

Artículo científico

## Calidad del agua residual producida en las diferentes etapas del proceso de beneficiado de café húmedo.

*Quality of the wastewater produced in the different stages of the wet coffee milling process.*

**Valeria Michelle Stewart Pineda**

**Universidad Autónoma de Honduras, Honduras.**

**Dirección para recibir correspondencia: [stewartpineda.valeria@gmail.com](mailto:stewartpineda.valeria@gmail.com)**

**Recibido 29.05.20 Aceptado 16.09.2020**

### Resumen.

Debido al estrés hídrico que se atraviesa pensar en el hecho del reaprovechamiento de las aguas residuales es imperativo. Este estudio caracterizó y valorizó el agua residual generada en el proceso de beneficiado húmedo. Se muestreó en uno de los beneficios exportadores de café de la comunidad de La Libertad en el municipio de La Democracia en el departamento de Huehuetenango, Guatemala. El objetivo fue determinar su calidad y el tratamiento adecuado para su *reuso*. Los resultados se compararon con los valores recomendados en el acuerdo gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente de la República de Guatemala. Se determinó que no son aptas para poder ser descargada a cuerpos receptores. Por lo cual todas deben ser tratadas. Adicionalmente se analizó la biodegradabilidad y como resultado se obtuvo que todas pueden ser tratadas por métodos biológicos. Se determinó que las aguas residuales provenientes del despulpado y lavado poseen potencialmente un valor agregado si son utilizadas en el riego de cultivos debido a su alta concentración de nutrientes. El agua residual de despulpado tiene 12 mg/L y 53 mg/L de fósforo total y nitrógeno total respectivamente. Por su parte el agua residual de lavado por recirculado tiene 3308 mg/L fósforo total y 117 mg/L de nitrógeno total.

**Palabras Clave:** Biodegradabilidad, reuso, despulpado, fermentado, lavado, recirculación.

### Abstract.

Due to the water stress that one goes through, thinking about the fact of reusing wastewater is imperative. This study characterized and valued the residual water generated in the wet beneficiation process. It was sampled in one of the coffee exporting mills in the community of La Libertad in the municipality of La Democracia in the department of Huehuetenango, Guatemala. The objective was to determine its quality and the appropriate treatment for its reuse. The results were compared with the values recommended in Governing Agreement 236-2006 of the Ministry of the Environment of the Republic of Guatemala. Determining that they are not suitable to be discharged to receiving bodies. For which all must be treated. Additionally, biodegradability was analyzed, obtaining as a result that all of them can be treated by biological methods. It was determined that wastewater from pulping and washing potentially has added value if used in crop irrigation due to its high concentration of nutrients. The pulping wastewater has 12 mg / L and 53 mg / L of total phosphorus and total nitrogen respectively. And the recycle wash wastewater has 3308 mg / L total phosphorus and 117 mg / L total nitrogen.

**Key words:** Biodegradability, reuse, despoiled, fermented, washed, recirculated.

### Introducción

La caracterización del agua residual generada en el proceso de beneficiado de café húmedo es muy importante para poder determinar oportunidades de reaprovechamiento. También

nos permite determinar el tratamiento adecuado para poder reutilizarlas.

De acuerdo al contenido de nutrientes presentes en ella, se puede considerar una opción muy viable para riego de cultivos o piscicultura, de acuerdo a las consideraciones de tratamiento previo adecuadas.

Las recomendaciones de fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia se muestran en las tablas 1 y 2. Las dosis de fertilización nitrogenada deben hacerse durante las etapas de crecimiento vegetativo y después del corte. Ello debe hacerse de acuerdo al contenido de materia orgánica (MO) en el suelo. En las tablas 3 y 4 se muestra los valores para las dosis de fósforo.

**Tabla 1. Dosis de Nitrógeno durante crecimiento vegetativo.**

Contenido de MO en suelo	Dosis de Nitrógeno (g/planta)				
	Mes 2	Mes 6	Mes 10	Mes 14	Mes 18
≤ 8 %	12	14	12	14	16
> 8 %	14	16	9	12	14

Fuente: Sadeghian, 2008.

**Tabla 2. Dosis de Nitrógeno luego del corte.**

Contenido de MO en suelo	Dosis de Nitrógeno (g/planta)				
	Mes 1	Mes 6	Mes 12	Mes 14	Mes 18
≤ 8 %	7	9	12	14	16
> 8 %	5	7	9	12	14

Fuente: Sadeghian, 2008.

