

1^{ra} edición

Estudios sobre Economía Circular e Industria 4.0

I Congreso Internacional de Ingeniería Industrial Aplicada
23, 24 y 25 de mayo del 2023, Guayaquil, Ecuador.

Tema 10

Modelo de economía circular para reutilización
del agua residual en empresas del sector CIU
C-1701.05.

Luis Antonio Chica Castro

Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador
luis.chicac@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-5852-1832>

Erwin Joaquín Murillo López

Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador
erwin.murillo@ug.edu.ec
<https://orcid.org/orcid=0000-0002-5350-5008>

Víctor Hugo Garofalo Largo

Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador
victor.garofalol@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4259-6573>



Resumen

La economía circular es un modelo novedoso que puede contribuir al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS), motivo por el cual, se planteó el objetivo de diseñar un modelo de economía circular para reutilización del agua residual en empresas del sector CIIU C-1701.05 en Ecuador. Para el efecto, se aplicó la metodología cuantitativa, descriptiva, para caracterizar a la industria del papel, así como para indicar las ventajas del uso de sistemas de tratamiento que puedan minimizar el consumo de agua potable. Los resultados evidenciaron que, las PYMES y microempresas participaron con 80% de las fábricas de papel, no obstante, la gran empresa es la más contaminante, al requerir consumos elevados de fibra virgen proveniente de árboles, energía eléctrica, aditivos químicos y agua en niveles de 30-33 m³ por cada tonelada de papel fabricado, generando grave problema al ecosistema, oponiéndose a los principios de sostenibilidad y ecoeficiencia industrial, lo que se verificó porque los parámetros de aguas residuales, superaron 3-4 veces, los límites permisibles del Acuerdo Ministerial 97. El modelo de economía circular, con la inclusión de sistemas de tratamiento de aguas de cero vertidos, para reutilizar agua y utilización de papel reciclado en vez de material virgen, redujeron consumo de agua en proceso del papel, en 85%-90%, reduciendo los niveles de DBO-DQO, sólidos totales-suspendidos, en márgenes del 70%-80% que, se encontraron dentro de límites máximos fijados por Acuerdo Ministerial 97. En conclusión, el modelo de economía circular contribuye a la reducción de contaminación en sector productivo CIIU C-1701.05.

Palabras clave: Modelo, Economía, Circular, Agua, Residual, Industrial, Papel.

Abstract

The circular economy is a novel model that can contribute to the fulfillment of the sustainable development goals (SDGs), which is why the objective of designing a circular economy model for the reuse of wastewater in companies in the ISIC C-sector was set. 1701.05 in Ecuador. For this purpose, the quantitative, descriptive methodology was applied to characterize the paper industry, as well as to indicate the advantages of using treatment systems that can minimize the consumption of drinking water. The results showed that SMEs and microenterprises participated with 80% of the paper mills, however, the large company is the most polluting, requiring high consumption of virgin fiber from trees, electricity, chemical additives and water at levels of 30-33 m³ for each ton of paper manufactured, creating a serious problem for the ecosystem, oppo-

sing the principles of sustainability and industrial eco-efficiency, which was verified because the wastewater parameters exceeded 3-4 times the permissible limits of the Agreement Ministerial 97. The circular economy model, with the inclusion of zero discharge water treatment systems, to reuse water and the use of recycled paper instead of virgin material, reduced water consumption in the paper process by 85%- 90 %, reducing the levels of BOD-COD, total-suspended solids, in margins of 70%-80%, which were found within the maximum limits set by Ministerial Agreement 97. In conclusion, the circular economy model contributes to the reduction of pollution in the productive sector ISIC C-1701.05.

Keywords: Model, Economy, Circular, Water, Residual, Industrial, Paper.

Introducción

La Agenda de Desarrollo Sostenible presentada por la Organización de las Naciones Unidas (2023) en el año 2015, que se espera cumplir totalmente hasta el 2030, destaca la necesidad de proteger los recursos naturales, especialmente los no renovables, como es el caso del agua, el cual está indicado directamente en el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 6, donde se pone de manifiesto la importancia de contar agua limpia y segura, sin embargo, en los ODS 7, 9, 11, 12, 13, 14 y 15, donde se hace referencia a la producción sostenible, así como a la protección de los océanos y de las especies marinas.

Los datos sobre la industria del papel son relevadores, porque ponen de manifiesto la gravedad del problema del uso del agua en la industria del papel, indicando que, en Estados Unidos, con uno de los sistemas productivos más grandes de la región, se necesita un promedio de 54 m³, para la fabricación de una tonelada de pulpa o de algún producto papelerero. El informe es más preocupante, cuando se señala que el 85% del agua de proceso utilizada en este tipo de industrias, se encuentra contaminada (Vidal Daza & Perez Vidal, 2018).

