

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

UNAN-León

Facultad de Ciencias y Tecnología



Departamento de Biología

Carrera de Biología

Efecto del beneficiado húmedo de café en fuentes de agua de las comunidades
América, Monte Cristo y El Sardinal, Jinotega

Autores

Br. María Alejandra González Gaitán

Br. Melba Roxana Hernández Téllez

Tutores

M.Sc. David Alberto Cerda Granados

Ph.D. Aura Lyli Orozco

DEDICATORIA

A mis padres, Gloria Gaitán Ocampo y Normand Bustillo Herrera, a mi abuelita Gloria Ocampo de Gaitán, a mis tíos: Luis Carlos Gaitán Ocampo y José David Gaitán Ocampo y a mi prometido Marvin Hernández Cisne.

María Alejandra González Gaitán

DEDICATORIA

A mi madre, Rita Margarita Téllez Flores.

Melba Roxana Hernández Téllez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primero a Dios, por habernos permitido finalizar este trabajo, teniéndolo siempre como el centro de nuestras vidas, quien nos ha dado el discernimiento e inteligencia necesaria para finalizarlo.

A nuestros padres por todo el apoyo que nos brindan, tanto económico como moral, principalmente por el amor incondicional que nos dan, mismo que nos motiva a la consecución de nuestras metas.

A nuestros familiares que han estado pendientes en todo momento de los acontecimientos que nos ha tocado vivir en nuestras vidas.

A nuestro tutor, MSc. David Alberto Cerda Granados, por su apoyo intelectual y por su excelente profesionalismo con el que nos ha guiado y orientado en la elaboración de nuestra Tesis, para que presentemos un trabajo de calidad.

Al proyecto: "Fortaleciendo la gestión de recursos hídricos de comunidades bananeras: Mayor resiliencia frente a la variabilidad climática", por darnos la oportunidad de apoyarles, acción que vino a abonar positivamente a nuestros conocimientos profesionales.

Al Ing. Marvin Hernández Cisne, por su apoyo incondicional en todo este tiempo para poder culminar con éxito la elaboración de nuestra tesis.

ÍNDICE

Resumen	v
I. Introducción	1
II. Objetivos	3
1. Objetivo general	3
2. Objetivos específicos.....	3
III. Marco teórico.....	4
1. El café y su importancia económica	4
2. Beneficio de café	7
3. El recurso agua: su relevancia en el procesado del café y contaminación..	11
4. Calidad de agua para consumo.....	13
IV. Materiales y métodos	19
1. Área de estudio	19
2. Muestreo	19
3. Parámetros analizados.....	20
4. Análisis de los datos	20
V. Resultados y discusión.....	22
1. Contaminación microbiológica en ojos de agua y agua potable.....	22
2. Contaminación fisicoquímica según tipología de beneficios.....	24
3. Contaminación fisicoquímica en los ríos de las comunidades estudiadas ..	32
VI. Conclusiones.....	38
VII. Recomendaciones.....	39

IX. Referencias 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos permitidos por el decreto 3395 para parámetros físicos químicos	11
Tabla 2. Clasificación y definición de los parámetros de medición de calidad de agua	16
Tabla 3 Coliformes totales y fecales presentes en ojos de agua y agua potable de las comunidades América, Monte Cristo y El Sardinal, Jinotega.....	23
Tabla 4 Parámetros Fisicoquímicos analizados según tipología de beneficio.....	25
Tabla 5 caudal (m^3/s) de los ríos en los puntos de muestreo para estudio según tipología de beneficio	31
Tabla 6 Valor medio del caudal (m^3/s) en tres ríos de las comunidades América, Monte Cristo y El Sardinal	341
Tabla 7 Valores medios de los parámetros Fisicoquímicos en ríos de las comunidades América, Monte Cristo y El Sardinal, Jinotega	35
Tabla 8 Resumen de ANOVA por fecha y parte del río.....	35
Tabla 9 Análisis de Correlación entre los parámetros fisicoquímicos en los ríos estudiados.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del procesamiento del café	8
Figura 2. Proceso del beneficiado húmedo de café	9

RESUMEN

El propósito de este estudio fue comprobar el efecto de los beneficios húmedos en los ríos y la calidad de agua para consumo en las comunidades América, Monte Cristo y El sardinal. Para conocer el grado de contaminación producido por los beneficios, se midieron pH, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables totales, grasas y aceites, DBO, DQO y materia flotante. Para la calidad de agua de consumo humano, se monitorearon parámetros de coliformes totales y fecales. Se hicieron tres muestreos antes (noviembre del 2016) durante (febrero del 2017) y después de la cosecha cafetalera (julio del 2017). Para determinar el efecto del beneficiado en los ríos, se hicieron muestreos puntuales por conveniencia en cinco fincas con diferentes tipos de beneficio. También se hizo muestreo aleatorio en tres secciones (parte alta, media y baja) de tres ríos. Para analizar el efecto en agua para consumo humano se muestrearon aleatoriamente tres grifos y tres ojos de agua. Los resultados indican que se encontró un 100% de contaminación para agua de consumo. Por otra parte, los análisis físicos químicos realizados para ríos determinaron que todos los parámetros están dentro de lo establecido según el decreto 3395, “disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias”.

I. INTRODUCCIÓN

El café es considerado un rubro de suma importancia económica a nivel mundial. Inclusive en el comienzo de la llamada “crisis del café” internacional, era el segundo rubro con más valor después del petróleo. Este producto es cosechado en más de 70 países en todo el mundo; 45 de ellos, son miembros de la organización internacional del café (OIC) y producen el 97% del café del mundo (Rivas,2008).

La Asociación Nacional de Café de Guatemala (Anacafé, s. f.) afirma que una de las principales actividades causantes de la contaminación del agua es el proceso de beneficiado húmedo que se hace en la industria cafetalera en los países productores del mismo. La contaminación se da al verter las aguas mieles (agua residual del proceso de despulpado y lavado del café) en un cuerpo receptor, que en este caso serían los cuerpos de agua como los ríos.

Para obtener 1 kg de café pergamino se consumen grandes cantidades de agua (entre 40 y 60 L) durante el proceso de beneficiado húmedo. Al beneficiarse el café, 20% del fruto es considerado útil y el 80% es considerado desecho. Esto trae consigo muchas consecuencias negativas para el vital líquido, entre ellas: el cambio de la acidez natural del agua, incremento de la turbidez (coloración oscura), mal olor a lo largo del recorrido de los ríos y ojos de agua. De esta manera, el uso del agua para consumo y actividades domésticas queda inhabilitado (Anacafé, s. f.). Sin embargo, desde hace varios años, las organizaciones, técnicos, y organismos vienen desarrollando estrategias para producir el grano de oro de manera eficiente y conservar el medio ambiente (Pérez Díaz, Castillo Ramos, Carballo Abreu, & Veliz Gutiérrez, 2014).

Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2004), el departamento de Jinotega se caracteriza por ser uno de los mayores productores de café en Nicaragua, con un 39% de la producción nacional. Las comunidades Poza Redonda, Monte Cristo y El Sardinal están ubicadas aproximadamente 42 km

de la ciudad de Jinotega. Estas comunidades son zonas cafetaleras por excelencia y por lo tanto, todavía prevalece la contaminación de los ríos por aguas mieles.

La producción de café es económicamente significativa para el país; ya que el café es un rubro de mucha importancia tanto a nivel nacional como internacional. No obstante, la industria cafetalera trae consigo la contaminación del recurso agua a causa de los desechos del beneficiado húmedo (pulpa y aguas mieles). Por lo tanto, con la investigación se pretendió determinar el daño que causa dicho proceso en ríos y en la calidad del agua para consumo humano y ojos de agua de las comunidades Poza Redonda, Monte Cristo y El Sardinal.

La importancia de esta investigación es tanto económica como ecológica. Con los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, los productores, que usan el agua para el proceso de beneficiado, y los habitantes, que utilizan el recurso para consumo y actividades domésticas, podrán darse cuenta del grado de contaminación que causan las aguas mieles. Con estos conocimientos, se podrán implementar posibles cambios y soluciones en los sistemas del procesamiento del café que permitan hacer un mejor manejo del recurso agua.

II. OBJETIVOS

1. Objetivo general

- Comprobar el grado de contaminación de los beneficios húmedos en los ríos de fincas cafetaleras y agua para consumo en las comunidades América, Monte Cristo y El Sardinal, Jinotega.

2. Objetivos específicos

- Establecer mediante análisis físico-químicos el grado de contaminación causado por el beneficiado húmedo de café en los ríos presentes de las comunidades América, Monte Cristo y El Sardinal, Jinotega.
- Determinar la calidad del agua para consumo de las comunidades América, Monte Cristo y El Sardinal, Jinotega mediante análisis microbiológicos.

III. MARCO TEÓRICO

1. El café y su importancia económica

El café es originario de África. “Café” se usa para describir 500 géneros y más de 6000 especies de plantas; de estos, el género *Coffea* posee más de 100 especies. Entre las principales especies económicas se encuentra *Coffea arabica* L. “café arábica” y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner “café robusta” (Jiménez, 2014).