**Tabla 3. Dosis de Fósforo durante crecimiento vegetativo.**

Contenido de fósforo en suelo	Dosis de Fósforo (g/planta)		
	Mes 1	Mes 6	Mes 18
P ≤ 30 mg/kg	4	5	6

Fuente: Sadeghian, 2008.

**Tabla 4. Dosis de Fósforo luego del corte.**

Contenido de fósforo en suelo	Dosis de Fósforo (g/planta)		
	Mes 6	Mes 12	Mes 18
P ≤ 30 mg/kg	6	5	6

Fuente: Sadeghian, 2008.

El consumo de nutrientes por cultivo se muestra en la tabla 5. (Silva, Torres, & Madera, 2008).

**Tabla 5. Nutrientes necesarios por tipo de cultivo.**

Cultivo	Consumo de nutrientes (kg*ha <sup>-1</sup> *año <sup>-1</sup> )	
	Nitrógeno	Fósforo
Cebada	71	17
Maíz	174 - 193	19 - 28
Caña	80 - 200	50 - 90
Algodón	74 - 112	14
Papa	260	23
Soya	106 - 44	13 - 21
Trigo	56 - 91	17

Fuente: Silva, Torres, & Madera, 2008.

El proceso de beneficiado de café húmedo inicia con la clasificación del fruto maduro y culmina al tener el producto final llamado *café oro*. Las etapas del proceso se dividen en:

- Recepción y clasificación del fruto: evaluación de estado del fruto y eliminación de impurezas.
- Despulpado: proceso mecánico que utiliza agua para transportar el fruto en el que se lleva a cabo eliminación del exocarpio (pulpa).
- Fermentado: proceso natural de eliminación del mesocarpio (mucilago), cuya duración depende de las condiciones climáticas del sitio.
- Lavado: proceso manual o mecánico que elimina la capa pegajosa que se forma luego del proceso de fermentado.
- Secado: proceso mecánico o natural de eliminación de la humedad del grano de café. La humedad final del grano debe de estar entre 10% a 12%.
- Trillado: proceso mecánico de eliminación del endocarpio (pergamino) y espermodermo (película plateada).

**Descripción y ubicación de área de estudio.**

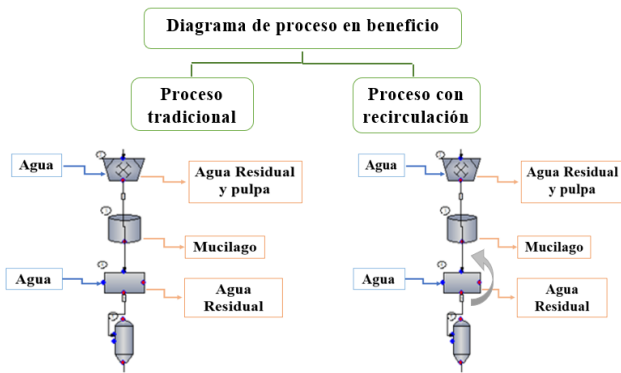
En la procesadora se llevan a cabo las etapas de la siguiente manera:

- El fruto es recibido en el beneficio y se revisa que este en el punto óptimo de maduración y se eliminan impurezas.
- El fruto es transportado mediante agua a la maquina despulpadora.
- El grano despulpado llega a las pilas de fermentación y permanece allí hasta que llega al punto óptimo de fermentación (24 a 48h).

- El grano es llevado a los canales de lavado. Es lavado manualmente por medio de paletas para removerlo y se repite el proceso hasta que el grano no se sienta pegajoso
- Por último, el grano es secado en patios mediante la radiación solar. Esta etapa tarda de 3 a 4 días.

En este proceso, figura 1, se obtienen grandes cantidades de agua residual al final del proceso de lavado y despulpado. Con el objetivo de disminuir esta cantidad de agua la procesadora cuenta con otro beneficio en el que recirculan el agua de lavado del proceso.

