</b>	<b>90</b>
<b>6.4. RESTRICTORES DE FLUJO</b>	<b>90</b>
<b>6.5. DISPOSITIVOS TANQUE TINA</b>	<b>92</b>
<b>6.6. CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS MODULARES.</b>	<b>95</b>
6.6.1. Medida del pH.	101
<b>6.7. Remoción Demanda Química de Oxígeno DQO.</b>	<b>103</b>
<b>6.8. Remoción Sólidos Totales (ST).</b>	<b>108</b>
<b>6.9. Remoción Sólidos Suspendidos Totales (SST).</b>	<b>111</b>
<b>6.10. Índice de calidad del agua (ICA)</b>	<b>115</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>123</b>
<b>8. RECOMENDACIONES</b>	<b>126</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>127</b>
<b>10. GLOSARIO</b>	<b>136</b>
<b>11. ANEXOS</b>	<b>140</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción de café en Colombia últimos 10 años .....	12
Tabla 2. Composición química del mucílago del café.....	18
Tabla 3. Criterios de calidad del agua para uso agrícola .....	23
Tabla 4. Normas de vertimientos a un cuerpo de agua .....	24
Tabla 5. Tasas retributivas por vertimientos puntuales 2007-2013.....	26
Tabla 6. Parámetros determinación de capacidad asimilativa .....	28
Tabla 7. Contaminación generada en diferentes tipos de beneficiaderos húmedos de café, en Colombia .....	30
Tabla 8. Algunas características de las aguas de lavado de café.....	33
Tabla 9. Parámetros de calidad del agua y ponderación según el modelo NFS....	42
Tabla 10. Clasificación del “ICA” propuesto por Brown.....	43
Tabla 11. Precipitación Fresno año 2009. ....	45
Tabla 12. Precipitación municipio Casabianca año 2009.....	47
Tabla 13. Precipitación municipio Palocabildo. Año 2010.....	48
Tabla 14. Relación productores, fincas, veredas, corregimientos, área en café y coordenadas. ....	49
Tabla 15. Puntos de muestreo, frecuencia y unidades de las características físico químicas. ....	55
Tabla 16. Escala de clasificación del índice de calidad del agua.....	56
Tabla 17. Descripción general de los materiales por marca, capacidad y cantidad. ....	62
Tabla 18. Convenciones SMTA 300 .....	81
Tabla 19. Materiales utilizados para inoculación y arranque de los SMTA en el desarrollo de la investigación.....	83
Tabla 20. Día y tiempo de arranque para SMTA 300.....	85
Tabla 21. Edad de los encuestados y clasificación por género. ....	86
Tabla 22. Nivel de educación Encuesta Nacional Cafetera vs. Caficultores encuestados.....	88
Tabla 23. Media, límite inferior y límite superior para la variable área en café. ....	89
Tabla 24. Agua utilizada para lavado de equipos con restrictor de flujo y manguera de ½ pulg. ....	91
Tabla 25. Media, máxima, mínima, para el volumen de agua gastado con manguera de ½ pulg con respecto a manguera de ½ pulg con restrictor de flujo..	91

Tabla 26. Determinación del volumen del tanque tina. ....	92
Tabla 27. Lavado café baba en tanque tina plástico 250 L. ....	93
Tabla 28. Lavado café baba en tanque de mampostería de 1100 L en promedio .	93
Tabla 29. Media, máxima, mínima, para consumo en L de agua en el lavado de 1 kg de café pergamino seco, tanque tina versus tanque mampostería. ....	94
Tabla 30. Caracterización físico química de afluentes, en el mes de Mayo mitaca del año 2011. ....	95
Tabla 31. Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas del líquido afluente, en estado estable para mitaca Mayo, 2011. ....	95
Tabla 32. Caracterizaciones físico químicas de efluentes, en el mes de Mayo mitaca del año 2011. ....	96
Tabla 33. Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas del líquido efluente, en estado estable, para mitaca Mayo 2011. ....	97
Tabla 34. Comparativo entre el Afluente y el Efluente para mitaca Mayo. ....	98
Tabla 35. Caracterizaciones físico químicas de afluentes, en el mes de Noviembre cosecha del año 2011. ....	98
Tabla 36. Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas del líquido afluente, en estado estable para cosecha Noviembre 2011. ....	99
Tabla 37. Caracterizaciones físico químicas de efluentes, en el mes de Noviembre cosecha del año 2011. ....	100
Tabla 38. Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas del líquido efluente, en estado estable para cosecha Noviembre 2011. ....	101
Tabla 39. Comparativo entre el Afluente y Efluente para cosecha Noviembre. ...	101
Tabla 40. Valores medios de pH en cosecha y mitaca para el líquido afluente y efluente. ....	102
Tabla 41. Porcentaje de remoción DQO en Mitaca - Mayo-2011. ....	104
Tabla 42. Media, desviación estándar, máximos, mínimos y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de DQO para mitaca Mayo 2011. ....	105
Tabla 43. Porcentaje de remoción DQO en cosecha Noviembre 2011. ....	106
Tabla 44. Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de DQO para cosecha Noviembre 2011. ....	107
Tabla 45. Comparativo del porcentaje de remoción DQO, en mitaca Mayo y cosecha Noviembre. ....	107

Tabla 46. Porcentaje de remoción ST mitaca Mayo 2011. ....	108
Tabla 47. Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de ST para mitaca Mayo 2011.....	110
Tabla 48. Porcentaje de remoción ST cosecha Noviembre 2011. ....	110
Tabla 49. Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de ST para cosecha Noviembre 2011. ....	111
Tabla 50. Porcentaje de remoción SST mitaca Mayo 2011.....	112
Tabla 51. Media, desviación estándar, máximos, mínimos y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de SST para mitaca Mayo 2011.....	112
Tabla 52. Porcentaje de remoción SST cosecha Noviembre 2011.....	113
Tabla 53. Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de SST para cosecha Noviembre 2011.....	114
Tabla 54. Índice de calidad del agua para el afluente en mitaca Mayo.....	116
Tabla 55. Índice de calidad del agua para el efluente en mitaca Mayo.....	116
Tabla 56. Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas requeridas para calcular el índice de calidad del agua, en el afluente y efluente para mitaca Mayo 2011.....	118
Tabla 57. Índice de calidad del agua para el afluente en cosecha Noviembre 2011. ....	119
Tabla 58. Índice de calidad del agua para el efluente en cosecha Noviembre. ...	120
Tabla 59. Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas requeridas para calcular el índice de calidad del agua, en el afluente y el efluente para cosecha Noviembre 2011. ....	121

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes del fruto de café.....	15
Figura 2. Diagrama de flujo del beneficio húmedo del café en Colombia. ....	16
Figura 3. Esquema de un Sistema modular de tratamiento de aguas mieles. ....	38
Figura 4. Sistema de tratamiento anaerobio .....	39
Figura 5. Temperatura Fresno año 2009. ....	46
Figura 6. Precipitación Fresno año 2009 comparado con el histórico.....	46
Figura 7. Precipitación municipio Casabianca año 2009 comparada con el histórico. ....	47
Figura 8. Precipitación municipio Palocabildo 2010 comparado con el histórico. ...	48
Figura 9. Laboratorio Biodigestión Cenicafé. Plan Alto. Chinchiná Caldas.....	51
Figura 10. Muestras de los efluentes de los sistemas modulares.....	54
Figura 11. Muestras de cada uno de los 4 enjuagues en el tanque de lavado. ....	57
Figura 12. Muestra Efluente.....	57
Figura 13. Digestor y espectrofotómetro y viales de alto rango utilizados para la determinación de la DQO. ....	58
Figura 14. Estufa utilizada en la determinación de sólidos. ....	59
Figura 15. Ph metro Modelo seven Go .....	59
Figura 16. Equipo portátil utilizado en la determinación del oxígeno disuelto. ....	60
Figura 17. Restrictor de flujo.....	62
Figura 18. Despiece restrictror de flujo. ....	63
Figura 19. Despiece con adaptador macho y manguera. ....	64
Figura 20. Restrictror de flujo, adaptador macho y manguera. ....	64
Figura 21. Tanque tina 250 L y detalle sistema drenajes.....	65
Figura 22. Trampa pulpa.....	66
Figura 23. Válvula de entrada de agua a la trampa pulpas (despiece). ....	66
Figura 24. Válvula de descarga. ....	67
Figura 25. Entrada de las aguas mieles a la trampa de pulpas a través de la válvula de descarga. ....	68
Figura 26. Dispositivo de salida de las aguas mieles.....	68
Figura 27. Rebose de seguridad.....	69
Figura 28. Ubicación de las arandelas de neo lite entre las paredes del tanque y los dispositivos instalados.....	70
Figura 29. Acople entre los accesorios de PVC y la manguera .....	70
Figura 30. Tubería de entrada al primer tanque hidrolítico. ....	71

Figura 31. Dispositivo de salida de los reactores hidrolíticos.....	72
Figura 32. Dimensión del dispositivo interior de salida del reactor hidrolítico acidogénico, de acuerdo con el volumen de los tanques.....	73
Figura 33. Tubería salida lodos.....	73
Figura 34. Recámara dosificadora.....	74
Figura 35. Accesorios internos y externos de la recámara dosificadora.....	75
Figura 36. Recamara dosificadora con grava y marco de recolección interno.....	75
Figura 37. Malla mosquitera.....	76
Figura38. Marco de recolección interno.....	77
Figura 39. Dispositivo de regulación de caudal de la recámara dosificadora.....	77
Figura 40. Disco perforado.....	77
Figura 41. Tapón roscado.....	78
Figura 42. Dispositivo interno de distribución de flujo en el reactor metanogénico. .....	79
Figura 43. Dispositivo de salida del reactor y tanque metanogénico con sus correspondientes medidas.....	79
Figura 44. Modelo SMTA 300.....	80
Figura 45. Adecuaciones del terreno para la instalación de los SMTA.....	81
Figura 46. Botellas no retornables.....	82
Figura 47. Inóculo estiércol fresco de vacuno.....	83
Figura 48. Inóculo en el reactor metanogénico.....	84
Figura 49. Género del encuestado.....	87
Figura 50. Nivel de escolaridad de los encuestados.....	88
Figura 51. Número de fincas según rango de área en ha.....	89
Figura 52 pH del líquido afluente y efluente en mitaca Mayo y cosecha Noviembre de 2011 respectivamente.....	103
Figura 53 Remoción (%) de DQO en mitaca Mayo y cosecha Noviembre 2011.....	108
Figura54. Comportamiento del Índice de Calidad del agua en el Afluente y el Efluente, para Mitaca Mayo y Cosecha Noviembre 2011.....	122

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Formulario encuesta de manejo integrado del recurso agua en el beneficio húmedo del café (dos paginas).....	130
Anexo 2. Formulario encuesta de manejo integrado del recurso agua en el beneficio húmedo del café (cinco paginas).....	132

## RESUMEN

Esta investigación contribuye al manejo integrado del recurso hídrico en el proceso de beneficio húmedo del café.

Para el desarrollo de esta investigación y conocer el estado del manejo del agua en el proceso de beneficio, antes y después de ejecutar la investigación, se realizó una encuesta inicial a 41 caficultores que forman parte de la asociación de productores de café especial del municipio de Fresno Tolima "Acafeto". La encuesta inicial involucró aspectos socioeconómicos, información sobre el uso de la tierra y aspectos relacionados con el sistema de beneficio; para la encuesta final se le agregó a lo anterior la valoración del recurso hídrico y prácticas sostenibles.

Los resultados de la encuesta inicial permitieron determinar que 3 encuestados (7,3%) utilizaba agua en la tolva de recibo del fruto de café, incrementando los volúmenes de aguas residuales; 10 encuestados (24,0%) utilizaban agua en el despulpado del fruto, incrementando los niveles de contaminación hídrica. En cuanto a los dispositivos para lavar el café, 38 encuestados (92,7%) utilizaban tanque rectangular en mampostería, el resto de encuestados utilizaban tanques plásticos con aristas redondeadas que permiten hacer un uso eficiente del agua en el lavado del café. El 80,0% de los encuestados utilizaba 3 enjuagues, pero sin hacer control del nivel de agua, en el tanque, con un consumo promedio de agua de 9,4 L/kg de café pergamino seco para lavar el café en los tanques de fermentación. Dos encuestados (4,9%) utilizaban 4 enjuagues; seis encuestados (14,6%) utilizaban 2 enjuagues y un encuestado manejaba desmucilagador lavador, con un consumo de agua menor a 1,0 L por kg de café pergamino seco.

En cuanto a la disposición de las aguas residuales del lavado del café, 27 encuestados (65,9%) realizaban vertimiento a campo abierto; 13 encuestados (31,7%) realizaban el vertimiento a fuentes superficiales de agua; solamente un encuestado lo recolectaba en un tanque plástico y posteriormente lo adicionaba a la pulpa de café en la fosa de almacenamiento.

La encuesta final, aplicada a la misma población objetivo, presentó los siguientes resultados: 41 encuestados, o sea el 100,0%, no utilizaban agua en la tolva de recibo; el 100,0% de los encuestados no utilizaba agua para despulpar el café. El 36,6% de los encuestados implementó tanques plásticos con aristas redondeadas

para el lavado del café. El 58,5% de los encuestados implementó la práctica de lavado en tanque tina controlando el nivel de agua.

El 65,9% de los encuestados utilizó 3 enjuagues controlando el nivel de agua para el lavado del café y el 31,7% de los encuestados utilizó 4 enjuagues para el lavado del café y uno de los encuestados continuó utilizando el desmucilagador lavador.

El 100,0% de los encuestados, llevaba las aguas residuales del proceso de lavado del café en los tanques de fermentación, a sistemas de tratamiento.

Con el fin de disminuir el consumo de agua, en el proceso de beneficio se evaluaron dispositivos reductores de agua (restrictores de flujo), incorporados en las mangueras que utilizaban los productores en el lavado de equipos (despulpadoras, desmucilagador). Los resultados permitieron determinar un ahorro medio del 33%, con este dispositivo. De igual manera se evaluaron 10 tanques tina plásticos, de forma cilíndrica y de 250 L de capacidad, para el lavado del café proveniente del proceso de fermentación natural, utilizando 4 enjuagues (consumo promedio 5,7 L de agua/ kg de café pergamino seco). Los resultados mostraron un ahorro medio en el consumo de agua del 39,7%, respecto al consumo de agua obtenido en los tanques rectangulares en mampostería.

Se caracterizaron las corrientes de entrada y salida en la cosecha de mitaca y principal del año 2011, con el fin de determinar si las remociones de carga orgánica en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (SMTA), permitían cumplir con lo exigido en la normativa ambiental vigente para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales. Los resultados permitieron determinar una remoción media de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 96,8% (n=40; CV= 6,5%), para cosecha de mitaca y una remoción media del 97,7% (n= 35; CV=2,5%), para cosecha principal.

Con el fin de evaluar la calidad del agua a la entrada y a la salida de los sistemas de tratamiento y determinar sus posibles usos, se utilizó el modelo del Índice de Calidad del Agua (ICA), propuesto por la Fundación de Saneamiento de los Estados Unidos (NSF). Los resultados permitieron determinar una valoración positiva de la calidad del agua del efluente con respecto al afluente, en cosecha en 28,49% y 44,58% en mitaca.

## ABSTRACT

This research contributes to the integrated management of water resources in the coffee wet milling process.

For the development of this research and to know the status of water management in the beneficiation process, before and after the research, we conducted an initial survey of 41 farmers who are part of the associative group "Acafeto" in Fresno Tolima. The initial survey involved socioeconomic information, land use and issues related to the system of beneficiation. For the final survey was added to the above, the assessment of water resources and sustainable practices.

The initial survey results, revealed that 3 respondents (7,3%) used water into the holder hopper, of the coffee beans, increasing wastewater volumes, 10 respondents (24,0%) used water in the pulping off the fruit, increasing pollution levels. As for the devices to wash coffee, 38 respondents (92,7%) used masonry rectangular tanks, the remaining respondents used plastic tanks with rounded edges that allow an efficient use of water to wash the coffee. The 80,0% of respondents used three rinses, but without control of the water level in the tank, with an average consumption of 9,4 L of water / kg of dry parchment coffee to wash the coffee in the fermentation tanks. Two respondents (4,9%) used 4 rinses, six respondents (14,6%) used 2 rinses and a respondent uses a handled desmucilagador scrubber with water consumption of less than 1,0 L per kg of dry parchment coffee.

Regarding the disposal of wastewater from the coffee washing, 27 respondents (65,9%) did "the open dumping", 13 respondents (31,7%) did the discharge on the surface water sources, only one respondent collected it on a plastic tank and subsequently added it to coffee pulp in the storage pit.

The final survey applied to the same target population showed the following results: 41 respondents, or 100,0%, did not use water in the receiving hopper, the 100,0% of the respondents did not use water for pulping coffee. The 36,6% of respondents implemented plastic tanks with rounded edges for washing coffee. The 58,5% of respondents implemented the practice of washing tub tank with water level control.

The 65,9% of respondents used three rinses controlling the water level for washing coffee and 31,7% of respondents used 4 rinses to wash the coffee and one of the respondents kept using the washer desmucilagador.

The 100.0% of respondents had sewage water the coffee washing process the fermentation tanks, to the treatment systems.

Keeping in mind the idea of saving water in the process, we used redactors installed into the water conductors that he used results showed a 33%, saving, with this device.

We, also tested 10, 250 L capacity tanks, used for the washing of the beans, after four rinses (average consumption 5,7 L of water/kg of dry coffee parchment). There was a 39.7% water save against using regular wooden tank.

We keep hack on the in and out of the emissions of the son harvest (Both, mitaca and main) to quality if the organic waste remotions are accord with the actual norms. The results allowed to determine a mean removal of Chemical Oxygen Demand (DQO) of 96.8% (n=40; CV=6.5%), mitaca harvesting and a mean removal of 97.7% (n=35; CV=2.5%), for main harvest.

We used the ICA standard as suggested for the NSF and the results are positive for the affluent on the harvest season with a 28.49% and a 44.58 on the midseason.

## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países más ricos del mundo en agua dulce, un elemento esencial e insustituible para las especies de tierra firme incluyendo la vida humana. Su oferta hídrica superficial está estimada en 2084 km<sup>3</sup>/año y su riqueza hídrica representa el 1,96% de los recursos hídricos mundiales. No obstante, los problemas de contaminación hídrica han reducido en un 60% la disponibilidad del recurso, por afectación de su calidad (República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2010). En las actividades agrícolas, el manejo inadecuado del agua que entra en contacto con el material vegetal, puede generar problemas graves de contaminación ambiental, como en el caso del proceso de beneficio del café.

Ramírez, Silva, Valenzuela, Villegas y Villegas (citados por Serna, Trejos, Cruz y Calderón, 2012), dicen que en Colombia el sector cafetero se constituye en una fuente de capital social y estratégico. Durante el siglo XX, fue motor del desarrollo económico y social con mayores aportes en las zonas cafeteras.

En los últimos 30 años el café ha respondido en promedio por el 23% del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola, el 13% del PIB agropecuario y el 2,3% del PIB total. En Colombia se encuentran cultivadas en café, 921.000 ha y 563.000 familias producen el grano. La población que vive directamente del café alcanza los 2.000.000 de personas. El sector cafetero genera 631.000 empleos al año, 3,7 veces más que el generado por las flores, el banano, el azúcar y la palma juntos (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2012).

El cultivo del café se encuentra en altitudes comprendidas entre los 1.100 y 1.800 msnm, con temperaturas que oscilan entre los 17 y los 23°C. Durante muchos años, Colombia ha dado un valor agregado a su café siguiendo un proceso semi-industrial llamado beneficio de café, el cual es determinante en la producción del grano y ha garantizado en el transcurso del tiempo la calidad, ya que el 80% de los defectos que se presentan en el grano pueden ocurrir debido a inconvenientes en el proceso.

Los pequeños caficultores realizan el beneficio del café en sus propias parcelas con la ayuda de sus familias y no recurren a particulares para que efectúen el

proceso y por lo general cuentan con una infraestructura simple (Aristizábal y Duque, 2005).

En las instalaciones tradicionales de beneficio húmedo para lavar café, se registran consumos de agua entre 20 y 30 L por kg de café pergamino seco (Zambrano e Isaza, 1994).

Durante el proceso de beneficio húmedo del café se generan dos subproductos: la pulpa y el mucílago de café. El despulpado sin agua y el transporte de la pulpa en seco (por gravedad o tornillo sinfín), reducen cerca del 75% del potencial contaminante de los subproductos en la etapa del beneficio húmedo. Durante el lavado del café en los tanques de fermentación, el uso indiscriminado del agua conduce a obtener grandes volúmenes de aguas residuales lo que dificulta su tratamiento y lo hace más costoso (Zambrano, 1992).

Las aguas residuales del café, tienen un alto contenido de materia orgánica y un pH ácido (Rodríguez, 2009). En ensayos de laboratorio se han encontrado que pueden ocasionar la muerte de animales acuáticos tales como microorganismos, renacuajos y peces, eventualmente dañar la flora presente en dichas aguas y si se vierten en los ríos en grandes volúmenes, se puede ocasionar un medio anaeróbico (desprovisto de oxígeno) que, de prolongarse mucho, cambiará totalmente la ecología del agua (Torres y Rodríguez, 1991).

En el proceso de elaboración de la bebida de café sólo se utiliza el 6% del peso del fruto fresco (Calle, 1977) y el resto queda en forma de residuos, que de no ser utilizados o dispuestos convenientemente se convierten en fuentes de contaminación del medio ambiente. Un balance de materia y la determinación de la capacidad contaminante de los subproductos generados en el proceso de beneficio húmedo del café permiten determinar que la pulpa proveniente de un despulpado de 1 kg de café cereza tiene una capacidad contaminante equivalente a la generada en excretas y orina por 0,85 habitantes-día (Zambrano y Rodríguez, 2008). Las aguas residuales provenientes del lavado del café en el tanque de fermentación (0,84 L/kg de fruto) generan una contaminación equivalente a la generada en excretas y orina por 0,3 habitantes-día (Zambrano y Rodríguez, 2008).

Con el fin de aportar soluciones al problema de contaminación y al alto consumo de agua en el proceso de beneficio húmedo del café se hace necesario que el productor implemente prácticas para el uso eficiente del agua mediante la

instalación de dispositivos ahorradores, la utilización de la gravedad en las instalaciones de beneficio, el despulpado sin agua y el transporte no hidráulico de la pulpa y del café despulpado. Como también racionalizar el consumo en el lavado del grano, utilizando menos de 1,0 L de agua para lavar el café proveniente de 1 kg de fruto.

Lo anterior se complementa con la instalación y puesta en funcionamiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales del café que permite obtener efluentes que cumplan con lo dispuesto en la normativa ambiental vigente. Como también con la realización de un proceso de sensibilización, capacitación y acompañamiento a los productores para que realicen un manejo integrado del agua en el proceso de beneficio del café.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar, implementar y evaluar, una metodología integral en el manejo del Recurso Hídrico, en el proceso de beneficio húmedo del café.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar el manejo actual que la asociación de café especial “Acafeto”, realiza del agua en el proceso de beneficio húmedo del café.
- Capacitar a los productores de la asociación en el manejo integrado del agua, en el proceso de beneficio húmedo del café y evaluar la adopción de las prácticas propuestas.
- Implementar y evaluar dispositivos y prácticas ahorradoras de agua en el proceso de beneficio húmedo del café.
- Implementar y evaluar sistemas de tratamiento para las aguas residuales del café.
- Evaluar el Índice de Calidad del Agua en las corrientes de entrada (Afluentes) y de salida (Efluentes) de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, utilizando el modelo NSF (National Sciences Foundation).

### **2.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

Los procesos de sensibilización, capacitación e implementación de dispositivos y prácticas ahorradoras de agua, como restrictores de caudal y lavado del café por enjuagues utilizando el tanque tina, en las fincas de los asociados, permiten disminuir el consumo de agua en el proceso de beneficio húmedo del café en al menos el 30%.

La utilización de sistemas de tratamiento para las aguas residuales del café permite reducir la contaminación orgánica, medida en términos de DQO y SST en más del 80%.

La utilización de sistemas de tratamiento para las aguas residuales del café permiten mejorar el Índice de Calidad del Agua en al menos el 25%.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Alrededor de un 70% del agua dulce extraída en el mundo se emplea en la agricultura; en algunas regiones esta cifra supera el 80% (Grajales, Jaramillo y Cruz, 2008). Cuando una gran cantidad del caudal de los ríos se desvía con fines agrícolas, industriales y residenciales, simplemente no hay agua suficiente para atender las demandas humanas y las necesidades del caudal ambiental (el caudal necesario para mantener los servicios ambientales en los ecosistemas). En algunas regiones, la presión sobre los recursos hídricos es intensa. La extracción de agua alcanza sus niveles máximos en tierras áridas y mínimos en los países tropicales. En África septentrional se extrae anualmente en promedio un 78% de los recursos hídricos renovables; en el Asia occidental, casi la mitad; contrariamente a esto, América Latina sólo utiliza el 2% de sus recursos hídricos renovables cada año (Grajales et al., 2008). El clima, caracterizado principalmente por las precipitaciones y la temperatura, es el factor que más influye sobre los recursos hídricos, al interactuar con las masas de tierra, los océanos y el relieve. Aun así, todos los componentes del ciclo hidrológico precipitación, infiltración, escorrentía, evaporación y transpiración deben tenerse en cuenta a la hora de elaborar los programas de gestión del agua (Grajales et al., 2008).

Los desafíos del manejo del agua dulce son cada vez más comunes, la asignación de los recursos limitados de agua entre los usos agrícolas, residenciales, industriales y energéticos requieren ahora de la completa integración de la oferta, demanda, calidad de agua , consideraciones ecológicas y riesgos del recurso (Water Evaluation And Planning, 2012).

Colombia presenta una precipitación promedio anual de 3000 mm anuales en el área continental. Esta cantidad de agua es suficiente para generar una considerable escorrentía que nutre ríos, quebradas y diferentes tipos de almacenamientos. La oferta hídrica generada en términos de rendimiento es de 58 L/s - km<sup>2</sup>; al comparar esta cifra con el plano mundial, vemos que sextuplica la cantidad de agua promedio y triplica la cantidad de agua en Latinoamérica. Se puede afirmar que para cada persona en Colombia hay para repartir 53.000 m<sup>3</sup>/año. Mientras en otros países un habitante no alcanza a tener 1.000 m<sup>3</sup> por año. Es así como en Colombia aparece una cifra exorbitante que ha llevado al despilfarro de agua y a carecer de una disciplina en el manejo del recurso hídrico.

En general, si la oferta de agua superficial calculada es de 67.000 m<sup>3</sup>/s, lo preocupante es que la mayoría de los municipios del país se abastecen de unas pequeñas fuentes que no llegan a tener 50 L/s. Esto quiere decir que la demanda requiere planificarse porque involucra la necesidad básica de la población, especialmente aquella que no está abastecida suficientemente. Se han analizado 1.070 municipios que corresponden al 96% del total. De ellos, 540 tienen una cobertura de alcantarillado mayor o igual al 80% y 118 municipios tienen un 18% de cobertura. Estas cifras revelan un déficit en el manejo del agua usada porque la mayoría de las poblaciones no tienen sistemas de tratamiento de aguas servidas y de ahí la problemática de restauración de las condiciones del agua (República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

El problema ambiental planteado hasta el momento ha generado una gran cantidad de investigaciones, dando origen a conocimientos y tecnologías que pueden ser empleadas para lograr una producción amigable con el ambiente, y con particular preferencia en el aprovechamiento de subproductos y la optimización del consumo de agua.

Sin embargo el beneficio tradicional del café, sigue realizándose de manera generalizada y gran parte de estos aportes científicos no han sido adoptados por el caficultor colombiano dado los costos derivados de estas tecnologías, la falta de conciencia ambiental del productor y su dificultad al cambio.

En este contexto, el desarrollo e implementación de tecnologías y procesos no convencionales en concordancia con las necesidades de los caficultores colombianos debe ser una prioridad de la investigación que se sustenta en la relevancia del café en la economía nacional.

Aunque Colombia es un país muy rico hídricamente, sin embargo en la zona cafetera presenta dificultades por tener municipios pequeños, con alta concentración de población y sistemas de abastecimiento reducidos y frágiles localizados en montaña. Esto nos permite tener en cuenta que el concepto de índice de escasez; (relación porcentual de la demanda del conjunto de actividades económicas y sociales con la oferta hídrica disponible, luego de aplicar factores de reducción por calidad y caudal ecológico), nos permite generar actividades encaminadas al ahorro del agua. (República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Esta investigación pretende que el pequeño productor de café adopte un manejo integrado del recurso hídrico, en el proceso de beneficio húmedo del café, lo cual permitirá fortalecer la gestión ambiental dentro de la asociación de productores de café “Acafeto” y podrá generar un modelo que puede ser implementado por otras asociaciones, contribuyendo al manejo hídrico a nivel local, regional y nacional.

En el marco legal los efluentes generados en el proceso de beneficio del café deben ser tratados conforme a las exigencias de la normatividad colombiana vigente.

Esta investigación contribuye en el manejo integrado del recurso hídrico, en el proceso de beneficio húmedo del café, con el fin de alcanzar una caficultura sostenible en armonía con el medio ambiente.

Sin duda alguna el enfoque de este trabajo de investigación permite desarrollar un modelo integral adecuado y alcanzable, dentro de un sistema sostenible en el manejo del recurso hídrico desde la región, que podría implementarse en otras zonas del país generando un impacto positivo, tanto en aspectos ambientales como sociales y económicos.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1. MARCO CONCEPTUAL

#### 4.1.1. Importancia del recurso hídrico.

El agua es de gran importancia en la mayoría de los procesos productivos agropecuarios los cuales de alguna forma alteran la calidad de este recurso generando contaminación; el subsector cafetero no es ajeno a esta situación, pues con las actividades propias de la finca cafetera se genera contaminación en las fuentes hídricas, además del consumo excesivo de este valioso recurso, en especial en el proceso de beneficio húmedo del café.

Es prioritario relacionar las tendencias de consumo frente a la disponibilidad futura del recurso hídrico, enmarcado en el desarrollo sostenible, lo cual nos lleva a tener en cuenta y definir claramente los siguientes conceptos:

El Agua Virtual definida como el volumen de agua requerido para producir una unidad de bien o servicio ( $m^3/ton$ ). Virtual significa que la mayoría de agua usada para producir un bien no está contenida en el mismo (Grajales et al., 2008).

La Huella Hídrica expresada como el volumen total de agua que se necesita para producir bienes y servicios consumidos por un país ( $m^3/año$ ) (Grajales et al., 2008).

A manera de ejemplo, indicadores estimados reportan que para producir una taza de café (125 ml) se necesitan 120 L de agua y para precisar estos conceptos Chapagain y Hoekstra, (2003), realizaron varios estudios. Uno de ellos midió cuánta agua virtual movilizan 356 productos transados en el comercio internacional (1997-2001), estimando en conjunto que se mueven un 1,26 billones de  $m^3$  de agua y entre los productos, el café no tostado y no descafeinado ocupa el primer lugar aproximadamente con 80.000 millones de  $m^3$ . Esto equivale al 6,32% del volumen del intercambio de agua virtual en el mundo. En segundo lugar está el trigo con 75.000 millones de  $m^3$  de agua virtual al año (Chile Potencia Alimentaria, 2013).