C. arabica es una de las especies mundialmente más comercializadas, debido a la excelente calidad de su bebida. Se cultivó por primera vez en Etiopia y Sudán en terrenos de más de 1000 msnm (Mora, 2008). Pertenece a la familia Rubiaceae. Son arbustos, compuestos por hojas simples, opuestas, con estípulas generalmente interpeciolar. Las inflorescencias pueden ser cimas, panículas, espigas o cabezuelas, pocas veces se encuentran flores solitarias. Sus frutos son bayas, drupas o cápsulas (Grijalva Pineda, 2006). Sus flores son blancas de olor dulce y aparecen luego de la etapa de lluvia. Es distinta genéticamente a otras especies, por ser tetraploides (Jiménez, 2014).

El Ministerio de Fomento, Industria y Comercio, la Dirección de Política Comercial Externa y el Departamento de Análisis Económico (MIFIC, DPCE, & Departamento de Análisis Económico, 2008), afirman que a nivel mundial, el café es de trascendencia económica, representa un 97% de producción alrededor del mundo. El café se produce en casi 80 países en desarrollo, en un área de más de 10 millones de ha, y genera empleo para más de 20 millones de personas, la mayoría pequeños productores (Medina, 2008). En varios de los países con bajo desarrollo, el café representa más del 50% de exportación (Arce, 2016).

Las oportunidades del café en cuanto a sus precios constantes y tendencias al alza en los mercados nicaragüense son buenos y de igual manera para los cafés diferenciados (Medina, 2008). De un 100% de la producción del cultivo de café a nivel nacional, un 85% se comercializa en los mercados extranjeros y el restante 25%, se consume localmente (IICA, 2004).

Nicaragua tiene tres principales departamentos cafetaleros: Matagalpa, Jinotega y Boaco ubicados en la zona norcentral. Estas regiones producen el 83.80% del café nacional, ya que tienen características agroecológicas excelentes para dicho cultivo. Cada lugar es geográficamente diferente, proporcionando diferentes niveles de calidad y cantidad del café. De esta manera, en la región noreste (Madriz, Nueva Segovia y Estelí), se cultiva el 13.60%; en la zona sur del Pacífico (Carazo, Granada, Masaya, Managua y Rivas), un 2.60% y la producción restante está distribuida en los departamentos de Chinandega, León, Chontales, Río San Juan, Región Autónoma del Atlántico Norte y Región Autónoma del Atlántico Sur (MIFIC et al., 2008).

Para Nicaragua, la caficultura es muy significativa; ya que, además de representar dinero, produce empleo tanto estable como temporal (corte de café) (Solórzano, 2012). Este rubro aporta grandes divisas y es por esto el aumento de trabajo (Lumby Guerrero, 2015). El café tiene una importante posición productiva nacional, debido a que en cuarenta años éste rubro ha mantenido buenos márgenes de ganancia, con una producción promedio entre los 24 y 40 qq oro/mz. Por eso, el país ha venido apropiándose de modernas tecnologías y progresos en las habilidades administrativas; lo que ha permitido clasificar las diferentes categorías de productores (pequeño, mediano y grande) (Solórzano, 2012).

En la actualidad, los productores de café pasan por un proceso de certificación para asegurar que su producto cumpla con las normas específicas. Se está promoviendo la realización de productos de calidad sin la utilización de productos químicos, para que al comercializarlo nacional o internacionalmente se genere confianza en lo que se está importando y exportando (Farfán-Valencia & Sánchez-Arciniegas, 2007). Sin embargo, a pesar de estos procesos de certificación, todavía se han observado casos recientes de contaminación. Esto, se puede deber a que ciertas fincas procesadoras de café no están asociadas con las empresas que certifican el café.

La exportación del producto del café es de mucha importancia para Nicaragua. Debido a que es el primer causante de las actividades en las zonas donde se

produce y se cultiva. Su aportación al Producto Interno Bruto (PIB) nacional es representativo (IICA, 2004).

Debido a la importancia que ha alcanzado el cultivo del café, los productores han aumentado el área sembrada, de igual manera su producción (Lumby Guerrero, 2015). Un 95% del café en Nicaragua se siembra en sombra, lo que asegura su calidad (MIFIC et al., 2008). Con ayuda del financiamiento de bancos nacionales y privados, ha logrado recursos para su incremento en los sitios de siembra. Nicaragua, en la actualidad, se registra por su calidad al café, como uno de los mejores; ya que ha venido mejorando en gran medida. Por lo que se obtienen novedosos mercados y de esta manera el incremento de la demanda en muchos países, destinando su mayor exportación a los países de Europa y Estados Unidos. Aun con los problemas que presenta el área cafetalera, el café posee mayores oportunidades para convertirse en sostenible y rentable (Lumby Guerrero, 2015).

En la producción del café se establecen cuatro etapas primordiales, según la cadena agroproductiva de Nicaragua. La primera es la que se realiza en campo (agricultura), mayormente los productores son pequeños. La segunda son los diferentes tipos de beneficio, donde se caracterizan por su infraestructura y la manera en que comercializan el café. La tercera por empresas de tostaduría, y la cuarta y última, la comercialización; ya sea fuera o dentro del país, por intermediarios o directamente (Medina, 2008).

El proceso y comercio del café, además de ser un cultivo financieramente positivo, tiene perjuicios negativos en los recursos hídricos por las aguas mieles que son depositadas mediante el beneficio húmedo y los residuos sólidos. Es por esto que internacionalmente los mercados promueven que la comercialización del rubro vaya de la mano con el ambiente y los países productores están innovando nuevas técnicas (Juárez Martínez, 2006). El café se considera una bebida de interés social (Guardia Puebla, 2012).

2. Beneficio de café

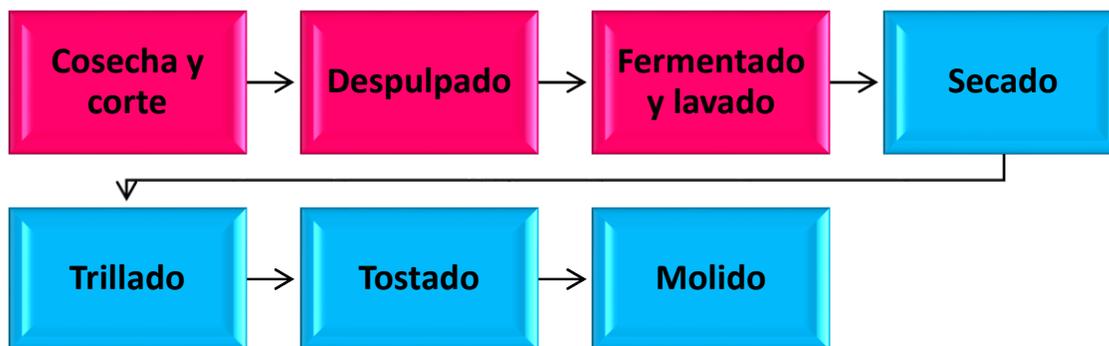
El proceso de beneficiado de café es realizado por los caficultores en sus fincas. Son conocidas dos tipologías de beneficios, siendo el más utilizado el beneficio húmedo de café en las zonas estudiadas y el otro es el beneficio seco (Salazar Hinostroza, 2012).

A. Beneficiado húmedo de café

Es un proceso realizado con agua por gravedad, que consiste en quitar las envolturas del grano mediante movimientos circulares y al mismo tiempo lo clasifica (Xil Barrios, 2012). Surge con el propósito de reducir el tiempo de fermentación del grano obteniéndolo con más rapidez (Álvarez, Smeltekop, Nicanor, & Loza-Murguía, 2011).

En las actividades del café, el beneficio húmedo es el más utilizado en Nicaragua (Xil Barrios, 2012) y en lugares tropicales: Centroamérica, México y Colombia (Álvarez, Smeltekop, Nicanor, & Loza-Murguía, 2011). Dicho proceso trae consigo consecuencias negativas al ambiente, ya que la pulpa y agua proveniente del beneficiado son desechadas a los cuerpos de agua (López Castillo, 2012). Lo que provoca que los caudales de los ríos se reduzcan y suba la concentración de contaminación (Álvarez et al., 2011).

En Nicaragua, para el procesado del café, se encuentran tres tipos de beneficios: El **tradicional** que conforman el 37% de los beneficios nacionales, compuestos en la mayoría de los casos por familias. En general, este tipo de beneficio cuenta con tecnología limitada y técnicas poco amigables con el medio ambiente. Los residuos de este tipo de beneficio son pulpa y aguas mieles, los cuales en su mayoría son vertidos en los cuerpos de agua (Romero Hernández, Reyes Picado, DicoyskiyRioboó, & Pichardo Hernández, 2012).



Fuente: Investigadoras

FIGURA 1. ETAPAS DEL PROCESAMIENTO DEL CAFÉ

El color rosado significa la etapa de beneficiado húmedo y el color azul claro significa la etapa de beneficiado seco.