**Figura 1. Proceso de beneficiado húmedo en lugar de muestreo.**



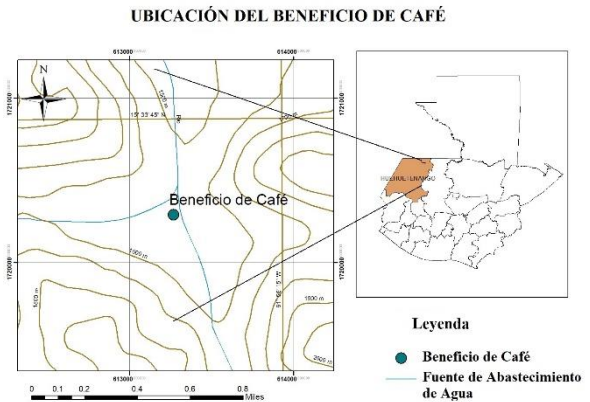
En la tabla 6 se muestran las cantidades de agua consumidas en el beneficio de acuerdo al tipo de proceso.

**Tabla 6. Agua consumida en lugar de muestreo.**

	Consumo de agua por peso de café pergamino. (L/kg)
Proceso sin recirculación	7
Proceso con recirculación	0.7

El beneficio se encuentra ubicado en la comunidad de La Libertad del municipio de La Democracia de Huehuetenango Guatemala, con coordenadas: 15°33'27.7"N 91°56'37.3"W (Figura 2).

**Figura 2. Ubicación de beneficio.**



Fuente: SIG MAGA-ING (2020).

**Metodología.**

**Enfoqué metodológico.**

El enfoque metodológico del estudio es cuantitativo ya que se midieron ciertos parámetros de calidad de agua para poder determinar si esta podía ser descargada a un cuerpo receptor con o sin un tratamiento previo. También se evaluó la posibilidad de dárseles algún tipo de reuso.

**Parámetros**

- Parámetros medidos in situ.

Por medio de una sonda multiparamétrica (HI 98194, HANNA, Italia) se midieron los siguientes parámetros:

- Potencial de Hidrógeno
- Temperatura
- Conductividad eléctrica
- Oxígeno disuelto
- Sólidos disueltos
- Potencial de óxido reducción (ORP)
- Parámetros Físicoquímicos.

Las determinaciones se llevaron a cabo en el laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini de Molina” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, de acuerdo a el procedimiento planteado en el Manual de Química y Microbiología Sanitaria de ERIS (Much, 2018).

- Parámetros químicos:

DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno total y fosforo total.

- Parámetros físicos:

Sólidos sedimentables y sólidos suspendidos.

### Muestreo

Se tomaron muestras de agua residual y de la fuente de abastecimiento de agua a través de las diferentes etapas del proceso de beneficiado de café húmedo.

- Determinación del número de muestras:

Se consideró hacer un estudio exploratorio donde se recolecto muestras por triplicado en cada uno de los puntos.

Numero de muestras en cada punto (n) = 3

Con un total de 3 puntos de muestreo para hacer un total (n) = 3 x 3 = 9

Adicionalmente se recolectaron dos muestras de agua residual del proceso de lavado del café del beneficio que realiza recirculación.

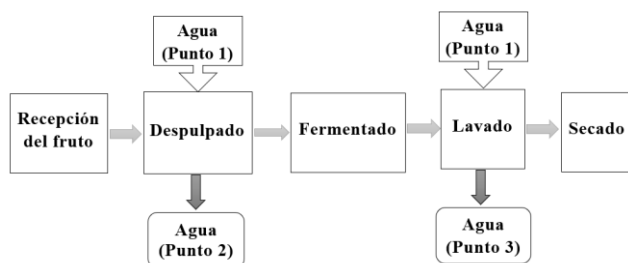
- Puntos de muestreo (Figura 3):

Punto 1: Río de abastecimiento.

Punto 2: Final del proceso de despulpado.

Punto 3: Al finalizar el proceso de lavado.

**Figura 3. Puntos de muestreo.**



Para la evaluación de la calidad de agua residual se compararon los resultados obtenidos de los parámetros con los valores recomendados para descargas a cuerpos receptores por el acuerdo gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente de la Republica de Guatemala (Tabla7).

**Tabla 7. Valores recomendados.**

Parámetro	Unidades	Valor recomendado
Temperatura	°C	TCR +/- 7
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	6 a 9
Sólidos suspendidos	mg/L	400
Nitrógeno total	mg/L	25
Fósforo total	mg/L	15
DBO <sub>5</sub>	mg/L	450

Fuente: Ministerio de Ambiente, 2006.