Las reservas de agua disponibles para la población en el mundo están disminuyendo por diferentes causas, entre ellas, la deforestación acelerada, el uso excesivo de las aguas subterráneas, el crecimiento de la población en especial en las regiones con escasez de agua, a la mayor demanda de la seguridad alimentaria y bienestar socio económico y a la contaminación de origen industrial, urbano y agrícola. A lo anterior se debe agregar una pérdida en la calidad del agua por falta de tratamiento de aguas residuales. (Cadena y Jaramillo, 2009).

De acuerdo con el sexto foro mundial del agua celebrado en Marsella-Francia en Marzo de 2012, el aumento a nivel mundial de las demandas y usos múltiples del agua, exige de cara al desarrollo sostenible, una gestión integrada de los recursos de agua y todos los principios y procesos que proponen para facilitar la toma de decisiones, la planificación y la inversión a todos los niveles (Sexto Foro Mundial del Agua, 2012).

Nuestro país no es ajeno a la problemática anterior y por lo tanto debe fortalecer los programas de ahorro y uso eficiente del agua y la intensificación de los mecanismos limpios de producción (Cadena y Jaramillo, 2009).

El cambio climático global, está relacionado con modificaciones lentas y persistentes del clima, fenómeno que se confirma cada vez de forma más evidente: la combinación de bajas precipitaciones y de una elevada evaporación en diversas regiones provoca una disminución en la cantidad de agua de los ríos, lagos y acuíferos, mientras que la creciente contaminación daña los ecosistemas y la salud, los medios de vida y la propia existencia de quienes no gozan de un acceso adecuado y seguro al agua potable y al saneamiento básico. La actividad agrícola y los asentamientos humanos son los principales contaminadores de los recursos hídricos, por lo que la buena gestión de las aguas residuales es esencial para reducir la contaminación (Grajales et al., 2008).

En la actualidad se viven los efectos de distintos problemas ambientales. Los impactos combinados de estos problemas sobre el medio ambiente, es lo que se conoce como "crisis ambiental". Esta situación afecta a los diferentes elementos de la naturaleza, tales como plantas y animales (elementos bióticos), agua, suelo y aire (elementos abióticos); y a todos los seres que habitan en el planeta. Cuando la naturaleza es afectada, disminuyen los bienes y servicios que ella puede brindar a la sociedad. Uno de los indicadores de la crisis ambiental; es el daño a los recursos hídricos, ocasionado por la contaminación y la sobre explotación de los

ríos, lagos y acuíferos; así como el inadecuado, manejo y conservación del agua. Esta condición es conocida como crisis del agua. Este fenómeno de deterioro ambiental tiene impacto sobre los sistemas naturales y sobre las actividades humanas. La problemática ambiental es global es decir que afecta a todos los habitantes del planeta, los impactos de los cambios ambientales globales no respetan las fronteras entre países, se repiten en todas partes del mundo y por su magnitud afectan al total de la biosfera (Landa, Ávila y Hernández, 2010).

#### 4.1.2. **Generalidades de la caficultura en Colombia**

La caficultura es un componente fundamental en la estructura económica y social del país. Esta genera más de un millón de empleos directos e indirectos, involucrando 563.000 familias de productores y es determinante en la vida rural y en el desarrollo económico de 590 municipios. Siendo una actividad de pequeños productores, donde el 73,7% de las fincas tiene un tamaño que varía entre 0,1 y 5,0 ha, representa el 36% del empleo agrícola, genera el 1,6% del PIB nacional, y el 12,5% del PIB agrícola nacional con una alta dependencia regional. En siete departamentos el café representa más del 35% del PIB agrícola (Conpes, 2006). Estas cifras hacen que el café sea uno de los productos principales de la economía agrícola colombiana, a pesar de las bajas producciones registradas en los últimos años.

En la Tabla 1 se presentan los datos de producción en Colombia, alusivos a la última década.

**Tabla 1.** Producción de café en Colombia últimos 10 años

AÑO CAFETERO (*)	SACOS DE 60 kg DE CAFÉ ALMENDRA	FRUTO DE CAFÉ <sup>(1)</sup> TONELADAS
2002/2003	11.712.000	4.377.946
2003/2004	11.053.000	4.131.611
2004/2005	11.430.000	4.272.534
2005/2006	11.952.000	4.467.568
2006/2007	12.153.000	4.542.791
2007/2008	12.515.000	4.678.107
2008/2009	8.664.000	3.238.603
2009/2010	8.098.000	3.027.032
2010/2011	8.523.000	3.185.897
2011/2012	7.653.000	2.860.691

(\*) Los años cafeteros comienzan el 1° de Octubre y terminan el 30 de Septiembre del año siguiente. <sup>(1)</sup> El factor de conversión para pasar de café almendra a café cereza (fruto) es 6,23 Montilla, (citado por Rodríguez, 2009).

**Fuente:** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Gerencia Financiera, 2012.

Para el año 2012 la producción de café fue de 7,6 millones de sacos de 60 kg, alcanzando un valor de la cosecha de 3,4 billones de pesos. Para el año 2011 la producción de café fue de 7,8 millones de sacos de 60 kg, alcanzando un valor de la cosecha de 4,9 billones de pesos en el año. Pese a las adversas cifras de producción, Colombia busca alcanzar una cosecha de 14 millones de sacos en el 2014 y de 18 millones de sacos en el 2018 (Bolsa Mercantil de Colombia, 2011).

Las nuevas tendencias mundiales implican cambios y retos en el manejo económico de los países, es así como la globalización de los mercados plantea la necesidad de incorporar el factor ambiental y productivo en las políticas mundiales y en los planes regionales de desarrollo, al igual que la inmediata aplicación de programas e instrumentos tecnológicos de gestión energética, medio ambiental e industrial; además de la conservación y el uso racional de los recursos naturales. Por lo tanto, aunque el café colombiano cuenta con un buen reconocimiento en los mercados mundiales por su calidad y características organolépticas, es de vital

importancia el incorporar los nuevos enfoques y afrontar los nuevos retos relacionados con las tendencias del consumo y la disponibilidad actual y potencial del recurso hídrico bajo los criterios de desarrollo sostenible.

Tradicionalmente el beneficio de café utiliza aproximadamente 40 L de agua por kg de café pergamino seco (12,5% en el despulpado; 37,5% en el lavado y transporte del grano y 50% en el transporte de la pulpa) (Roa, Oliveros, Álvarez, Sanz, Dávila, Álvarez, Zambrano, Puerta y Rodríguez, 1999).

Si tomamos la producción en café cereza del año 2011/2012 que fue de 2.860.691 toneladas; el consumo de agua considerando 40 L/kg cps, sería de 22.885.528 m<sup>3</sup> de agua, equivalentes al consumo humano de una ciudad de 418.000 habitantes en un año, asumiendo que cada persona consume 150 L de agua por día.

Si se adopta el beneficio ecológico lavando el café en los tanques de fermentación, utilizando menos de 5 L de agua/kg de cps, el ahorro de agua obtenido permitiría abastecer las necesidades anuales de una población de 365.750 habitantes.

Esta información ilustra claramente la dimensión del malgasto de agua limpia y del problema de contaminación que se puede generar por el excesivo consumo de agua en todo el proceso de beneficio húmedo y la inadecuada disposición de las aguas residuales como de los subproductos del proceso. Por tal razón cualquier iniciativa que se adelante en el manejo integrado del agua en el proceso de beneficio húmedo del café, generará un impacto positivo en la sostenibilidad.

El Tolima es el tercer productor de café del país con una participación del 12% de la producción, cuenta con 114.454 ha cultivadas en café, por 60.462 familias que se dedican a la producción del grano en 70.594 fincas, con un área promedio de 1,6 ha (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2012).

El producto interno bruto (PIB), es una medida macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de un país durante un periodo determinado de tiempo (normalmente, un año). El PIB es usado como una medida del bienestar material de una sociedad y es objeto de estudio de la macroeconomía (Dane, 2011).

Para el Tolima, el café merece una mención especial considerando su aporte al PIB del departamento, que para el año 2010 ascendía al 3,8% (Dane, 2011). Se

produce en 38 municipios de los 47 que tiene el departamento y genera importantes niveles de empleo (84.800 empleos directos e indirectos, que corresponden al 48% del empleo rural, y 24% del empleo total del departamento) y alrededor del 60% de las exportaciones totales y el 65% de las exportaciones agrícolas del departamento (Soto, Uribe y Ranabaldo, 2011).

#### 4.1.3. **Café**

##### 4.1.3.1. **Definición**

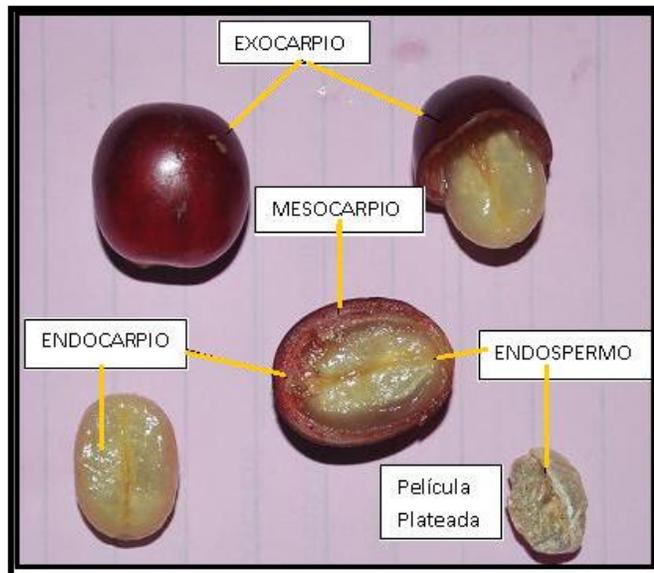
Es una semilla procedente del árbol de cafeto, perteneciente a la familia de las Rubiáceas y al género *Coffea*. Los cafetos cultivados en el mundo a nivel industrial son de la especie *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (Prieto, 2002).

##### 4.1.3.2. **Clasificación**

Los cafés tienen por origen botánico, principalmente dos especies: *Coffea arabica* y *Coffea canephora* o Robusta y algunas especies menos comunes como: *Coffea excelsa* y *Coffea libérica* (Prieto, 2002).

##### 4.1.4. **Beneficio del café**

El beneficio de café es el proceso mediante el cual se logra la transformación del fruto (café cereza) a semilla (café pergamino seco) mediante la separación de las partes del fruto (Figura 1), con el fin de conservar su calidad física, organoléptica y sanitaria. En Colombia se utiliza el beneficio húmedo, gracias al cual se obtienen características de acidez y aromas pronunciados, amargo moderado y a los café resultado de este proceso se le denomina “café suaves lavados”. Rodríguez, (citado por Peñuela, 2010).



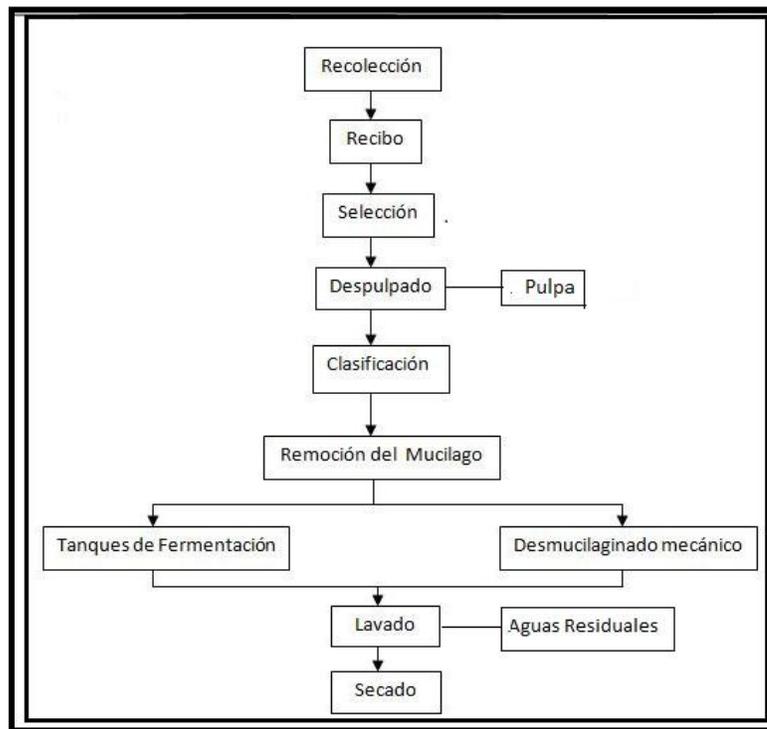
**Figura 1.** Partes del fruto de café.

**Fuente:** Autores

Entre la pulpa y el pergamino de los granos de café maduro, se encuentra el mucilago, un líquido gelatinoso con viscosidad y humedad apropiadas para que mediante la acción de fuerzas que presionen el grano en las despulpadoras, ocurra el despulpado, que separa los granos de café de la pulpa sin acción de agua (Roa et al., 1999).

El beneficio del café se puede realizar por métodos tradicionales mediante la fermentación natural del grano o por métodos mecánicos mediante el uso de desmucilagador de flujo ascendente.

En la Figura 2, se ilustran las diferentes etapas que hacen parte del beneficio húmedo del café realizado en Colombia.



**Figura 2.** Diagrama de flujo del beneficio húmedo del café en Colombia.

**Fuente:** Autores

#### 4.1.4.1. **Despulpado**

Entre la pulpa y el pergamino de los granos de café maduros se encuentra el mucílago, un líquido gelatinoso con viscosidad y humedad apropiadas para que mediante la acción de fuerzas que presionen el grano en las despulpadoras, ocurra, el despulpado, que separa los granos de café de la pulpa, sin utilizar agua. (Roa et al., 1999).

El uso de agua en el proceso de despulpado se consideraba necesario en los sistemas de beneficio convencionales, para obtener café de buena calidad, estudios realizados por Cenicafé, comprobaron la posibilidad de despulpar sin agua, utilizando las despulpadores de cilindro horizontal, cilindro vertical y disco, sin afectar la capacidad del proceso y calidad de los granos despulpados, para liberar los granos de su envoltura exterior (pericarpio o pulpa) es necesario romper las fibras que la conforman mediante esfuerzos de tensión (longitudinales y transversales) y de cizallamiento. Estos esfuerzos se generan al comprimir las

cerezas en el espacio conformado por una placa fija (denominada pechero) y una superficie móvil que puede ser la camisa de un cilindro o el diente de un disco.

Los canales del pechero, fuera de proporcionar la separación de los granos de la pulpa se disponen en forma inclinada para permitir el transporte hacia los orificios de salida y simultáneamente, el retiro de la pulpa del flujo de los granos por el efecto de arrastre de los resaltos afilados de la camisa o dientes de los discos y por la acción de la fuerza centrífuga suministrada por la rotación del cilindro (Roa et al., 1999).

#### 4.1.4.2. **Fermentación del mucílago**

El mucílago forma parte del mesocarpio del fruto, es necesario retirarlo en el proceso de beneficio húmedo del café para obtener los cafés suaves lavados, grupo al que pertenece el café colombiano. Representa alrededor del 15% del peso del fruto fresco y su composición se presenta en la Tabla 2.

Durante la fermentación ocurren múltiples reacciones bioquímicas que permiten después de 10-18 horas que el mucílago se disuelva en agua. La fermentación natural del mucílago (y no del grano) solo es necesaria para permitir el buen lavado del café. El termino correcto, por tanto se refiere a la fermentación del mucílago.

El proceso de fermentación convencional es uno de los procesos más críticos durante el proceso de beneficio húmedo, en lo que se refiere a la conservación de la calidad del café y por tanto, debe controlarse cuidadosamente el tiempo del proceso evitando la ocurrencia de sobre fermentación que origina aromas y sabores a vinagre, piña madura, cebolla, rancio y nauseabundo (Roa et al., 1999).

#### 4.1.4.3. **Lavado del café en los tanques de fermentación**

Es práctica común la utilización de los tanques de fermentación, para simultáneamente lavar y clasificar el café. Recientemente también se ha demostrado que es posible utilizar los mismos dispositivos para minimizar el consumo de agua, mediante el procedimiento de cuatro (4) enjuagues. La técnica consiste en aplicar al café con el mucílago fermentado el agua necesaria para cubrir completamente los granos y remover vigorosamente la masa. El agua del primer enjuague se vacía y se reemplaza con agua limpia, repitiéndose el proceso durante tres (3) veces más; en el primer enjuague se concentra el 66% de la materia orgánica del mucílago y en los dos primeros enjuagues se encuentra el 90%. Si se dispone de estas aguas adecuadamente y se despulpa y se maneja la

pulpa sin agua, la contaminación potencial puede controlarse aproximadamente el 85%. De esta forma se logran consumos de agua globales de 4,5 L por kg de café pergamino seco (L/kg. cps.). Si el tanque es pequeño, la remoción la puede hacer el caficultor con una pala (Roa, et al., 1999).

La eliminación del agua en el despulpado y transporte de la pulpa, permite evitar el 72% de la contaminación potencial de los subproductos del café y la racionalización del uso del agua durante el lavado del café, permite obtener una reducción en el consumo global de agua, en el proceso de beneficio, del 90% (Zambrano y Zuluaga, 1993).

**Tabla 2.** Composición química del mucílago del café.

Tratamiento	Azúcares Reductores % bh <sup>1</sup>	Azúcares Totales % bh	Grasa % bs	Fibra % bs <sup>2</sup>	K %	Ca %	Mg %	Mn %	Fe %
Café seleccionado*	4,31	6,68	1,04	6,91	1,07	0,2	0,07	0	0
Café sin seleccionar**	4,28	7,4	1,1	6,58	1,27	0,2	0,08	0	0

**Fuente:** Ríos, 1996

\*Solamente frutos maduros y pintones \*\*Café de recolección normal. bh<sup>1</sup> base húmeda. bs<sup>2</sup> base seca.

#### 4.1.4.4. **Secado del café.**

El proceso más adecuado para disminuir la humedad del café consiste primero en retirarle la pulpa y el mucilago por medios rápidos; así se obtiene el café pergamino húmedo cuyo contenido de humedad es aproximadamente del 50%. Con este método (Beneficio vía húmeda) se procesan los cafés suaves de mejor calidad en el mundo.

El contenido de humedad del café es un atributo de su calidad física. En Colombia las normas vigentes para la comercialización del café en pergamino establecen que el contenido de humedad debe estar comprendido en el rango 10 al 12% en base húmeda. El valor del 12% de humedad corresponde al máximo valor bajo el

cual se puede almacenar el café en condiciones ambientales durante varios meses sin deterioro (Roa et al., 1999).

#### **4.1.5. Relación del manejo integrado del agua en el proceso de beneficio húmedo del café con el desarrollo sostenible.**

El concepto de desarrollo sostenible se ha popularizado a partir de la publicación en 1987 del Informe de Brundtland, elaborado por la comisión mundial del medio ambiente y desarrollo de las naciones unidas, el cual inició un proceso de debate internacional sobre la relación entre desarrollo y medio ambiente. El informe titulado Nuestro Futuro Común; trata de subrayar el camino, el modo en el cual las aspiraciones universales de un mejoramiento de los estándares de vida podrían ser armonizadas dentro de la capacidad de sostenimiento de la tierra. Para alcanzar este objetivo, concluía la comisión, las metas de desarrollo social y económico debían ser integradas o armonizadas con las metas ambientales (Serna, 2008).

Estos enfoques social, económico y ambiental, son analizados para explicar el impacto del manejo integrado del recurso agua, en el proceso de beneficio húmedo del café para la obtención de los cafés lavados colombianos.

##### **4.1.5.1. Componente social**

El componente social de la sostenibilidad hace referencia a la capacidad de los actores (caficultores) para actuar de manera sostenible entre sí y con su entorno, es por esto que el fortalecimiento de la sociedad civil (caficultores) es considerada como un elemento que debería estar presente en un entorno sostenible. Serna, (citado por Peñuela, 2010).

Actualmente un total de 563.000 familias colombianas producen café y cerca de 4.000.000 de personas viven y dependen económicamente del cultivo de este grano. Una de las siembras más tradicionales e importantes del país.

Para el 2012 la producción cafetera fue de 7,6 millones de sacos de 60 kg, es decir, 11,3% por debajo del valor registrado en 2011.

Desde hace más de 80 años la Federación Nacional de Cafeteros se ha dado a la tarea de fortalecer y mejorar las condiciones de los colombianos que se dedican a esta actividad, mediante el desarrollo de programas y proyectos de sustentabilidad.

Las parcelas que en su mayoría son familiares (pequeños productores), están ubicadas en 588 municipios del país y le han permitido a estos colombianos componer un tejido social soportado en la sostenibilidad entendida como el aporte económico, social y ambiental para los cafeteros (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2012).

Aproximadamente el 50% de los caficultores con extensiones de menos de 5 ha tienen la capacidad de conservar sus características de productor y sostenerse con base en esta actividad agrícola como mayor fuente de ingresos, sólo si incrementan la productividad y reducen los costos de producción. García y Ramírez (citados por Peñuela, 2010).

En el escenario actual el proceso de beneficio húmedo tradicional se consumen grandes cantidades de agua y a su vez se contaminan, generando un impacto negativo en su entorno, el cual se podría minimizar con la implementación de un manejo integrado del recurso agua y la adopción de prácticas de ahorro y descontaminación, evitando entre otros pagos por tasa retributiva y siendo ambientalmente sostenible.

#### 4.1.5.2. **Componente ambiental.**

El componente ambiental hace referencia al desarrollo sostenible, como la posibilidad que tienen las generaciones presentes de garantizar la explotación sostenida de los recursos o factores productivos, a las generaciones futuras (Brundtland, 1987).

Para adoptar la sostenibilidad ambiental en el proceso de beneficio húmedo del café, se recomiendan prácticas como la implementación de dispositivos de ahorro de agua y el beneficio con uso racional del agua.

Como también la implementación de sistemas modulares de tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café, diseñados en Cenicafe para descontaminar las aguas residuales generadas en el lavado del café y originadas en beneficiaderos húmedos donde se retira el mucílago o baba por el método de fermentación natural (Zambrano, Isaza, Rodríguez y López, 2006).

#### 4.1.5.3. **Componente económico.**

El café producido en Colombia es reconocido en el mundo como un producto de alta calidad, con el sabor y aroma que lo hace uno de los más apetecidos por los clientes en Norte América, Europa y Asia entre otros.

Los caficultores Colombianos han dado muy buenos resultados en productividad de café en términos de volumen, pero también en la taza (calidad organoléptica) demandada por los clientes, lo cual se refleja en un mayor ingreso para el caficultor en el mercado y en un uso racional de los recursos.

A su vez la producción de café en Colombia debe permanecer para las generaciones actuales y venideras en armonía con los recursos naturales sin desligarse de la rentabilidad para los caficultores (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2006).

## **4.2. MARCO TEÓRICO**

### **4.2.1. Legislación ambiental colombiana relacionada con las aguas residuales y el uso eficiente del agua.**

En la constitución política de Colombia en sus artículos 79 y 80 establece que es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica como también garantizar la calidad del agua para consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario, además fijar su destinación y posibilidad de aprovechamiento, estableciendo la calidad de la misma y ejerciendo control sobre los vertimientos (Constitución Política de Colombia, 1991).

En cuanto al aspecto de vertimientos de aguas residuales y su manejo hacen parte de las políticas nacionales y normas específicas referidas, se destacan principalmente el código de los recursos naturales Decreto ley 2811 de 1974, el Decreto 1594 de 1984, el Decreto 901 de 1997, Resolución 372 de 1998, el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento (RAS) (Resolución 1096 del 2000), el Decreto 3100 de 1993, el Decreto 3440 del 2004, el nuevo Decreto 3930 del 2010 que deroga al Decreto 1594 de 1984 y ajusta el marco jurídico sobre los usos del agua y residuos líquidos entre otras normas de regulación ambiental y sanitaria, el decreto 4728 de 2010 y finalmente el decreto 2667 del año 2012.

Como también la Ley 373 de 1997 por la cual se establece el uso eficiente y ahorro del agua.

4.2.1.1. **Decreto Nro. 2811 de 1974.**

Establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente. Define normas generales de política ambiental y detalla los medios para el desarrollo de la política ambiental. Entre otras competencias, asigna responsabilidades para ejecución de obras de infraestructura y desarrollo, conservación y ordenamiento de cuencas, control y sanciones, concesiones y uso de agua, tasas, incentivos y pagos, medición de usos, uso eficiente de agua. En su capítulo II define la regulación en cuanto a la prevención y contaminación del recurso hídrico (República de Colombia, 1974).

4.2.1.2. **Decreto N° 1594 de 1984.**

Reglamenta usos del agua y residuos líquidos como también establece metodologías para el análisis y seguimiento de la calidad de fuentes, permisos de vertimientos requerimientos de tratamientos de efluentes, planes de cumplimiento entre otros.

El Capítulo II trata del ordenamiento del recurso para destinar las aguas en forma genérica para los diferentes usos.

El Capítulo III trata de la destinación de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas, estuarinas y servidas.

En el Artículo 29 se determinan los usos del agua 1) Consumo humano y doméstico, 2) Preservación de flora y fauna, 3) Agrícola, 4) Pecuario, 5) Recreativo, 6) Industrial, 7) Transporte.

El Artículo 32 define por uso agrícola del agua, su empleo para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.

El Capítulo IV trata de los criterios de calidad para la destinación del recurso.

El Artículo 40 determina los criterios de calidad del agua, admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola y se condensan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Criterios de calidad del agua para uso agrícola

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	UNIDAD	VALOR
Aluminio	Al	mg/L	5
Arsénico	As	mg/L	0,1
Berilio	Be	mg/L	0,1
Cadmio	Cd	mg/L	0,01
Cinc	Zn	mg/L	2
Cobalto	Co	mg/L	0,05
Cobre	Cu	mg/L	0,2
Cromo	Cr+6	mg/L	0,1
Flúor	F	mg/L	1
Hierro	Fe	mg/L	5
Litio	Li	mg/L	2,5
Manganeso	Mn	mg/L	0,2
Molibdeno	Mo	mg/L	0,01
Niquel	Ni	mg/L	0,2
Ph	Unidades	unidades	4,0-9,0
Plomo	Pb	mg/L	5
Selenio	Se	mg/L	0,02
Vanadio	V	mg/L	1

**Fuente:** República de Colombia, Ministerio de Salud, 1984.

Capítulo VI Trata del vertimiento de los residuos líquidos.

Artículo 66 Las normas de vertimiento serán fijadas teniendo en cuenta los criterios de calidad establecidos para uso o los usos asignados al recurso

Artículo 72 Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos con las siguientes normas condensadas en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Normas de vertimientos a un cuerpo de agua

Referencia	Usuario Existente	Usuario Nuevo
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	Menor a o igual 40°C	Menor o igual 40°C
Material Flotante	Ausente	Ausente
Grasas y Aceites	Remoción mayor o igual 80% en carga	Remoción mayor o igual 80% en carga
Sólidos Suspendedos, domésticos o industriales	Remoción mayor o igual 50% en carga	Remoción mayor o igual 80% en carga
Demanda Bioquímica de oxígeno para desechos domésticos	Remoción mayor o igual 30% en carga	Remoción mayor o igual 80% en carga
(DBO) Para desechos industriales	Remoción mayor o igual 20% en carga	Remoción mayor o igual 80% en carga

**Fuente:** República de Colombia, Ministerio de Salud, 1984.

Se entiende por usuario existente, aquel que ya tenía su proceso establecido antes de emitirse la norma (1984) y por usuario nuevo, el que establezca su proceso productivo después de 1984.

Capítulo XII trata de las tasas retributivas

Artículo 142 define según el artículo 18 del Decreto 2811 de 1974, la utilización directa o indirecta de los ríos, arroyos, lagos y aguas subterráneas para introducir arrojar en ellos desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen y sustancias nocivas que sean resultado de actividades lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas del servicio de eliminación o control de las consecuencias de las actividades nocivas expresadas. Dichas tasas serán pagadas semestralmente en los términos del presente decreto (República de Colombia, Ministerio de Salud 1984).

#### 4.2.1.3. Decreto N°901 de 1997.

Se determina la Tasa Retributiva (TR), o pago de dinero por la contaminación que se deja de remover en decreto 1594 y que se descarga directa o indirectamente al recurso. La tasa es planteada como el costo que debe asumir el

estado en recuperar la calidad del recurso hídrico por permitir utilizar el medio ambiente como receptor de los vertimientos.

Plantea el cobro por la descarga de dos parámetros indicadores de contaminación; la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), los cuales son los indicadores de contaminación de agua en Colombia. (República de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, 1997).

#### 4.2.1.4. **Resolución N°372 de 1998**

Por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan disposiciones.

Se fijan como parámetros básicos para iniciar el cobro de esta tasa los sólidos suspendidos totales (SST) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y se establecieron las respectivas tarifas por kg o carga contaminante.

Que el valor –IPC- determinado por el Departamento Administrativo Nacional de estadística es un mecanismo apropiado para actualizar a precios corrientes las tarifas de las tasas retributivas por vertimientos puntuales de Decreto 901 de 1997.

Artículo 1° Establecer en cuarenta y seis pesos con cincuenta centavos por kilogramo de carga contaminante (\$46,50/kg), el valor de la tarifa mínima de la tasa retributiva por vertimientos puntuales de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

Artículo 2° Establecer en diecinueve pesos con noventa centavos por kilogramo de carga contaminante (\$19,90/kg), el valor de la tarifa mínima de la tasa retributiva por vertimientos puntuales de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Artículo 3° Ajustar anualmente en el mes de enero las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos puntuales de Decreto 901 de 1997 según el índice de precios al consumidor (IPC) determinado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas para el año inmediatamente anterior (República de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, 1998). En la Tabla 5 se relacionan tasas desde 2007 -2013.

**Tabla 5.** Tasas retributivas por vertimientos puntuales 2007-2013.

Tasas retributivas por vertimientos puntuales 2007-2013		
Período	DBO(\$kg)	SST(\$kg)
2007	91,36	39,07
2008	96,56	41,29
2009	103,97	44,46
2010	106,05	44,35
2011	109,41	46,79
2012	113,49	48,53
2013	116,26	49,72

**Fuente:** República de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013.

#### 4.2.1.5. **Reglamento de agua potable y Saneamiento Básico (RAS).**

El ministerio de desarrollo Económico en la resolución 1096 de 2000 adapta el RAS como el documento técnico que fija criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, de agua potable y saneamiento básico, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad ,funcionalidad, calidad eficiencia y sostenibilidad (República de Colombia, Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

#### 4.2.1.6. **Decreto 3100 de 2003**

Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toma otras determinaciones

Artículo 3 Las autoridades ambientales competentes cobrarán la tasa retributiva por vertimientos puntuales en aquellas cuencas que se identifiquen como prioritarias por sus condicione de calidad.

Determina tasa retributiva por vertimiento puntual, la que cobrara la autoridad ambiental por la utilización directa del recurso como receptor de vertimientos

puntuales y sus consecuencias nocivas, originadas por en actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, actividades económicas o de servicios sean o no lucrativas. Como vertimiento puntual se define como aquel vertimiento realizado en un punto fijo directamente o a través de un canal al recurso.

Capítulo III, en el artículo 5 la tarifa mínima establecida en la resolución 372 de 1998 continuara vigente (República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2003).