Los **beneficios empresariales**, que a nivel nacional constituyen el 47% de los beneficios, trabajan en compañía con propietarios independientes o formando parte de la estructura misma del exportador, integran parte del grupo Beneficiador-Exportador-Comercializador interno. Debido a que estos tipos de beneficios tienen una innovadora y actual infraestructura, organización y dinámica empresarial, poseen una mayor capacidad de procesamiento del grano (Romero Hernández et al., 2012).

Los **beneficios independientes** conforman el 16% de los beneficios nacionales. Son compañías con un comercializador definido, las cuales acaparan y venden su grano verde. Estas empresas poseen personal en los mercados internacionales, quienes comercializan y establecen los contratos. Muchas veces, estos beneficios están afiliados a cooperativas que incluyen la parte agrícola, beneficiado y comercialización, dando lugar al beneficio seco (Romero Hernández et al., 2012).

El procesado de los granos de café pasa por diferentes etapas (Figura 1). Las cuales comienzan una vez sembrada y germinada la planta y la obtención del fruto. Luego se lleva a cabo el corte de modo manual (Figura 2a), dicho proceso comienza cuando las plantas de café llegan a su fase adulta y éstas se cargan de frutos. El grano se encuentra listo para cortarse cuando este se torna de color rojo cerezo.

Los cortadores generalmente recopilan el café en canastos que cargan amarrados a su cintura (Diaz Hernandez, 2016).



Fuente: [La noticia](#) (a), Investigadoras (b, c y d)

FIGURA 2. PROCESO DEL BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ

a). Corte de café, **b).** Despulpado, **c).** Fermentación y lavado, **d).** Tratamiento de aguas mieles.

Después viene la fase del beneficiado húmedo, el cual comienza con el despulpado (Figura 2b), lo que sería la fase más significativa del proceso de beneficiado húmedo. Debido a que en esta etapa se ocasionan la mayoría de los defectos que disminuyen el precio y la calidad del producto. Es una fase totalmente mecánica; en la cual la despulpadora separa la pulpa del grano de café. Dicho proceso se debe realizar entre las 10 y 12 horas después de haber cortado el grano, para conservar todas las propiedades del café (Diaz Hernandez, 2016)

A continuación, se procede con el fermentado y lavado (Figura 2c). Después de realizar la fase del despulpado de café se procede a retirar el mucílago (sustancia viscosa que está adherida a la superficie del café). La manera típica de realizar este proceso es por la técnica de fermentado, dejando los granos en una o más pilas por un determinado tiempo (Díaz Hernández, 2016).

Luego, se procede al lavarlo para retirar por completo el mucílago del grano. Este proceso se debe realizar con agua limpia para evitar imperfecciones; tales como, manchas en el grano y sabor a fermentado. Se hace un promedio de cinco lavados en pilas o tanques, haciendo una agitación fuerte y uniforme con una paleta o palo. Las aguas residuales de este proceso se desechan en unas pilas de tratamiento (Figura 2d) (Díaz Hernández, 2016).

B. Beneficiado seco de café

El beneficiado seco de café (Figura 1) es un proceso en el cual los granos de café, provenientes del beneficio húmedo, se exponen rápidamente al secado. Los granos se conservan mediante la deshidratación y son almacenarlos para luego trillarlos. En el trillado se remueven las capas del fruto, dejando solo el grano en oro. Por último, el café pasa por el proceso de torrefacción o tostado para finalmente molerlo (Salazar Hinostroza, 2012).

Según el artículo 38 del decreto 3395 (Disposiciones para el control contaminación provenientes descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias, 1995), las descargas de aguas residuales, ya sea en forma directa o indirecta a cuerpos receptores provenientes de la industria del beneficio de café, deben cumplir con los rangos y límites máximos permisibles descritos en la Tabla 1.

TABLA 1. RANGOS PERMITIDOS POR EL DECRETO 33-95 PARA PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS

Parámetros	Rangos y Límites máximos permisibles promedio diario
pH	6.5-9
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	150
Sólidos sedimentables totales (mg/l)	1.0
DBO (mg/l)	120
DQO (mg/l)	200
Materia Flotante	Ausente
Grasas y Aceites (mg/l)	10

3. El recurso agua: su relevancia en el proceso del café y contaminación

El agua es un compuesto esencial, natural, no renovable para la vida. Es necesario darle un buen uso para seguir satisfaciendo la creciente demanda de agua para tomar, actividades domésticas, para agricultura (riego), la industria, etc. (Prieto García, Callejas Hernández, Reyes Cruz, & Marmolejo Santillán, 2012). Debido a que es un recurso necesario, ha venido desarrollándose con la sociedad y el avance socioeconómico. Por lo que, su contaminación y mal uso de igual manera vienen perjudicando el ambiente (aguas superficiales) y la salud del ser humano; ya sea por falta de propuestas de gestión, por poco conocimiento, conciencia y atraso cultural de la población (López Castillo, 2012).

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 y el crecimiento de la población (Cadena Gómez & Jaramillo Robledo, 2009). Además, la falta de conciencia de manera global acerca del buen manejo del recurso agua, trae como consecuencia enfermedades, conflictos sociales, etc. (Mejía Clara, 2005).

En la industria cafetalera es donde se utiliza grandes volúmenes de agua, en el manejo del procesamiento de beneficiado húmedo de café en la etapa de lavado (Alfaro & Rodríguez, 1994). Estas utilizan las fuentes de agua cercana (quebradas, ríos), ocasionando perturbaciones en los parámetros organolépticos (olor, color), físicos químicos y microbiológicos. Lo que causa enfermedades si no se le da un tratamiento (Giraldo Llano & Obando Hurtado, 2012).

Los subproductos (pulpa, mucílago, broza y aguas residuales) y productos químicos producen modificaciones directas e indirectas al ambiente. El oxígeno encontrado se disminuye en el medio acuático, perturbando flora y fauna presente (Alfaro & Rodríguez, 1994). Los desechos del café provocan transformaciones en los ríos, haciendo más difícil que pueda ser asimilada cuando no son manejadas, ni tratadas correctamente (Prieto García et al., 2012).

La broza, que no siempre es desechada con el agua residual, afecta con malos olores y trae consigo insectos, debido a que son almacenadas alrededor del beneficio. Como es el caso de las comunidades en Nicaragua. También otro producto de desecho es la cascarilla que no causa daño y que es utilizada como combustible para los beneficios (Alfaro & Rodríguez, 1994).

La pulpa y el mucílago presentan de un 40% y 46% del peso del fruto con una contaminación semejante a 20 kg DQO por qq de café oro y el mucílago entre 9% y 11% de peso con una carga equivalente a 6.0 kg de DQO por qq de café oro. En cuanto al mayor contribuyente de contaminación en las aguas superficiales está la pulpa que perjudica más que el mucílago (Guerrero, s. f.) Estos contaminantes generan graves desequilibrios en el ecosistema receptor y en sus componentes. Entre estos efectos contaminantes están los niveles de acidez, contenido de sólidos y demanda química de oxígeno (DQO) (Federación de Cafetaleros de Café de Colombia & CENICAFE, 2011)

El Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE) desarrolla en Colombia tecnologías para reducir el consumo de agua en el proceso de beneficiado húmedo.

Los subproductos son concentrados para transformar la pulpa y el mucílago en medios biológicos, reduciendo en un 75% de reducción la contaminación.

López Castillo (2012) y Rugama Espinoza y Save Monserrat (2013) realizaron estudios independientes sobre el efecto de las aguas mieles del beneficiado húmedo de café desechadas directamente en la subcuenca del Río Jigüina y la microcuenca del Río Cuspire, Yalí, respectivamente. Ambos estudios realizados en el departamento de Jinotega, se llevaron a cabo utilizando la misma metodología, realizando muestreos antes, durante y después de la cosecha del café. También tomaron en cuenta partes alta, media y baja de los ríos. Se observó como resultado para la subcuenca del río Jigüina que las fuentes de agua examinadas se encuentran en una fase de salud de moderado a grave. Por los cambios en las propiedades fisicoquímicas por los subproductos del café, que no necesariamente son vertidos directamente, sino que pueden llegar indirectamente por gravedad o por consecuencia de la escorrentía. Mientras tanto, para la microcuenca del río Cuspire, Yalí sus resultados comprobaron que no hay influencia del beneficiado húmedo en la calidad del agua de consumo, ya que están dentro de lo establecido por las normas de calidad del agua para consumo humano (CAPRE), así como en el decreto 3395 (Rugama Espinoza & Save Monserrat, 2013).

4. Calidad de agua para consumo

La vigilancia del agua potable en base a su calidad conlleva una serie de medidas; como es monitoreo de los procesos de tratamiento, métodos de repartición, operación y resguardo. Dentro de las fuentes de agua, se encuentran un sin número de componentes microbianos y químicos y su determinación en algunos casos es pausada; haciendo difícil la alerta inmediata. Esto trae consigo distintos efectos en la salud, por lo cual, la protección física de estos recursos debe ser planeada consistentemente con acciones de vigilancia. Debido a que no es recomendable confiar en la determinación de calidad, ya que en lo económico no es favorable examinar los parámetros (OMS, 2006).