Se analiza la biodegradabilidad del agua residual en cada una de las etapas del proceso para poder saber si estas pueden ser tratadas por un método biológico de acuerdo a la ecuación 1.

$$Biodegradabilidad = \frac{DBO_5}{DQO} \quad (1)$$

Donde: DBO<sub>5</sub> = Demanda bioquímica de oxígeno 5.

DQO = Demanda química de oxígeno.

Para decir que el agua puede ser tratada por medio de un método biológico esta relación debe de ser mayor a 0.4 y cuando el valor es menor a 0.2 se considera no biológicamente tratable (Ardila, Reyes, & Arriola, 2012)

### Resultados.

En la tabla 8 se muestran los resultados de los parámetros medidos en el agua utilizada para realizar el proceso de despulpado y lavado.

**Tabla 8. Resultados de análisis de punto 1.**

Punto de muestreo: Río de abastecimiento				
Fecha y hora: 3 de febrero de 2020 a las 16:30 Tipo de muestra: Puntual				
Parámetro	Unidad	Muestra		
		#1	#2	#3
Parámetros in situ				
Temperatura	°C	17	18	18
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	7.8	7.9	7.8
Conductividad eléctrica	µS/cm	268	280	367
Oxígeno disuelto	mg/L	6	5	5
Sólidos disueltos	mg/L	157	140	184
Potencial óxido reductor	mV	200	186	200

Punto de muestreo: Río de abastecimiento				
Fecha y hora: 3 de febrero de 2020 a las 16:30		Tipo de muestra: Puntual		
Parámetro	Unidad	Muestra		
		#1	#2	#3
Parámetros físico químicos				
Sólidos sedimentables	cm <sup>3</sup> /L/h	2	0	1
Sólidos suspendidos	mg/L	6	1	4
DQO	mg/L	4	15	12
DBO <sub>5</sub>	mg/L	2	8	6
Fósforo Total	mg/L	11	1	1
Nitrógeno Total	mg/L	0	0	0

En la tabla 9 se muestran los resultados de los parámetros medidos en el agua residual del *proceso de despulpado*.

**Tabla 9. Resultados de análisis de punto 2.**

Punto de muestreo: Despulpado				
Fecha y hora: 3 de febrero de 2020 a las 17:00		Tipo de muestra: Puntual		
Parámetro	Unidad	Muestra		
		#1	#2	#3
Parámetros in situ				
Temperatura	°C	18	18	18
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	3.5	3.6	3.5
Conductividad eléctrica	µS/cm	508	444	507
Oxígeno disuelto	mg/L	3	3	3
Sólidos disueltos	mg/L	255	254	253
Potencial óxido reductor	mV	178	169	169
Parámetros físico químicos				
Sólidos sedimentables	cm <sup>3</sup> /L/h	13	21	12
Sólidos suspendidos	mg/L	432	820	1240
DQO	mg/L	7680	7540	8190
DBO <sub>5</sub>	mg/L	3980	3856	4568
Fósforo Total	mg/L	150	100	100

Punto de muestreo: Despulpado				
Fecha y hora: 3 de febrero de 2020 a las 17:00		Tipo de muestra: Puntual		
Nitrógeno Total	mg/L	49	57	53

En la tabla 10 se muestran los resultados de los parámetros medidos de agua residual a la salida del *proceso de lavado de café*.

**Tabla 10. Resultados de análisis de punto 3.**

Punto de muestreo: Correteos para lavado de café				
Fecha y hora: 4 de febrero de 2020 a las 13:23		Tipo de muestra: Puntual		
Parámetro	Unidad	Muestra		
		#1	#2	#3
Parámetros in situ				
Temperatura	°C	22	22	22
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	3.5	3.6	3.5
Conductividad eléctrica	µS/cm	426	339	290
Oxígeno disuelto	mg/L	3	3	3
Sólidos disueltos	mg/L	213	170	146
Potencial óxido reductor	mV	200	204	194
Parámetros físico químicos				
Sólidos sedimentables	cm <sup>3</sup> /L/h	90	100	30
Sólidos suspendidos	mg/L	44	100	56
DQO	mg/L	340	520	200
DBO <sub>5</sub>	mg/L	189	256	129
Fósforo Total	mg/L	0	0	0
Nitrógeno Total	mg/L	4	6	3

En la tabla 11 se muestran los resultados de los parámetros medidos en el agua residual del *proceso de lavado del café por recirculado*.