#### 4.2.1.7. **Decreto 3440 de 2004**

Determina que las autoridades ambientales competentes cobraran la tasa retributiva por los vertimientos puntuales realizados a los cuerpos de agua en el área de su jurisdicción, de acuerdo a los planes de ordenamiento del recurso establecido en el Decreto 1594 de 1984 o en aquellas normas que lo modifiquen o sustituyan. (República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

#### 4.2.1.8. **Decreto 3930 de 2010**

Este decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico y los vertimientos a al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

El Capítulo III por medio del cual se deberá realizar el ordenamiento del recurso hídrico con el fin de realizar la clasificación de las aguas superficiales, subterráneas y marinas, fijar en forma genérica su destinación a los diferentes usos.

Artículo 7, Parágrafo. Mientras el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, expide la guía nacional de modelación del recurso hídrico, las autoridades ambientales competentes podrán seguir aplicando los modelos de simulación existentes que permitan determinar la capacidad asimilativa de sustancias biodegradables o acumulativas y la capacidad de dilución de sustancias no biodegradables, utilizando por lo menos los siguientes parámetros, que se detallan en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Parámetros determinación de capacidad asimilativa

Parametro	
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco (5) días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
SS	Sólidos Suspendidos
pH	Potencial del ion hidronio, H <sup>+</sup>
T	Temperatura
OD.	Oxígeno Disuelto
Q	Caudal
Datos Hidrobiológicos	Coliformes Totales
Datos Hidrobiológicos	Coliformes Fecales

**Fuente:** República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2010.

Capítulo VII; Artículo 41 Toda persona natural o jurídica cuya actividad o servicio genere vertimientos a las aguas superficiales, marinas, o al suelo, deberá solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente, el respectivo permiso de vertimientos.

Capítulo VIII Hace referencia al plan de reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimiento

Artículo 62: El plan de reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos promueve la reconversión tecnológica de los procesos productivos de los generadores de vertimientos cumpliendo entre otros con reducir y minimizar la carga contaminante por unidad de producción como también reutilizar o reciclar productos por unidad de producción relacionados con la generación del vertimiento. (República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2010).

#### 4.2.1.9. **Decreto 4728 de 2010**

Por el cual se modifica parcialmente el decreto 3930 de 2010, en el cual hace referencia a la fijación de la norma de vertimientos, protocolo para el monitoreo de vertimientos, planes y plazos de cumplimientos, plan de reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos entre otros. Como también el régimen de transición para la aplicación de normas de vertimientos. Se aplicarán a los generadores de vertimientos en todo el territorio nacional. (República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2010).

#### 4.2.1.10. **Decreto 2667 de 2012**

Por medio de este decreto se reglamenta la tasa retributiva, por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales.

En sus artículos 4 y 5 establece las autoridades ambientales que son competentes para cobrar y recaudar la tasa retributiva. En su artículo 6 establece quienes están obligados a pagar la tasa retributiva.

En los artículos 8 y 9 establece metas globales, individuales y grupales de cargas contaminantes. En sus artículos 12 y 13 establece procedimientos para la fijación de metas globales de carga contaminante y el procedimiento de seguimiento y cumplimiento de esa meta.

En el artículo 18 establece el cálculo del monto a cobrar por concepto de tasa retributiva. En el artículo 19 establece los parámetros contaminantes que son objeto del cobro de la tasa y en el artículo 20 la destinación del recaudo. (República de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

#### 4.2.1.11. **Ley 373 de 1997**

Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua

Artículo 1° Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa de uso eficiente y ahorro de agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro del agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.

Las corporaciones autónomas regionales y demás autoridades ambientales definirán los mecanismos que incentiven el uso eficiente y ahorro de agua, y

desestimulen su uso ineficiente (República de Colombia, Congreso de la República, 1997).

Es importante tener en cuenta que en el trabajo de investigación se enmarca en la legislación colombiana pues con la implementación del manejo integrado del recurso agua y prevención de la contaminación se evitara el pago de tasas retributivas y entra a formar parte del uso eficiente del agua.

**4.2.1.12. Los beneficiaderos de café y la legislación ambiental colombiana.**

En la legislación ambiental colombiana se contempla la protección de las fuentes hídricas, con la aplicación y ejecución de decretos, resoluciones entre otros, con la finalidad de realizar acciones de mitigación para evitar la contaminación.

Se plantea el cobro por las descargas de aguas contaminadas teniendo en cuenta dos parámetros indicadores de contaminación en Colombia que son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Con el fin de proteger los recursos hídricos del ecosistema cafetero y disminuir el pago de la tasa retributiva la institucionalidad cafetera ha generado tecnologías y prácticas para el ahorro de agua y el tratamiento de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio del café. Que pueden ser implementadas sistemáticamente por los productores. La tabla 7 contiene los porcentajes de contaminación.

**Tabla 7.** Contaminación generada en diferentes tipos de beneficiaderos húmedos de café, en Colombia

Tipo de beneficiadero	DBO <sub>5</sub> (%)	SST (%)
Beneficiadero convencional	100	100
Beneficiadero Ecológico Tipo I	23,6	6
Beneficiadero Ecológico Tipo II	2,6	0,6
Beneficiadero Ecológico Tipo III	31,2	10
Beneficiadero Ecológico Tipo IV	3,1	1
Beneficiadero Ecológico Tipo V	8	1,1
Beneficiadero Ecológico Tipo VI	0,8	0,1
Beneficiadero Ecológico Tipo VII	0,00	0,00

**Fuente:** Zambrano, 1997.

#### 4.2.2. **Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Totales (ST), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

-Sólidos Suspendidos Totales (SST)-. Corresponde a la cantidad de material (sólidos) que es retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua. Es importante como indicador puesto que su presencia disminuye el paso de la luz a través de agua evitando su actividad fotosintética en las corrientes, importante para la producción de oxígeno.

En el lenguaje técnico se usa la expresión carga para señalar la masa de Sólidos Suspendidos Totales (SST), que corre o alberga un cuerpo de agua durante un periodo determinado. Los Sólidos Suspendidos Totales son los residuos no filtrables de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se define como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente son secados a 103-105 °C, hasta llegar a un peso constante. También se asocian a la turbidez y color del agua. (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2012)

-Sólidos Totales (ST). Se refiere a la suma de sólidos en suspensión más los sólidos disueltos en el agua. (Bejar, Valenzuela, Hernández, Rangel y Rangel, 2010)

-Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Se define como DBO de un líquido a la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Aerobacter*, *Bacillus*), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg/L.

Es un parámetro indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla). Como el proceso de descomposición varía según la temperatura este análisis se realiza en forma estándar durante 5 días a 20 °C; esto se indica como DBO<sub>5</sub>.

Según las reglamentaciones se fijan valores de DBO máximo que pueden tener las aguas residuales, para poder verterlas a los ríos y otros cursos de agua. De acuerdo a estos valores se establece si es posible arrojarlas directamente o si bien deben recibir un tratamiento previo. (Bermúdez, 2010)

-Demanda Química de Oxígeno (DQO). Es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en  $\text{mgO}_2/\text{L}$ .

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica.

La demanda de oxígeno de un agua residual es la cantidad de oxígeno que es consumido por las sustancias contaminantes que están en esa agua, durante un cierto tiempo, ya sea sustancias contaminantes orgánicas o inorgánicas. (Sinfonía Biotecnología, 2011).

### **4.3. MARCO DE ANTECEDENTES**

#### **4.3.1. Características físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales del café.**

Los contenidos de contaminantes orgánicos y minerales presentes en las aguas de beneficio del café, están relacionados con el tipo de beneficio empleado (fermentación natural y desmucilaginado) como también la cantidad y calidad del agua usada en el proceso.

En Colombia, Cenicafe ha realizado estudios de caracterización físico-química y microbiológica de las aguas residuales generadas.

Rodríguez, (1999), trabajando con *Coffea arabica*, variedad Colombia, reporta la caracterización de las aguas residuales del lavado del grano, condensada en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Algunas características de las aguas de lavado de café.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
pH (unidades)	3,71	3,72	3,71	3,7	3,71
DQO total (ppm)	10220	9160	9800	11100	10070
DQO filtrada (ppm)	725800	6770	7000	7550	7143
DBO <sub>5</sub> (ppm)	3900	3900	4500	3200	3875
N-NTK.(Nitrogeno total)(ppm)	219	219	224	211	218,25
N-NH <sub>3</sub> (Nitrogeno amoniacal) (ppm)	9,66	9,7	9,44	9,24	9,51
ST (ppm)	4696	2292	2202	2082	2818
SST (ppm)	1488	1876	1728	1120	1553
P-PO <sub>4</sub> (ppm)	0	0,02	0	0	0,005
S-SO <sub>4</sub> (ppm)	28	33	30	27	29,5
N-NO <sub>3</sub> (Nitrogeno nítrico)(ppm)	0,8	0,8	0,9	0,4	0,73
Acidez (ppm)	790	790	860	850	823

**Fuente:** Rodríguez, 1999.

El agua residual de café es biodegradable en casi su totalidad durante la digestión anaerobia. Aproximadamente un 80% de la DQO es convertido rápidamente en metano. Field, (citado por Rodríguez, 2009).

En resumen, las aguas residuales que se producen durante el proceso de beneficio húmedo del fruto del café, son biodegradables, pero poseen características físico-químicas, particularmente agresivas con el medio ambiente: pH bajos, acidez alta y concentraciones de materia orgánica alta, correspondientes a poderes contaminantes entre 60 y 240 veces superiores a las aguas residuales domésticas (Zambrano y Rodríguez, 2008).

#### 4.3.2. Contaminación generada en el beneficio de café

Los porcentajes de contaminación orgánica que se pueden generar en las diferentes instalaciones empleadas en Colombia para este fin, son evaluados en función de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y de los Sólidos Suspendidos Totales (SST), parámetros utilizados para cobrar la tasa retributiva a las fincas cafeteras. El 100% de la contaminación corresponde a los

beneficiaderos de café que vierten la pulpa y el mucilago a las fuentes de agua directamente y representan 3590 kg DBO<sub>5</sub> /1000@ de cps y 3484 kilogramos de SST/1000@cps (Zambrano, 1997).

El desmucilaginado mecánico, disminuye los consumos de agua a menos de 1 litro por kilogramo de café pergamino seco, lo que permite controlar cerca del 92% de la contaminación potencial, debida a los subproductos del beneficio húmedo del café, el 8% restante de la contaminación la constituyen los lixiviados de la pulpa (Rodríguez, 2009).

#### 4.3.3. **Tanques para la fermentación y el lavado del café.**

Una buena práctica agrícola para la fermentación del café, es contar con un recipiente rectangular, que posea las esquinas redondeadas, en el que se pueda realizar el proceso de fermentación del mucílago y que permita el fácil y eficiente lavado del grano del café. Este recipiente es conocido como un tanque tina, donde se puede reducir el consumo de agua y de esta forma contribuir a la sostenibilidad ambiental de la caficultura y el manejo eficiente del agua en el proceso de beneficio del café. (Zambrano, Isaza, Rodríguez y López, 2011).

La utilización del tanque tina para lavar el grano de café permite reducir el consumo de agua desde 25 L hasta 4,1 L/kg de café pergamino seco (cps), con lo cual no solo se logra un ahorro del recurso y de los costos que este representa, sino que también disminuye el volumen de las aguas residuales generadas y su costo de tratamiento.

Durante el lavado del grano en el tanque tina, con la práctica de los 4 enjuagues, se obtienen aguas residuales con una concentración constante de carga contaminante (DQO) entre 25000 y 28000 ppm, lo que hace del tanque tina una herramienta importante para el control de la contaminación en el proceso de beneficio y para la generación de aguas residuales homogéneas, que por su biodegradabilidad pueden ser tratadas biológicamente y permiten el buen desempeño de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio, diseñados para el manejo de estas.

Los consumos unitarios de agua para lavar dentro del tanque tina son independientes de la cantidad de café. En las pruebas de lavado realizadas en el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), utilizando diferentes cantidades de café en punto de lavado, se obtuvo un valor de 4,13 L por kg de

café pergamino seco, con un coeficiente de variación menor al 5% (Zambrano et al., 2011).

#### 4.3.4. **Proceso de digestión anaerobia**

La digestión anaerobia es un proceso biológico, degradativo en el cual, parte de la materia orgánica contenida en un sustrato es convertida en una mezcla de gases principalmente metano y dióxido de carbono.

Frente a los procesos aerobios, los tratamientos anaerobios presentan las ventajas de no necesitar aireación y de generar un biogás que puede ser recuperado y utilizado en la misma planta con finalidades energéticas, permitiendo en muchos casos la autonomía o la autosuficiencia de las plantas de tratamiento. Otro aspecto muy ventajoso es que la generación de los lodos es menor, por lo que también se reducen los costos de tratamiento y vertido de fango.

Por otra parte la digestión anaerobia es un proceso complejo, que requiere cierto control para asegurar su correcto funcionamiento. Un ejemplo de esto, es la sensibilidad a las sobrecargas orgánicas, que pueden llevar a la desestabilización del proceso (Ortega, 2006).

##### 4.3.4.1. **Productos finales**

Los principales productos son el biogás y un efluente estabilizado:

**Biogás:** Es una mezcla gaseosa formada, principalmente por metano y dióxido de carbono y pequeñas proporciones de otros gases como  $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$  etc. La composición o riqueza del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso.

**Efluente:** Es el otro producto resultante de la degradación anaerobia y se puede decir que es la mezcla del influente estabilizado y la biomasa microbiana producida. Para un mismo residuo, el tipo de reactor y los parámetros de operación empleados determinan la calidad del lodo digerido en cuanto al nivel de contaminación y de organismos patógenos. Como ya se ha comentado, durante el proceso anaerobio parte de la materia orgánica se transforma en metano, por lo que el contenido de materia orgánica es menor que el influente (Ortega, 2006).

##### 4.3.4.2. **El proceso microbiológico y bioquímico de la digestión anaerobia.**

La digestión anaerobia es un proceso muy complejo, tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos

involucrados en ellas. De hecho muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica en cuatro fases o procesos:

#### 4.3.4.2.1. Hidrólisis.

La hidrólisis de la materia orgánica polimérica a compuestos solubles o monómeros es el paso inicial para la degradación anaerobia de sustratos orgánicos complejos, ya que los microorganismos únicamente pueden utilizar materia orgánica soluble que pueda atravesar su pared celular. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaerobia. Como ya se ha comentado, la hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por los microorganismos hidrolíticos.

#### 4.3.4.2.2. Etapa fermentativa o acidogénica.

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico,  $H_2$ ), y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente), que tienen que ser oxidadas por bacterias acetogénicas.

#### 4.3.4.2.3. Etapa acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos ( $H_2$  y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles como valerato, butirato, propionato, etc. y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, acetato y  $H_2$ , a través de las bacterias acetogénicas. Representante de los organismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolin*.

#### 4.3.4.2.4. Etapa metanogénica

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaerobia mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato,  $H_2$ ,  $CO_2$ , formato, metanol y algunas metilaminas. Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio *Archaea* y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas. Un ejemplo es que todos ellos poseen varias coenzimas

especiales, siendo la coenzima M la que participa en el paso final de la formación del metano.

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotrofos, que consumen H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, formato, metanol y algunas metilaminas.

Se ha demostrado que en un 70% del metano producido en los reactores anaerobios se forma a partir del acetato a pesar de que mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H<sub>2</sub> como aceptor de electrones, solo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *methanosarcina* y *Methanothrix* (Ortega, 2006).

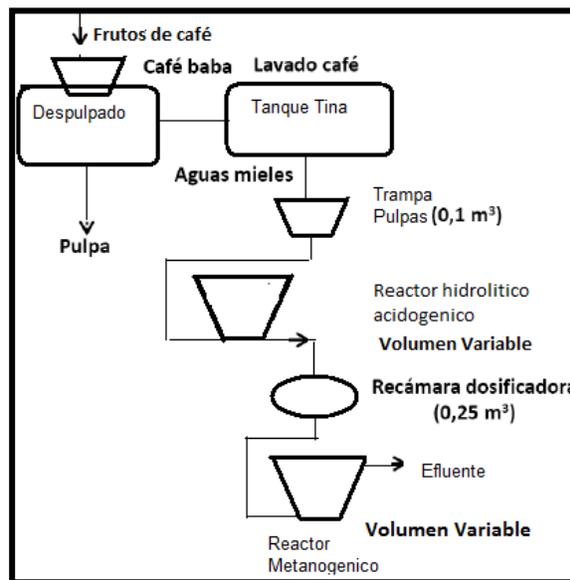
#### 4.3.5. Tratamiento anaerobio de aguas mieles del café.

Desde al año 1999, se intensificaron los estudios de descontaminación de aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café, a través del proyecto de biodigestión anaeróbica, relacionados con el tratamiento anaerobio de las aguas residuales producidas durante el proceso convencional del beneficio húmedo del café, tendientes a encontrar la solución más económica para descontaminarlas. Esta nueva tecnología ha sido operada y evaluada por el Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé) y ha mostrado eficiencias de remoción de carga orgánica superiores al 80% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>). (Zambrano, Isaza, Rodríguez y López, 1999).

Este proceso biológico es conocido como Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA), la cual ha sido divulgada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). La tecnología SMTA es una contribución ambiental, económica y socialmente significativa, dado que permite minimizar el impacto ambiental que sobre el ecosistema cafetero tienen las aguas mieles, a unos costos bajos de depuración, cumpliendo con lo exigido en nuestra legislación ambiental y permitiendo que los productores alcancen la certificación de su grano (Zambrano, Isaza, Rodríguez y López, 2010).

Para alcanzar altas eficiencias de remoción de carga orgánica; no utiliza energía para bombeo del agua residual, el flujo se hace por gravedad, aprovechando la topografía de la zona cafetera colombiana; utiliza unidades prefabricadas de polietileno con tapa y de color negro que permite elevar hasta 30°C la temperatura interna de los tanques y controlar la presencia de malos olores en los alrededores;

utiliza microorganismos metanogénicos presentes en el estiércol vacuno o porcino, responsables de la etapa principal del tratamiento de las aguas mieles y, trozos de guadua o botellas de plástico no retornable que favorecen la permanencia de los microorganismos en el sistema. Un SMTA durante su operación no requiere adición de químicos para neutralizar la acidez de la aguas mieles, ni para el balance de nutrimentos (Zambrano, et al., 2010). En la figura 3. Se detalla el esquema.



**Figura 3.** Esquema de un Sistema modular de tratamiento de aguas mieles.

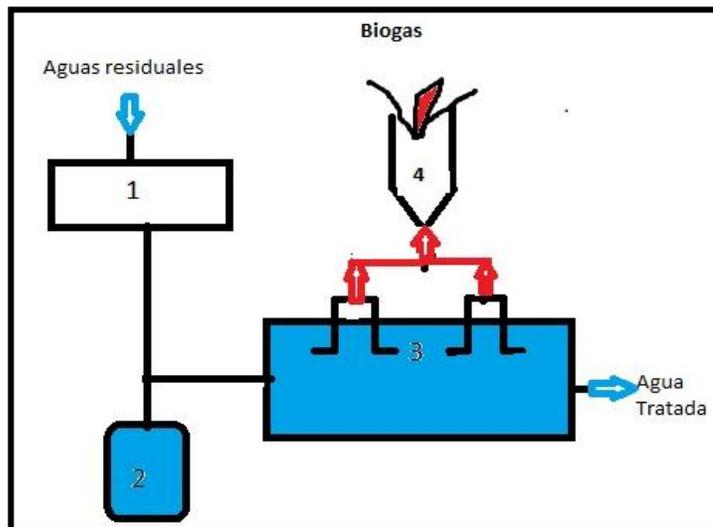
**Fuente:** Autores

Dado las ventajas e importancia de este sistema, dentro de un marco de una caficultura sostenible y amigable con el medio ambiente, en la presente investigación se instalaron y evaluaron 41 sistemas modulares de tratamiento de aguas residuales, se caracterizaron los efluentes y afluentes en época de mitaca y cosecha, y se determinó el Índice de Calidad del Agua (ICA).

#### 4.3.6. **Otros estudios sobre Sistemas de tratamiento utilizados para las aguas residuales del café.**

Lo que se pretende con los tratamientos de aguas residuales es disminuir los contaminantes presentes en el agua.

En el Salvador, Cafeco en el año 2000 instaló un sistema de tratamiento anaeróbico para las aguas residuales del café, el cual consistió en un reactor anaeróbico, con la posibilidad de usar biogás, el cual fue instalado en el año 2000 iniciando sus operaciones en 2001. Figura 4.



**Figura 4.** Sistema de tratamiento anaerobio

**Fuente:** Cafeco, 2000

El sistema mostrado en la figura 4 consta de: Canaleta de afluente (1), Tanque de NaOH (2) Reactor anaerobio (3), Quemador de biogás (4). Con este sistema se logró una depuración de carga orgánica del agua superior al 70% y el impacto generado por las aguas mieles fue minimizado (Cafeco, 2000).

Olvera y Gutiérrez, (2010), en México, estudiaron el comportamiento de un reactor anaerobio discontinuo y mesofílico, el cual emplea una comunidad microbiana proveniente del fluido ruminal vacuno, para realizar la degradación de los vertidos originados en el despulpado del café bajo diferentes condiciones de temperatura y pH. Los resultados conseguidos en esta etapa confirman que para llegar a la etapa metanogénica, la biomasa requiere de por lo menos 21 días de digestión previa. Una vez alcanzado el máximo estado en la generación de biogás, la biomasa es capaz de degradar la carga orgánica del vertido hasta en un 91,2% de la DQO en 16 días de fermentación con pH de 4,6 y 28 °C.

Oviedo, (citado por Rodríguez, 2009), en Venezuela evaluó a escala de laboratorio tratamientos aerobios con lodos activados para las aguas residuales, cuyas concentraciones variaron entre 2600 y 6069 ppm para la DQO. La alternativa seleccionada para el tratamiento de las aguas fue un reactor anaerobio tipo UASB (Reactor de manto de lodos anaeróbicos de flujo ascendente) con el que se alcanzaron remociones de carga orgánica en el rango de 80 a 95% con una DQO de entrada de 4706 ppm.

Silvano, (citado por Rodríguez, 2009), en Costa Rica reporta el empleo de fangos activados de baja carga, como el tratamiento biológico con el que se alcanzaron los mejores resultados en el tratamiento de las aguas residuales del café. El agua entra a un pre tratamiento mecánico con rejillas, pasando luego a una etapa de neutralización y sedimentación, seguido de una oxidación biológica con fangos activados, sedimentación y filtración con carbón activado. Las aguas entran a la planta con una DQO entre 30000 y 35000 ppm, y salen después de la filtración sobre arena y carbón activado con 10-20 ppm de DQO. No reporta tiempos de proceso.

Alwar, Rao y Ramaiah, (citados por Rodríguez, 2009), en la India analizaron diferentes métodos para el tratamiento de los efluentes producidos en los beneficiaderos de café, los cuales presentaron una DBO entre 8.500 ppm y 10250 ppm y pH entre 4,0 y 4,5. Recomiendan para beneficiaderos que procesan más de 1000 kg de frutos/día, su tratamiento por 8 días, seguido de aireación.

#### 4.3.7. Índice de Calidad del Agua (ICA).

La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica, en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. Para hacer más simple la interpretación de los datos de su monitoreo es cada vez más frecuente el uso de índices de calidad de agua, los cuales son herramientas prácticas que reducen un gran número de parámetros a una expresión muy sencilla dentro de un marco unificado (Fernández, Ramírez y Solano, 2003).

El ICA adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del curso de agua en estudio (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2007).

El Índice de calidad del agua ICA indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje de agua pura así: agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano al 100%.

El ICA fue desarrollado de acuerdo a las siguientes etapas: la primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo a los diferentes usos del agua. La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada parámetro de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación. Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos, en correspondientes índices de calidad por parámetro ( $I_i$ ). Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, este hecho se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación ( $W_i$ ), según su orden de importancia respectivo. Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua.

Formula Del ICA

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde el subíndice  $i$  identifica a cada uno de los parámetros de calidad evaluados.

Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua (Comisión Nacional del Agua, 1999).

El índice de calidad del agua (ICA), fue desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU (NFS), que en su esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como índice de calidad del agua (ICA) (Oram, 2012).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existente, siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos, a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río. Además de comparar la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Para la determinación del ICA en el modelo de la NFS, intervienen nueve parámetros, a saber:

1. Coliformes fecales (en NMP/100 mL)
2. pH (en unidades)
3. Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub> en mg/L)
4. Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/L)
5. Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/L)
6. Cambio de la temperatura (en grados Celsius)
7. Turbidez (en unidades nefelométricas)
8. Sólidos totales (en mg/L)
9. Oxígeno disuelto (% saturación).

El peso de cada uno de estos parámetros en el modelo de la NFS, se presenta en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Parámetros de calidad del agua y ponderación según el modelo NFS

PARAMETRO	PONDERACIÓN
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,16
pH	0,11
Demanda bioquímica de oxígeno	0,11
Cambio de temperatura	0,1
Fosfatos totales	0,1
Nitratos	0,1
Turbiedad 42	0,08
Sólidos totales	0,07

**Fuente:** Oram, 2012.

Cuando no se tengan los 9 parámetros de calidad del modelo, se puede realizar el cálculo del ICA, con los parámetros restantes, para ello la ponderación del parámetro faltante se redistribuye entre los parámetros medidos.

El ICA adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del curso de agua en estudio (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2007).

La calidad del agua se clasifica de acuerdo con la Tabla 10.

**Tabla 10.** Clasificación del “ICA” propuesto por Brown.

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente	Azul	91-100
Buena	Verde	71-90
Regular	Crema	51-70
Mala	Zapote	26-50
Pésima	Gris	0-25

**Fuente:** Lobos, 2002.

Las aguas con “ICA” excelente y buena, son capaces de soportar una alta diversidad de vida acuática y son apropiadas para todo tipo de recreación y para la toma de agua para potabilización.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como la natación.

Para determinar el valor “ICA” en un punto deseado es necesario que tenga las mediciones de los nueve (9) parámetros implicados en el cálculo del índice.

Cuando los resultados de menos de las nueve mediciones están disponibles podemos preservar los pesos relativos de cada factor y la escala del total, de modo que el rango se mantiene de 0 a 100.

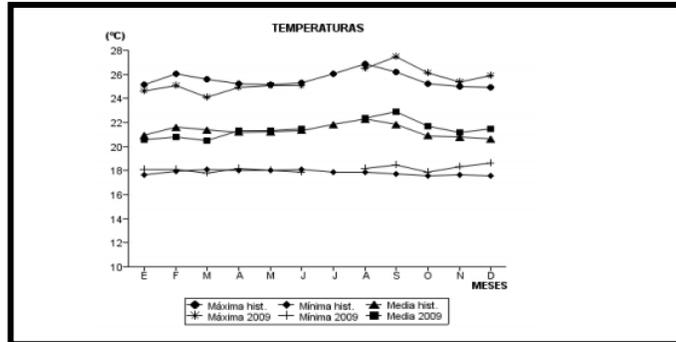
Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar y difundir la información sobre la calidad del agua así:

- Manejo del recurso: pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- Clasificación de áreas: para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- Aplicación de normatividad: permite determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- Análisis de las tendencias: el análisis de los índices en un periodo de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está empeorando o mejorando.
- Información pública: los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- La investigación científica: simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medio ambientales (Valcárcel, Alberro y Frías, 2009).

En consideración a lo anterior esta investigación determinó el índice de calidad del agua de los afluentes (agua que entra al sistema proveniente del lavado del café en una fermentación natural) y el agua de los efluentes (salida de agua después del tratamiento con sistema modular), en mitaca y en cosecha. Se tuvieron en cuenta parámetros del índice de calidad del agua como son: pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, turbiedad, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, nitratos y fosfatos.



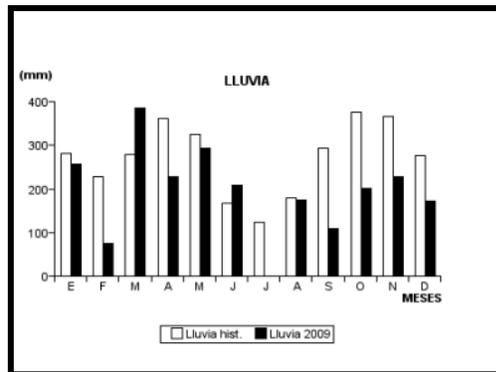
**Fuente:** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011



**Figura 5.** Temperatura Fresno año 2009.

**Fuente:** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011.

Se hace un comparativo de la precipitación del municipio de Fresno en el año 2009 con respecto al histórico y se presenta en la Figura 6.



**Figura 6.** Precipitación Fresno año 2009 comparado con el histórico.

**Fuente:** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011.

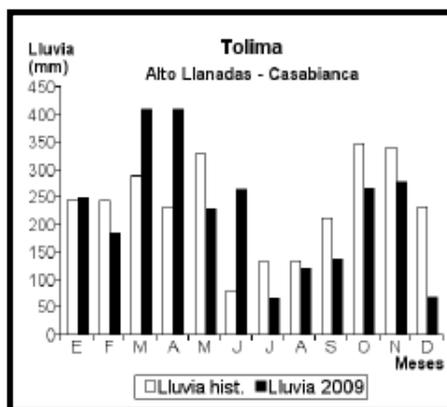
Como en la estación Tricontinental de la vereda La Sierra del municipio de Fresno, solo se tenían resultados hasta el año 2009, se presentan los registros de precipitación de la estación meteorológica Alto Llanadas en el municipio de Casabianca (Ubicada a 5,0 km en línea recta del sitio de investigación). Tabla 12.

**Tabla 12.** Precipitación municipio Casabianca año 2009

Estación: Alto Llanadas Año : 2009		Dpto: Tolima Mplo: Casabianca										Latitud : 5° N	Longitud: 75° W	Altitud: 1610 m
Día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.		
1	20.0	7.0	15.0	0.0	18.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0		
2	25.0	0.0	8.0	0.0	12.0	4.0	0.0	0.0	0.0	10.0	54.0	0.0		
3	0.0	0.0	20.0	0.0	8.0	0.0	3.0	0.0	0.0	6.0	12.0	0.0		
4	10.0	0.0	12.0	3.0	4.0	0.0	5.0	0.0	27.0	55.0	20.0	4.0		
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	2.0	12.0	0.0	8.0	6.0	3.0		
6	6.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	25.0	0.0		
7	0.0	0.0	15.0	11.0	17.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0		
8	0.0	10.0	3.0	8.0	14.0	0.0	15.0	5.0	0.0	6.0	30.0	0.0		
9	0.0	36.0	41.0	55.0	12.0	67.0	12.0	3.0	0.0	4.0	0.0	0.0		
10	4.0	0.0	4.0	5.0	5.0	20.0	6.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0		
11	0.0	25.0	0.0	24.0	0.0	23.0	3.0	0.0	0.0	10.0	2.0	9.0		
12	0.0	21.0	0.0	0.0	55.0	35.0	0.0	0.0	4.0	6.0	16.0	2.0		
13	0.0	0.0	5.0	6.0	0.0	4.0	0.0	0.0	2.0	4.0	8.0	0.0		
14	12.0	19.0	51.0	10.0	12.0	10.0	0.0	0.0	6.0	0.0	4.0	0.0		
15	0.0	0.0	16.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	45.0	11.0	25.0	0.0		
16	0.0	0.0	11.0	0.0	7.0	27.0	0.0	7.0	0.0	0.0	20.0	10.0		
17	35.0	12.0	2.0	0.0	4.0	15.0	0.0	4.0	25.0	11.0	0.0	15.0		
18	20.0	0.0	18.0	6.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	38.0	0.0	5.0		
19	12.0	0.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0	0.0	12.0	4.0	3.0		
20	0.0	9.0	5.0	4.0	0.0	10.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
21	6.0	0.0	4.0	3.0	0.0	15.0	0.0	6.0	0.0	6.0	6.0	0.0		
22	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	10.0	0.0	0.0		
23	7.0	0.0	0.0	67.0	0.0	0.0	6.0	27.0	0.0	0.0	4.0	6.0		
24	0.0	15.0	10.0	6.0	8.0	4.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0		
25	0.0	0.0	28.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	7.0	2.0	10.0		
26	0.0	6.0	3.0	0.0	17.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
27	0.0	4.0	35.0	72.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0		
28	40.0	20.0	0.0	62.0	0.0	10.0	0.0	0.0	4.0	0.0	30.0	0.0		
29	52.0	0.0	0.0	49.0	31.0	4.0	0.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0		
30	0.0	0.0	14.0	0.0	6.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
31	0.0		31.0		0.0					19.0		0.0		
Total	249.0	184.0	409.0	409.0	228.0	263.0	66.0	121.0	138.0	265.0	277.0	67.0	2676.0	Anual
Días Ll.	13	12	24	18	16	17	10	12	11	20	19	10		

**Fuente:** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011

Se hace un comparativo de la precipitación del municipio de Casabianca en el año 2009 con respecto al histórico y se presenta en la Figura 7.