Para definir la calidad de agua potable se realizan los parámetros organolépticos, físico químico y microbiológicos. Estos factores ayudan a que el agua al momento de suministrarla sea confiable para las diversas utilidades del ser humano (Cázarez-Méndez & Alcántara-Araujo, 2014).

En el siglo pasado, la población mundial se elevó tres veces más y la demanda de agua seis veces más. Lo que ha causado que residuos domésticos e industriales sean los mayores generadores de desechos, derramando regularmente 2 millones de toneladas (Montoya Alvarez & Ospina Gil, 2013).

Según el Ministerio de Salud (MINSA, 2011), hay diferentes tipos de agua para consumo humano. El **agua cruda** es la que se encuentra de manera natural y es usada para suministro sin realizarle algún procedimiento. **Agua tratada** es la expuesta a métodos físicos-químicos y biológicos convirtiéndola en inofensiva para su consumo. El **agua potable** es la utilizada para consumo humano, actividad doméstica e higiene personal.

Hernández Sánchez (2011) cita otras definiciones, como el **agua pura**, que es utilizada en laboratorios de química, biología, etc. y que se consigue por el proceso de destilación. Al igual, el **agua desionizada** pasa por destilación para poder usarla en los procesos químicos. El **agua residual doméstica** producida por las diferentes actividades del ser humano, que provienen de sus hogares y de lugares de servicio. Otra es el **agua industrial**, que son las que generalmente se vierten desde zonas industriales o de comercio y son depositadas en los ríos y fuentes cercanas.

En la determinación de la calidad de agua se utilizan distintos parámetros, entre los más comunes están: Los **parámetros organolépticos** (color, olor y sabor) son importantes para la potabilización de las fuentes de agua, a pesar que no son determinantes de contaminación, la presencia indica que no está correctamente purificada. Los **parámetros microbiológicos** (coliformes totales, coliformes fecales) determinan la calidad de agua para consumo mediante la cantidad de agentes microbianos, heces de animales o humano (Londoño Gaitán, 2014). Los análisis de los **parámetros físico-químicos** (pH, Grasas y Aceites, etc.) se realizan

en aguas para consumo, ya que el aumento o disminución afecta la vida acuática, de forma que pueden dañar la salud del ser humano y los métodos de tratamiento en las aguas (OPS, 2005). Véase Tabla 2 para una breve descripción de los parámetros antes mencionados.

TABLA 2. CLASIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AGUA

Parámetro	Definición	Fuente
<i>Parámetros fisicoquímicos</i>		
pH	Grado de acidez o alcalinidad de una sustancia, fundamental en calidad del agua residual. En concentraciones de 6.5-8 ocurre un desarrollo de la vida biológica, teniendo problemas de tratamiento en los métodos biológicos cuando no se encuentran en los niveles antes mencionadas. Perturbando la viabilidad de microorganismos.	Korsak (2010)
Sólidos suspendidos totales	Llamados sólidos no filtrables, debido a que la muestra permanece en el mecanismo que usan para calificar la calidad de agua.	Berrocal Valerín (2002)
Sólidos sedimentables totales	Son aquellos que sedimentan en situaciones donde no ocurra agitación o movimiento de los sólidos que se encuentran en suspensión en el agua.	Berrocal Valerín (2002)
Demanda química de oxígeno (DQO)	Provee la medida de oxígeno encontrada en la muestra orgánica presente en el agua. Las actividades industriales y humanas producen contaminantes como los desechos agrícolas (herbicidas y pesticidas). Se expresa en mg/l.	Pérez Garrido, León Rodríguez, & Delgadillo García (2013)
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	Parámetro que mide la cantidad de oxígeno que absorben los microorganismos al degradar la materia orgánica. Cuanto mayor sea la	Torres Poveda (2016)

Parámetro	Definición	Fuente	
	<p>materia orgánica en la muestra, más oxígeno se necesita para degradarla. Es expresada en mg/l.</p>		
Materia flotante	<p>Toda sustancia sólida que se encuentra en el agua residual, se realiza esta medida para la vigilancia y proceso de tratamiento de las aguas desechadas. Más que todo esta técnica se da en la observación de una muestra.</p>	Quiñones (2009)	Aceituno
Grasas y aceites	<p>Compuestos orgánicos de origen vegetal y animal que al no ser controladas se almacenan y forma una película en la superficie del agua. Interviene con el intercambio de gases entre el agua y la atmosfera. En el agua evita el acceso de oxígeno y salida de CO₂ en la atmosfera y en casos intensos produce acidificación.</p>	Quiñones (2009)	Aceituno
Temperatura	<p>Es fundamental en los diferentes procesos que se dan en el agua, de modo que si incrementa cambia la solubilidad de las sustancias, los sólidos disueltos y reduce los gases.</p>	Aznar Jiménez (2000)	
Oxígeno disuelto	<p>Es un parámetro que interacciona con la temperatura, cuando se encuentra en su valor máximo y amenora con ella. Es un método que indica calidad de agua.</p>	Aznar Jiménez (2000)	
<i>Parámetros microbiológicos</i>			

Parámetro	Definición	Fuente
Coliformes totales	Conjunto de bacterias que están usualmente en todo ser vivo, en plantas y el suelo. Establecen la calidad bacteriológica de los cuerpos de agua, estableciendo si son aptos para consumo humano.	Castro Muñoz (2009)
Coliformes fecales	Microorganismos bacteriológicos termotolerantes, indol positivo, su nivel de desarrollo óptimo es de 45°C. Son determinantes de calidad por lo que son de origen fecal (animales o ser humano), más que todo en la higiene de alimentos y agua.	Carrillo Zapata & Lozano Caicedo (2008)
<i>Parámetros organolépticos</i>		
Color	Su determinación suele ser visual; aunque no tiene relación con la contaminación de los efluentes, ya que interfieren otras sustancias coloreadas.	Aznar Jiménez (2000)
Olor	Suele ser manifestado en el cuerpo de agua, por la presencia de componente orgánico descompuesto y desechos químicos de las industrias. Los malos olores se producen por sustancias volátiles o gaseosas.	Aznar Jiménez (2000)
Sabor	Se realiza en muestras para agua de consumo. Encontrándose este parámetro relacionado con el olor. Las sales de cobre, zinc o hierro cambian el sabor, sin afectar el color.	Aznar Jiménez (2000)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Área de estudio

La presente investigación se realizó en el departamento de Jinotega, en las comunidades América, Monte Cristo y El Sardinal. El clima del departamento es variado, determinado por las elevaciones y la orientación de sus serranías. La zona más seca es La Concordia con 1300 mm de precipitación y la región de la reserva de Bosawás es la más húmeda con 2500 mm de precipitación anual. La temperatura, en general, es templada bajando a 20°C en Jinotega y hasta 14°C en el macizo de Peñas Blancas (MARENA, 2007).

2. Muestreo

La investigación es de tipo cuantitativa no experimental. Los datos se tomaron antes (Diciembre, 2016), durante (Marzo, 2017) y después (Agosto, 2017) de la cosecha de café. Con esto, se trató de determinar en qué época los ríos, ojos de agua y el agua potable presentan mayor o menor grado de contaminación.

A. Recolecta de muestras de agua potable y ojos de agua

Para los análisis microbiológicos se seleccionaron aleatoriamente tres ojos de agua y tres grifos de agua (potable) que se utilizan para consumo humano. La recolecta de las muestras microbiológicas en ojos de agua se hizo de manera contraria a su caudal. Para las muestras potables, se dejó abierto el grifo durante 3 min. El agua se colectó en recipientes plásticos de 1 L conteniendo tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) al 10%, 8 gotas por cada 120 mL. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Agua del departamento de Biología de la UNAN-León para su posterior análisis.

B. Recolecta de muestras de agua en fincas y ríos

Los análisis fisicoquímicos se realizaron con dos objetivos: El *primero*, para ver si el tipo de beneficio influye en la contaminación de los ríos. Para ello, se tomaron muestras puntuales en 5 fincas productoras de café, cada una con diferentes tipologías de beneficio: con fosas artesanales, con zanja de filtración, lavado en

saco, pilas de tratamiento y vertido directo. La toma del agua se hizo antes y después del punto de vertido de las aguas mieles. La selección de las muestras hizo por conveniencia. El *segundo* objetivo fue determinar la dinámica de contaminación en los ríos de la zona. Para eso se tomaron muestras en tres ríos seleccionando su parte alta, media y baja. La selección de los ríos se hizo aleatoriamente.

Antes que se extrajeran las muestras se enjuagaron los recipientes tres veces. Después las muestras se tomaron de manera contraria al caudal, se llenaron en su totalidad los recipientes y se procuró que no quedaran burbujas en ellos. Posteriormente, los recipientes se sellaron con papel parafil, se rotularon y se depositaron en los termos con hielo. Las muestras fueron trasladadas en recipientes de plástico y recipientes de vidrio ámbar al laboratorio de agua del departamento de química de la UNAN-León para su análisis. Esto porque hubo muestras que no pueden recibir mucha claridad debido al parámetro (DBO, DQO, oxígeno disuelto) que se analizaron.