**Tabla 11. Resultados de análisis de agua de recirculado en proceso de lavado.**

Punto de muestreo: Agua de recirculación (Potencial de hidrógeno 3.2 en laboratorio)			
Parámetro	Unidad	Muestra	
		#1	#2
Sólidos sedimentables	cm <sup>3</sup> /L/h	34	12

Punto de muestreo: Agua de recirculación (Potencial de hidrógeno 3.2 en laboratorio)			
Parámetro	Unidad	Muestra	
		#1	#2
Sólidos suspendidos	mg/L	1,492	2,680
DQO	mg/L	30,500	29,500
DBO <sub>5</sub>	mg/L	15,566	17,333
Fósforo Total	mg/L	3,255	3,360
Nitrógeno Total	mg/L	14	9

En la tabla 12 se muestran los valores promedio de cada uno de los parámetros determinados en cada punto de muestreo.

**Tabla 12. Parámetros para evaluación de calidad de agua residual del proceso.**

Parámetro	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3	R
pH		7.8	3.5	4	3.2
SS	mg/L	3	831	66	2086
DBO <sub>5</sub>	mg/L	5	4135	191	1644 9
Fósforo total	mg/L	4	116	0	3307
Temperatura	°C	17	18	22	-
Nitrógeno total	mg/L	0	53	4.3	12

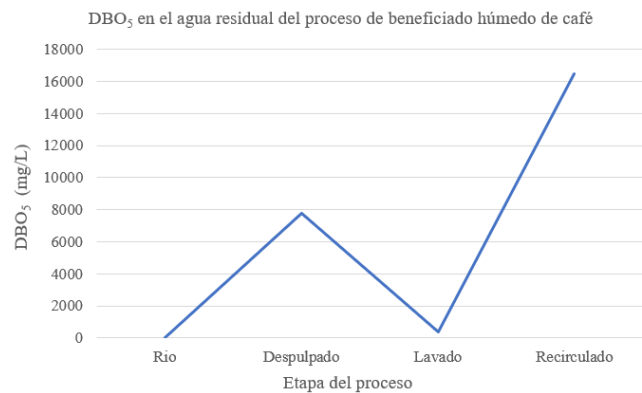
En la tabla 13 se muestra los resultados de la determinación de la relación de biodegradabilidad del agua residual en cada uno de los puntos del proceso.

**Tabla 13. Biodegradabilidad de agua residual.**

Biodegradabilidad		
Punto de muestreo	Relación DBO <sub>5</sub> /DQO	Valor recomendado
Agua residual despulpado	0.53	0.4>
Agua residual final de lavado	0.54	0.4>
Agua residual de recirculación	0.55	0.4>

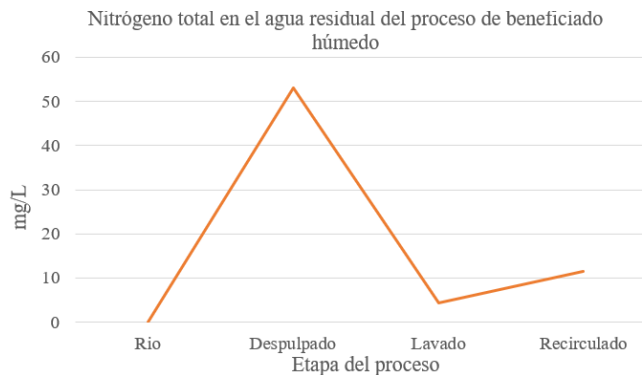
La comparación de los datos de las concentraciones de DBO<sub>5</sub> en el agua residual se muestra en la Figura 4.

**Figura 4. Comparación de la concentración de DBO<sub>5</sub> en el agua residual del proceso.**



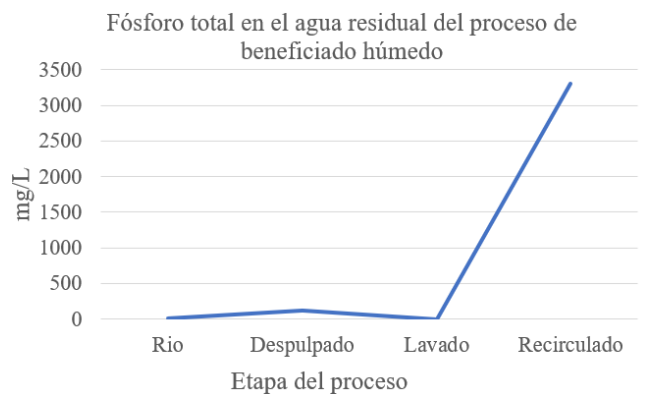
El comportamiento de la concentración de nitrógeno total en el agua residual se muestra en la Figura 5.