**Figura 7.** Precipitación municipio Casabianca año 2009 comparada con el histórico.

**Fuente:** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011.

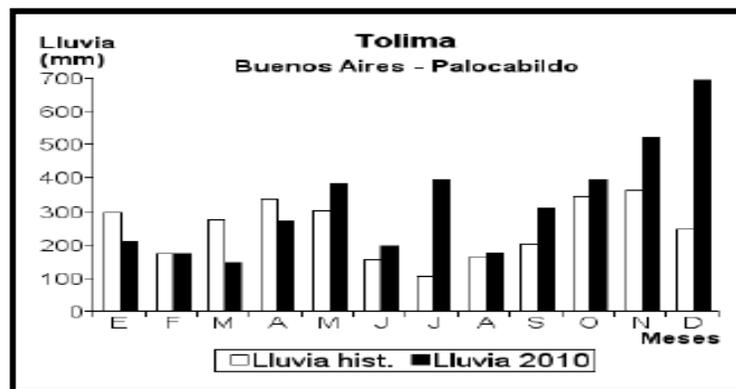
La estación Buenos Aires del municipio de Palocabildo que se encuentra a 6,0 kilómetros en línea recta de la zona de estudio (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011). Tabla 13.

**Tabla 13.** Precipitación municipio Palocabildo. Año 2010.

Estación: Buenos Aires Año : 2010		Dpto: Tolima Mpio: Palocabildo										Latitud : 5° 8' N Longitud: 75° 1' W Altitud: 1410 m	
Día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
1	25.0	0.0	10.0	0.0	20.0	0.0	30.0	11.0	25.0	5.0	0.0	55.0	
2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	21.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	68.0	
3	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	0.0	0.0	0.0	37.0	60.0	0.0	33.0	
4	2.0	0.0	0.0	25.0	15.0	2.0	0.0	5.0	40.0	0.0	10.0	25.0	
5	0.0	20.0	45.0	30.0	20.0	0.0	15.0	0.0	35.0	49.0	40.0	10.0	
6	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	19.0	20.0	20.0	
7	0.0	9.0	10.0	0.0	25.0	0.0	10.0	0.0	27.0	39.0	15.0	35.0	
8	70.0	18.0	0.0	5.0	0.0	0.0	15.0	8.0	0.0	0.0	20.0	0.0	
9	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	
10	0.0	0.0	10.0	57.0	0.0	15.0	75.0	0.0	8.0	5.0	35.0	28.0	
11	0.0	2.0	0.0	4.0	24.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	
12	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	
13	0.0	70.0	0.0	15.0	4.0	25.0	5.0	0.0	15.0	35.0	20.0	20.0	
14	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	83.0	0.0	0.0	0.0	23.0	10.0	
15	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0	10.0	10.0	5.0	
16	0.0	5.0	15.0	15.0	0.0	20.0	0.0	0.0	37.0	15.0	25.0	0.0	
17	0.0	0.0	25.0	4.0	0.0	0.0	5.0	20.0	0.0	10.0	30.0	0.0	
18	2.0	24.0	0.0	30.0	105.0	0.0	0.0	15.0	5.0	46.0	24.0	70.0	
19	0.0	7.0	0.0	0.0	2.0	40.0	33.0	0.0	0.0	19.0	15.0	50.0	
20	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	7.0	11.0	0.0	10.0	65.0	
21	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0	
22	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	40.0	25.0	0.0	
23	0.0	5.0	0.0	2.0	10.0	56.0	0.0	0.0	10.0	0.0	21.0	35.0	
24	0.0	10.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	15.0	0.0	9.0	10.0	15.0	
25	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	4.0	26.0	0.0	5.0	0.0	0.0	30.0	
26	7.0	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0	6.0	20.0	20.0	10.0	0.0	5.0	
27	58.0	0.0	30.0	1.0	0.0	0.0	0.0	40.0	22.0	0.0	0.0	20.0	
28	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	5.0	5.0	57.0	0.0	
29	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	5.0	0.0	
30	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0	4.0	8.0	30.0	0.0	0.0	45.0	60.0	
31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.0	0.0	10.0	
Total	212.0	174.0	145.0	273.0	383.0	197.0	395.0	176.0	310.0	396.0	520.0	694.0	3875.0
Días LL.	9	11	7	15	17	10	19	11	16	18	22	24	

**Fuente:** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011.

Se hace un comparativo de la precipitación del municipio de Palocabildo en el año 2009 con respecto al histórico y se presenta en la Figura 8.



**Figura 8.** Precipitación municipio Palocabildo 2010 comparado con el histórico.

**Fuente:** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011.

## 5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

### 5.1. LOCALIZACIÓN

Esta investigación se realizó en el norte del departamento del Tolima, en el municipio de Fresno. Su cabecera municipal se localiza sobre las coordenadas 5°09´ latitud norte y los 75°02´ de longitud al oeste del meridiano de Greenwich, a 142 km de la ciudad de Ibagué, capital del departamento, a una altitud de 1478 msnm y a una temperatura de 20 °C (Gobernación del Tolima, 2013).

La investigación se realizó en predios de productores pertenecientes a la asociación Acafeto, en el municipio de Fresno en las veredas y corregimientos respectivos que se ilustran en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Relación productores, fincas, veredas, corregimientos, área en café y coordenadas.

Nro.	NOMBRE	Finca	Vereda	Corregimiento	Producción Arrobas café pergamino seco/año	Area en Café ha	COORDENADAS	
							coord.X	coord. Y
1	Arturo Ríos Monroy	La Granja	La Picota	La Aguadita	430	3,58	88385384	105592026
2	Janeth Holguin	Miraflores	Holdon	La Aguadita	420	3,00	88421866	105760590
3	Jaime Carvajal	El Cural	Holdon	La Aguadita	300	1,95	88421166	105780090
4	Mauricio Castaño	La Divisa	Holdon	La Aguadita	280	2,00	88483680	109764794
5	Ligia González	Las Acacias	Holdon	La Aguadita	400	3,00	88484166	105793289
6	Adrian Grajales	El Jardín	Torre 12	La Aguadita	210	1,80	88667767	105911287
7	William Toro	Paraíso	Torre 12	La Aguadita	420	3,00	88661604	105924043
8	Jesús Duque	El Remanso	Torre 12	La Aguadita	410	3,46	88626492	105928920
9	Angel Giraldo	La Esmeralda	Torre 12	La Aguadita	240	2,00	88643666	105837788
10	Carmelo Betancourt	Bella Vista	Torre 12	La Aguadita	300	1,73	88677786	105832294
11	Octavio Grisales	Parcela 1	Los andes	Piedra Grande	510	4,26	89596367	106892790
12	José Yesid Martínez	Parcela 2	Los andes	Piedra Grande	300	2,73	89583906	106903336
13	Reynaldo Olmos	Los Alpes	San Antonio	La Aguadita	420	3,00	89568101	106877293
14	Héctor Candamil	La Congoja	Campeón Medio	Campeón	160	1,33	89102566	105903583
15	Ruben Augusto Marin	La Alcancia	Campeón Medio	Campeón	240	2,40	89029204	105933256
16	Hernando Barco	Buenos Aires	Campeón Alto	Campeón	280	2,00	88872068	106074685
17	Marco Rincón	Parcela 5	Alto del Aguila	Campeón	190	1,41	89287599	106339436
18	Faber Bedoya	El Roble	Los Guaduales	Campeón	160	1,35	89108635	106088090
19	Judith Lozano	La Esperanza	Los Guaduales	Campeón	300	2,14	89183022	106074808
20	Eduardo Robayo	La Esperanza	La Cristalina	Tablazo	600	5,13	89061386	106917394
21	Luis Alberto Ortiz	El Edén	Los Guaduales	Campeón	200	1,72	89236966	106107265
22	Everardo Hoyos	La Aurora	Paramillo	Betania	250	1,78	89526242	107122832
23	Carlos Sánchez	El Retiro	Paramillo	Betania	390	3,31	89585178	107203644
24	Jose Nicolás Chiquiz	La Sueca	Paramillo	Betania	190	1,36	89405947	107075631
25	Esnith Castaño	Alto Bello	Paramillo	Betania	240	2,02	89432952	107048585
26	Alba Cristina Pineda	Bella Vista	Paramillo	Betania	150	1,12	89430903	107017124
27	Fernando Betancourt	Paraíso	Paramillo	Betania	200	1,60	89452776	107030479
28	Norbey Gutierrez	La Palmita	Guayabo	Betania	350	2,59	89474405	106936140
29	Reynaldo Acosta	Los Pirineos	Los Andes	Piedra Grande	560	4,68	88728546	106057108
30	Maria Nelcy Angel A	El Jardín	San Antonio	La Aguadita	160	1,35	88712968	106022187
31	Jorge Luis Buitrago	Bella Vista	Trincheras	Tablazo	300	2,00	88513760	106369900
32	Deivy Castaño	La Sonora	Dos Quebradas	Campeón	400	3,68	89007342	106315680
33	Edgar Flórez	El Mirador	Dos Quebradas	Campeón	300	2,71	89035403	106261338
34	Jhon Jairo Duque	Los Nogales	La Picota	La Aguadita	300	1,80	88370064	105610375
35	Carmenza Valencia	El Jardín	Paramillo	Betania	290	2,98	89413776	107053379
36	Víctor Gómez	El Cábulo	La Sierra	Aguas Claras	280	2,34	89475284	106164942
37	Gildardo León	El Guayabo	Santa Rosa	Campeón	200	1,33	89312199	106064778
38	Edilson Aguirre	La Bonanza	Santa Rosa	Campeón	300	2,78	89335507	106044287
39	Jaime Sánchez	Damaroja	Los andes	Piedra Grande	450	3,82	89579764	106936747
40	Gustavo Arbeláez	El Mango	La porfia	La Aguadita	450	3,02	88480167	105917789
41	Luis Albeiro Barco	La Zulia	Campeón Alto	Campeón	250	1,34	88855182	106058090

**Fuente:** Autores

5.1.1. Lugar donde se realizaron las caracterizaciones de las muestras.

La caracterización del afluente y efluente de los sistemas anaerobios se realizó en la Disciplina de Gestión de Recursos Naturales y Conservación de Cenicafé, laboratorio de biodigestión ubicado a 5° 00" de latitud norte y 75° 36" de longitud oeste a una altitud de 1310 msnm, temperatura promedio anual de 21,4°C, humedad relativa media de 82,5 %, precipitación anual de 2849 mm, 242 días lluviosos en el año y un brillo solar de 1603,1 horas anuales. Figura 9.



**Figura 9.** Laboratorio Biodigestión Cenicafé. Plan Alto. Chinchiná Caldas.

**Fuente:** Autores

## 5.2. METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo general enfocado a Contribuir a la Gestión Integral del Recurso Hídrico en el proceso del café y los objetivos específicos propuestos se realizaron las siguientes actividades llevando un orden cronológico así:

- 1.** Conocer el manejo actual que la asociación de café especial “Acafeto” del agua en el proceso de beneficio húmedo del café. Se diseñó un formulario de encuesta inicial y se llevaron a cabo en los meses de Abril, Mayo y Junio de 2010 (Anexo 1), donde se determinó el estado actual teniendo en cuenta , el manejo del recurso agua en el proceso de beneficio húmedo, como también datos de la tenencia de la tierra, el área en café, tipo de beneficio, uso del agua en la tolva, uso del agua para despulpar y para transporte de café en baba, dispositivos para lavar el café, disposición de las aguas de lavado del café, disposición de la pulpa y drenados de la misma, como también el transporte de la pulpa. (Anexo 1), luego se procedió a tabular la información y a construir las respectivas bases de datos.
- 2.** Sensibilizar y capacitar. Se realizó durante el año 2011 la sensibilización y capacitación de 41 productores de café y sus familias que hacen parte de la asociación de productores de café especial de Fresno Tolima “Acafeto”, en el manejo integrado del recurso agua en el proceso de beneficio húmedo del café, mediante métodos de extensión como: reuniones, demostraciones de método, visitas a finca y días de campo con el apoyo del servicio de extensión del comité de cafeteros seccional Fresno departamento del Tolima.
- 3.** Implementar los Sistemas Modulares de Tratamiento de Aguas Residuales (SMTA), como resultado de la tabulación de la encuesta inicial (Anexo 1) donde se encontró que no se hacía tratamiento alguno a las aguas residuales del beneficio húmedo del café.
- 4.** Implementar y evaluar dispositivos y prácticas ahorradoras de agua en el proceso de beneficio húmedo del café. Como práctica innovadora para el lavado de equipos de beneficio se evaluó el restrictor de flujo Acualive, el cual se instaló en la manguera que generalmente usa el caficultor para esta labor y se evaluaron frente al sistema tradicional utilizado por el productor que es la manguera de 1/2”. Para hallar el volumen de agua a utilizar en el lavado de los equipos de beneficio, se realizaron 3 mediciones en 21 beneficiaderos, registrando el volumen obtenido en un recipiente aforado de 20 L de capacidad, en un tiempo de 1 min, para la manguera de 1/2” y el restrictor de flujo.
- 5.** Implementar el tanque tina, como dispositivo de ahorro. Para determinar el volumen de las unidades que conforman el sistema de lavado de café, en el proceso de beneficio húmedo, se determinó la capacidad de los tanques tina, de acuerdo a la producción de café en la finca: Para estimar el volumen del tanque

tina que se necesita en la finca, se recolectó la información de la producción anual en @ cps y el porcentaje de café pergamino seco del día pico o de mayor producción y se determinó mediante la siguiente fórmula.

Fórmula para determinar la capacidad de los tanques tina de acuerdo a la producción de café en la finca.

*1. Considerando la producción en @ de café pergamino seco.*

Volumen café en baba=  $39,9 * Pa * Dp$

Dónde: Pa: Producción anual @ de cps; Dp: Día pico (2,3% para la zona); 39,9 constante ( $60 * 0,55/0,826$ ).

*2. Considerando la producción en fruto en el día de máxima cosecha.*

Volumen café en baba =  $0,666 * Dpcc$

Dónde: 0,666 constante ( $0,55/0,826$ ); Dpcc: día pico, kg. Fruto de café.

Para el caso de una finca con producción de 300 @ de café pergamino seco (cps) y un día pico de 2,3%

-Volumen de café en baba ( $Vcb$ )=  $39,9 * 300 * 0,023= 275,3$  L

-Volumen de tanque tina ( $Vcb/Vlibre$ )= $275/0,7= 393$  L (Zambrano et al., 2011).

Con base en el método utilizado para determinar la capacidad del tanque tina se determinó la instalación, acorde a su producción, a 15 caficultores que corresponde al 36% del total de los productores del caso de estudio. Ver Tabla 27.

**5.** Implementar y caracterizar sistemas de tratamiento para las aguas residuales del café. Como parte del manejo integrado del agua en el beneficio húmedo del café se instalaron 41 sistemas modulares (SMTA), con el propósito de realizar las caracterizaciones necesarias y determinar su eficiencia en condiciones normales de operación.

Para el diseño de cada una de las unidades que conforman el Sistema Modular de Tratamiento de Aguas mieles del café (SMTA), se tuvo en cuenta primero la cantidad de fruto de café recolectado en el día pico de producción, segundo paso se adoptó el despulpado y transporte de pulpa sin agua, y luego el lavado del café en los tanques de fermentación con un consumo entre 4 y 5 L de agua/kg de café pergamino seco (cps), utilizando la técnica de los cuatro enjuagues (Zambrano et al., 2011).

En la primera caracterización (en Mayo 2011), se evaluaron los afluentes (41) y los efluentes (41) de los sistemas modulares de tratamiento de aguas residuales. De igual forma se hizo para la segunda caracterización (en Noviembre 2011), evaluando afluentes (35) y efluentes (35) de los sistemas modulares. Es de aclarar que solo se tomaron 35 muestras por dificultad en la recolección de las muestras. Se determinó el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica, la turbiedad, la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales (SST), los sólidos totales (ST), nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto y coliformes fecales.

Para el caso de los efluentes se tomó una muestra a la salida del sistema modular de tratamiento anaerobio, para cada uno de los sistemas modulares del caso de estudio. Figura 10.



**Figura 10.** Muestras de los efluentes de los sistemas modulares

**Fuente:** Autores

En la Tabla 15 se registran los puntos de muestreo, la frecuencia y las unidades de trabajo.

**Tabla 15.** Puntos de muestreo, frecuencia y unidades de las características físico químicas.

Variable	Punto	Frecuencia	Unidades
Demanda Química de Oxígeno	Afluente, efluente	Semestral	ppm
Sólidos totales	Afluente, efluente	Semestral	ppm
Sólidos suspendidos totales	Afluente, efluente	Semestral	ppm
pH	Afluente, efluente	Semestral	
Temperatura	Afluente, efluente	Semestral	°C

**Fuente:** Autores

Los sistemas modulares de tratamiento anaerobio se instalaron en el año 2010 y se colocaron en funcionamiento en el año 2011. Se caracterizaron los afluentes y efluentes en época de mitaca Mayo y en cosecha Noviembre de 2011.

**6.** Evaluar la adopción de las diferentes prácticas, por parte de los asociados, para lograr el manejo integrado del agua en el proceso de beneficio húmedo del café. En el transcurso de la investigación, se realizaron las entrevistas finales, aplicando el formulario de encuesta del manejo integrado del recurso agua, en el beneficio húmedo del café (Anexo 2), en los meses de Febrero, Mayo y Junio del año 2011, y luego se procedió a tabular la información y a construir las respectivas bases de datos.

**7.** Caracterizar el Índice de Calidad del Agua (ICA) en las corrientes de entrada (Afluente) y de salida (Efluente) de los sistemas de tratamiento utilizando el modelo NSF. Se determinó finalmente la valoración de la calidad del agua de los efluentes del sistema modular (SMTA), en relación con la calidad natural y los usos posibles. En la zona cafetera de estudio la calidad del agua se afecta con el proceso de beneficio del café; con la instalación y puesta en marcha de los sistemas modulares de aguas residuales, se debe implementar un sistema de monitoreo de la calidad del agua. Esta investigación busca innovar con la aplicación del monitoreo del Índice de Calidad del Agua (ICA), propuesto por la NFS (National Sciences Foundation).

Las principales razones para el establecimiento de programas de monitoreo de la calidad del agua, tienen que ver con la necesidad de verificar si la calidad del recurso cumple con las condiciones para los usos requeridos, con la determinación de las tendencias de la calidad del ambiente acuático y como este se ve afectado por el vertimiento de contaminantes originados por las actividades humanas y con la estimación de los flujos de contaminantes y nutrientes vertidos a los ríos o aguas subterráneas, lagos y océanos (Idean, 2002). Como herramienta visual se toma la clasificación por colores adaptada de Aguayo, 2013. Tabla 16.

**Tabla 16.** Escala de clasificación del índice de calidad del agua.

ICA	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola
100	NO CONTAMINADO	NO	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	NO
95		REQUIERE PURIFICACION			REQUIERE PURIFICACION
90		LIGERA PURIFICACION			LIGERA PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS
85					
80	ACEPTABLE	MAYOR NECESIDAD	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
75		DE			
70		TRATAMIENTO			
65	POCO CONTAMINADO	DUDOSO	DUDOSO PARA EL CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
60			CONTACTO DIRECTO		
55			SIN CONTACTO CON EL AGUA		
50			SEÑAL DE CONTAMINACION		
45	CONTAMINADO	NO	NO	NO	USO RESTRINGIDO
40					
35					
30					
25	ALTAMENTE CONTAMINADO	ACEPTABLE	NO	NO	NO
20					
15					
10					
5			NO	ACEPTABLE	NO
0			ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE

**Fuente:** Adaptada de Aguayo, 2013.

### 5.3. METODOLOGIA UTILIZADA PARA LAS CARACTERIZACIONES

Se realizó el monitoreo al afluente (flujo de salida de los tanques de lavado) antes del sistema de tratamiento SMTA y el efluente (flujo de salida del sistema modular de tratamiento anaerobio), cada seis meses que corresponde cronológicamente al mes de Mayo (mitaca) y Noviembre (cosecha), para la zona de estudio, con base en las metodologías de análisis de laboratorio, de acuerdo a las recomendaciones del Standard Methods. Apha, Awwa, Wpcf, (citado por Rodríguez, 2009).

Las submuestras del efluente de los tanques fermentadores se recolectaron, una por cada uno de los 4 enjuagues, con un intervalo de 10 minutos para la recolección de cada enjuague, en recipientes plásticos de capacidad de 300 ml (Figura 11). Posteriormente se vertieron en botellas plásticas de 1500 mL de capacidad, (Figura 12) ocupando aproximadamente un 80% de su capacidad. Las muestras se refrigeraron a una temperatura de 4°C y se llevaron al laboratorio de biodigestión anaerobia en Cenicafé Chinchiná, Caldas.



**Figura 11.** Muestras de cada uno de los 4 enjuagues en el tanque de lavado.

**Fuente:** Autores



**Figura 12.** Muestra Efluente

**Fuente:** Autores

Es de anotar que todas las botellas plásticas utilizadas en el ensayo fueron enjuagadas 3 veces, previamente, con el agua a analizar, de acuerdo con las recomendaciones del Standard Methods. Apha, Awwa, Wpcf. (citado por Rodríguez, 2009).

Los análisis realizados fueron:

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Se determinó por el método de refluo cerrado, método colorimétrico desarrollado por la HACH y aprobado por la U.S.EPA (HACH, 1988). Figura 13.



**Figura 13.** Digestor y espectrofotómetro y viales de alto rango utilizados para la determinación de la DQO.

**Fuente:** Autores

**Sólidos totales (ST):** Se determinó por el método de estufa a 105 °C y 16 horas de secado (Apha, Awwa, Wpcf, 1992). Figura 14.



**Figura 14.** Estufa utilizada en la determinación de sólidos.

**Fuente:** Autores

**Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Se determinaron con papel filtro GF/C de 1,2  $\mu\text{m}$  con secado a una temperatura de 105  $^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante. (Apha, Awwa, Wpcf, 1992).

**pH:** Para determinar el potencial de hidrógeno, pH se utilizó un pH metro Modelo seven Go Referencia SG2-FK, Metler Toledo) Figura 15.



**Figura 15.** pH metro Modelo seven Go

**Fuente:** Autores

**Temperatura:** Se determinó utilizando un termómetro digital marca Toledo.

Los parámetros adicionales para el índice de calidad de agua determinados para cosecha fueron:

**Oxígeno Disuelto:** Se utilizó el método polarográfico utilizando como sensor un electrodo de membrana CellOx 325 marca WTW, acoplado a un instrumento de medición portátil (Referencia 330i de la WTW) como se detalla en la Figura 16.



**Figura 16.** Equipo portátil utilizado en la determinación del oxígeno disuelto.

**Fuente:** Rodríguez, 2009

**Fósforo:** Se utilizó el método absorto métrico del ácido ascórbico de la HACH (Aprobado por U.S.EPA y adaptado del Standard Methods) y el espectrofotómetro DR2000. Se determinó como fósforo total.

Cálculo fosfatos:

$$PO_4^{3-} = (Lectura\_equipo) * f_d$$

Dónde:  $PO_4^{3-}$  = Fosfatos (ppm);  $f_d$  = Factor de dilución

**Nitratos:** Se utilizó el método absorto métrico de reducción con cadmio, Rango medio de la HACH y el espectrofotómetro DR2000.

Cálculo nitratos:

$$NO_3^- = (Lectura\_equipo\_N-NO_3^-) * f_d * 4,4$$

Dónde:

$\text{NO}_3^-$  = Nitratos (ppm);  $\text{N-NO}_3^-$  = Nitrógeno en forma de nitratos (ppm);  $f_d$  = Factor de dilución. 4,4. Factor de conversión para pasar de nitrógeno en forma de nitritos a nitratos.

**Turbiedad:** Se utilizó el Método de la HACH y el espectrofotómetro DR 2000. Rango de medida (0 a 450 unidades Formazina de Turbidez, FTU, las cuales son equivalentes a las unidades nefelométricas de turbidez NTU) a una longitud de onda de 450 nm (Hach Company, 1988).

En cuanto al índice de calidad de agua (ICA) para mitaca (Mayo) se calculó con los parámetros SST., pH, Turbiedad, DQO, y diferencia de temperatura entre el afluente y el efluente, preservando los pesos relativos de cada factor y la escala del total (Oram, 2012).

#### 5.3.1. Porcentaje de remoción DQO, ST Y SST

Para todos los casos, los porcentajes de remoción de las variables de interés se calcularon mediante el empleo de la siguiente fórmula:

$$\% \text{Remoción} = \left( \frac{C_o - C_e}{C_o} \right) * 100$$

Dónde:

$C_o$  = Valor de la variable en el afluente; (DQO, ST Y SST).

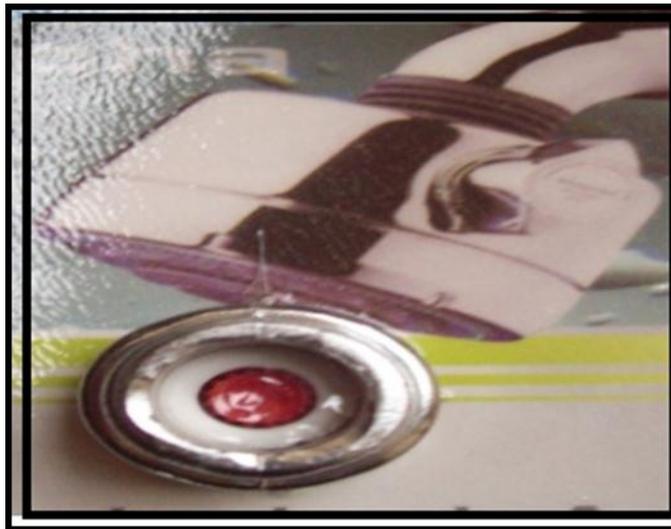
$C_e$  = valor de la variable en el efluente. (DQO, ST Y SST).

## 5.4. MATERIALES

El número total de integrantes de la Asociación de productores de café especial “Acafeto”, la conforman 41 caficultores y sus respectivos predios, con el área en café, y producción anual en arrobas de café pergamino seco, como se describe en

la Tabla 14. Información que se registró con la aplicación de la encuesta inicial (Anexo 1), para determinar la capacidad y el número de sistemas de tratamiento de aguas del beneficio húmedo del café.

Para el caso de los restrictores de flujo se instalaron 20 unidades en 20 predios por facilidad de recopilación de la información y de repetir las evaluaciones. Figura 17.



**Figura 17.** Restrictor de flujo

En cuanto a la capacidad y cantidad de los tanque tina, se determinó según registros de producción de café en las fincas, con producciones menores o iguales a 175 kg de café baba (café despulpado que puede ser contenido por un tanque tina de 250 L) en el día de mayor producción en el año (día pico) que corresponde a 10 productores y mayores a 175 kg de café en baba que corresponde a 5 productores a los cuales se les instaló 2 tanques tina por predio para contener el volumen de producción en café baba del día pico (2% de la producción anual). (Roa et al., 2009).

La descripción general de los principales materiales empleados en esta investigación se presenta en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Descripción general de los materiales por marca, capacidad y cantidad.

Equipo/material	Marca/descripción	Capacidad /resolución	Cantidad
Dispositivo reductor/ahorrador	Acualive	2,2 Galones por minuto	20
Tanque de fermentación	Construidos en plástico (Polietileno de alta densidad marca Rotoplast)	250 L	20
SMTA (Sistema Modular de Tratamiento de Aguas residuales)	Construidos en plástico. (Polietileno de alta densidad marca Rotoplast)	300 (Kilogramos de café cereza día pico)	41

**Fuente:** Autores

El Despiece del mecanismo ahorrador (rotor, empaque de caucho, y cuerpo) se detalla en la figura 18.



**Figura 18.** Despiece restrictor de flujo.

Para la instalación se utilizó manguera de ½ pulg, un adaptador macho roscado PVC-S (Sanitaria) de ½ pulg (Figuras 19 y 20).

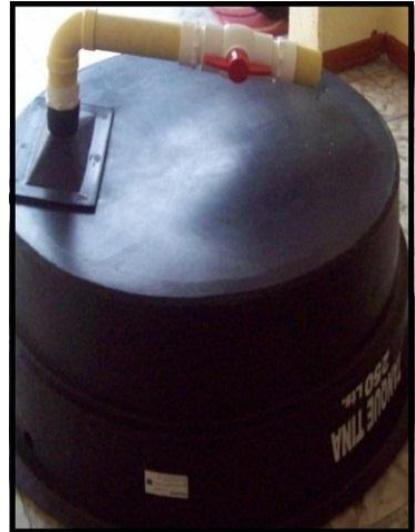


**Figura 19.** Despiece con adaptador macho y manguera.



**Figura 20.** Restricción de flujo, adaptador macho y manguera.  
**Fuente:** Autores

Detalle de los tanques tina de 250 L, en plástico (polietileno de alta densidad marca Rotoplast), Figura 21.



**Figura 21.** Tanque tina 250 L y detalle sistema drenajes

**Fuente:** Autores

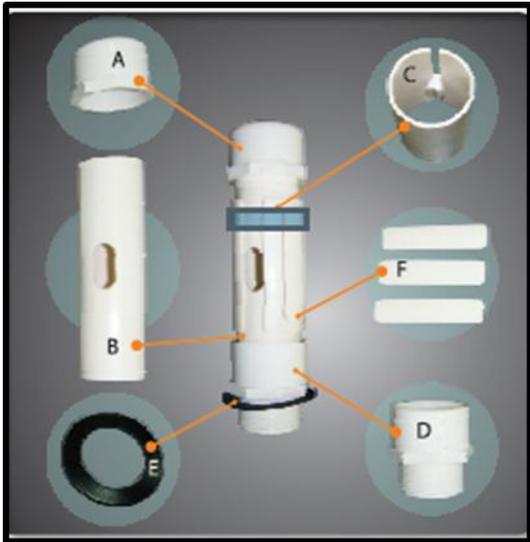
Para realizar un manejo integrado del agua se instalaron y se pusieron en funcionamiento 41 sistemas modulares (SMTA) en condiciones normales de operación con una capacidad de 300 kg de café cereza día, el cual consta de: un tanque cilíndrico de 105 L de polietileno (Trampa pulpa) que recibe las aguas residuales de lavado y los drenados de la fosa de pulpas. Figura 22.