3. Parámetros analizados

Los parámetros a analizar en ojos de agua y grifos de agua potable fueron coliformes totales ufc/100 ml y coliformes fecales ufc/100 ml (Métodos Estándares Ref. y9221B, Métodos Estándares Ref. 9221C). Los parámetros tomados en los ríos para medir el grado de contaminación por el beneficiado húmedo de café fueron pH, DBO mg O₂/L, DQO mg O₂/L, Sólidos suspendidos totales mg/L, sólidos Sedimentables totales ml/L, Grasas y aceites mg/L. Los análisis de las muestras fueron llevados a cabo por los laboratorios de Agua del departamento de Biología y del departamento de Química.

4. Análisis de los datos

Los análisis de los datos se realizaron mediante el programa SPSS. Se calcularon las medias para todos los parámetros evaluados a excepción de los datos por finca; que fueron tomas puntuales. Se realizaron ANOVA de una vía por etapa del beneficiado (antes, durante y después) en las variables coliformes totales y fecales.

Se llevó a cabo un ANOVA de 2 vías para los parámetros fisicoquímicos por etapa de beneficiado y por la parte del río (alta, media y baja). Se hizo un análisis de correlación entre todos los parámetros fisicoquímicos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Contaminación microbiológica en ojos de agua y agua potable

A. Valores medios de coliformes totales y coliformes fecales

En la Tabla 3, se muestran los valores medios obtenidos de coliformes totales y fecales en dos diferentes fuentes de agua para consumo humano (agua potable y ojos de agua) en las comunidades cafetaleras América, Monte Cristo y el Sardinal en el municipio de Jinotega. Para coliformes totales, se encontraron valores medios de 1000 ufc/100 ml (ojo de agua) y 333.33 ufc/100 ml (agua potable) antes del beneficiado; 5700 ufc/100 ml (ojo de agua) y 1233.33 ufc/100 ml (agua potable) durante el beneficiado; y 366.6 ufc/100 ml (ojo de agua) y 466.6 ufc/100 ml (agua potable) después del beneficiado. Para coliformes fecales, se encontraron valores medios de 33.33 ufc/100 ml (ojo de agua) y 200 ufc/100 ml (agua potable) antes del beneficiado; 300 ufc/100 ml (ojo de agua) y 66.67 ufc/100 ml (agua potable) durante el beneficiado; y 0 ufc/100 ml (ojo de agua) y 100 ufc/100 ml (agua potable) después del beneficiado.

B. Grado de contaminación

Los valores medios de coliformes totales y fecales reportados antes, durante y después del beneficiado fueron mayores al rango permitido para agua de consumo según el Comité Coordinador Regional de Instituciones de agua potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República dominicana (CAPRE, 1994) (≤ 4 ufc/100 ml para coliformes totales y 0 ufc/100 ml para coliformes fecales).

De acuerdo a los rangos establecidos por las normas CAPRE, para coliformes totales y fecales tanto para ojos de agua como para agua potable no se encuentran dentro de lo establecido por dichas normas, en el periodo antes, durante y después del beneficiado.

Exceptuando algunos puntos para coliformes fecales como se puede ver en la Tabla 3. En ojos de agua en el periodo antes del beneficiado en la comunidad Monte Cristo

y El Sardinal. Durante el beneficio, en El Sardinal y después del beneficiado en todas las comunidades se encuentran dentro de lo establecido. Para agua potable en las comunidades El Sardinal (antes del beneficio), América y Monte Cristo (durante) y América y Monte Cristo (después), están dentro del rango establecido.

TABLA 3 COLIFORMES TOTALES Y FECALES PRESENTES EN OJOS DE AGUA Y AGUA POTABLE DE LAS COMUNIDADES AMÉRICA, MONTE CRISTO Y EL SARDINAL, JINOTEGA

Tipo de fuente de agua		de Comunidad	Tiempo de cosecha		
			Antes	Durante	Después
Coliformes Totales*					
Ojo de agua		América	700	7500	300
		Monte Cristo	2200	8500	700
		El Sardinal	100	1100	100
		Media	1000	5700	366.6
Agua potable		América	300	1700	800
		Monte Cristo	600	1500	400
		El Sardinal	100	500	200
		Media	333.3	1233.3	466.6
Coliformes Fecales†					
Ojo de agua		América	100	800	0
		Monte Cristo	0	100	0
		El Sardinal	0	0	0
		Media	33.33	300	0
Agua potable		América	300	0	300
		Monte Cristo	300	0	0
		El Sardinal	0	200	0
		Media	200	66.66	100

*Según normas CAPRE, el límite permitido es ≤ 4 ufc/ 100ml

†De acuerdo a normas CAPRE, el límite permitido es 0 ufc/ 100ml

No obstante, esto no quiere decir que el agua está apta para consumo; ya que, aunque haya unos puntos dentro de lo establecido según las normas CAPRE para coliformes fecales, el agua está contaminada con coliformes totales y esto hace que el agua no sea apta para consumo.

2. Contaminación fisicoquímica según tipología de beneficios

A. Valores de parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 4, se muestran los valores obtenidos para pH, DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites totales en cinco fincas según tipología de beneficio de café en comunidades productoras de café en el municipio de Jinotega.

pH

Antes de la época de beneficiado húmedo de café, el valor más alto muestreado de pH fue de 8.27 para beneficio con fosas artesanales y el más bajo fue de 7.06 para beneficio sin tratamiento.

Durante la época de beneficiado húmedo de café, el valor más alto muestreado de pH fue de 8.59 para beneficio con fosas artesanales y el más bajo fue de 7.35 para beneficio con zanja de infiltración.

Después de la época de beneficiado húmedo de café, el valor más alto muestreado de pH fue de 7.83 para lavado en saco y el más bajo fue de 6.65 para beneficio con fosas artesanales.

DBO5

Antes de la época de beneficiado húmedo de café, el valor más alto muestreado para DBO5 fue de 5.1 mg O₂/L en beneficio con zanja de infiltración y el más bajo fue de 2.28 mg O₂/L para lavado en saco.

Durante la época de beneficiado húmedo de café, el valor más alto muestreado para DBO5 fue de 2.8 mg O₂/L para beneficio con pilas de tratamiento y el más bajo fue de 0.49 mg O₂/L para beneficio con zanja de infiltración.

TABLA 4 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS ANALIZADOS SEGÚN TIPOLOGÍA DE BENEFICIO

Tipo de beneficio	Toma de muestra	Etapa de beneficiado		
		Antes	Durante	Después
pH				
Beneficio con fosas artesanales	Antes	7.38	8.59	6.65
	Después	8.27	7.8	7.41
Beneficio sin tratamiento	Antes	7.08	7.7	7.73
	Después	7.06	7.71	7.55
Beneficio con zanja de infiltración	Antes	7.22	7.35	7.6
	Después	7.19	7.57	7.46
Lavado en saco	Antes	7.37	7.62	7.83
	Después	7.49	7.7	7.5
Beneficio con pilas de tratamiento	Antes	-	-	-
	Después	7.68	7.66	7.54
DBO5 (mg O₂/L)				
Beneficio con fosas artesanales	Antes	2.71	1.42	0.34
	Después	3.33	1.03	0.15
Beneficio sin tratamiento	Antes	4.59	1.23	0.05
	Después	4.73	2.75	0.15
Beneficio con zanja de infiltración	Antes	5.1	0.49	0.05
	Después	2.81	1.03	0.2
Lavado en saco	Antes	3.09	0.83	2.85
	Después	2.28	0.79	0.34
Beneficio con pilas de tratamiento	Antes	-	-	-
	Después	3.51	2.8	0.15
DQO (mg O₂/L)				
Beneficio con fosas artesanales	Antes	24.72	126.54	61.63
	Después	24.72	182.07	61.63
Beneficio sin tratamiento	Antes	24.72	122.57	61.63
	Después	24.72	67.04	61.63
Beneficio con zanja de infiltración	Antes	24.72	61.63	61.63
	Después	24.72	118.6	61.63
Lavado en saco	Antes	24.72	217.77	61.63
	Después	24.72	193.97	61.63
Beneficio con pilas de tratamiento	Antes	-	-	-
	Después	24.72	110.67	24.72

TABLA 4. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS ANALIZADOS SEGÚN TIPOLOGÍA DE BENEFICIO
(CONTINUACIÓN)