**Figura 5. Comparación de la concentración de nitrógeno total en el agua residual del proceso.**



Para la comparación de los datos de las concentraciones de fósforo total en el agua residual y poder dar un valor agregado a estas se muestra en la Figura 6.

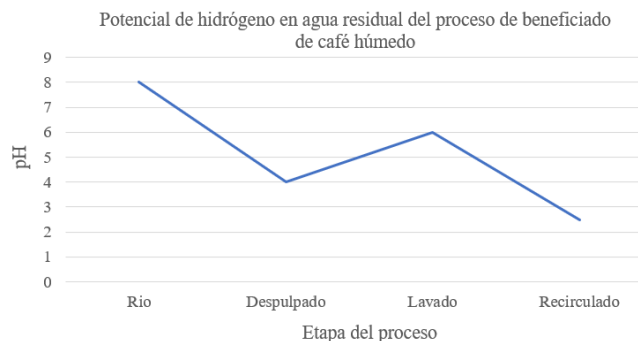
**Figura 6. Comparación de la concentración de fósforo total en el agua residual del proceso.**





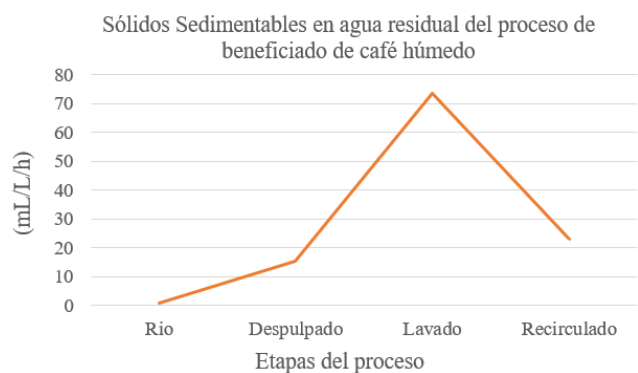
La comparación de los datos de las concentraciones de el comportamiento del potencial de hidrógeno y evaluar si esta afectaría a los cultivos y si se podrá reutilizar el agua residual se muestra en la Figura 7.

**Figura 7. Comparación del potencial de hidrógeno en el agua residual del proceso.**

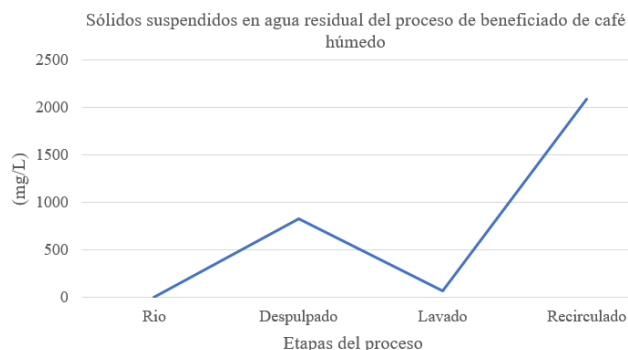


La comparación de los datos de las concentraciones de sólidos sedimentables y suspendidos en el agua residual se muestra en la Figura 8 y Figura 9 respectivamente.

**Figura 8. Comparación de la concentración de sólidos sedimentables en el agua residual del proceso de beneficiado húmedo.**



**Figura 9. Comparación de la concentración de sólidos suspendidos en el agua residual del proceso de beneficiado húmedo.**



**Análisis de resultados.**

En la tabla 12 se observan los valores promedio de cada uno de los resultados de los parametros medidos presentes en el capítulo V del acuerdo gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente de la Republica de Guatemala para poder descargar esta agua a los cuerpos receptores. Como resultado que ninguna descargarse. También se determinó que la calidad de agua del rio se encuentra en buenas condiciones en funciones de los parámetros medidos.

El agua residual generada en el proceso de beneficiado de café húmedo puede ser tratada por medio de un proceso biológico de acuerdo a los resultados obtenidos de la relación de su biodegradabilidad.

La concentración de nitrógeno total presente en el agua de proceso luego de la etapa del despulpado es de 53 mg/L en promedio. Esta puede ser considerada para ser reutilizada en riego de los cultivos.