**Figura 22.** Trampa pulpa.

**Fuente:** Autores

En la Figura 23., Se presenta la válvula de entrada de las aguas mieles provenientes del tanque de lavado y los materiales necesarios para su construcción (Zambrano, Isaza, Rodríguez, López y Zambrano, 2010).



**Figura 23.** Válvula de entrada de agua a la trampa pulpas (despiece).

**Fuente:** Zambrano et al., 2010.

Para la construcción de dicha válvula se utiliza un adaptador macho (D), un niple de 16 cm (B) y un tapón copa (A), todos en PVC-P (Presión) de 1 ½". Al niple se le hacen dos perforaciones contiguas de 5/8 pulg., las cuales se unen para formar un óvalo que permita la descarga inferior de las aguas mieles. Para sellar la entrada se utiliza un segundo niple (C) de 9,5 cm, el cual se abre a lo largo para ajustarlo a presión sobre el primero, de forma que se pueda girar para cerrar la descarga. Para facilitar el agarre en húmedo se le pegan tres placas de 8 cm por 2 cm de tubo PVC P de 1 ½", (F), al niple que sirve de tapa (C). Finalmente para permitir el sello con las paredes del tanque se utiliza una arandela de neo lite N°5 (E) (Zambrano et al., 2011).

En la figura 24 se muestra la válvula de descarga ya armada.



**Figura 24.** Válvula de descarga.

**Fuente:** Autores

La Figura 25., muestra la entrada de las aguas mieles a la trampa de pulpas a través de la válvula de descarga, la cual se instala a 7 cm del borde superior del tanque.



**Figura 25.** Entrada de las aguas mieles a la trampa de pulpas a través de la válvula de descarga.

**Fuente:** Zambrano et al., 2010.

En la Figura 26., se presenta el dispositivo de evacuación de las aguas mieles de la trampa de pulpas, el cual se fabrica utilizando un niple de PVC-S (Sanitaria) de 1 ½ pulg., sellado en uno de los extremos con un tapón liso de 1½ pulg. (Modificación propuesta por los autores), con una longitud de 25 cm, y al cual se le hacen 400 perforaciones de 7/32 pulg., aproximadamente.



**Figura 26.** Dispositivo de salida de las aguas mieles

**Fuente:** Autores

La salida de aguas mieles al primer tanque o reactor hidrolítico se ubica a 10 cm de la trampa de pulpas y el rebose de seguridad por debajo de la entrada de aguas mieles para el caso que ocurra un taponamiento del dispositivo de salida a los reactores hidrolíticos, por la presencia de pulpa, gases o aire en la tubería que conecta la trampa de pulpas con el reactor hidrolítico. Este rebose se fabrica en tubería PVC-S de 1½ pulg.

La descarga del rebose de seguridad se conduce, mediante manguera de polietileno de 1½ pulg., a una excavación de 1m x 1m x 1m, la cual se llena completamente con tallos provenientes del soqueo de café. Figura 27.



**Figura 27.** Rebose de seguridad.

**Fuente:** Autores

El rebose de seguridad se tiene en el imprevisto que se genere un volumen de agua miel superior del SMTA instalado (por utilizar un consumo de agua mayor a 5 L/Kg de cps). La descarga del rebose de seguridad se conduce mediante una manguera de polietileno reciclado de baja densidad hacia la excavación con tallos de café, como se observa en la Figura 27.

En la Figura 28, se muestran las arandelas de neo lite N°5, que se utilizan siempre que deban incorporarse dispositivos internos o externos, las cuales se ubican entre la pared interna y/o externa de los tanques y los dispositivos instalados con el fin de evitar fugas de agua a través de las paredes.



**Figura 28.** Ubicación de las arandelas de neo lite entre las paredes del tanque y los dispositivos instalados.

**Fuente:** Zambrano et al., 2010

En la Figura 29, se muestra el detalle correspondiente a un acople entre accesorios de PVC y la manguera polietileno reciclado de baja densidad.



**Figura 29.** Acople entre los accesorios de PVC y la manguera

**Fuente:** Zambrano et al., 2010.

Para permitir el flujo por gravedad de las aguas mieles desde la trampa de pulpas hasta las tanques hidrolíticos, recamaras dosificadoras y reactores metanogénicos

y evitar la instalación de sistemas de bombeo, es necesario cumplir con las cotas mínimas (Diferencia de nivel del terreno).

La Figura 30., muestra la tubería de entrada al primer tanque hidrolítico, con su correspondiente acople macho y su tapón roscado para purga de aire o de gases en PVC de 1½ pulg., ubicada en el extremo de PVC-S de 1½ pulg., y de 1 metro de longitud conectado a la línea de entrada mediante un codo y una te en PVC-P de 1½ pulg.



**Figura 30.** Tubería de entrada al primer tanque hidrolítico.

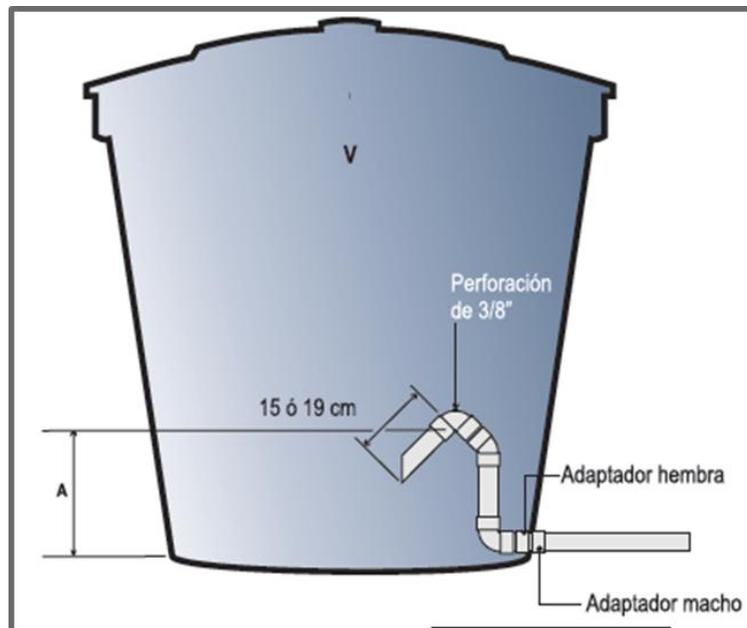
En la Figura 31, se muestra el aspecto del dispositivo instalado en el fondo de los reactores hidrolíticos, el cual permite retener las aguas mieles durante el tiempo necesario para facilitar el buen desempeño del sistema.



**Figura 31.** Dispositivo de salida de los reactores hidrolíticos.

**Fuente:** Autores

Materiales del dispositivo de salida: un tubo de 19 cm de longitud de 1½ pulg., con un corte de 45°, dos tubos de 6 cm de longitud de 1½ pulg., dos codos y un semicodo de 1½ pulg., un adaptador macho y un adaptador hembra de 1½ pulg. y un tubo de 40 cm de longitud, como se detalla en la Figura 32.



**MATERIALES DE 1½"**

- 1 tubo de 15 ó 19 cm de longitud con corte de 45°
- 2 tubos de 6 cm de longitud
- 2 codos
- 1 semicodo

V ( litros )	A ( cm )
2.000	52
1.000	45
750	40
500	34
250	20

**Figura 32.** Dimensión del dispositivo interior de salida del reactor hidrolítico acidogénico, de acuerdo con el volumen de los tanques.

**Fuente:** Zambrano et al., 2010.

La Figura 33, muestra la tubería que conecta los fondos de los reactores hidrolíticos-acidogénicos y su descarga de lodos.



**Figura 33.** Tubería salida lodos.

**Fuente:** Autores

La descarga de lodos se realiza mediante una tubería de PVC-S de 1½ pulg., y 1 m de longitud, en cuyo extremo se acopla un adaptador macho y un tapón roscado, ambos en PVC-P de 1½ pulg. El tubo se acopla mediante un codo y una te en PVC-P de 1½ pulg., a la tubería de conexión entre reactores, la cual debe permitir que la distancia mínima sea de 50 cm entre los bordes superiores de los tanques.

En las Figura 34 se muestran los detalles de las diferentes conexiones de la recámara dosificadora. El agua proveniente del reactor hidrolítico acidogénico ingresa a través de una válvula de bola 1 pulg., que permite suspender el flujo del

agua residual, en caso de que deba atender alguna eventualidad durante la operación del sistema, a esta válvula va ensamblada una válvula flotador tipo bebedero con adaptación de dos codos de  $\frac{1}{2}$  pulg., y 10 cm de tubo de  $\frac{1}{2}$  pulg., para ampliar la capacidad de la recámara, lo que mantiene el nivel del agua residual en la recámara y la cual se instala 6 cm por debajo del borde superior del tanque.



**Figura 34.** Recámara dosificadora.

**Fuente:** Autores

La recámara también cuenta con una salida para descargar lodos, cuando sea necesario hacer mantenimiento. La salida está ubicada a 7 cm del fondo del tanque y consta de un tubo PVC-S de  $1\frac{1}{2}$  pulg., y de 1 m de longitud, en cuyo extremo se acopla un adaptador macho PVC-P y un tapón roscado de  $1\frac{1}{2}$  pulg., (C) y de un dispositivo de regulación del caudal de salida (D), ubicado a 10 cm del fondo, consistente en tubo de PVC-P de  $\frac{1}{2}$  pulg. y entre 8 y 10 cm de longitud, provisto de un tapón copa al cual se le hace una perforación de  $\frac{5}{64}$  pulg., cuando se alimenta un solo reactor metanogénico, se debe calibrar el diámetro de las perforaciones de forma que el caudal de salida, en cada una de ellas, esté entre 550 y 600 ml/min.

En la Figura 35, se muestran los accesorios internos y externos de la recámara dosificadora, (Flotador tipo bebedero, tapón descarga de lodos y regulador de caudal) a la cual se le adiciona la grava Figura 36 y se ubica la malla mosquitera, Figura 37, como medios filtrantes, la cual se asienta sobre la grava utilizando un aro fabricado en manguera de polietileno reciclado, de baja densidad y de  $\frac{1}{2}$  pulg.



**Figura 35.** Accesorios internos y externos de la recámara dosificadora.

**Fuente:** Autores



**Figura 36.** Recamara dosificadora con grava y marco de recolección interno.

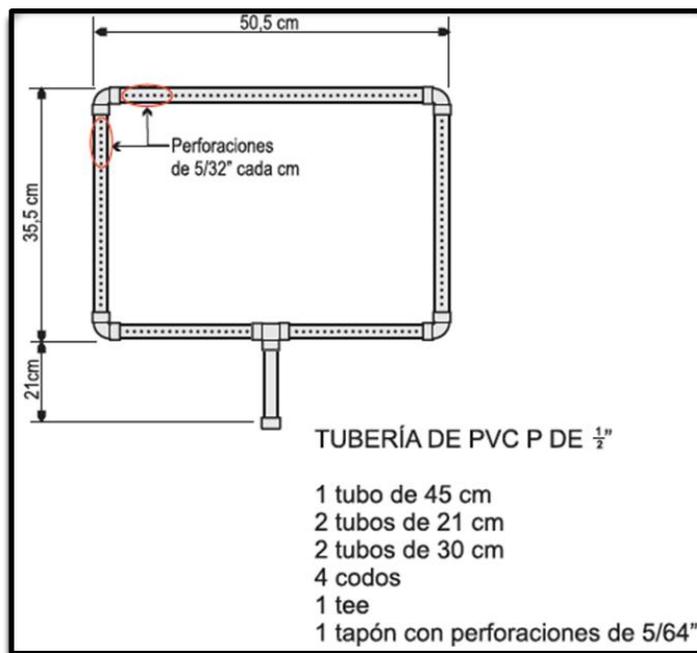
**Fuente:** Autores



**Figura 37.** Malla mosquitera.

**Fuente:** Autores

En la Figura 38 se muestra el marco de recolección interno de la recámara dosificadora, con las medidas y materiales necesarios para su elaboración, para la salida de las aguas mieles acidificadas y filtradas hacia la unidad metanogénica.



**Figura38.** Marco de recolección interno.

**Fuente:** Zambrano et al., 2010.

En la Figura 39, se detalla el dispositivo de regulación de caudal de salida ubicado a 10 cm del fondo, consiste en un tubo PVC-P de ½ pulg. y entre 8 y 10 cm de longitud provisto de un tapón copa al cual se le hace una perforación de 5/64 pulg. En este caso se debe calibrar un diámetro de la perforación de forma que el caudal de salida este entre 550 y 600 ml/min.

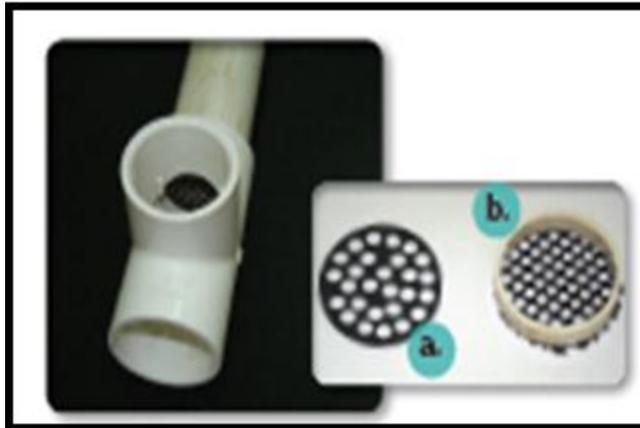


**Figura 39.** Dispositivo de regulación de caudal de la recámara dosificadora.

**Fuente:** Autores

En las Figura 40 se presenta el detalle de la tubería de entrada al reactor metanogénico y del disco ubicado entre la te, y la entrada al tanque, para prevenir el paso de material insoluble (disco perforado). Igualmente en la Figura 41 se muestra el tapón roscado del reactor metanogénico que permite el mantenimiento del disco perforado y la descarga de lodos del reactor. Se fabrica con tubo PVC-S de 1½ pulg., de un metro de longitud, al cual se le acopla un adaptador macho y un tapón roscado de PVC-P de 1½ pulg.

**Figura 40.** Disco perforado.



**Fuente:** Zambrano et al., 2010.



**Figura 41.** Tapón roscado.

**Fuente:** Zambrano et al., 2010.

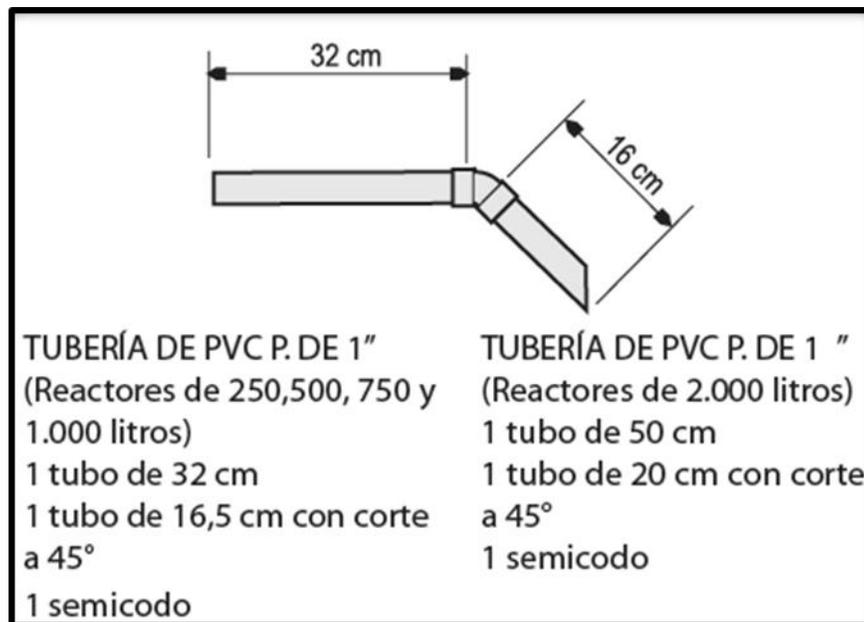
Internamente la entrada del agua residual al reactor metanogénico se realiza en el fondo por medio de un dispositivo de forma cuadrada de 45 cm de lado, construido en tubería de PVC de 1 pulg y perforado lateralmente con 4 orificios de 7/32 pulg, uno en el centro de cada lado. Figura 42.



**Figura 42.** Dispositivo interno de distribución de flujo en el reactor metanogénico.

**Fuente:** Autores

La salida del efluente se realiza en forma axial, utilizando una tubería de PVC de 1 1/2 pulg y 20 cm con un corte transversal de 45°, conectado por medio de un semicodo a una tubería PVC de 50 cm que comunica con el exterior Figura 43. Tamaño del tanque utilizado (750 L).



**Figura 43.** Dispositivo de salida del reactor y tanque metanogénico con sus correspondientes medidas.

Fuente: Zambrano et al., 2010.

En la Figura 44, se presenta el modelo SMTA 300, recomendado para tratar las aguas mieles generadas por una producción máxima diaria de 313 kg de café cereza.

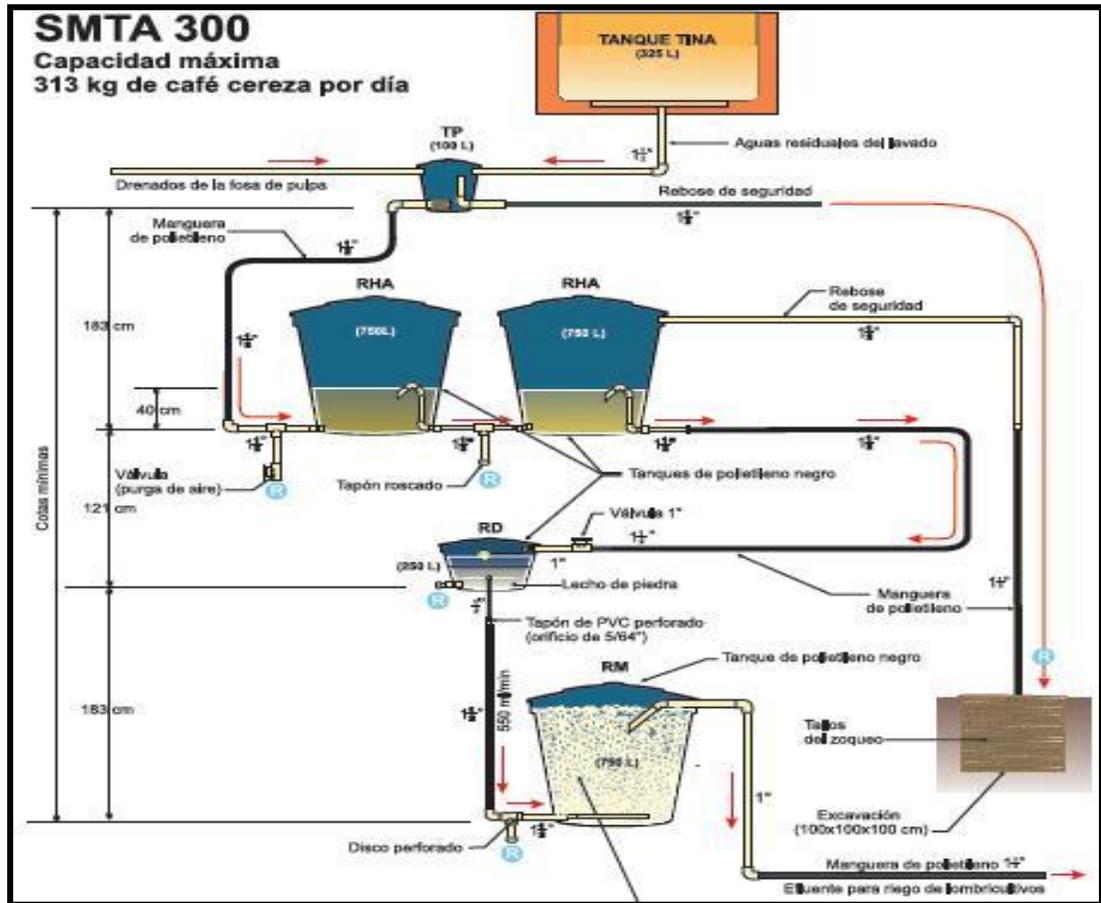


Figura 44. Modelo SMTA 300.

Dibujo: Gonzalo Hoyos S Cenicafé 2009

En la Tabla 18 se presentan las convenciones del SMTA 300.

**Tabla 18.** Convenciones SMTA 300

T.P.	Trampa pulpas
R.D.	Recamara Dosificadora
R.H.A.	Reactor Hidrolítico Acidogénico
R.M.	Reactor Metanogénico
R	Reboses y Purgas de Lodos

**Fuente:** Zambrano et al., 2010.

Se realizaron las adecuaciones necesarias en terreno como se detalla en la Figura 45, en los 41 sistemas de tratamiento SMTA en los predios que hacen parte del proceso de investigación, fue necesario adecuar el reactor metanogénico para permitir el apropiado desempeño de los microorganismos depuradores. En este componente ocurre la etapa final de la digestión anaerobia, en donde la contaminación soluble en forma de ácidos, es transformada a biogás por la acción de bacterias metanogénicas, del dominio *Archaea*, y las principales especies están representadas por *Methanobacterium*, *Metanopirillum hunatii* y *Metanosarcina*. (Varnero, 2011)



**Figura 45.** Adecuaciones del terreno para la instalación de los SMTA

**Fuente:** Autores

Una vez realizadas las conexiones respectivas en el reactor metanogénico, se procedió a llenar su interior con botellas plásticas no retornables partidas en tercios y se utilizaron todas las partes, como se ve en la Figura 46, las cuales sirven de medio de soporte para las bacterias metanogénicas, para que no sean arrastradas con el agua tratada que sale del reactor, lo que haría que se perdiera eficiencia en el proceso de depuración.



**Figura 46.** Botellas no retornables

**Fuente:** Autores

Posteriormente se realizó la preparación del inóculo llamado caldo microbiano metanogénico, el cual se preparó en un tanque aparte, debido a la dificultad de su homogenización.

Para favorecer el crecimiento de los microorganismos metanogénicos, durante la instalación del SMTA, se adicionó miel de purga como una fuente de carbono (6 kg disueltos en 180 L de agua) que permite tener entre 4 y 5 kg de DQO soluble por m<sup>3</sup> de reactor; una fuente de nitrógeno urea al 2,5% (75 gr, de urea disuelta en 3 L de agua) para equilibrar la reacción C/N, y para acondicionar el pH en el reactor metanogénico se disolvió cal masilla blanca en agua (1,5 kg de cal masilla en 15 L de agua) que permite tener un pH cercano a 7. La adición se realizó en la recámara dosificadora. (Zambrano et al., 2010). Tabla 19.

La alcalinidad a pH 5,75 se mantuvo en un valor promedio de 308 mg de CaCO<sub>3</sub>/L, en el reactor metanogénico. (Orozco, 2003).

**Tabla 19.** Materiales utilizados para inoculación y arranque de los SMTA en el desarrollo de la investigación.

Reactor Metanogénico	Reactor Metanogénico	Inóculo	Inóculo	Inóculo	Inóculo
Volumen (L)	Tercios de botella (#)	Bacterias	Fuente de carbono	Fuente de nitrógeno	Búfer de arranque
750	558	90 kg de estiércol fresco + 90 L de agua.	6 kg. de miel de purga disuelta en 180 L de agua	75 gr de urea disuelta en 3 L de agua	1,5 kg. De cal masilla blanca disuelta en 15 L de agua.

**Fuente:** Adaptada de Zambrano et al., 2010.

El inóculo consta de una fuente de microorganismos metanogénicos, para ello se utilizó estiércol fresco de vacuno como se detalla en las Figuras 47 y 48, disuelto en agua en relación 1:1, agitándose constante y fuertemente, lo que permitió homogenizar la mezcla obteniéndose una tasa de inoculación de entre 1-2% de microorganismos y posteriormente se adicionó al reactor metanogénico (Zambrano et al., 2010).



**Figura 47.** Inóculo estiércol fresco de vacuno.

**Fuente:** Autores



**Figura 48.** Inóculo en el reactor metanogénico.

**Fuente:** Autores

Según recomendaciones de Cenicafé (Zambrano et al., 2010) se adicionó, para un mejor desempeño en su orden: 1) agua corriente hasta cubrir el dispositivo interno de distribución de flujos, en el reactor metanogénico, 2) el inóculo sin filtrar, 3) material de soporte (botellas plásticas).

Posteriormente se adicionó agua hasta cubrir por completo el material de empaque del reactor metanogénico y se tapó el reactor durante las 3 semanas siguientes, al cabo de las cuales se inició con la etapa de arranque del sistema de tratamiento.

La etapa de arranque permite el crecimiento y la adaptación de los microorganismos metanogénicos provenientes del estiércol vacuno a las aguas mieles del café sin necesidad de neutralizarlas (Zambrano et al., 2010).

El proceso de arranque tiene una duración de 10 semanas. En la Tabla 20 se presentan los tiempos de operación del sistema de tratamiento, con el agua residual generada durante toda la etapa de lavado entre los días primero al setenta, después de este tiempo se puede mantener constante la alimentación del sistema. (Zambrano et al., 2010)

**Tabla 20.** Día y tiempo de arranque para SMTA 300.

Días	Tiempo de alimentación(horas: minutos)
1 a 14	00:20
15 a 28	00:45
29 a 42	01:45
43 a 56	03:00
57 a 70	04:30
71 en adelante	Continuo

**Fuente:** Tabla adaptada de Zambrano et al., 2010

Con la puesta en operación de los sistemas modulares SMTA, se realizó las caracterizaciones necesarias en el afluente y el efluente, para mitaca mayo 2011 y cosecha noviembre de 2011.

## **5.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación es en ciencias naturales del tipo aplicada al requerir poner en práctica los adelantos tecnológicos y buenas prácticas en beneficio del café investigadas en el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

Es un estudio de caso al investigar en condiciones específicas un proceso de tratamiento de aguas residuales del café mediante digestión anaeróbica utilizando SMTA.

**Clasificación de la investigación de acuerdo con su método y su objeto de estudio.** El enfoque es cuantitativo al plantear la definición previa y el control de variables e indicadores, medición y cuantificación de datos con el uso de técnicas estadísticas (estadística descriptiva), para definir las remociones en cada sistema de tratamiento y los índices de calidad de agua.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. ASPECTOS SOCIALES DE LOS ENTREVISTADOS QUE HACEN PARTE DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

#### 6.1.1. Edad del encuestado y género

Se encontró que el 85% de los encuestados supera los 35 años, siendo el porcentaje más alto entre 35 y 50 años, con el 53% y de 32% mayores de 50 años, como se observa en la Tabla 21. Al calcularse el promedio según el género, se encontró una edad promedio de 45 años igual para mujeres y hombres. Debe destacarse el número bajo de personas ubicadas en el rango de menor edad. El entrevistado de mayor edad tenía 68 años y el más joven 22 años. Al calcularse el promedio de edad de 45 años está por debajo de la edad promedio del caficultor colombiano que es de 54 años (Serna et al., 2012).

La edad es considerada por algunos autores como una variable que puede influir en la adopción de ciertas tecnologías, en el sentido que cuando es mayor la edad, puede afectar negativamente la incorporación de innovaciones en su sistema productivo.

**Tabla 21.** Edad de los encuestados y clasificación por género.

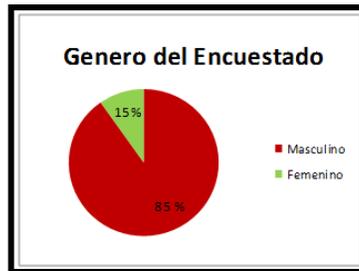
Grupo de edad	Porcentaje %	No. Hombres	No. Mujeres
Hasta 35 años	15	6	0
Mayor de 35 hasta 50 años	53	17	5
Mayor de 50 años	32	12	1

**Fuente:** Autores

Para el caso de estudio se encontró que el 100% corresponde a propietarios de los predios cafeteros, lo que permitió la toma de decisiones en la propuesta de investigación en el manejo integrado del recurso agua.

En cuanto al género el 85% correspondió a hombres y un 15% mujeres como se registra en la Figura 49. El componente femenino a pesar de ser bajo es muy

interesante al reflejar una creciente participación en la producción y manejo del café, pues en un estudio sobre adopción del manejo integrado de la broca este porcentaje fue menor 13,2% (Duque y Chaves, 2000).



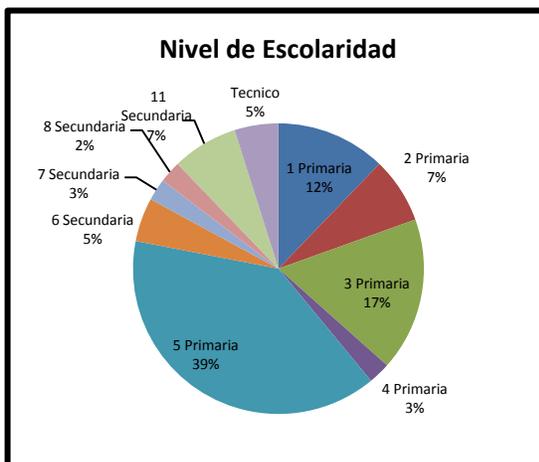
**Figura 49.** Género del encuestado.

**Fuente:** Autores

#### 6.1.2. Nivel de escolaridad

Con relación a la educación formal de los caficultores, los resultados son positivos, pues una proporción importante 39% presentó algún año de educación primaria. Sin embargo el 39% completó sus estudios primarios, como también el 10% tiene al menos un año de secundaria y el 7% terminó sus estudios secundarios. A nivel técnico los productores encuestados representaron el 5% de los mismos.

En la Figura 50. Se presenta los niveles de educación de los encuestados. Es de resaltar que no se encontró ningún grado de analfabetismo.



**Figura 50.** Nivel de escolaridad de los encuestados.

**Fuente:** Autores

El nivel de educación formal de los caficultores encuestados en este estudio es superior al que se encontró en la encuesta nacional cafetera de 1997. Tabla 22; ya que el 57,6% tienen primaria incompleta, un 16,6% cuenta con primaria completa y un 6,9% tiene niveles de educación secundaria (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1997).

**Tabla 22.** Nivel de educación Encuesta Nacional Cafetera vs. Caficultores encuestados.

Estudio realizado	Encuesta Nacional cafetera 1997	Caficultores encuestados
Primaria incompleta	57,60%	39%
Primaria completa	16,60%	39%
Niveles de educación secundaria	6,90%	17%

**Fuente:** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1997

La adopción del manejo integrado del agua en el proceso de beneficio del café, en el caso de estudio se facilitó por el nivel educativo, de los encuestados.

“La adopción de tecnología por parte de agricultores analfabetas tiene pocas probabilidades de éxito” (Banco Mundial, 2008).