La contaminación del agua utilizada en el procesamiento de las materias primas para la producción de papel, es causada por el contacto que tiene con fibras vegetales de madera que, contienen lignina y taninos, a lo que se añaden la presencia de aditivos químicos que también se emplean con insumos en el proceso productivo en mención, entre los más relevantes se mencionan a los fenoles, dioxinas y furanos, los cuales a su vez, contienen sustancias tóxicas para los ríos, mares y cuerpos de agua, como es el caso del cloro, el peróxido de hidrógeno y otros (Latorre, 2005).

Por ello, en España, según Aedo & Ferrer (2022), se ha tomado la política de vigilar la reducción del consumo de agua, una materia prima vital para enlazar las fibras de papel con todas las fases del proceso productivo, para lo cual, fomentó entre los empresarios de este sector, la disminución del agua de proceso, logrando un decrecimiento del 40% en el uso de esta materia prima, a pesar de un crecimiento del 68% en la producción de pasta de papel, en un lapso de tiempo de 16 años.

La necesidad de reutilizar el agua es imperiosa, debido a que, se trata de un elemento abiótico no renovable e indispensable para la vida. Por este motivo, las industrias papeleras a nivel de Latinoamérica, están gestionando una mayor reducción del agua de procesos en estos procesos productivos, exponiéndose según un reporte de la Cámara de Producción de Colombia, donde afirmó que las empresas fabricantes de papel, pudieron reducir el indicador de m^3 de agua por tonelada producida, el cual pasó de $36 \text{ m}^3/\text{t}$ a $30 \text{ m}^3/\text{t}$, del 2010 al 2020, a pesar de ello, aún falta mucho por hacer para enfrentar adecuadamente esta problemática (García Valero, 2022).

De esta manera, surgió la idea para plasmar la problemática del consumo y contaminación del agua en el proceso de la industria del papel, especialmente aquella que se encuentra codificada en el sector del CIU C-1701.05, el cual pertenece a la fabricación de papel periódico o aquel utilizado para la escritura, impresión, que es uno de los más utilizados por los usuarios ecuatorianos, por su alta demanda en el mercado local y nacional (INEC, 2012).

La investigación concita el interés de la comunidad de ingenieros industriales y expertos en sistemas productivos, quienes aspiran a contar con mayores materiales teóricos de referencia, para contribuir a generar soluciones en un sector industrial que produce alta contaminación al agua y donde es necesaria su reutilización, aplicando los principios de la economía circular, cuyo modelo, según Chaves Ávila & Monzón Campos (2018), pretende establecer una conexión entre estos procesos industriales o artificiales, con aquel que realiza la naturaleza, cuando toma los residuos que generan las especies vegetales y animales que, cumplen una función determinada por la naturaleza y los utiliza en otros procesos necesarios para la conservación de las especies.

Sin duda alguna, la presente investigación tiene importancia metodológica, porque aplica una de las herramientas más importantes en la actualidad, como es la economía circular que, puede contribuir con la reutilización de las aguas residuales que se expulsan de los procesos de elaboración del papel periódico y bond, para volverlos a utilizar en las actividades industriales, como

materia prima reciclada, claro está, después de pasar por un tratamiento que separa las substancias contaminantes del líquido vital.

Por este motivo, la elaboración de este artículo, además de beneficiar a los expertos, profesionales y estudiantes de Ingeniería Industrial y carreras afines, al entregarles un cuerpo teórico de gran relevancia para la continuidad de estudios que definen soluciones en el ámbito de la industria del papel, también aspira a fomentar la toma de conciencia sobre la implementación de los principios de sostenibilidad ambiental en los sistemas productivos, en especial, en esta industria que es altamente contaminante, por requerir grandes cantidades de agua y energía.

Para justificar en teoría, el desarrollo de este estudio, se ha descrito un estado del arte donde se detallan algunos referentes teóricos que pueden servir para la fundamentación del mismo, como se expone seguido:

Se tomó la investigación de Aedo & Ferrer (2022), quienes manifestaron que, tanto en España como en Perú, existe la necesidad de minimizar la expulsión de aguas residuales al ambiente, razón, por la cual, en el país europeo, se redujo en 6 m³ de agua por tonelada de pulpa de papel, los requerimientos de esta materia prima para el proceso de la industria papelera, desde el 2010 al 2020, mientras que, Perú le sigue los pasos a España, obteniendo una reducción de 2 m³/tonelada, en lo relacionado al agua residual que se expulsa de las fábricas de papel.