Tipo de beneficio	Toma de muestra	Etapa del beneficiado		
		Antes	Durante	Después
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)				
Beneficio con fosas artesanales	Antes	0.02	0.001	0.001
	Después	0.02	0.001	0.001
Beneficio sin tratamiento	Antes	0.07	0.001	0.001
	Después	0.12	0.001	0.001
Beneficio con zanja de infiltración	Antes	0.04	0.001	0.001
	Después	0.23	0.001	0.001
Lavado en saco	Antes	0.03	0.001	0.001
	Después	0.09	0.001	0.001
Beneficio con pilas de tratamiento	Antes	-	-	-
	Después	0.01	0.001	0.01
Sólidos Sedimentables (mg/L)				
Beneficio con fosas artesanales	Antes	0.1	0.1	0.1
	Después	0.1	0.1	0.1
Beneficio sin tratamiento	Antes	0.1	0.1	0.1
	Después	0.1	0.1	0.1
Beneficio con zanja de infiltración	Antes	0.1	0.1	0.1
	Después	0.1	0.001	0.1
Lavado en saco	Antes	0.1	0.001	0.1
	Después	0.1	0.1	0.1
Beneficio con pilas de tratamiento	Antes	-	-	-
	Después	0.1	0.1	0.1
Grasas y Aceites totales (mg/L)				
Beneficio con fosas artesanales	Antes	<0.001	<0.001	<0.001
	Después	<0.001	<0.001	<0.001
Beneficio sin tratamiento	Antes	<0.001	<0.001	<0.001
	Después	<0.001	<0.001	<0.001
Beneficio con zanja de infiltración	Antes	<0.001	<0.001	<0.001
	Después	<0.001	<0.001	<0.001
Lavado en saco	Antes	<0.001	<0.001	<0.001
	Después	<0.001	<0.001	<0.001
Beneficio con pilas de tratamiento	Antes	-	-	-
	Después	<0.001	<0.001	<0.001

Después de la época de beneficiado húmedo de café, el valor más alto muestreado para DBO5 fue de 2.85 mg O₂/L para lavado en saco y el más bajo fue de 0.05 mg O₂/L para beneficio sin tratamiento y con zanja de infiltración.

DQO

Antes de la época de beneficiado húmedo de café, el valor muestreado para DQO se mantuvo constante con 24.72 mg O₂/L para todos los tipos de beneficio.

Durante la época de beneficiado húmedo de café, el valor más alto muestreado para DQO fue de 217.77 mg O₂/L para lavado en saco y el más bajo fue de 61.63 mg O₂/L para beneficio con zanja de infiltración.

Después de la época de beneficiado húmedo de café, el valor muestreado para DQO se mantuvo constante con 61.63 mg O₂/L para 4 tipos de beneficios (con fosas artesanales, sin tratamiento, con zanja de infiltración y lavado en saco) y disminuyó con 24.72 mg O₂/L para beneficio con pilas de tratamiento.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Antes de la época de beneficiado húmedo de café, el valor más alto muestreado para sólidos suspendidos totales fue de 0.23 mg/L para beneficio con zanja de infiltración y el más bajo fue de 0.01 mg/L para beneficio con pilas de tratamiento.

Durante la época de beneficiado húmedo de café, los valores muestreados para sólidos suspendidos totales se mantuvieron constantes con 0.001 mg/L para todos los tipos de beneficios (con fosas artesanales, sin tratamiento, con zanja de infiltración, lavado en saco y beneficio con pilas de tratamiento).

Después la época de beneficiado húmedo de café, el valor muestreado para sólidos suspendidos totales se mantuvo constante con 0.001 mg/L para cuatro tipos de beneficios (con fosas artesanales, sin tratamiento, con zanja de infiltración y lavado en saco) y aumentó con 0.01 mg/L para beneficio con pilas de tratamiento.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Antes de la época de beneficiado húmedo de café, los valores muestreados para Sólidos Sedimentables se mantuvieron constantes para todos los tipos de beneficios con 0.1 mL/L (beneficio con fosas artesanales, sin tratamiento, con zanja de infiltración, lavado en saco y beneficio con pilas de tratamiento).

Durante la época de beneficiado húmedo de café, los valores muestreados para sólidos sedimentables se mantuvieron constantes con 0.1 mL/L para tres tipos de beneficios (con fosas artesanales, sin tratamiento y con pilas de tratamiento), mientras tanto para beneficios con zanja de infiltración y lavado en saco disminuyó con 0.001 mL/L.

Después de la época de beneficiado húmedo de café, los valores muestreados para sólidos sedimentables se mantuvieron constantes para todos los tipos de beneficios con 0.1 mL/L (beneficio con fosas artesanales, sin tratamiento, con zanja de infiltración, lavado en saco y beneficio con pilas de tratamiento).

GRASAS Y ACEITES TOTALES

Antes, durante y después de la época de beneficiado húmedo de café, los valores muestreados para grasas y aceites fueron menores a 0.001 mg/L para todos los tipos de beneficios (beneficio con fosas artesanales, sin tratamiento, con zanja de infiltración, lavado en saco y beneficio con pilas de tratamiento).

B. Grado de contaminación según tipología de beneficios

PH

En las épocas de beneficiado el pH cambia en los tres muestreos, los datos obtenidos en la investigación se encuentran dentro de lo establecido. Excepto en el segundo muestreo, durante la etapa del beneficiado húmedo los rangos del pH sufrieron una pequeña alteración. En el beneficio con fosas artesanales, antes de donde vierten las aguas mieles del café el pH aumento a 8.59.

Según normas CAPRE (1994), los rangos de pH óptimo para consumo humano se encuentran entre 6.5 a 8.5, por lo que, según los datos obtenidos según tipo de

beneficio, se encuentran dentro de lo permitido. También en el decreto 33-95 en el artículo 38, estipula los rangos y límites máximos permisibles provenientes de las descargas de agua del Beneficio de Café, que se encuentran entre 6.5 a 9 encontrando al pH dentro de lo establecido.

Los valores encontrados en este estudio son parecidos a la investigación realizada en la microcuenca Rio Cuspire Yalí, Nicaragua (Rugama Espinoza & Save Monserrat, 2013).

Los rangos de pH óptimo en el consumo y calidad de agua deben ser menor a 8 (base), ya que en valores mayores causan irritación en los ojos y agravamiento de trastornos en la piel (Espinoza, Castillo, & Rovira, 2014).

DBO

Según los resultados obtenidos en la demanda biológica de oxígeno, el agua en la etapa antes del beneficio se encuentra entre muy pura y pureza intermedia en rangos de 2.28 a 5.1 y en las etapas durante y después se encuentran en pureza intermedia con rangos de < 3. Según lo siguiente.

Los rangos para la concentración de DBO5 (ppm), según la calidad del agua son las siguientes: < 3 se encuentra en agua muy pura, un rango entre 3-5 presenta pureza intermedia, >8 es agua contaminada y de 100-400 son residuales urbanas (Orozco, Pérez, González, Rodríguez, & Alfayate, 2005).

DQO

Este parámetro calcula la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos en los cuerpos de agua, donde se ha inhibido el proceso de fotosíntesis en la elaboración de oxígeno en condiciones que ayudan al crecimiento de microorganismos (Rugama Espinoza & Save Monserrat, 2013).

Según el Decreto 33-95, este parámetro se encuentra dentro de lo establecido, donde debe de haber como máximo 200 mg O₂/L y los resultados obtenidos en los tipos de beneficiado en las tres etapas hay un rango de 24.72 a 193.97 mg O₂/L. El

único punto donde hay contaminación es en el lavado en saco en la etapa de beneficiado en el sitio antes del vertido de las aguas mieles con un 217.77 mg O₂/L.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los sólidos abundantes disueltos en los cuerpos de agua, inducen una reacción fisiológica desfavorable en el ser humano. Además de afectar la calidad del agua (Espinoza et al., 2014).

En los resultados obtenidos para tipos de beneficio, este parámetro se encuentra dentro de lo recomendado por el Decreto 33-95, donde su rango mayor es de 150 mg/L. En los tipos de beneficio su rango va de 0.01 a 0.001.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES TOTALES

En el decreto 33-95 (Disposiciones para el control contaminación provenientes descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias, 1995) el rango para esta medida es de 1.0 mg/L. Encontrando que los resultados están dentro de lo normal.

GRASAS Y ACEITES TOTALES

La presencia de estas sustancias en el cuerpo de agua inhibe el desarrollo de las plantas marinas. Debido a que estas forman una capa gruesa en la superficie del agua, haciendo imposible que estas reciban luz para la realización del proceso de fotosíntesis (Hernández Sánchez, 2011).

Para los análisis de esta medida, según el decreto 33-95 está dentro de lo establecido para los tipos de beneficio con 0.001 mg/L. y el rango establecido es de 10 mg/L.

C. Caudal del río en los puntos de muestreo

En la tabla 5 y 6 La conducta del caudal medido en beneficios y ríos presentes en tres comunidades del municipio de Jinotega, muestran que el periodo de beneficiado húmedo de café no afecta el incremento o disminución del caudal. Debido a las

épocas en que se realizaron las mediciones y tomando en cuenta el clima de la zona de estudio se puede decir que el caudal tiende a presentar variaciones por el clima.