## 6.2. INFORMACIÓN SOBRE EL ÁREA EN CAFÉ

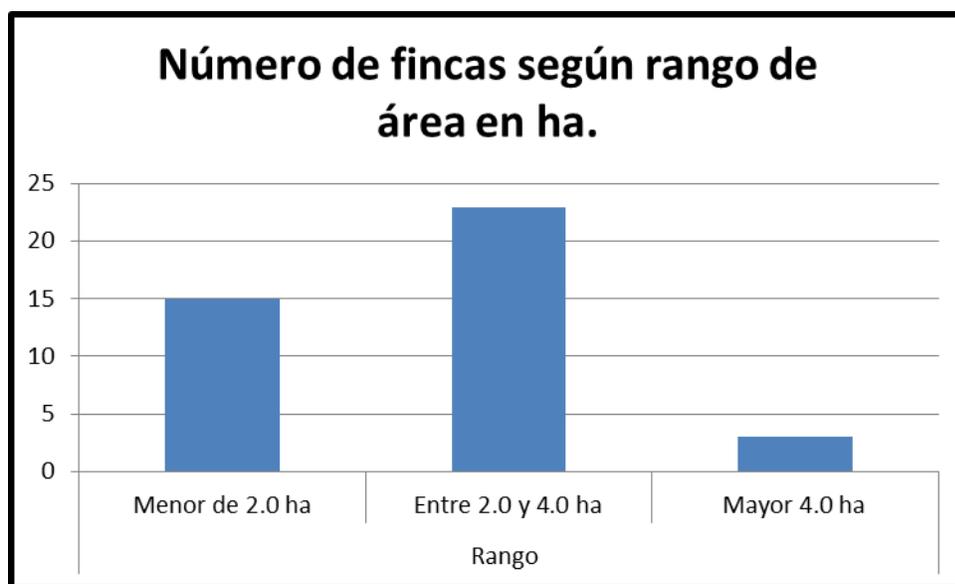
Con la aplicación de la encuesta inicial, se registró la información necesaria para determinar el área en café de los productores, aplicando el análisis de estadística descriptiva, media, límite superior y límite inferior, para determinar el diseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del café y los tanques de fermentación como se observa en la Tabla 23.

**Tabla 23.** Media, límite inferior y límite superior para la variable área en café.

Medida	Área en café (ha)
Media	2,45
Límite superior	5,13
Límite inferior	1,12

**Fuente:** Autores

Sobresalen las fincas pequeñas donde en su mayoría se cuenta con mano de obra familiar, lo que permite la implementación de un manejo integrado del recurso hídrico en el proceso de beneficio húmedo del café. Los resultados reportados a nivel del departamento del Tolima, es de 1,67 ha promedio de área en café por finca, inferior al encontrado en el presente estudio que fue de 2,45 ha (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011). Figura 51.



**Figura 51.** Número de fincas según rango de área en ha.

**Fuente:** Autores

### 6.3. INFORMACIÓN SOBRE LA DENSIDAD DE SIEMBRA

Los resultados correspondieron al promedio de la densidad de siembra utilizada por el productor. Se calculó con base en la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad de siembra} = \frac{10000 \text{ m}^2}{D \times d}$$

Dónde:

$$\text{Densidad de siembra} = \text{árboles/ha.} \qquad 1 \text{ ha.} = 10000 \text{ m}^2$$

D= distancia entre surcos en m. d= distancia entre árboles en m.

La densidad de siembra fluctuó entre los 3703 y 6250 árboles por ha.

Para las medidas de tendencia central se encontraron datos similares para la media, mediana y la moda con valores de 4781, 5000 y 5000 plantas.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

La media obtenida en este estudio es inferior al promedio departamental estimado en 5706 árboles.ha<sup>-1</sup> (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011).

### 6.4. RESTRICTORES DE FLUJO

De acuerdo con la metodología de este trabajo, se consideró que la instalación de restrictores de flujo para el lavado de equipos de beneficio nos indica un ahorro medio del 33% con el uso de restrictor, respecto a la manguera de ½". Lo que corresponde a 2,57 L/min., para el lavado de equipos de beneficio, aceptando la primera hipótesis de trabajo: *“Los procesos de sensibilización, capacitación e implementación de dispositivos de ahorro como el reductor de caudal y el tanque tina, en las fincas de los asociados permiten disminuir el consumo de agua en el proceso del beneficio húmedo del café en al menos el 30%”*.

El análisis estadístico descriptivo de esta variable se hizo para 21 predios lo que corresponde al 51%, del total. Media, máximos, mínimos, desviación estándar y

coeficiente de variación para el volumen de agua utilizado con la manguera de ½” versus el restrictor de flujo en un tiempo determinado registrado en la Tabla 24.

**Tabla 24.** Agua utilizada para lavado de equipos con restrictor de flujo y manguera de ½ pulg.

(L/min)

Nro.	Manguera 1/2pulg.	Restrictor	Diferencia L/Min	Nro.	Manguera 1/2pulg.	Restrictor	Diferencia L/Min
1	18,2	11,3	6,9	11	2,05	1,67	0,38
2	6	4,5	1,5	12	13	7	6
3	19,8	15,86	3,94	13	8,64	6,2	2,44
4	15,45	14,2	1,25	14	2,2	1,54	0,66
5	7	6	1	15	1,9	1,8	0,1
6	8	5	3	16	4,88	4,16	0,72
7	2,2	1	1,2	17	7,29	5	2,29
8	8	6	2	18	3,475	2,81	0,665
9	10	4	6	19	3	1,925	1,075
10	13	4,5	8,5	20	5,25	2,425	2,825
				21	4,362	2,875	1,487

**Fuente:** Autores

En la Tabla 25 se observan los resultados de la comparación de la utilización de la manguera de ½ pulg versus la manguera de ½ pulg con restrictor.

**Tabla 25.** Media, máxima, mínima, para el volumen de agua gastado con manguera de ½ pulg con respecto a manguera de ½ pulg con restrictor de flujo.

Variable	Manguera ½ pulg.	Manguera 1/2 pulg con Restrictor
Media	7,79	5,22
Max	19,8	15,86
Min	1,9	1
Datos	21	21

**Fuente:** Autores

## 6.5. DISPOSITIVOS TANQUE TINA

De acuerdo con la metodología propuesta de este trabajo para los dispositivos ahorradores nos indica un ahorro medio del 39,66% con el uso de la tecnología tanque tina, con respecto a los tanques tradicionales de mampostería. Lo que corresponde a un ahorro medio de 3,74 L/kg de cps., corroborando la primera hipótesis del trabajo: *“Los procesos de sensibilización, capacitación e implementación de dispositivos de ahorro como el reductor de caudal y el tanque tina, en las fincas de los asociados permiten disminuir el consumo de agua en el proceso del beneficio húmedo del café en al menos el 30%”*.

Para las evaluaciones se tomaron los 10 predios que tenían volúmenes similares de tanque de mampostería para lavar el café y los predios que utilizaban 1 tanque tina para dicha labor.

En la Tabla 26, se observa los resultados de la determinación del volumen del tanque tina teniendo en cuenta el área en café, producción en @ de cps, volumen de café baba y volumen del tanque tina como dispositivo ahorrador. Lo que corresponde a 15 predios cafeteros.

**Tabla 26.** Determinación del volumen del tanque tina.

No	Nombre	Finca	Vereda	Area café	Producción @ cps.	Volúmen café baba	Volúmen tanque tina L	Tanques
1	Jaime Carvajal	El Cural	Holdon	1,95	300	275,31	393,3	2
2	Adrian Grajales	El Jardin	Torre 12	1,8	210	192,717	275,31	1
3	Carmelo Betancourt	Bella Vista	Torre 12	1,73	300	275,31	393,3	2
4	Hector Candamil	La Congoja	Campeon Medio	1,33	160	146,832	209,76	1
5	Marco Rincon	Parcela 5	Alto del Aguila	1,41	190	174,363	249,09	1
6	Faber Bedoya	El Roble	Los Guadales	1,35	160	146,832	209,76	1
7	Luis Alberto Ortiz	El Eden	Los Guadales	1,72	200	183,54	262,2	1
8	Everardo Hoyos	La Aurora	Paramillo	1,78	250	229,425	327,75	2
19	Jose Nicolas Chiquiza	La Sueca	Paramillo	1,36	190	174,363	249,09	1
10	Alba Cristina Pineda	Bella Vista	Paramillo	1,12	150	137,655	196,65	1
11	Fernando Betancourt	Paraiso	Paramillo	1,6	200	183,54	262,2	1
12	Maria Nelcy Angel A	El Jardin	San Antonio	1,35	160	146,832	209,76	1
13	Jhon Jairo Duque	Los Nogales	La Picota	1,8	300	275,31	393,3	2
14	Gildardo Leon	El Guayabo	Santa Rosa	1,33	200	183,54	262,2	1
15	Luis Albeiro Barco	La Zulia	Campeon Alto	1,34	250	229,425	327,75	2

Fuente: Autores.

En la Tabla 27 se presentan los resultados de las variables consumo de agua para el lavado del café en baba con tanque tina (250 L). Evaluados en 10 predios cafeteros.

**Tabla 27.** Lavado café baba en tanque tina plástico 250 L.

Numero	Café cereza kg.	Café pergamino seco kg. *	Consumo Tanque tina L/min	L agua/kg, cps.
1	68	14,96	75	5,01
2	110	24,2	168	6,94
3	70	15,4	90	5,84
4	103	22,66	150	6,62
5	75	16,5	90	5,45
6	116	25,52	114	4,47
7	72	15,84	75	4,73
8	103	22,66	144	6,35
9	62,5	13,75	90	6,55
10	137	30,14	150	4,98
Promedio	91,65	20,163	114,6	5,694

**Fuente:** Autores

\*En Colombia son comunes los rendimientos, con el beneficio convencional de café cereza a pergamino seco entre 4,7 y 5,3 (Roa et al., 1999).

En la Tabla 28 se observan los resultados del consumo de agua, en 10 predios cafeteros, para el lavado en tanques de mampostería de 1100 L en promedio de capacidad.

**Tabla 28.** Lavado café baba en tanque de mampostería de 1100 L en promedio

Numero	Café cereza kg.	Café pergamino seco kg.	Consumo Tanque mampostería L/min	L agua/kg, cps.
1	144	31,68	260	8,21
2	60	13,2	168	12,73
3	60	13,2	100	7,58
4	68	14,96	180	12,03
5	100	22	168	7,64
6	100	22	170	7,73
7	100	22	180	8,18
8	103	22,66	223	9,84
9	59	12,98	168	12,94
10	103	22,66	170	7,5
Promedio	89,7	19,734	178,7	9,438

**Fuente:** Autores

En la Tabla 29 se observan los resultados del análisis comparativo para los dos tratamientos.

**Tabla 29.** Media, máxima, mínima, para consumo en L de agua en el lavado de 1 kg de café pergamino seco, tanque tina versus tanque mampostería.

Variable	Tanque tina	Tanque mampostería
Media	5,69	9,43
Max	6,94	12,94
Min	4,47	7,5
n	10	10

**Fuente:** Autores

## 6.6. CARACTERIZACION DE SISTEMAS MODULARES.

En la Tabla 30 se condensan las caracterizaciones físico químicas realizadas a los afluentes del SMTA (líquido que entra al sistema), en el mes de Mayo (mitaca) del año 2011.

**Tabla 30.** Caracterización físico química de afluentes, en el mes de Mayo mitaca del año 2011.

Nro.	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)		Nro.	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)
1	3,71	27,3	10300	360,6	6258		21	3,57	26,4	50400	1393	26203
2	3,57	26	13600	152	3985		22	3,54	25,2	5200	102,6	4620
3	3,62	25,8	52300	854,6	21906		23	3,91	26	6100	54,6	4121
4	3,33	26,8	40000	534,6	25525		24	3,45	26,3	22400	90,6	8853
5	3,79	26,3	10600	324,6	8509		25	3,58	26,2	42100	592,6	28825
6	3,52	25,6	26600	966,6	22617		26	3,43	26,8	12500	206,6	7579
7	3,85	26	20700	262,6	8468,1		27	3,48	26,7	14600	716,6	4433
8	3,66	26,5	22200	794,6	11943		28	3,72	-	18900	118,6	14802
9	3,64	25,1	8900	178,6	4674		29	3,77	27,2	28500	1043	16728
10	3,63	25,9	95400	1474,6	59802		30	3,8	26,1	29400	460,6	13115
11	3,81	25,6	21000	586,6	12263		31	3,46	26,9	36800	796,6	13534
12	3,86	25,5	24400	880,6	11336		32	4,02	26,3	18900	94	8486
13	3,84	26	21700	714,6	10983		33	3,79	26,9	16600	88	9073
14	3,46	25,8	45800	1008,6	24142		34	3,55	26,7	5400	52,6	2792
15	3,9	-	9100	156,6	6155		35	3,66	25,2	16400	74,6	7517
16	4,13	-	45400	916,6	27752		36	3,23	25,7	26000	430,6	11828
17	3,72	-	26300	58,6	12106		37	3,7	26,1	31700	430,6	17895
18	3,83	26	25100	866,6	16454		38	3,68	26,4	40700	636,6	20326
19	4,23	-	500	104,6	1813		39	3,72	27	18600	140,6	8371
20	3,23	26,7	15300	148	5416		40	4,12	27	33000	138,6	15135
							41	4,14	-	43500	842,6	27087

**Fuente:** Autores

Con los resultados de la caracterización del afluente en el mes de mayo se realizó la evaluación de estadística descriptiva que se condensa en la Tabla 31.

**Tabla 31.** Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas del líquido afluente, en estado estable para mitaca Mayo, 2011.

Variable	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)
Media	3,7	26,23	25680,5	484,1	13986,1
Ds	0,2332	0,5793	17353	392,8	10598,6
c.v	6,3	2,2	67,57	81,14	75,77
Max	4,23	27,3	95400	1474,6	59802
Min	3,23	25,1	500	52,6	1813
n	41	35	41	41	41

**Fuente:** Autores

Para determinar el porcentaje de remoción, se caracterizó el efluente (líquido que sale del sistema de tratamiento) en el mes de mayo de 2011 la cual se condensa en la Tabla 32.

**Tabla 32.** Caracterizaciones físico químicas de efluentes, en el mes de Mayo mitaca del año 2011.

Nro.	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)		Nro.	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)
1	4,29	26,9	210	98	472		21	3,96	26,9	368	130	738
2	5	27,1	122	506	1510		22	7,65	26	F.R	114	232
3	4,3	25,1	1528	734	1634		23	6,6	26,3	700	50	148
4	4,25	27,1	608	352	1316		24	8,24	27,6	130	110	758
5	4,52	26,7	960	162	738		25	6,61	25,6	78	224	1706
6	6,53	26,6	164	12	58		26	6,56	26,7	152	16	818
7	6,43	26,1	188	612	1234		27	4,21	28,2	436	26	264
8	6,16	23,6	122	46	230		28	5,3	26,9	88	116	236
9	4	26,4	344	40	326		29	4,35	26,5	660	552	1756
10	6,88	23,7	204	78	216		30	5,89	26,1	218	6	276
11	4,46	24	1078	224	1352		31	6,27	24,6	216	280	846
12	6,47	24,4	222	38	790		32	4,49	21,8	772	332	746
13	4,42	23,2	1060	564	1226		33	5,01	26,9	176	612	1534
14	7,52	26,5	666	8	826		34	4,88	26,7	894	82	340
15	6,14	23,4	184	182	750		35	8,2	28,2	106	8	750
16	4,34	26,6	572	66	732		36	6,33	27,7	182	206	810
17	4,66	26,9	554	44	392		37	6,1	26,6	96	106	474
18	6,79	23,8	102	114	308		38	6,56	27,7	104	24	270
19	4,74	25,3	182	178	510		39	6,38	28	238	262	814
20	4,13	27,5	394	70	434		40	7,12	24,4	194	156	620
							41	4,3	23,6	542	92	324

Fuente: Autores

Con los resultados de la caracterización del efluente en el mes de Mayo se realizó la evaluación de estadística descriptiva que se condensa en la Tabla 33.

**Tabla 33.** Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas del líquido efluente, en estado estable, para mitaca Mayo 2011.

Variable	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)
Media	5,64	25,95	395,35	186,15	719,85
Ds	1,25	1,58	341,17	194,71	470,02
c.v	22,28	6,1	86,8	104,6	65,29
Max	8,24	28,2	1528	734	1756
Min	3,96	21,8	78	6	58

**Fuente:** Autores

El comparativo entre el Afluyente y el Efluyente para mitaca Mayo, se describe en la Tabla 34.

**Tabla 34.** Comparativo entre el Afluyente y el Efluyente para mitaca Mayo

Variable	AFLUENTE					EFLUENTE				
	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)
Media	3,7	26,23	25680,5	484,1	13986,1	5,64	25,95	395,35	186,15	719,85
Ds	0,2332	0,5793	17353	392,8	10598,6	1,25	1,58	341,17	194,71	470,02
c.v	6,3	2,2	67,57	81,14	75,77	22,28	6,1	86,8	104,6	65,29
Max	4,23	27,3	95400	1474,6	59802	8,24	28,2	1528	734	1756
Min	3,23	25,1	500	52,6	1813	3,96	21,8	78	6	58
n	41	35	41	41	41	41	41	40	41	41

**Fuente:** Autores

Para determinar el porcentaje de remoción, se caracterizó el afluyente (líquido que entra al sistema de tratamiento) en el mes de noviembre de 2011. Los resultados se condensan en la Tabla 35.

**Tabla 35.** Caracterizaciones físico químicas de afluentes, en el mes de Noviembre cosecha del año 2011.

Nro.	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)		Nro.	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)
1	3,41	25,8	17200	684,8	6584		21	3,5	24,3	14750	650	4484
2	3,42	25,9	14900	650,8	4678		22	3,53	24,8	8450	372	1510
3	3,39	25,6	18100	822,8	5865		23	3,49	25,2	4150	366	3588
4	3,24	26,1	26750	666,8	9589		24	3,36	24,7	11600	574	4672
5	3,35	25,7	8600	475,6	3046		25	3,35	24,7	18150	628,8	6125
6	3,34	25	24950	702,8	10615		26	3,34	24,6	12850	468	5204
7	3,32	24,6	14250	480	5114		27	3,56	24,1	10000	274	2913
8	3,43	25,5	10100	466	3376		28	-	-	-	-	-
9	3,38	25,3	19350	628,8	7839		29	3,49	24,9	14700	662,8	5565
10	3,46	25,8	10300	410	3314		30	3,49	24,3	9600	118	3192
11	3,55	24,3	19200	658,8	6099		31	3,55	24,5	10150	264	4369
12	3,44	24,8	11900	436	4352		32	3,46	25,1	15300	452	6691
13	3,29	23,3	31150	676,8	14623		33	3,67	24	7700	182	2557
14	3,57	23,7	10000	228	3255		34	3,52	25,8	9400	234	1770
15	3,63	24,4	8650	574	3461		35	3,5	25,1	6850	370	2960
16	-	-	-	-	-		36	3,25	25,4	20600	776,8	9211
17	-	-	-	-	-		37	3,38	25,7	24400	724,8	9709
18	3,52	24,2	24150	666,8	9518		38	3,43	25,3	30500	676,8	11072
19	-	-	-	-	-		39	3,47	26,9	18500	658,8	6506
20	3,64	23,3	8550	352	2972		40	3,43	27	11800	264	5274
							41	-	-	-	-	-

Fuente: Autores

Con los resultados de la caracterización del efluente en el mes de Noviembre se realizó la evaluación de estadística descriptiva que se condensa en la Tabla 36.

**Tabla 36.** Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas del líquido afluente, en estado estable para cosecha Noviembre 2011.

Variables	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)
Media	3,45	24,99	14931	508,27	5602
Ds	0,1	0,86	6834,38	187,74	2981,7
c.v	3,04	3,45	45,77	36,93	53,22
Max	3,67	27	31150	822,8	14623
Min	3,24	23	4150	118	1510
n	36	36	36	36	36

**Fuente:** Autores

Para determinar el porcentaje de remoción, se caracterizó el efluente (líquido que sale del sistema de tratamiento) en el mes de noviembre de 2011 la cual se condensa en la Tabla 37.

**Tabla 37.** Caracterizaciones físico químicas de efluentes, en el mes de Noviembre cosecha del año 2011.

Numero de la Muestra	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)		Numero de la Muestra	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)
1	4,48	27,3	166	136	5233		21	5,08	26	89	194	341
2	4,43	26	1192	40	992		22	3,95	25	177	208	650
3	4,15	25,8	264	196	831		23	4,88	26	378	150	497
4	3,93	26,8	489	184	846		24	6,28	26	142	98	1794
5	5,23	26,3	70	198	343		25	4,99	26	382	262	1140
6	6,86	25,6	47	116	1315		26	7,23	27	193	2	22630
7	3,98	26	911	138	791		27	4,06	27	525	120	-
8	4,09	26,5	160	174	683		28	-	-	-	-	2212
9	4,02	25,1	179	120	1865		29	3,85	27	932	218	893
10	4,99	25,9	453	138	266		30	4,81	26	156	8	1660
11	4,31	25,6	391	58	1024		31	5,5	27	138	28	1122
12	3,79	25,5	489	60	825		32	7,73	26	167	6	1073
13	4,18	26	222	8	982		33	7,04	27	62	56	2173
14	4,59	25,8	149	226	-		34	5,03	27	367	90	445
15	-	-	-	-	-		35	6,54	25	58	8	575
16	-	-	-	-	-		36	4,32	26	134	10	481
17	-	-	-	-	1197		37	4,16	26	176	2	397
18	3,75	26	423	120	-		38	7,26	26	84	36	768
19	-	-	-	-	679		39	5,06	27	110	10	713
20	3,75	26,7	364	226	341		40	5,32	27	33	54	-
							41	-	-	-	-	

**Fuente:** Autores

Con los resultados de la caracterización del efluente en el mes de Noviembre se realizó la evaluación de estadística descriptiva que se condensa en la Tabla 38.

**Tabla 38.** Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas del líquido efluente, en estado estable para cosecha Noviembre 2011.

Variable	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)
Media	4,96	25,23	293,49	105,66	1733,29
Ds	1,15	0,57	267,3	80,6	3741,38
c.v	23,25	2,2	91	76,2	215,8
Max	7,73	27,3	1192	262	22630
Min	3,75	25,1	33	2	266
N	35	35	35	35	35

Fuente: Autores

El comparativo entre el Afluente y Efluente para cosecha Noviembre se describe en la Tabla 39.

**Tabla 39.** Comparativo entre el Afluente y Efluente para cosecha Noviembre.

Variable	AFLUENTE					EFLUENTE				
	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)	pH (Unidades de pH)	T (°C)	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)
Media	3,45	24,99	14931	508,27	5602	4,96	25,23	293,49	105,66	1733,29
Ds	0,1	0,86	6834,38	187,74	2981,7	1,15	0,57	267,3	80,6	3741,38
c.v	3,04	3,45	45,77	36,93	53,22	23,25	2,2	91	76,2	215,8
Max	3,67	27	31150	822,8	14623	7,73	27,3	1192	262	22630
Min	3,24	23	4150	118	1510	3,75	25,1	33	2	266
n	36	36	36	36	36	35	35	35	35	35

#### 6.6.1. Medida del pH.

Se observa el comportamiento del pH como indicador de acidez del agua. Se obtuvo una diferencia en los valores de los tratamientos al ingreso de los sistemas referenciado como el afluente con relación con los efluentes indicando menor acidez del agua en estos últimos. Esta diferencia se debe a que en el agua proveniente de la fermentación natural se retiran compuestos como ácidos orgánicos propios del proceso fermentativo de los azúcares y de la degradación de la pectina del mucílago que disminuye el pH.

Los máximos valores de pH alcanzados en la presente investigación fueron 3,67 en afluentes y de 7,73 en efluentes, moviéndose en el rango ácido a rango básico.

Las aguas residuales del lavado del café presentan una gran variabilidad en el pH y la acidez explicado por la dinámica de formación de ácidos durante la primera etapa del SMTA (Reactor Hidrolítico Acidogénico) (Orozco, 2003).

El valor y estabilidad del pH en el reactor anaerobio es muy importante porque la actividad metanogénica es altamente vulnerable a los cambios de pH comparado con las demás poblaciones presentes: Si el pH está por debajo de 6,3 o por encima de 7,8 la metano génesis disminuye significativamente. A bajos valores de pH la fermentación ácida prevalece sobre la fermentación metano génica, resultando en la acidificación del contenido del reactor. (Van Haandel y Lettinga, 1994).

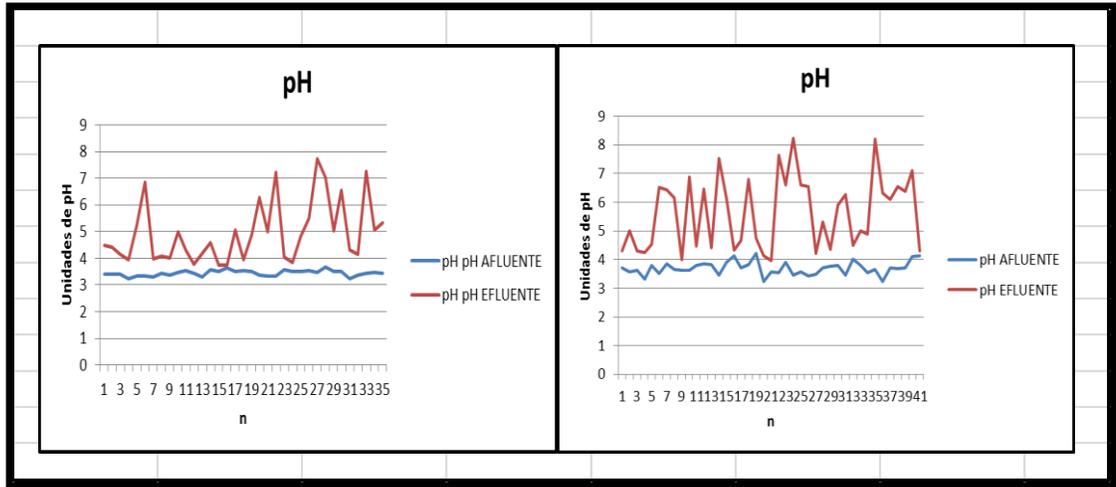
En la Tabla 40, se observa el promedio de pH del afluente y del efluente para mitaca y cosecha.

**Tabla 40.** Valores medios de pH en cosecha y mitaca para el líquido afluente y efluente.

Variable	pH (Unidades de pH)	Punto de muestreo
Media	4,96	Efluente cosecha
Media	3,45	Afluente cosecha
Media	5,64	Efluente mitaca
Media	3,7	Afluente mitaca

**Fuente:** Autores

En la Figura 52, se observa el comparativo del pH del líquido afluente y efluente en mitaca Mayo y cosecha Noviembre de 2011 respectivamente.



**Figura 52** pH del líquido afluente y efluente en mitaca Mayo y cosecha Noviembre de 2011 respectivamente.

**Fuente:** Autores

### 6.7. Remoción Demanda Química de Oxígeno DQO.

Los datos de remoción obtenidos indican un comportamiento típico de las reacciones bioquímicas.

En la Tabla 41 se registran los resultados obtenidos de los porcentajes de remoción de DQO en mitaca Mayo 2011. Para el caso de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio desarrollados por Cenicafé, en condiciones normales de operación con variaciones de cargas orgánicas e hidráulicas, han permitido detectar una eficiencia de remoción de más del 90% en términos de DQO (Decreto 1594 de 1984 Min salud). Aceptando la segunda hipótesis de trabajo: “*La instalación y uso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del café, en condiciones normales de operación, permiten reducir la contaminación orgánica medida en términos de DQO en más del 80%*”. Los resultados permitieron determinar una remoción media de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 96,8% (n=40; CV=6,5%) para mitaca. Debido a la dificultad para la recolección de las muestras solo se evaluaron 40.

**Tabla 41.** Porcentaje de remoción DQO en Mitaca - Mayo-2011.

DQO MITACA MAYO 2011.			
n	% REMOCION	n	% REMOCION
1	97,96	21	99,27
2	99,1	22	88,52
3	97,08	23	99,42
4	98,48	24	99,81
5	90,94	25	98,78
6	99,38	26	97,01
7	99,09	27	99,53
8	99,45	28	97,68
9	96,13	29	99,26
10	99,79	30	99,41
11	94,87	31	95,92
12	99,09	32	98,94
13	95,12	33	83,44
14	98,55	34	99,35
15	97,98	35	99,3
16	98,74	36	99,7
17	97,89	37	99,74
18	99,59	38	98,72
19	63,6	39	99,41
20	97,42	40	98,75

**Fuente:** Autores

Los resultados del análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de remoción en mitaca Mayo 2011, se presentan en la Tabla 42.

**Tabla 42.** Media, desviación estándar, máximos, mínimos y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de DQO para mitaca Mayo 2011.

% REMOCION DQO MITACA MAYO 2011	
Media	96.80
Ds	6.29
c.v.	6.50
Max.	99.81
Min.	63.6
n	40

**Fuente:** Autores

En la Tabla 43 se registran los resultados obtenidos de los porcentajes de remoción de DQO en cosecha. Para el caso de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio desarrollados por Cenicafé, en condiciones normales de operación con variaciones de cargas orgánicas e hidráulicas, han permitido detectar una eficiencia de remoción de más del 90% en términos de DQO (Decreto 1594 de 1984 Min salud). Aceptando la segunda hipótesis de trabajo: *“La instalación y uso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del café, en condiciones normales de operación, permiten reducir la contaminación orgánica medida en términos de DQO en más del 80%”*. Los resultados permitieron determinar una remoción media de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 97,7% (n=35; CV=2,5%) para cosecha principal. Por dificultades en la recolección de las muestras solamente se evaluaron 35.

**Tabla 43.** Porcentaje de remoción DQO en cosecha Noviembre 2011.

DQO COSECHA NOVIEMBRE 2011			
n	% REMOCION	n	% REMOCION
1	99,03	18	97,91
2	92	19	90,89
3	98,54	20	98,78
4	98,17	21	97,9
5	99,19	22	98,5
6	99,81	23	94,75
7	93,61	24	93,66
8	98,42	25	98,38
9	99,07	26	98,64
10	95,6	27	98,91
11	97,96	28	99,19
12	95,89	29	96,1
13	99,29	30	99,15
14	98,51	31	99,35
15	98,25	32	99,28
16	95,74	33	99,72
17	99,4	34	99,41
		35	99,72

**Fuente:** Autores

Los resultados del análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de remoción en cosecha Noviembre 2011, se presentan en la Tabla 44.

**Tabla 44.** Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de DQO para cosecha Noviembre 2011.

% REMOCIÓN DQO COSECHA NOVIEMBRE 2011.	
Media	97.67
Ds	2.4
c.v.	2.46
Max.	99.81
Min.	90.89
n	35

**Fuente:** Autores

En la Tabla 45 se presenta el comparativo del porcentaje de remoción DQO, en mitaca Mayo y cosecha Noviembre.

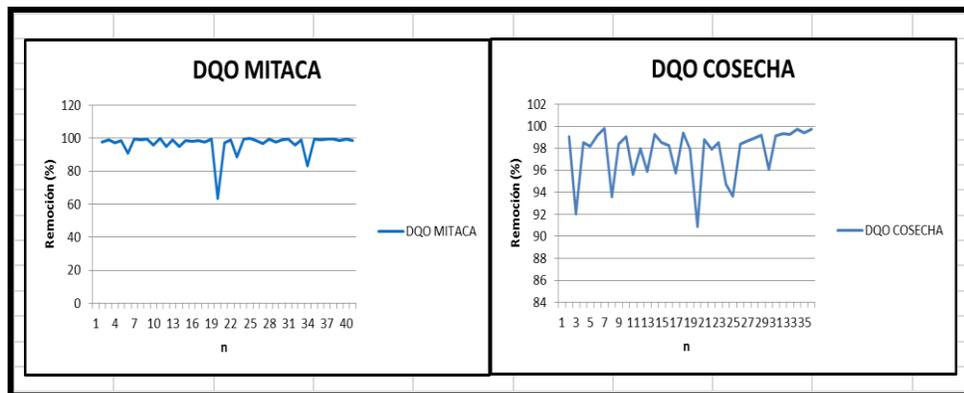
**Tabla 45.** Comparativo del porcentaje de remoción DQO, en mitaca Mayo y cosecha Noviembre.