El agua del proceso de recirculación de lavado tiene una concentración muy elevada de fósforo total con respecto a las demás etapas. Puede considerarse ser reusada para riego de cultivos.

La presencia de materia orgánica y nutrientes mejora la fertilidad del suelo para los cultivos. Estos incrementan la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y carbono orgánico en él (Zamora, Rodríguez, Torres, & Yendis, 2008).

Se tienen valores muy bajos de pH en ambos procesos de lavado (recirculado y normal), los cuales deben de ser tomados muy en cuenta si se desea reutilizar esta agua en riego. De acuerdo a las recomendaciones, el pH del agua residual óptimo para poder ser reutilizada en riego de cultivos se encuentra en el rango de 6.0 a 9.0 (CONAGUA, 2013).

El agua residual generada al final del proceso de despulpado y lavado por recirculado puede ser reusadas para riego de cultivos del mismo proceso debido a su contenido de nutrientes. El agua residual al final del proceso de lavado sin recirculación únicamente necesita un tratamiento primario para estabilización de su pH y podrá ser descargada al cuerpo receptor.

El proceso de recirculado de agua de lavado aumenta 100 veces más la concentración de DBO<sub>5</sub>, fósforo total y sólidos suspendidos en el agua residual. También aumenta la concentración de nitrógeno total en un 62% sin embargo, la concentración de sólidos sedimentables disminuye.

### Conclusiones

El agua residual generada durante el proceso no debe ser descargada sin tratamiento previo al cuerpo receptor de acuerdo con los valores recomendados en el capítulo V del acuerdo gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente de la Republica de Guatemala.

De acuerdo al análisis de la biodegradabilidad del agua residual en cada una de las etapas del proceso se debe de realizar un proceso biológico para su tratamiento.

La cantidad de sólidos sedimentables presentes en el agua residual de recirculado es tres veces menor que los presentes en el agua residual del proceso normal. Pero en el caso de los sólidos suspendidos es lo contrario y se tiene treinta y una vez más en el caso de agua de recirculado. Por lo que para el tratamiento de las aguas residuales del proceso de recirculación la eliminación de estos deberá agregar algún tipo de coagulante a esta para que las partículas logren sedimentar.

Para la remoción de DBO<sub>5</sub> en el agua residual de lavado por recirculación se debe de tomar en cuenta que se requiere de una gran área para colocar las unidades debido a que su concentración es demasiada alta y va a requerir de tiempos de retención altos.

En caso de que se desee darle un reuso a las aguas residuales para riego de cultivos se debe de tomar en cuenta el potencial de hidrogeno de estas, ya que muchos cultivos son muy susceptibles a valores muy ácidos.

Las aguas residuales que pueden ser tomadas en cuenta para reusar en riego de cultivos son el agua de despulpado que tiene en promedio 12 mg/L y 53 mg/L de fósforo total y nitrógeno total respectivamente. También se puede usar el agua residual de lavado por recirculado que en promedio tiene 3308 mg/L fosforo total y 117 mg/L de nitrógeno total.

### Referencias.

- Ardila, A., Reyes, J., & Arriola, E. (2012). Remoción Fotocatalítica de DQO, DQO y COT de efluentes de la industria farmacéutica. *Revista Politécnica*, 9 - 17.
- CONAGUA. (2013). *Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua. Ley. Tlalpan.
- Much, Z. (2018). *Manual de Química y Microbiología Sanitaria*. Guatemala: ERIS, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sadeghian, S. (2008). *Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia*. Chinchiná: CENICAFE.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana*, vol. 26 no.2.
- Zamora, F., Rodríguez, N., Torres, D., & Yendis, H. (2008). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelo de la planicie de Coro, estado Falcón. *Bioagro*, 193 - 199.

### Información del autor.

Ingeniera Química Industrial graduada de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Honduras (UNAH) en el año 2018. Experiencia en investigación en tratamiento de aguas contaminadas con cianuro por medio de métodos de biorremediación en Universidad Autónoma de Honduras (UNAH) e Instituto Hondureño de Geología y Minas (INGEHOMIN) en 2017 y financiamiento de BAYER S.A. MSc. en Ciencias de la Ingeniería Sanitaria opción de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, (ERIS) de la Universidad de San Carlos de Guatemala de 2020.