TABLA 5 CAUDAL (M³/S) DE LOS RÍOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO PARA ESTUDIO SEGÚN TIPOLOGÍA DE BENEFICIO

Tipo de beneficio	Etapa de beneficiado		
	Antes (12-dic-2016)	Durante (22-mar-2017)	Después (24-ago-2017)
Beneficio con fosas artesanales	0.038	0.044	0.041
Beneficio sin tratamiento	0.021	0.02	0.1
Beneficio con zanja de infiltración	0.022	0.015	0.03
Lavado en saco	0.035	0.036	0.06
Beneficio con pilas de tratamiento	0.94	0.87	0.66

TABLA 6 VALOR MEDIO DEL CAUDAL (M³/S) EN TRES RÍOS DE LAS COMUNIDADES AMÉRICA, MONTE CRISTO Y EL SARDINAL

Río	Parte del río	Etapa del beneficiado		
		Antes (12-dic-2016)	Durante (22-mar-2017)	Después (24-ago-2017)
Río 1	Alta	0.014	0.094	0.07
	Media	0.55	0.57	18.58
	Baja	0.19	0.2	0.17
Río 2	Alta	0.33	0.32	0.27
	Media	0.032	0.146	0.56
	Baja	0.13	0.134	0.12
Río 3	Alta	0.3	0.35	0.44
	Media	0.019	0.014	0.05
	Baja	0.103	0.0625	0.22

3. Contaminación fisicoquímica en los ríos de las comunidades estudiadas

A. Valores medios de parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 7, se muestran los valores medios obtenidos para pH, DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites totales en ríos de las comunidades América, El Sardinal y Monte Cristo en el municipio de Jinotega.

PH

El valor medio más alto encontrado en los ríos fue de 7.79 en la parte media, durante la época de beneficiado. El más bajo fue de 6.89, reportado en la parte media, antes de la época de beneficiado.

DBO

El valor medio más alto hallado en los tres ríos fue de 1.31 en la parte alta, antes de la época de beneficiado. El más bajo fue de 0.21 reportado en la parte alta, después de la época de beneficiado.

DQO

El valor medio más alto localizado en los tres ríos fue de 176.30 en la parte alta, durante la época de beneficiado. El más bajo fue de 35.33 reportado en la parte alta, antes de la época de beneficiado.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

El valor medio más alto encontrado en los ríos fue de 0.6533 en la parte alta, antes la época de beneficiado. El más bajo fue de 0.0010 reportado en la parte alta, media y baja, en la época durante y después del beneficiado húmedo de café.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES TOTALES

El valor medio reportado para sólidos sedimentables totales se mantuvo constante con 0.1 para las partes alta, media y baja. En la época antes, durante y después del beneficiado húmedo de café.

GRASAS Y ACEITES TOTALES

El valor medio reportado para grasas y aceites totales se mantuvo constante con 0.0010 para las partes alta, media y baja. En la época antes, durante y después del beneficiado húmedo de café.

B. Grado de contaminación de ríos

Todos los parámetros fisicoquímicos evaluados se encontraron dentro de lo establecido según el decreto 33-95, artículo 38, exceptuando un dato puntual de DQO, en la parte alta del río 2 durante el beneficiado (305.04 mg O₂/L). El límite permitido para este parámetro es de 200 mg O₂/L. Resultados similares se encontraron en Jigüina (López Castillo, 2012), donde en ninguna variable evaluada se mostró contaminación.

TABLA 7 VALORES MEDIOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN RÍOS DE LAS COMUNIDADES AMÉRICA, MONTE CRISTO Y EL SARDINAL, JINOTEGA

Etapa del beneficiado	Parte del río	Ph	DBO	DQO	Sólidos suspendidos totales	Sólidos sedimentables totales	Grasas y aceites totales
Antes (12-Dic-2016)	Alta	6.98	1.31	35.33	0.6533	0.1	< 0.0010
	Media	6.89	1.08	36.60	0.5667	0.1	< 0.0010
	Baja	6.91	1.25	57.58	0.5600	0.1	< 0.0010
	Media	6.93 ^a	1.21 ^b	43.24 ^a	0.5933 ^b	0.1	< 0.0010
Durante (22-Mar-2017)	Alta	7.59	0.75	176.30	0.0010	0.1	< 0.0010
	Media	7.79	1.01	85.55	0.0010	0.1	< 0.0010
	Baja	7.75	0.36	63.43	0.0010	0.1	< 0.0010
	Media	7.71 ^b	0.71 ^b	108.43 ^b	0.0010 ^a	0.1	< 0.0010
Después (24-Ago-2017)	Alta	7.75	0.21	61.63	0.0010	0.1	< 0.0010
	Media	7.53	0.46	61.63	0.0010	0.1	< 0.0010
	Baja	7.64	0.64	61.63	0.0010	0.1	< 0.0010
	Media	7.64 ^b	0.43 ^a	61.63 ^a	0.0010 ^a	0.1	< 0.0010
Media total	Alta	7.44	0.76	91.09	0.2184	0.1	< 0.0010
	Media	7.40	0.85	61.26	0.1896	0.1	< 0.0010
	Baja	7.43	0.75	60.95	0.1873	0.1	< 0.0010
	Media	7.42	0.78	71.10	0.1984	0.1	< 0.0010

Según la prueba de comparación múltiple de Duncan, las medias con letras diferentes tienen diferencia dentro de un mismo parámetro.

C. Análisis de varianza por *fecha* y por *parte del río*

TABLA 8 RESUMEN DE ANOVA POR FECHA Y PARTE DEL RÍO

Fuente	Suma de los cuadrados Tipo III	gl	Media de los cuadrados	F	P
pH					
Etapa de beneficiado	3.341	2	1.670	26.025	0.000
Parte del río	0.007	2	0.004	0.057	0.945
Etapa x Parte del río	0.151	4	0.038	0.587	0.676
Error	1.155	18	0.064		
DBO (mg O₂/L)					
Etapa de beneficiado	2.792	2	1.396	4.992	0.019
Parte del río	0.56	2	0.028	0.100	0.905
Etapa x Parte del río	0.956	4	0.239	0.854	0.510
Error	5.034	18	0.280		
DQO (mg O₂/L)					
Etapa de beneficiado	20335.240	2	10167.620	5.315	0.015
Parte del río	5394.443	2	2697.222	1.410	0.270
Etapa x Parte del río	17024.908	4	4256.227	2.225	0.107
Error	34435.863	18	1913.103		
Sólidos suspendidos totales (mg/L)					
Etapa de beneficiado	2.105	2	1.053	12.434	0.000
Parte del río	0.005	2	0.003	0.032	0.969
Etapa x Parte del río	0.011	4	0.003	0.032	0.998
Error	1.524	18	0.085		
Sólidos sedimentables (mg/L)					
Etapa de beneficiado	0.000	2	0.000		-
Parte del río	0.000	2	0.000		
Etapa x Parte del río	0.000	4	0.000		
Error	0.000	18	0.000		

TABLA 8 RESUMEN DE ANOVA POR FECHA Y POR PARTE DEL RÍO (CONTINUACIÓN)

Fuente	Suma de los cuadrados Tipo III	gl	Media de los cuadrados	F	P
Grasas y aceites totales (mg/L)					
Etapa de beneficiado	0.000	2	0.000		
Parte del río	0.000	2	0.000		
Etapa x Parte del río	0.000	4	0.000		
Error	0.000	18	0.000		

En la Tabla 8 se puede observar los resultados del ANOVA de dos vías para cada parámetro fisicoquímico analizado. Se encontró diferencia significativa solamente para el factor etapa de beneficiado en tres parámetros: pH, DBO, DQO y sólidos suspendidos totales.

D. Análisis de correlación

En la tabla 9 Se puede observar el análisis de correlación entre las variables fisicoquímicas. Se encontró correlación en los parámetros de pH y DBO ($r = -0.523$, $p = 0.005$) teniendo una correlación negativa moderada y entre sólidos suspendidos totales y pH ($r = -0.669$, $p = 0.000$) con una correlación negativa fuerte y sólidos suspendidos totales y DBO ($r = 0.629$, $p = 0.000$) con una correlación positiva fuerte.

TABLA 9 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LOS RÍOS ESTUDIADOS

	pH	DBO	DQO	Sólidos suspensidos totales	Sólidos sedimentables totales	Grasas y aceites totales
Ph	1	-0.523** (0.005)	0.224 (0.260)	-0.669 (0.000)	-.**	
DBO	-0.523 (0.005)	1	-0.99 (0.625)	0.629** (0.000)	-	-
DQO	0.224 (0.260)	-0.099 (0.625)	1	-0.222 (0.265)	-	-
Sólidos suspensidos totales	-0.669** (0.000)	0.629** (0.000)	-0.222 (0.265)	1**	-.**	-
Sólidos sedimentables totales	._b	._b	._b	._b	-	._b
Grasas y aceites totales	._b	._b	._b	._b	._b	-

** . La correlación es significativa en el nivel 0.01 (2 colas).

b. No se puede calcular porque al menos una de las variables es constante.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los análisis microbiológicos realizados se encontró un 100% de contaminación en el agua para consumo en todas las comunidades estudiadas, por lo tanto no se encuentran apta para consumo por las normas CAPRE.

En los análisis físico-químicos para ríos se encontraron todos los parámetros dentro de lo establecido por el decreto 33-95.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar más estudios relacionados a la producción de café y manejo integrado de los subproductos del grano para poder implementar acciones que contribuyan a la preservación, protección y mejoramiento de los recursos naturales.