% REMOCIÓN DQO		
Variable	MITACA	COSECHA
Media	96.80	97.67
Ds	6.29	2.4
c.v.	6.50	2.46
Max.	99.81	99.81
Min.	63.6	90.89
n	40	35

El porcentaje de remoción, nos indica la disminución de la carga orgánica expresada como DQO. Los resultados muestran que el sistema modular es capaz de adaptarse al sustrato y degradar la mayor parte de su carga orgánica, lo cual confirma que es una opción importante para el manejo de las aguas mieles del beneficio húmedo del café.

En las Figura 53 se grafican los resultados obtenidos de los porcentajes de remoción de DQO en mitaca y cosecha. Para el caso de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio desarrollados por Cenicafé, se caracterizaron 41 sistemas de tratamiento anaerobio; con estos resultados de operación en

condiciones normales con variaciones de cargas orgánicas e hidráulicas, han permitido detectar una eficiencia de remoción del 90% promedio en términos de la DQO (Decreto 1594 de 1984 Min salud). Aceptando la segunda hipótesis de trabajo: “La instalación y uso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del café, en condiciones normales de operación, permiten reducir la contaminación orgánica, medida en términos de DQO en más del 80%”.



**Figura 53** Remoción (%) de DQO en mitaca Mayo y cosecha Noviembre 2011

**Fuente:** Autores

### 6.8. Remoción Sólidos Totales (ST).

En la Tabla 46 se registran los resultados obtenidos de los porcentajes de remoción de Sólidos Totales (ST) en Mitaca Mayo 2011. Para el caso de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA)

**Tabla 46.** Porcentaje de remoción ST mitaca Mayo 2011.

ST MITACA MAYO 2011			
n	% REMOCION	n	% REMOCION
1	99,2	21	99,81
2	98,75	22	98,92
3	99,77	23	98,79
4	99,8	24	99,44
5	99,41	25	99,83
6	99,78	26	99,34
7	99,41	27	98,87
8	99,58	28	99,66
9	98,93	29	99,7
10	99,92	30	99,62
11	99,59	31	99,63
12	99,56	32	99,41
13	99,54	33	99,45
14	99,79	34	98,21
15	99,19	35	99,33
16	99,82	36	99,58
17	99,59	37	99,72
18	99,7	38	99,75
19	97,24	39	99,4
20	99,08	40	99,67
		41	99,82

**Fuente:** Autores

Los resultados del análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de remoción ST en mitaca Mayo 2011, se presentan en la Tabla 47.

**Tabla 47.** Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de ST para mitaca Mayo 2011.

SOLIDOS TOTALES MITACA MAYO DE 2011	
VARIABLE	% REMOCION
Media	99,4
Ds	0,51
c.v.	0,51
Max.	99,92
Min.	97,24
n	41

**Fuente:** Autores

Para el caso de Sólidos Totales en cosecha se caracterizaron 32 muestras del total de 41 porque se encontraban fuera de rango, esto corresponde al 78% del total de las muestras. En la Tabla 48 se condensan los resultados para el porcentaje de remoción para cosecha Noviembre 2011.

**Tabla 48.** Porcentaje de remoción ST cosecha Noviembre 2011.

SOLIDOS TOTALES NOVIEMBRE 2011			
n	% REMOCION	n	% REMOCION
1	75,09	17	56,95
2	83,09	18	55,71
3	91,33	19	89,36
4	72,23	20	70,71
5	96,77	21	78,09
6	74,29	22	60,25
7	76,57	23	72,02
8	91,29	24	62,01
9	43,72	25	83,23
10	95,64	26	58,04
11	76,47	27	84,97
12	94,36	28	93,76
13	69,83	29	95,05
14	87,42	30	96,41
15	77,15	31	88,2
16	92,4	32	86,48

**Fuente:** Autores

Los resultados del análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de remoción en cosecha Noviembre 2011, se presentan en la Tabla 49.

**Tabla 49.** Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de ST para cosecha Noviembre 2011.

SOLIDOS TOTALES COSECHA NOVIEMBRE DE 2011	
VARIABLE	% REMOCION
Media	80,79
Ds	14,06
c.v.	17,41
Max.	96,77
Min.	43,72
n	32

**Fuente:** Autores

La eficiencia de remoción típica promedio para el estado estable del SMTA, para el caso de ST es de 46%, con afluentes de concentración media de DQO 25000 ppm (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011).

Para el caso de estudio la concentración media DQO para el líquido afluente en mitaca Mayo y cosecha Noviembre fue de 20305 ppm, con una remoción promedio para mitaca Mayo y cosecha Noviembre de 90,09%. Con este valor de DQO, se alcanzan remociones altas de Sólidos Totales, mejorando considerablemente la remoción de materia orgánica y la calidad del agua, disminuyendo el impacto ambiental generado en el beneficio húmedo del café.

#### **6.9. Remoción Sólidos Suspendidos Totales (SST).**

En la Tabla 50 se registran los resultados obtenidos de los porcentajes de remoción de SST en mitaca Mayo. Para el caso de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio desarrollados por Cenicafé, en condiciones normales de operación con variaciones de cargas orgánicas e hidráulicas, han permitido detectar una eficiencia de remoción de 67,9% en términos de SST. Los resultados permitieron determinar una remoción media de Sólidos Suspendidos Totales (SST) del 67,9% (n=30; CV=45,0%) para mitaca. Negando la segunda hipótesis de trabajo: “La instalación y uso de los sistemas de tratamiento de aguas

*residuales del café, en condiciones normales de operación, permiten reducir la contaminación orgánica medida en términos de SST en más del 80%”.*

**Tabla 50.** Porcentaje de remoción SST mitaca Mayo 2011.

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN MITACA MAYO 2011			
n	% REMOCION	n	% REMOCION
1	72,82	15	86,85
2	14,11	16	52,7
3	34,16	17	90,66
4	50,09	18	8,42
5	98,76	19	62,2
6	94,21	20	92,26
7	77,6	21	96,37
8	94,71	22	2,19
9	61,81	23	47,06
10	95,68	24	98,7
11	21,07	25	64,85
12	99,21	26	89,28
13	92,8	27	52,16
14	24,91	28	75,38
15	86,85	29	96,23
16	52,7	30	89,08

**Fuente:** Autores

Los resultados del análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de remoción de Sólidos Suspendidos Totales en mitaca Mayo 2011, se presentan en la Tabla 51.

**Tabla 51.** Media, desviación estándar, máximos, mínimos y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de SST para mitaca Mayo 2011.

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN MITACA MAYO 2011	
VARIABLE	% REMOCION
Media	67.87
Ds	30.56
c.v.	45.02
Max.	99.20
Min.	2.19
n	30

**Fuente:** Autores

A pesar de no cumplirse la segunda hipótesis, el 50% de las muestras presentan una remoción superior al 80% para mitaca Mayo 2011. Lo anterior pudo estar relacionado con el tiempo de retención hidráulica en la operación de los sistemas modulares, de la presente investigación, evaluados en condiciones normales de operación.

En la Tabla 52 se registran los resultados obtenidos de los porcentajes de remoción de SST en cosecha principal Noviembre. Para el caso de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio desarrollados por Cenicafé, en condiciones normales de operación con variaciones de cargas orgánicas e hidráulicas, han permitido detectar una eficiencia de remoción de 78% en términos de SST. Los resultados permitieron determinar una remoción media de Sólidos Suspendidos Totales (SST) del 78,2% (n=34; CV=22,0%) para cosecha principal. Negando la segunda hipótesis de trabajo: *“La instalación y uso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del café, en condiciones normales de operación, permiten reducir la contaminación orgánica medida en términos de SST en más del 80%”*.

**Tabla 52.** Porcentaje de remoción SST cosecha Noviembre 2011.

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN COSECHA NOVIEMBRE DE 2011			
n	% REMOCION	n	% REMOCION
1	80,14	18	59,02
2	93,85	19	82,93
3	76,18	20	58,33
4	72,41	21	99,57
5	58,37	22	56,2
6	83,49	23	67,11
7	71,25	24	93,22
8	62,66	25	89,39
9	80,92	26	98,67
10	66,34	27	69,23
11	91,2	28	61,54
12	86,24	29	97,84
13	98,82	30	98,71
14	82	31	99,72
15	35,8	32	94,68
16	70,15	33	98,48
17	44,09	34	79,55

**Fuente:** Autores

Los resultados del análisis estadístico descriptivo para el porcentaje de remoción de Sólidos Suspendidos Totales en cosecha Noviembre 2011, se presentan en la Tabla 53.

**Tabla 53.** Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para el porcentaje de remoción de SST para cosecha Noviembre 2011.

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES COSECHA NOVIEMBRE DE 2011	
Variable	% REMOCION
Media	78.17
Ds	17.21
c.v.	22.01
Max.	99.72
Min.	35.79
n	34

**Fuente:** Autores

A pesar de no cumplirse la segunda hipótesis, el 56.6% de las muestras presentan una remoción superior al 80% para cosecha Noviembre 2011. Lo anterior pudo estar relacionado con el tiempo de retención hidráulica en la operación de los sistemas modulares, de la presente investigación, evaluados en condiciones normales de operación.

#### **6.10. Índice de calidad del agua (ICA)**

Los resultados obtenidos en el cálculo del índice de calidad del agua (ICA), permite determinar una valoración positiva de la calidad del agua del efluente con respecto al afluente del 44,58% en mitaca y 28,49 % en cosecha, para un promedio de 36,53%, los cuales se registran a continuación.

En la Tabla 54 se consignan los parámetros caracterizados, para determinar el Índice de Calidad del Agua, del líquido que entra al sistema conocido como afluente, para poder comparar con el líquido que sale del sistema conocido como efluente, en mitaca Mayo.

En cuanto al Índice de Calidad de Agua (ICA) para mitaca Mayo, se determinó con los parámetros siguientes:

SST, pH, Turbiedad, DQO, y diferencia de temperatura entre el afluente y el efluente, preservando los pesos relativos de cada factor y la escala del total (Oram, 2012).

**Tabla 54.** Índice de calidad del agua para el afluente en mitaca Mayo.

ICA AFLUENTE MAYO 2011														
Nro	SST	pH	Turbiedad	DQO	Diferencia de Temperatura	ICA		Nro	SST	pH	Turbiedad	DQO	Diferencia de Temperatura	ICA
1	360,6	3,71	1493	10300	0,4	31		21	1392,6	3,57	2146	50400	-0,5	26
2	152	3,57	1189	13600	-1,1	34		22	102,6	3,54	1337	5200	-0,8	35
3	854,6	3,62	2028	52300	0,7	26		23	54,6	3,91	1233	6100	-0,3	36
4	534,6	3,33	1917	40000	-0,3	26		24	90,6	3,45	1771	22400	-1,3	35
5	324,6	3,79	1633	10600	-0,4	32		25	592,6	3,58	2063	42100	0,6	26
6	966,6	3,52	2076	26600	-1	25		26	206,6	3,43	1566	12500	0,1	34
7	262,6	3,85	1681	20700	-0,1	33		27	716,6	3,48	1381	14600	-1,5	25
8	794,6	3,66	1927	22200	2,9	24		28	118,6	3,72	1768	18900	1	35
9	178,6	3,64	1362	8900	-1,3	34		29	1042,6	3,77	2059	28500	0,7	26
10	1474,6	3,63	216	95400	2,2	25		30	460,6	3,8	2051	29400	0	29
11	586,6	3,81	214	21000	1,6	25		31	796,6	3,46	2055	36800	2,3	24
12	880,6	3,86	2241	24400	1,1	26		32	94	4,02	1618	18900	4,5	33
13	714,6	3,84	2042	21700	2,8	24		33	88	3,79	1644	16600	0	36
14	1008,6	3,46	2121	45800	-0,7	26		34	52,6	3,55	1131	5400	0	36
15	156,6	3,9	1500	9100	1	34		35	74,6	3,66	1653	16400	-3	34
16	916,6	4,13	1945	45400	1	27		36	430,6	3,23	1988	26000	-2	38
17	58,6	3,72	1831	26300	1	36		37	430,6	3,7	2083	31700	-0,5	29
18	866,6	3,83	2377	25100	2,2	25		38	636,6	3,68	2141	40700	-1,3	25
19	104,6	4,23	1176	500	1	36		39	140,6	3,72	1904	18600	-1	35
20	148	3,23	1507	15300	-0,8	34		40	138,6	4,12	1892	33000	2,6	34
								41	842,6	4,14	197	43500	1	27

**Fuente:** Autores

En la Tabla 55 se consignan los parámetros caracterizados, para determinar el Índice de Calidad del Agua según la NFS, del líquido efluente, en mitaca Mayo.

**Tabla 55.** Índice de calidad del agua para el efluente en mitaca Mayo.

ICA EFLUENTE MAYO 2011														
Nro	SST	pH	Turbiedad	DQO	Diferencia de Temperatura	ICA		Nro	SST	pH	Turbiedad	DQO	Diferencia de Temperatura	ICA
1	98	4,29	311	210	0,4	37		21	130	3,96	584	368	-0,5	36
2	506	5	593	122	-1,1	30		22	114	7,65	74	1050	-0,8	59
3	734	4,3	81	1528	0,7	31		23	50	6,6	63	700	-0,3	57
4	352	4,25	594	608	-0,3	32		24	110	8,24	246	130	-1,3	51
5	162	4,52	378	960	-0,4	36		25	224	6,61	579	78	0,6	49
6	12	6,53	4	164	-1	64		26	16	6,56	366	152	0,1	51
7	612	6,43	132	188	-0,1	41		27	26	4,21	225	436	-1,5	36
8	46	6,16	225	122	2,9	46		28	116	5,3	44	88	1	48
9	40	4	243	344	-1,3	36		29	552	4,35	727	660	0,7	27
10	78	6,88	3	204	2,2	67		30	6	5,89	142	218	0	46
11	224	4,46	77	1078	1,6	38		31	280	6,27	123	216	2,3	44
12	38	6,47	167	222	1,1	50		32	332	4,49	51	772	4,5	35
13	564	4,42	742	1060	2,8	26		33	612	5,01	94	176	0	34
14	8	7,52	89	666	-0,7	58		34	82	4,88	163	894	0	40
15	182	6,14	574	184	1	46		35	8	8,2	193	106	-3	49
16	66	4,34	228	572	1	37		36	206	6,33	335	182	-2	46
17	44	4,66	261	554	1	38		37	106	6,1	338	96	-0,5	47
18	114	6,79	104	102	2,2	52		38	24	6,56	138	104	-1,3	51
19	178	4,74	27	182	1	45		39	262	6,38	165	238	-1	46
20	70	4,13	249	394	-0,8	36		40	156	7,12	43	194	2,6	59
								41	92	4,3	221	542	1	37

Fuente:

Autores

Los resultados del análisis estadístico descriptivo para el cálculo del Índice de Calidad del agua según la NFS (National Sciences Foundation), para líquido afluente y efluente en mitaca Mayo 2011, se presentan en la Tabla 56.

**Tabla 56.** Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas requeridas para calcular el índice de calidad del agua, en el afluente y efluente para mitaca Mayo 2011.

ICA MITACA MAYO 2011		
Variable	Afluente	Efluente
Promedio	30,26	43,75
Ds	4,63	9,93
Cv	15,37	22,71
Máxima	38	67
Mínima	24	26
n	41	41

**Fuente:** Autores

Los resultados obtenidos en el cálculo del ICA, permiten determinar una valoración positiva de la calidad del agua del efluente con respecto al afluente, en un 44,58%, en mitaca Mayo 2011.

Los parámetros evaluados en cosecha Noviembre, para obtener el índice de calidad del agua fueron: sólidos suspendidos totales (SST), pH, turbiedad, demanda química de oxígeno (DQO), diferencia de temperatura, nitratos, fosfatos y oxígeno disuelto, preservando los pesos relativos de cada factor y la escala del total (Oram, 2012); los cuales se consignan en la Tabla 57 para el afluente y en la Tabla 58 para el efluente.

**Tabla 57.** Índice de calidad del agua para el afluente en cosecha Noviembre 2011.

ICA AFLUENTE COSECHA NOVIEMBRE 2011									
Nro	SST	pH	Oxígeno disuelto	Turbiedad	DQO	Nitritos	Fosfatos	Diferencia de Temperatura	ICA
1	6584	3,41	3,62	550	17200	9,8	0,89	0,6	21
2	4678	3,42	3,87	500	14900	10,4	0,12	-0,1	33
3	5865	3,39	6,78	1800	18100	9,8	0,21	-0,7	33
4	9589	3,24	1,05	1650	26750	9,1	0,12	-0,1	33
5	3046	3,35	8,26	350	8600	10,7	0,12	-1,1	33
6	10615	3,34	5,74	1850	24950	9,7	0,5	1,3	28
7	5114	3,32	9,54	800	14250	11,6	0,12	-1,4	32
8	3376	3,43	0,54	500	10100	17,5	0,18	-1,7	30
9	7839	3,38	1,76	1150	19350	10	0,21	-0,8	32
10	3314	3,46	3,86	350	10300	10,3	0,28	-1,1	27
11	6099	3,55	0,17	850	19200	8,2	0,82	-2	26
12	4352	3,44	1,14	200	11900	9,8	0,06	-2,1	32
13	14623	3,29	3,33	600	31150	11,9	0,53	-3,4	26
14	3255	3,57	9,5	300	10000	8,8	0,05	-1,5	33
15									
16	-	-		-	-			-26,1	
17		-		-	-	-	-	-26,4	
18	9518	3,52	2,55	400	24150	12,4	0,61	-2,8	26
19	-	-		-	-	-	-		
20	2972	3,64	3,45	750	8550	8,7	0,12	-1	33
21	4484	3,5	3,4	550	14750	11,4	0,3	0,9	30
22	1510	3,53	3,07	700	8450	9,4	0,44	-0,4	29
23	3588	3,49	1,27	250	4150	7,3	0,05	-0,8	33
24	4672	3,36	4,14	900	11600	9,7	0,24	-1,6	31
25	6125	3,35	2,58	750	18150	10,3	0,82	-1,5	31
26	5204	3,34	4,5	1000	12850	9,8	0,24	-2,2	26
27	2913	3,56	1,12	650	10000	9,7	0,68	-2,6	26
28		-		-	-	-	-		
29	5565	3,49	3,31	950	14700	13,9	0,22	-2,3	31
30	3192	3,49	1,84	550	9600	11,2	1,11	-1,8	25
31	4369	3,55	0,65	750	10150	10,3	0,24	-2,4	30
32	6691	3,46	1,39	1350	15300	11,5	1,44	-1,2	24
33	2557	3,67	1,83	600	7700	14,5	0,78	-2,9	25
34	1770	3,52	0,67	1050	9400	10	0,33	-0,9	30
35	2960	3,5	5,87	550	6850	12,1	1,67	-0,1	25
36	9211	3,25	3,1	850	20600	8,3	0,78	-0,3	27
37	9709	3,38	7,65	1150	24400	9,7	0,94	-0,4	27
38	11072	3,43	-0,8	1600	30500	13,7	0,28	-1,1	30
39	6506	3,47	1,56	1200	18500	17,9	0,6	-0,1	29
40	5274	3,43	6,82	700	11800	14,4	1,98	0	24
41	-	-		-	-	-	-		

Fuente: Autores

Tabla 58. Índice de calidad del agua para el efluente en cosecha Noviembre.

ICA EFLUENTE COSECHA NOVIEMBRE 2011									
No	SST	Oxígeno disuelto	pH	Turbidez	DQO	Nitratos	Fosfatos	Diferencia Temperatura	ICA
1	136	2,46	4,48	133	166	8,8	1,62	0,6	41
2	40	0,06	4,43	169	1192	7,9	0,9	-0,1	33
3	196	8,4	4,15	89	264	15	0,06	-0,7	39
4	184	5,3	3,93	115	489	12,6	0,99	-0,1	31
5	198	22,05	5,23	105	70	28	1,18	-1,1	33
6	116	76,11	6,86	9	47	16,1	0,16	1,3	69
7	138	-0,93	3,98	156	911	11,5	0,93	-1,4	31
8	174	-0,19	4,09	80	160	12,3	0,7	-1,7	33
9	120	0,42	4,02	103	179	5,8	1,31	-0,8	32
10	138	5,46	4,99	146	453	8,5	0,33	-1,1	39
11	58	1,16	4,31	194	391	8,2	0,51	-2	35
12	60	4,69	3,79	177	489	9,5	>2,50	-2,1	29
13	8	0,31	4,18	174	222	8	0,4	-3,4	34
14	226	0,67	4,59	97	149	16,7	0,99	-1,5	31
15	-	-	-	-	-	-	-	-1,3	
16	-	-	-	-	-	-	-		
17	-	-	-	-	-	-	-		
18	120	0,67	3,75	155	423	8,8	0,92	-2,8	31
19	-	-	-	-	-	-	-		
20	226	5,92	3,75	57	364	7,8	0,7	-1	35
21	194	41,81	5,08	36	89	8,4	1,92	0,9	42
22	208	3,7	3,95	75	177	7,9	0,7	-0,4	35
23	150	3,63	4,88	148	378	14,9	0,44	-0,8	35
24	98	28,58	6,28	55	142	11,8	>2,50	-1,6	42
25	262	5,86	4,99	133	382	9,7	0,72	-1,5	32
26	2	11,41	7,23	125	193	21,2	>2,50	-2,2	39
27	120	3,18	4,06	183	525	12,3	0,48	-2,6	33
28	-	-	-	-	-	-	-		
29	218	3,71	3,85	264	932	12,7	>2,50	-2,3	27
30	8	6,47	4,81	76	156	12,1	1,75	-1,8	33
31	28	3,31	5,5	74	138	16	0,94	-2,4	36
32	6	18,72	7,73	111	167	29,5	>2,50	-1,2	39
33	56	8,43	7,04	77	62	33,4	2,53	-2,9	39
34	90	1,56	5,03	148	367	11,7	0,17	-0,9	40
35	8	75,34	6,54	11	58	18,4	0,52	-0,1	63
36	10	3,73	4,32	51	134	15,7	0,82	-0,3	35
37	2	5,98	4,16	90	176	15,6	0,73	-0,4	34
38	36	13,8	7,26	48	84	12,4	1,55	-1,1	45
39	10	0,82	5,06	52	110	7,1	1,5	-0,1	37
40	54	0,69	5,32	39	33	10,1	2,55	0	37
41	-	-	-	-	-	-	-		

**Fuente:** Autores

Los resultados del análisis estadístico descriptivo para el cálculo del Índice de Calidad del agua según la NFS (National Sciences Foundation), para líquido afluente y efluente en cosecha Noviembre 2011, se presentan en la Tabla 59.

**Tabla 59.** Media, desviación estándar, máxima, mínima y coeficiente de variación para las características físico químicas requeridas para calcular el índice de calidad del agua, en el afluente y el efluente para cosecha Noviembre 2011.

ICA COSECHA NOVIEMBRE 2011		
Variable	Afluente	Efluente
Promedio	28,88	37,11
Ds	3,32	8,28
Cv	11,5	22,33
Máxima	33	69
Mínima	21	27
n	35	35

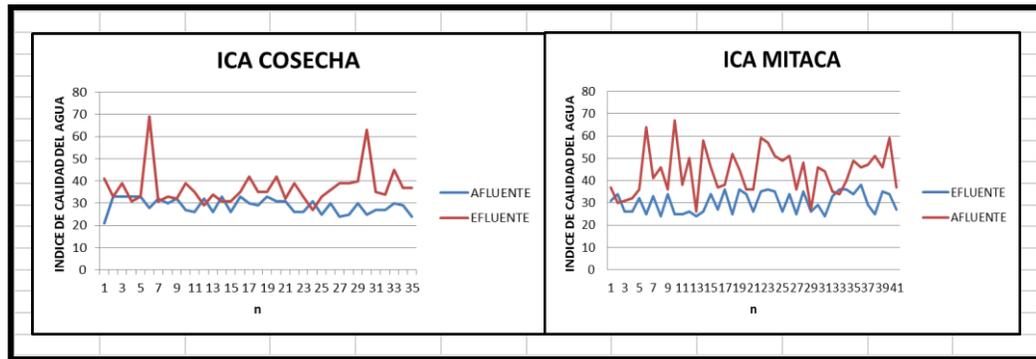
**Fuente:** Autores

Es de anotar que para el cálculo del ICA, en cosecha se tomaron solo 35 muestras, por dificultad para la recolección de las mismas en campo.

Los resultados obtenidos en el cálculo del ICA, nos permite determinar una valoración positiva de la calidad del agua del efluente con respecto al afluente, en cosecha en un 28,49%.

En la Figura 54, se observa la tendencia del Índice de Calidad del Agua, del líquido afluente y efluente para mitaca Mayo y cosecha Noviembre respectivamente, que permiten determinar una valoración positiva del promedio del ICA de 36,53%, comprobando la tercera hipótesis “*La instalación y uso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del café, permiten mejorar el Índice de Calidad del Agua en al menos el 25%*”, lo cual nos permite corroborar como un aporte al conocimiento, la implementación del monitoreo de aguas provenientes del sistema anaerobio, para su uso final.

Para el caso de estudio se califica como un agua para uso industrial con tratamiento y para un uso agrícola, según la escala de clasificación del Índice de Calidad del Agua (Aguayo, 2013).



**Figura54.** Comportamiento del Índice de Calidad del agua en el Afluente y el Efluente, para Mitaca Mayo y Cosecha Noviembre 2011.

**Fuente:** Autores

## 7. CONCLUSIONES

El manejo integrado del agua en el proceso de beneficio húmedo del café, para la asociación de productores de café especial “Acafeto” en Fresno Tolima, permitió concluir lo siguiente:

- 7.1. Los resultados obtenidos con los restrictores de caudal de agua en el lavado de equipos (despulpadoras y desmucilagrador), permitieron determinar un ahorro medio del 33% y de igual manera con dispositivo tanque tina los resultados mostraron un ahorro medio del 39,66%, de esta manera se cumple la primera hipótesis del trabajo que estableció: *“Los procesos de sensibilización, capacitación e implementación de dispositivos de ahorro como el restrictor de caudal y el tanque tina, en las fincas de los asociados permiten disminuir el consumo de agua en el proceso del beneficio húmedo del café en al menos el 30%”*.
- 7.2. Para el caso de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio desarrollados por Cenicafé, se caracterizaron los afluentes (agua que entra al sistema originada en el lavado del café después del proceso de fermentación), como también los efluentes (agua que sale del sistema después del tratamiento anaerobio) en 41 fincas productoras de café, objeto del presente estudio, con estos resultados de operación, en condiciones normales, con variaciones de cargas orgánicas e hidráulicas, han permitido detectar una eficiencia de remoción para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en cosecha y en mitaca, superior al 80% con lo cual se logra el cumplimiento del decreto 1594 de 1984.
- 7.3. En cuanto a las normas de vertimiento (descargas finales de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo) para el caso de estudio, el pH promedio del efluente para cosecha y mitaca fue 5,3 unidades, cumpliendo con el Decreto 1594 de 1984 en su artículo 72, que hace referencia a valores de pH de 5 a 9 unidades.

- 7.4. Para Sólidos Suspendidos Totales (SST), los porcentajes de remoción media para mitaca fueron de 67,9% (n= 30; CV 45,0%) y de 78,2% (n= 34; CV= 22,0%) para cosecha principal. En este parámetro no se alcanza a obtener los porcentajes de remoción exigidos en la normativa vigente (80%), posiblemente por la eliminación de lodos de la unidad metanogénica, que acompaña al vertimiento, a pesar de que los porcentajes de remoción están muy cercanos a los porcentajes exigidos en la norma. Por lo que un sistema de pos tratamiento con planta acuáticas instalado después de la unidad metanogénica aumentara la eficiencia de remoción de (SST) y permitirá cumplir con la normatividad vigente. (Rodríguez, 2009).
- 7.5. Con los valores medios obtenidos en cosecha y mitaca para DQO (Demanda Química de Oxígeno) 293 ppm y 395 ppm respectivamente, se pueden utilizar sistemas de pos tratamiento con plantas acuáticas instalado después de la unidad metanogénica (las cuales, soportan concentración DQO cercanas a 1000 ppm) y de esta manera aumentar la eficiencia de remoción de DQO, ST y SST. (Rodríguez, 2009)
- 7.6. Después de la sensibilización y educación en la gestión integral del recurso hídrico y de la adopción de tecnologías y buenas prácticas en el manejo del agua, por parte de los caficultores de la zona de estudio, se encontró que: el 100% no utilizaba agua en la tolva de recibo, ni utilizaba agua para despulpar el café. El 36,6% implementó tanques plásticos con aristas redondeadas para el lavado del café. El 58,5% adoptó la práctica de lavado en tanque tina controlando el nivel de agua. El 65,9% utilizó 3 enjuagues controlando el nivel de agua. El 100% almacenaba la pulpa en sistema techado, recolectando los drenados en tanques plásticos y llevaba las aguas residuales del proceso de lavado del café a sistemas de tratamiento.
- 7.7. Con la implementación de este modelo de gestión integrado del recurso agua, se logra la sostenibilidad ambiental de la zona cafetera de estudio.

- 7.8. Los resultados obtenidos en el cálculo del índice de calidad del agua (ICA), permite determinar una valoración positiva de la calidad del agua del efluente con respecto al afluente del 44,58% en mitaca y 28,49% en cosecha, para un promedio de 36,53%. Según la escala de clasificación del Índice de Calidad del Agua en función del uso, se puede concluir, como criterio general, que es un agua de mala calidad. Se considera que está contaminada y requiere de tratamiento para ser utilizada en riego en la mayoría de cultivos y para su uso en la industria, es inaceptable para destinarla para consumo humano, inaceptable para actividad pesquera y se debe evitar el contacto en el uso recreativo.

## 8. RECOMENDACIONES

La calidad del agua, en la zona cafetera de estudio, se afecta con el proceso de beneficio del café; con la instalación y puesta en marcha de los sistemas modulares de tratamiento de aguas residuales se logra disminuir el impacto negativo de estos vertimientos sobre las cuencas, siendo recomendable implementar en serie con los SMTA, sistema de pos tratamiento, con el fin de aumentar las eficiencias de remoción de carga orgánica en las aguas mieles del café y recuperar y preservar las fuentes hídricas de la zona cafetera.

El desempeño de los sistemas modulares de tratamiento, en condiciones normales de operación con variaciones de cargas orgánicas e hidráulicas, han permitido una remoción de DQO por encima del 80%, cumpliendo con la legislación vigente. Considerando que para el año 2011, se presentó el fenómeno de la niña, cuyas precipitaciones impidieron la recuperación de la producción cafetera colombiana, lo que no permitió una concentración de la cosecha, influyendo en días pico más bajos que permitieron que los tiempos de retención en los sistemas modulares, en promedio fueran mayores, al igual que los porcentajes de eliminación de materia orgánica, reflejados en los porcentajes de remoción del 96,8% en términos de DQO, se recomienda realizar nuevos estudios de caracterización de los sistemas modulares en condiciones climáticas normales.

Se recomienda seguir fortaleciendo los programas de educación ambiental encaminados a una gestión integral del agua en la caficultura para evitar épocas de déficit hídrico (por calidad o cantidad); incentivando la inversión en la gestión integral del recurso agua en el sector cafetero.

Se recomienda el monitoreo frecuente de los SMTA, para mantener uniforme el desempeño cumpliendo con la normatividad ambiental vigente y de la misma forma evitando los pagos por tasa retributiva.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- ARISTIZABAL A., C; DUQUE H. (2005). Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. Cenicafé. 56 (4) 299-305p
- AGUAYO., A. (2004). Aplicación del Índice de Calidad de Agua ICA en el proceso de auditoría Ambiental de dragado de un canal de navegación. Caso de estudio. Ecuador. On line Internet. Disponible en [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net). Fecha de consulta Abril 2013.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, E.U.A.
- BANCO MUNDIAL. (2008). Colombia-Capital Humano. On line Internet. Disponible en <http://www.bancomundial.org/cuartofoforo/text/C-PRESENTACION-CapitalHumano.pdf>. Fecha de consulta Febrero 2013.
- BEJAR. M; VALENZUELA V; HERNANDEZ M; RANGEL M; RANGEL I. (2010). Determinación de sólidos en todas sus formas. On line internet. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/26910199/Solidos-Totales-Calidad-de-Agua>. Fecha de consulta Enero 2014.
- BERMUDEZ., C. (2010). Determinación de la Demanda Biológica de Oxígeno. Facultad de Ingeniería Química. On line Internet. Disponible en <http://www.buenastareas.com/ensayos/Determinaci%C3%B3n-De-La-Demanda-Biol%C3%B3gica-De/1303735.html>. Fecha de consulta Enero 2014.
- BOLSA MERCANTIL DE COLOMBIA. (2011). Cosecha de café en Colombia, es la más baja en 30 años. On line Internet. Disponible en <http://www.bna.com.co> Fecha de consulta Enero 2013.
- BRUNTLAND G. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Naciones Unidas. On line Internet. Disponible en <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427> . Fecha de consulta Enero 2013.

- CADENA G.; JARAMILLO., A. (2009). El papel estratégico del agua y el cultivo del café en Colombia. Revista ventana al campo tropical (Bogotá) 1:40-42.
- CAFECO. (2000). Sistemas de tratamiento anaeróbico de aguas residuales del beneficio Tapasco Quezaltepque, El Salvador, Centro América.
- CALLE V., H. (1977). Subproductos del café. Chinchiná, CENICAFÉ. 84 p. (Boletín Técnico N° 6).
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, GERENCIA DE SANEAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA. (1999). Índice de Calidad del Agua. On line Internet. Disponible en [http://www.paot.org.mx/centro/ingsemarnat/informe02/estadisticas\\_2000/estadisticas\\_ambientales\\_2000/03\\_Dimension\\_Ambiental/03\\_02/Agua/III.2.2/r\\_ecuadorIII.2.2.2.](http://www.paot.org.mx/centro/ingsemarnat/informe02/estadisticas_2000/estadisticas_ambientales_2000/03_Dimension_Ambiental/03_02/Agua/III.2.2/r_ecuadorIII.2.2.2.) . Fecha de consulta: Enero 2013.
- CONCEJO NACIONAL DE POLITICA ECONOMICA Y SOCIAL, CONPES, (2006), Concepto favorable para el otorgamiento de la garantía de la nación a Finagro para contratar un empréstito externo con el gobierno español para financiar parcialmente el programa “Fortalecimiento de la calidad de café en Colombia” Bogotá Colombia 2006 p.2
- CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA. (1991). On line Internet. Disponible en <http://www.banrep.gov.co/regimen/resoluciones/cp91.pdf> . Fecha de consulta: Enero 2013.
- CHAPAGAIN, A.K.; HOESTRA, A.Y. (2003). The water need to have the duch drink coffee. UNESCO-IHE. 38p.
- CHILE POTENCIA ALIMENTARIA. (2009). El agua virtual: Rastreando la huella hídrica en nuestro planeta. On line. Internet. Disponible en <http://www.chilepotenciaalimentaria.cl/content/view/446343/El-agua-virtual-Rastreando-la-huella-hidrica-en-nuestro-planeta.html>. Fecha de consulta: Enero 2013.
- DANE (2011). Informe de Coyuntura Económica Regional Tolima. On line Internet. Disponible en [www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/icer\\_tolima\\_2011.pdf](http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/icer_tolima_2011.pdf). Fecha de consulta Julio 2013.

- DANE (2012). Boletín de prensa No. 11 PRODUCTO INTERNO BRUTO. Tercer trimestre de 2012-Base 205. On line Internet. Disponible en [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bolet\\_PIB\\_IIItrim12.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bolet_PIB_IIItrim12.pdf) Fecha de consulta Enero 2013.
- DUQUE O., H.; CHAVES C., B. (2000). Estudio sobre adopción del manejo integrado de la broca del café. Chinchiná, Cenicafé. 88p.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, (1997). Encuesta Nacional Cafetera. On line. Internet. Disponible en <http://www.cepal.org/ddpe/noticias/noticias/9/9719/cafecolombia.pdf> Fecha de consulta: Febrero 2013.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, (2011). Controle los flujos de café y agua en módulo Becolsub. Cenicafé. Chinchiná. Avance técnico 405.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, (2011). Programas sociales de Federa café llegan a 553 mil familias. On line. Internet. Disponible en <http://www.cecodes.org.co./index.php/boletin-agosto-2011/1239.html> Fecha de consulta: Enero del 2013.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, AGRONET, DANE (2012). Principales cifras de la Caficultura Colombiana. On line. Internet. Disponible en <http://www.cafedecolombia.com>. Fecha de consulta: Diciembre del 2012.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, (2012). Comité Departamental del Tolima. Tolima café de alta calidad. On line. Internet. Disponible en [http://www.tolima.federaciondecafeteros.org/fnc/nuestro\\_cafe/category/118](http://www.tolima.federaciondecafeteros.org/fnc/nuestro_cafe/category/118) Fecha de consulta: Enero del 2013.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, (2011). Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana. Chinchiná (Colombia), Cenicafé.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, (2011). Anuario Meteorológico Cafetero 2009. Chinchiná (Colombia), Cenicafé.

- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, (2011). Anuario Meteorológico Cafetero 2010. Chinchiná (Colombia), Cenicafé.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, (2011) Sistema de Información Cafetera SICA. Comité Departamental de cafeteros del Tolima. Informe Anual 2011.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS.DE COLOMBIA, (2013). Sistema de Información Cafetera SICA. Comité Departamental de cafeteros del Tolima. Informe Anual 2012.
- FERNANDEZ N.; RAMIREZ A.; SOLANO F. (2003). Índices físico químicos de la calidad del agua un estudio comparativo. Memorias I Jornada Ambiental Internacional y II Jornada Ambiental Nacional, Departamento De Ingenierías De Alimentos y Del Ambiente Universidad De Pamplona.
- GOBERNACION DEL TOLIMA. On line. Internet. Disponible en <http://www.fresno-tolima.gov.co/> Consultado Febrero 2013.
- GOMEZ L., CABALLERO A., BALDION J. (1991) Ecotopos Cafeteros Colombianos. Federación Nacional de Cafeteros. Cenicafé –Agro climatología. Santa Fe de Bogotá.
- GRAJALES A., JARAMILLO A., CRUZ G. (2008). Los nuevos conceptos sobre “agua virtual” y “huella hídrica” aplicados al desarrollo sostenible: implicaciones de la agricultura en el consumo hídrico. Artículo ISSN 0568-3076. Agron.16 (1): p.9.
- HACH COMPANY. (1988). DR/2000. Spectrophotometer, Procedures Manual Loveland, Colorado, USA. 394p.
- IDEAM (2002). Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. On line Internet. Disponible en: <http://www.responsabilidadintegral.org/administración/circulares/archivos/Guia%20Caracterizacion%Vertimientos%20-%20IDEAM.PDF>. Fecha de consulta: Julio de 2013.
- LANDA R; AVILA B; HERNANDEZ M. (2010). Cambio climático y desarrollo sustentable para América Latina y el Caribe. Conocer para Comunicar

British Council, PNUD México, Cátedra UNESCO-IMTA, FLASCO México D.F.

LOBOS J. (2002). Evaluación de los contaminantes del Embalse del Cerrón Grande, PAES.

OBSERVATORIO AMBIENTAL DE BOGOTÁ., (2012). Cargas de Sólidos Suspendidos Totales transportadas al río Bogotá. On line. Internet. Disponible en <http://oab.ambientebogota.gov.co/index.shtml?s=l&id=138&v=l>. Fecha de consulta: Enero 2014.

OLVERA J; GUTIERREZ J.(2010). Anaerobic biodegradation of wastewater produced in coffee pulping. México. Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. XII. No. 2 Diciembre 2010. 158-168. Fecha de consulta: Diciembre de 2012.

ORAM B., (2012). Índice de calidad del agua. Monitoreo de la calidad del agua. On line. Internet. Disponible en <http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm>. Fecha de consulta: Diciembre de 2012.

OROZCO P. (2003). Arranque y puesta en marcha de un reactor metanogénico tipo UAF para el tratamiento de las aguas residuales del lavado del café. Tesis Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. 90p.

ORTEGA, N.M. (2006). Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process. Florida USA On line. Internet. Disponible en <http://www.bookpump.com/dps/pdf-b/1123329b.pdf>. Fecha de consulta: Enero de 2013.

PEÑUELA A., (2010). Estudio de la remoción del mucilago de café a través de fermentación natural. Manizales (Colombia), Universidad de Manizales. Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo-CIMAD-. 81 p. (Tesis: Maestría Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente).

PRIETO, Y. (2002). Caracterización física de café semitostado. Fundación Universidad de América. p.2

REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (2003). Decreto 3100 Octubre 30 de 2003.

On line Internet. Disponible en [http://www.epacartagena.gov.co/NewWeb/Normas/decreto\\_3100\\_de\\_2003.pdf](http://www.epacartagena.gov.co/NewWeb/Normas/decreto_3100_de_2003.pdf). Fecha de consulta: Diciembre de 2012.

REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2004). Decreto 3440 Octubre 21 de 2004. . On line Internet. Disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15072> . Fecha de consulta: Diciembre de 2012.

REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO SOSTENIBLE (2010). Decreto 3930 de Octubre 25 de 2010. On line Internet. Disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620> . Fecha de consulta: Diciembre de 2012.

REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2010). Decreto 4728 de Diciembre 23 de 2010. On line Internet. Disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=41009> . Fecha de consulta: Diciembre de 2012.

REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, (2000). Resolución 1096 de Noviembre 17 de 2000. On line Internet. Disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38541> . Fecha de consulta: Diciembre de 2012.

REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD, (1984). Decreto 1594 de 1984. On line Internet. Disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617> . Fecha de consulta: Diciembre de 2012.

REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (1997). Decreto 901 de 1997. On line Internet. Disponible en [http://www.eclac.cl/ilpes/noticias/paginas/6/40506/Colombia Decreto 901 1997 Tasas Retributiva.pdf](http://www.eclac.cl/ilpes/noticias/paginas/6/40506/Colombia%20Decreto%20901%201997%20Tasas%20Retributiva.pdf) . Fecha de consulta: Diciembre de 2012.

- REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (1998). Resolución número 0372 06 de Mayo de 1998. On line Internet. Disponible en [http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso\\_Hidrico/normatividad/Resolucion3721998.pdf](http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso_Hidrico/normatividad/Resolucion3721998.pdf) . Fecha de consulta: Diciembre de 2012.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto 2811 de 1974. Diciembre 1974, 59p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA. LEY 373 DE JUNIO 6 DE 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. On line Internet. Disponible en [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1997/ley\\_373\\_1997.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1997/ley_373_1997.html) . Fecha de consulta: Enero 2013.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2013). Tasas Retributivas por Contaminación Hídrica. On line Internet. Disponible en <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?conID=7918&catID=1296> . Fecha de consulta Octubre 2013.
- ROA, G; OLIVEROS, C; ALVAREZ, J; SANZ, J; DAVILA, M; ALVAREZ, J; ZAMBRANO, D; PUERTA, G; RODRIGUEZ, N. (1999) Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé. 273 p.
- RODRIGUEZ V., N. (1999). Cargas orgánicas aplicadas en reactores anaerobios de columna suplementados con urea y operados a 30 °C. In: Informe anual de actividades 1998-1999. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Disciplina de Química Industrial. 90 p.
- RODRIGUEZ V., N. (2009) Estudio de un biosistema integrado para el pos tratamiento de las aguas residuales del café utilizando micrófitos acuáticas. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería hidráulica y Medio Ambiente. Valencia (España) 2009 (Tesis: Doctor) 508p.
- SERNA, C. (2008). Modulo investigación, Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. 39p.

- SERNA, C; TREJOS, J; CRUZ, G; CALDERON, P. (2012) Estudio económico de sistemas de producción cafeteros certificados y no certificados ambientalmente, en dos regiones de Colombia. Manizales.
- SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES. (2007). Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Índice de calidad del agua general (ICA). San Salvador, El Salvador. p. 1-5
- SEXTO FORO MUNDIAL DEL AGUA. (2012). 12-17 Marzo. Marsella-Francia. On line. Internet. Disponible en [http://http://www.worldwaterforum6.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/](http://http://www.worldwaterforum6.org/fileadmin/user_upload/pdf/). Consultado Junio 2013.
- SINFONIA BIOTECNOLOGIA. (2011). Demanda Química de Oxígeno en aguas residuales. On line. Internet. Disponible en <http://Ingenieriabiotecnologia.blogspot.com/2011/06/demanda-quimica-de-oxigeno-en-aguas.html>. Consultado Enero 2014.
- SOTO, N; URIBE, M; RANABALDO, C. (2011). Informe final del territorio del sur del Tolima. Bogotá. On line. Internet. Disponible en <http://www.rimisp..org/FCKeditor/UserFile/documentos/docs/pdf/DTR-IC/CAN/Informe-Final-CAN-Tolima.pdf> Consultado Enero 2013.
- TORRES, R; RODRIGUEZ, A. (1991). Ensayo sobre depuración biológica de aguas residuales del lavado del café. Santa fe de Bogotá (Colombia) 137p.
- VALCARCEL, L; ALBERRO, N; FRIAS, D. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. La Habana. Cuba. 5p.
- VAN HAANDEL, A Y LETTINGA G. (1994). Tratamiento Anaerobio de Esgotos. Editora EPGRAF. Campina Grande. Brasil.
- VARNERO, M. (2011). Manual de Biogás. MINEERGI/ PNUD/FAO/GEF. Santiago de Chile. 120p. On line Internet. Disponible en [http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocombustibles/FAO/manual\\_biogas.pdf](http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocombustibles/FAO/manual_biogas.pdf). Fecha de consulta Enero 2014.

- WATER EVALUATION AND PLANNING. (2012). Sistema de evaluación y planificación del agua. On line. Internet. Disponible en <http://www.weap21.org> Consultado Enero 2013.
- ZAMBRANO F., D. A. (1992). La economía del agua como perspectiva para controlar la contaminación durante el lavado del café. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Resumen analítico No, 3 1998.p. 694.
- ZAMBRANO F., D; ISAZA H. D. (1994). Lavado del café en los tanques de fermentación. Cenicafé. (Colombia) Resumen Analítico. No. 3. 1998. p. 701
- ZAMBRANO F., D.A. (1997). Contaminación por beneficio húmedo de café en Colombia In: Curso Taller sobre Tasa Retributiva por la Utilización Directa o Indirecta del Agua como Receptor de Vertimientos. Chinchiná (Colombia), Octubre 15-17. Cen. p. 57-69.
- ZAMBRANO F., D. A; RODRÍGUEZ V., N. (2008). Sistemas para el tratamiento de aguas mieles: Investigación aplicada en beneficio de los productores cafeteros. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental. 19 p.
- ZAMBRANO, D; ISAZA, J; RODRIGUEZ, N; LOPEZ, U. (1999). Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Chinchiná, Cenicafé. 26p (Boletín Técnico Cenicafé N° 20).
- ZAMBRANO, D; ISAZA, J; RODRIGUEZ, N; LOPEZ, U. (2006). Tratamiento anaeróbico de las aguas mieles del café. Cenicafé, Boletín Técnico N° 29 Chinchiná Caldas (Colombia) p5. 28p.
- ZAMBRANO, D; ISAZA, J; RODRIGUEZ, N; LOPEZ, U.; ZAMBRANO, A. (2010) [CD-ROM]. Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles. Chinchiná: Cenicafé.
- ZAMBRANO, D; ISAZA, J; RODRIGUEZ, N; LOPEZ, U. (2011). Construya su tanque tina para la fermentación y lavado del café. Cenicafé .Avance técnico No. 408. Chinchiná Caldas. 4p.

## 10. GLOSARIO

**Afluyente:** flujo de salida de los tanques de lavado.

**Aguas mieles:** Nombre que reciben las aguas residuales del lavado del café, cuando al fruto se le retira el mucílago por fermentación natural.

**Aguas residuales del café:** Aguas provenientes del proceso de beneficio del fruto de café, incluye el agua de despulpado (cuando este no se realiza en seco) y el agua de lavado.

**Beneficiadero de café:** Establecimiento en el cual se realizan, en forma ordenada e higiénica, las operaciones y procesos destinados a transformar el café cereza en café pergamino seco.

**Beneficio de café:** Proceso llevado a cabo para transformar el café cereza en café pergamino seco.

**Café:** Término general para los frutos y las semillas de las plantas del género *Coffea*, así como los productos procedentes de estos frutos y semillas en diversas etapas de procesamiento y uso, con destino al consumo.

**Café almendra:** Grano de café al que se le han retirado las distintas envolturas a través del proceso agroindustrial.

**Café baba:** Grano de café después del despulpado, que aún conserva el mucílago.

**Café cereza:** Fruto de café o materia prima del proceso de beneficio. La parte externa o pulpa del fruto puede ser de color amarillo o rojo para el café maduro, según la variedad.

**Café despulpado:** Grano de café al cual se le ha retirado la pulpa o exocarpio.

**Café especial:** Aquel valorado por los consumidores por sus atributos consistentes, verificables y sostenibles, y por los cuales los compradores están dispuestos a pagar precios superiores.

**Café lavado:** Grano de café obtenido después de la operación de lavado en el beneficio.

**Café maduro:** Fruto de color rojo o amarillo que se encuentra en su óptimo estado de desarrollo.

**Café pergamino húmedo:** Grano de café después de lavado, que presenta un contenido de humedad entre el 12% y el 52%.

**Café pergamino seco:** Grano obtenido del beneficio, después del proceso de secado (con humedad entre el 10 y el 12%). Es el producto obtenido en la finca, que se vende y luego se procesa para el consumo humano.

**Cisco de café:** Cascarilla o endospermo que queda después del proceso de trilla del café pergamino seco.

**Cosecha mitaca:** Cosecha de café que se recolecta principalmente entre los meses de Abril y Mayo. Es menor que la cosecha principal.

**Cosecha principal:** Cosecha de café que se recolecta principalmente entre los meses de Octubre y Noviembre. Es mayor que la cosecha de mitaca.

**Desarrollo sostenible:** Posibilidad que tienen las generaciones presentes de garantizar la explotación sostenida de los recursos o factores productivos a las generaciones futuras.

**Desmucilaginado:** Operación mecánica en la cual se retira el mucílago (que forma parte del mesocarpio del fruto) y se realiza en un equipo denominado desmucilagador.

**Despulpado:** Operación mecánica en la cual se retira la pulpa o epicarpio del fruto de café y se realiza en un equipo denominado despulpadora.

**Digestión anaerobia:** es un proceso biológico, degradativo en el cual, parte de la materia orgánica contenida en un sustrato es convertida en una mezcla de gases principalmente metano y dióxido de carbono.

**Ecotopo:** Área cafetera en la que predominan las mismas características de clima, suelos y relieve.

**Efluente:** Flujo de salida del sistema modular de tratamiento anaerobio.

**Índice de calidad del agua:** (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje de agua pura.

**Lavado del café:** Operación tecnológica destinada a eliminar, por medio del agua, todos los residuos del mesocarpio mucilaginoso adheridos a la superficie del pergamino y se realiza después del proceso de fermentación del mucílago.

**Mucílago:** Constituye el mesocarpio del fruto. Es la parte que se encuentra después de retirar la cáscara. Es de consistencia viscosa, color habano claro. Es separado del grano por fermentación natural o por medios mecánicos o enzimáticos.

**Película plateada:** Cubierta seca de la semilla del grano de café tiene aspecto plateado o cobrizo.

**Pergamino:** Se refiere al cisco o cascarilla de café.

**Proceso de fermentación:** Operación bioquímica destinada a digerir el mesocarpio mucilaginoso que se adhiere al pergamino del café despulpado, para permitir así su eliminación por medio del lavado.

**Pulpa:** Parte del fruto de café que se elimina durante el despulpado y que se compone del exocarpio y la mayor parte del mesocarpio.

**Reactor hidrolítico:** Reactor en donde se suceden reacciones de hidrólisis y acidificación de los carbohidratos presentes en las aguas residuales del café.

**Reactor metanogénico:** Reactor en donde se encuentran bacterias metanogénicas responsables de la etapa final de tratamiento de las aguas residuales del lavado del café, convirtiendo los ácidos presentes en el agua en gas metano.

**Subproductos del beneficio del café:** Se refiere a la pulpa, mucílago, granos semidespulpados, pasillas y flotes, originados durante el proceso de beneficio del café.

**Tanque de fermentación:** Recipiente donde se depositan los granos despulpados o café baba, para el proceso de fermentación del mucílago de café.

**Tasa Retributiva (TR):** Pago de dinero por la contaminación que se deja de remover en decreto 1594 y que se descarga directa o indirectamente al recurso.

**Vertimiento:** Descarga de aguas domésticas o industriales a fuentes de agua o al suelo.

## 11. ANEXOS

ANEXO 1	
FORMULARIO ENCUESTA DE MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO AGUA EN EL BENEFICIO HUMEDO DEL CAFÉ	
MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO AGUA EN EL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ	
FECHA: _____	
<b>I. Información Socioeconómica</b>	
1. Departamento _____	
2. Municipio _____	
3. Finca _____	4. Producción (Cargas c.p.s/año) _____
5. Vereda _____	
6. Nombre del Caficultor encuestado _____	
<b>Nota: El Encuestado debe ser el encargado de tomar las decisiones de manejo de la finca</b>	
7. Tipo de Tenencia de la tierra:	
Propietario <input type="checkbox"/>	Poseedor <input type="checkbox"/>
Arrendatario <input type="checkbox"/>	Aparcero <input type="checkbox"/>
Otro <input type="checkbox"/>	
<b>II. Información sobre el uso de la tierra</b>	
8. Area total de la finca _____ (ha)	
9. Area en Café _____ (ha)	
<b>III. Aspectos relacionados con el sistema del Beneficio</b>	
10. Utiliza agua en la tolva	
<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
11. Utiliza agua para despulpar el café	
<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
12. Utiliza agua para el transporte del café baba	
<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No

13. Enjuagues para el lavado del café fermentado.			
<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	2
<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	4
14. Dispositivos para lavar el café fermentado.			
<input type="checkbox"/>	Tanques mamposteria	<input type="checkbox"/>	Tanques mamposteria tipo tina
<input type="checkbox"/>	Tanques plásticos	<input type="checkbox"/>	otros
Cual: _____			
15. Disposición de las aguas de lavado de café			
<input type="checkbox"/>	Sistema modular de tratamiento	<input type="checkbox"/>	Campo abierto
<input type="checkbox"/>	Fuentes de agua	<input type="checkbox"/>	Otros
Cual _____			
16. Disposición de la pulpa			
<input type="checkbox"/>	Compostera	<input type="checkbox"/>	Campo abierto
<input type="checkbox"/>	Lombricultura	<input type="checkbox"/>	A fuentes de agua
<input type="checkbox"/>	Otros	Cual _____	
17. Disposición de drenados de la pulpa			
<input type="checkbox"/>	Recolección	<input type="checkbox"/>	Campo abierto
<input type="checkbox"/>	A fuentes de agua	<input type="checkbox"/>	Otros
Cual _____			
18. Transporte de la pulpa			
<input type="checkbox"/>	Gravedad	<input type="checkbox"/>	Con agua
19. Tipo de beneficio según Cenicafé			
<input type="checkbox"/>	B1	<input type="checkbox"/>	B2
<input type="checkbox"/>	B3	<input type="checkbox"/>	B4

ANEXO 2

**FORMULARIO ENCUESTA DE MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO AGUA EN EL BENEFICIO HUMEDO DEL CAFÉ**

MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO AGUA EN EL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ

FECHA: \_\_\_\_\_

I. Información Socioeconómica

1. Departamento \_\_\_\_\_

2. Municipio \_\_\_\_\_

3. Finca \_\_\_\_\_ 4. Altitud \_\_\_\_\_ metros

5. Vereda \_\_\_\_\_

6. Nombre del Caficultor encuestado \_\_\_\_\_

**Nota: El Encuestado debe ser el encargado de tomar las decisiones de manejo de la finca**

7. Función del encuestado en la finca : Propietario  Administrador/Mayordomo

8. Género del encuestado: Masculino  Femenino

9. Edad del Encuestado \_\_\_\_\_ (años)

10. Educación \_\_\_\_\_ (último año de educación formal cursado)

11. Experiencia como caficultor \_\_\_\_\_ (años)

12. Cuánto tiempo lleva trabajando en esta finca \_\_\_\_\_ (años)

13. Tipo de Tenencia de la tierra:

Propietario  Poseedor  Arrendatario  Apacero  Otro

II. Información sobre el uso de la tierra

14. Area total de la finca \_\_\_\_\_ (ha)

15. Area en Café \_\_\_\_\_ (ha)

16. Area en otros Cultivos \_\_\_\_\_ (ha)

17. Cuando fue la última vez que sembró café \_\_\_\_\_ (fecha - mes - año)

Colombia	<input checked="" type="checkbox"/>	Caturra	<input checked="" type="checkbox"/>	Típica	<input checked="" type="checkbox"/>	Borbón	<input checked="" type="checkbox"/>
Tabi		Otra variedad		Cuál?	_____		

19. Del área dembrada en café, cuántas hectáreas tiene en cada variedad

Colombia	_____	(ha)
Caturra	_____	(ha)
Típica	_____	(ha)
Borbón	_____	(ha)
Tabi	_____	(ha)
Otras variedades	_____	(ha) Areas de protección _____ (ha)

**Nota: El total del área sembrada por variedades, debe coincidir con el área en café de la finca y con las variedades mencionadas**

20. Pendiente de la finca:

Casi plano ( 0 - 3% )	<input checked="" type="checkbox"/>	Ligeramente inclinado ( 3 - 7% )	<input checked="" type="checkbox"/>
Inclinado ( 7 - 12% )	<input checked="" type="checkbox"/>	Fuertemente Inclinado (12 - 25%)	<input checked="" type="checkbox"/>
Fuertemente quebrado (25 - 50%)	<input checked="" type="checkbox"/>	Escarpado (50 - 75 %)	<input checked="" type="checkbox"/>
Muy escarpado ( Mayor 75%)	<input checked="" type="checkbox"/>		

**III. Aspectos relacionados con los sistemas de producción**

21. Promedio ponderado de la densidad de siembra de la finca: \_\_\_\_\_ (árboles.ha -1)

22. Promedio ponderado de la edad de los cafetales : \_\_\_\_\_ (años)

23. Tipo de crecimiento de los árboles de café: Libre crecimiento  Descopado

24. Luminosidad prevalente en la finca:

Libre exposición  Sombra  Semisombra

**IV. Aspectos relacionados con el sistema del Beneficio**

25. Transporte de café cereza al beneficiadero

<input checked="" type="checkbox"/> Por los recolectores	<input checked="" type="checkbox"/> En cabalgar
<input checked="" type="checkbox"/> Automotores	<input checked="" type="checkbox"/> Cafeducto

Cual _____	
26. Material de la tolva para recepción del café cereza	
<input type="checkbox"/> Madera	<input type="checkbox"/> Metal
<input type="checkbox"/> Plastico	<input type="checkbox"/> Concreto
<input type="checkbox"/> Mayolica	<input type="checkbox"/> Otros
Cual _____	
27. Utiliza agua en la tolva	
Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Si la respuesta es afirmativa, Cual es la razón? _____	
28. Tipo de beneficio	
<input type="checkbox"/> Fermentación natural (pasa a la pregunta 32)	
<input type="checkbox"/> Desmucilagador	
29. Tipo de Desmucilagador	
<input type="checkbox"/> Es de 100 kilogramos/hora	<input type="checkbox"/> Es de 600 kilogramos/hora
<input type="checkbox"/> Es de 300 kilogramos/hora	<input type="checkbox"/> Otro
Cual _____	
30. Despulpa el café con agua	
<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
Si la respuesta es afirmativa, Cual es la razón? _____	
31. Capacidad de la despuladora	
<input type="checkbox"/> De 100 kilos/hora	<input type="checkbox"/> De 600 kilos/hora
<input type="checkbox"/> De 300 kilos/hora	<input type="checkbox"/> Otro
Cual _____	

<input type="checkbox"/> Menos de 12 horas	<input type="checkbox"/> Entre 12 - 18 horas
<input type="checkbox"/> Mas de 18 horas	
33. Lavado del café con mucilago fermentado, con cuantos enjuagues	
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2
<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
34. Dispositivos para lavar el café	
<input type="checkbox"/> Tanques mamposteria	<input type="checkbox"/> Tanques mamposteria tipo tina
<input type="checkbox"/> Tanques plasticos	<input type="checkbox"/> otros
Cual: _____	
35. Disposición de aguas de lavado de café	
<input type="checkbox"/> Sistema modular de tratamiento	<input type="checkbox"/> Campo abierto
<input type="checkbox"/> Fuentes de agua	<input type="checkbox"/> Otros
Cual _____	
36. Disposición de la pulpa	
<input type="checkbox"/> Compostera	<input type="checkbox"/> Campo abierto
<input type="checkbox"/> Lombricultura	<input type="checkbox"/> A fuentes de agua
<input type="checkbox"/> Otros	Cual _____
37. Disposición de lixiviados de la pulpa	
<input type="checkbox"/> Recolección	<input type="checkbox"/> Campo abierto
<input type="checkbox"/> A fuentes de agua	<input type="checkbox"/> Otros
Cual _____	
38. Secado del café	
<input type="checkbox"/> Natural	<input type="checkbox"/> Artificial

<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
Si la respuesta es afirmativa pasa a la pregunta 40	
40. A través de quien se enteró ?	
<input type="checkbox"/> Servicio de Extensión	<input type="checkbox"/> Libros
<input type="checkbox"/> Cenicafé	<input type="checkbox"/> Secretaria de Agricultura
<input type="checkbox"/> SENA	<input type="checkbox"/> Otro agricultor
<input type="checkbox"/> Otros	Cual _____
41. Para usted que es la contaminación del agua: _____	
_____	
_____	
Nota: El encuestador debe conceptualizar al encuestado sobre el tema	
42. Como calificaria la gravedad de la contaminación del agua: _____	
(indique el numero según escala)	
5. Muy Grave <input type="checkbox"/>	4 - Grave <input type="checkbox"/>
3 - Normal <input type="checkbox"/>	2 - Leve <input type="checkbox"/>
1. Insignificante <input type="checkbox"/>	
43. Como calificaria el consumo de agua para el beneficio humedo del café	
<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Medio
<input type="checkbox"/> Bajo	<input type="checkbox"/> Insignificante
44. Ha pensado en implementar sistemas de ahorro del agua en el beneficio humedo del café	
<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
Si la respuesta es negativa dar la razón. _____	
_____	