Que se les brinde asistencia técnica a los productores de café mediante el proyecto “Fortaleciendo la gestión de los recursos hídricos de comunidades bananeras: Mayor resiliencia frente a la variabilidad climática”, con ayuda de cooperativas, Organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. Para que, de esta manera, los productores puedan hacer uso eficiente de los subproductos del grano (pulpa y aguas mieles), para que de esta manera puedan evitar la contaminación a las fuentes de agua.

Se sugiere al proyecto “Fortaleciendo la gestión de los recursos hídricos de comunidades bananeras: Mayor resiliencia frente a la variabilidad climática” que promueva campañas de sensibilización sobre la problemática de contaminación a causa del mal manejo de los subproductos del café.

Mediante el proyecto antes mencionado, se implementen acciones que contribuyan a mantener la calidad del agua en zonas rurales del país.

IX. REFERENCIAS

- Alfaro, M. D. L. A., & Rodríguez, J. (1994). Impacto Ambiental del Procesamiento del Cafe en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 18(2), 217-225.
- Álvarez, J., Smeltekop, H., Nicanor, C., & Loza-Murguía, M. (2011). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado del café (caffea arabica) implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de la Paz. *JOURNAL OF THE Selva Andina Research Society.*, 1, 9.
- Anacafé. (s. f.). *Los subproductos del café*. Recuperado de https://www.anacafe.org/glifos/index.php/BeneficioHumedo_Subproductos
- Arce, R. (2016, septiembre). *Competitividad y Sostenibilidad del Café en Nicaragua*.
- Aznar Jiménez, A. (2000). Determinación de los parámetros fisico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2(23), 12-19.
- Berrocal Valerín, K. (2002). *Evaluación Fisico-Química y Microbiológica del sistema de tratamiento de aguas residuales en la planta Santa María del beneficio F.J. Orlich ubicado en Orosi*. (Ingeniería). Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Cadena Gómez, G., & Jaramillo Robledo, A. (2009). El papel estratégico del agua y el cultivo del café en Colombia. *Revista ventana al campo tropical*, 1, 40-42.
- CAPRE. (1994). *Normas de calidad del agua para consumo humano*.

- Carrillo Zapata, E. M., & Lozano Caicedo, A. M. (2008). *Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar chromocult* (Licenciatura). Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis203.pdf>
- Castro Muñoz, C. M. (2009). *Coliformes totales*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Cázarez-Méndez, I. G., & Alcántara-Araujo, J. J. (2014). Analisis Microbiológico de la calidad del agua de ciudad Nezahualcóytl, Acorde a la norma oficial Mexicana Nom-127-SSA1-1994 (p. 30). Presentado en Congresos Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación, Buenos Aires, Argentina.
- Díaz Hernández, D. A. (2016). *Diseño de una despulpadora de café*. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C.
- Disposiciones para el control contaminación provenientes descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias, Pub. L. No. Decreto 3395, Artículo 38 (1995).
- Espinoza, V., Castillo, R., & Rovira, D. M. (2014). Parametros Fisico-Quimicos y Microbiologicos como indicadores de la calidad de las aguas de la subcuenca baja del Río David, provincia de Chiriquí, Panamá.
- Farfán-Valencia, F., & Sánchez-Arciniegas, P. M. (2007). *Certificación de fincas de producción de café orgánico*. Chinchiná.

- Federación de Cafetaleros de Café de Colombia, & CENICAFE. (2011). *Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana* (p. 90). Chinchiná: Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia & Cenicafé.
- Giraldo Llano, J. D., & Obando Hurtado, O. (2012). *Sistemas sostenibles para el tratamiento de aguas mieles de café* (Especialización). Corporacion Universitaria Santa Rosa de Cabal UNISARC.
- Grijalva Pineda, A. (2006). *Flora Útil Etnobotánica de Nicaragua*. Managua, Nicaragua: MARENA.
- Guardia Puebla, D. Y. (2012). *Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales de despulpe del beneficiado húmedo de café*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid.
- Guerrero, J. (s. f.). *Diagnostico y Diseño de Beneficios Húmedos de Café*. Managua: IICA.
- Hernández Sánchez, I. (2011). *Tratamiento de aguas residuales para aporte a central térmica de ciclo combinado*. Universidad Carlos III de Madrid, Leganés.
- IICA. (2004). Cadena Agroindustrial del Café en Nicaragua. IICA, MAGFOR & JICA. Recuperado de <http://www.renida.net.ni/renida/iica/e14-j60-ca.pdf>
- Jiménez, E. R. (2014). *Café I (G . Coffea)*, 7(2), 113-132.

- Juárez Martínez, M. E. (2006). *Situación Actual del Beneficiado Húmedo de Café en Nicaragua y una Solución Regulatoria*. (Tesis de Magister). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, León, Nicaragua.
- Korsak, L. (2010). *Sistema de Aguas Residuales para el Sector Café*. Managua: MIFIC.
- Londoño Gaitan, O. P. (2014). *Caracterización de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos del sistema para producir agua desionizada tipo ii, en una industria cosmética*. 16: Universidad Militar Nueva Granada.
- López Castillo, D. (2012). Efecto del vertido directo de las aguas mieles en la calidad físico-química del agua de la Subcuenca del Río Jigüina, Jinotega. *Revista Científica-FAREM Estelí*, (1), 5-16.
- Lumby Guerrero, Y. A. (2015). *Comportamiento de las Exportaciones de Café en Nicaragua en el Período 2009-2013*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- MARENA. (2007). *Plan ambiental de Nicaragua*. Managua.
- Medina, H. (2008). *Perfil del Programa de Reversión y Diversificación Competitiva de la Caficultura Nicaragüense y Seguridad Alimentaria* (p. 28). Managua: MAGFOR, CONACAFE & IICA.
- Mejía Clara, M. R. (2005). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras*. Centro

Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE, Turrialba, Costa Rica.

MIFIC, DPCE, & Departamento de Análisis Económico. (2008). *Ficha Producto « Café »* (p. 47). Nicaragua.

MINSA. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. (Primera, Ed.). Lima-Perú.

Montoya Alvarez, L. F., & Ospina Gil, D. E. L. (2013). *Evaluación de la tratabilidad de la mezcla de aguas residuales procedentes del sector maltería en Manizales* (Tesis de Pre-Grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.

Mora, N. (2008). *Agrocadena de Café*. Ministerio de Agricultura y Ganadería Dirección Regional Huetaar Norte.

OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable* (tercera).

OPS. (2005). *Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero*. Lima.

Orozco, B. ., Pérez, S. ., González, D. M. ., Rodríguez, V. ., & Alfayate, B. J. . (2005). *Contaminación Ambiental: Una visión desde la Química*. Madrid, España.

Pérez Díaz, C., Castillo Ramos, R., Carballo Abreu, L., & Veliz Gutiérrez, J. (2014). *Impacto ambiental en el cultivo y procesamiento del café y su repercusión social*. Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río.

- Pérez Garrido, C., León Rodríguez, F. M., & Delgadillo García, G. R. (2013). *Tratamiento De Aguas*. México D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Prieto García, F., Callejas Hernández, J., Reyes Cruz, V., & Marmolejo Santillán, Y. (2012). Electrocoagulación: Una alternativa para depuración de lactosuero residual. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 5(3), 51-77.
- Quiñones Aceituno, J. E. (2009). *Análisis y propuesta de mejoras en la descarga de aguas residuales, en una industria farmacéutica de medicamentos de venta libre* (Tesis de pregrado). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Rivas, C. (2008). *El Café en Nicaragua: Análisis y descripción del comportamiento del rubro*. Managua: Christian Rivas.
- Romero Hernández, F. O., Reyes Picado, O. D., Dicovski y Rioboó, L. M., & Pichardo Hernández, C. B. (2012). *Caracterización de tres beneficios húmedos colectivos y uno industrializado de café con énfasis en una propuesta de mejora de un modelo de beneficio húmedo colectivo en la Unión de Cooperativa Agropecuaria del Norte UCANOR, Jinotega*. Universidad Nacional de Ingeniería, Estelí.
- Rugama Espinoza, M. I., & Save Monserrat, R. (2013). Efecto vertido aguas mieles en calidad físico-química del agua microcuenca Rio Cuspire Yalí, Nicaragua. *Revista Científica-FAREM Estelí*, (7), 43-53.

Salazar Hinostroza, J. M. (2012). *Estimación del volumen de las aguas residuales vertidos a la cuenca del Río Entaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro* (Informe Técnico). Perú.

Solórzano, J. (2012). *Programa de Mejoramiento Productivo de la Caficultura para Pequeños y Medianos Productores* (p. 78).

Torres Poveda, I. (2016). *propuesta de mejoramiento de las operaciones en la planta de tratamiento de agua residua en el municipio de la calera (CUNDINAMARCA)*, 62.

Xil Barrios, W. A. (2012). *Evaluación de la Eficacia del Tratamiento de Aguas Mieles de un Beneficio Húmedo de Café, localizado en San Juan La Laguna, Sololá* (Ingeniería). Univeridad de San Carlos de Guatemala.