También se revisó la investigación de Báez (2018), quien consideró elevada la contaminación existente en el Arroyo del Gato de la ciudad de La Plata, especialmente en su orilla, porque en este cuerpo de agua, no solo se vierten las aguas residuales, sino que, además, se depositan ciertos desechos sólidos, siendo las empresas papeleras uno de los principales sectores productivos responsables de este impacto ambiental negativo. No obstante, como paradoja, un emprendimiento que utiliza el papel reciclado como material, para tratar de minimizar la contaminación en el lugar, es cuestionado como uno de los causantes de este impacto.

Otra investigación revisada, fue realizada en Cartagena, Colombia por García Valero (2022), en donde se pudo conocer que, las industrias papeleras, curtiembres, de minas, de purines de cerdo, entre otras, se encuentran entre las que mayor contaminación emiten a los cuerpos hídricos receptores, razón por la cual, propuso la reutilización de las aguas contaminadas, utilizando tratamientos bioquímicos y físicos, con costos accesibles para los pequeños

y medianos empresarios, para remediar el impacto ambiental generado por estas actividades productivas, en esta localidad latinoamericana.

Mientras tanto, en el plano nacional, se revisó el estudio de Bravo Cordero (2023), quienes consideraron la propuesta para la utilización del agua lluvia captada en las empresas que fabrican papel, para procesar el papel reciclado y elaborar diversos productos, de esta manera, no solo se minimizó el consumo de agua potable, sino que, se aprovechó un recurso que proviene de la naturaleza, el cual tiene similar pH que el agua potable (6,6) y menor cantidad de sólidos (de 59 a 54 mg/l). Además de trabajar con tratamientos de las aguas residuales, para continuar aprovechando el agua lluvia que se recoge desde los techos de la propia empresa y darle un enfoque de sostenibilidad a este proceso productivo, que tuvo a la economía circular como su gran pilar.

Como se ha podido apreciar en estos referentes, el enfoque en economía circular, puede direccionar al uso de aguas lluvias y de tratamientos biofísico-químicos, adecuados en las plantas de producción de papel periódico o bond, para reducir los niveles de contaminación que se pueden generar en esta industria, que tiene un elevado consumo del líquido vital y de expulsión de aguas residuales vertidas al exterior.

Con base en estos antecedentes y en el problema descrito, se planteó como objetivo del trabajo investigativo, diseñar un modelo de economía circular para reutilización del agua residual en empresas del sector CIU C-1701.05 en el Ecuador, para lo cual, se requiere describir las características de las empresas papeleras y posteriormente, señalar los mecanismos necesarios para la reutilización del agua residual en estas organizaciones, fiel al modelo de economía circular.

Economía circular

La economía circular constituye una alternativa viable al agotamiento de los recursos, porque trata de mantener las materias primas, por una mayor cantidad de tiempo disponible, a disposición de los procesos productivos, de modo que, se reduzca el desperdicio, es decir, se pueda aprovechar al máximo los recursos, reduciendo su consumo en la naturaleza y disminuyendo el impacto ambiental que ocasionan estos residuos, cuando son expulsados por las industrias al exterior, en calidad de contaminantes (Graziani, 2018).

En el contexto empresarial, el modelo de la economía circular se está llevando a cabo, mediante la reutilización del agua y los recursos energéticos, así como el reciclaje del desperdicio, especialmente de plástico, papel, caucho, entre otros materiales reciclables, lo que genera como consecuencia la

prolongación del ciclo de vida de los productos, para evitar extraer materias primas de la naturaleza y socavar en mayor medida los recursos no renovables (Garabiza *et al.*, 2021).

Cabe destacar que, en la naturaleza, el desperdicio de una especie vegetal o animal, constituye la materia prima para otro proceso que generará un beneficio para otras especies, de esta manera, la muerte de un animal cualquiera o la caída de las hojas, ramas y frutos de los árboles, genera un desperdicio que es aprovechado por la tierra, porque absorbe los minerales de estos residuos y los vuelve a utilizar en beneficio de la alimentación de las plantas, por ejemplo (Almeida-Guzmán & Díaz-Guevara, 2020).

Por este motivo, según Arinas (2018), el principal beneficio que tiene la economía circular, está asociado a la preservación de los recursos naturales, sin embargo, también genera bienestar a las empresas, quienes pueden ahorrar recursos económicos, al reutilizar materias primas recicladas y/o reutilizadas que, no necesitan comprar nuevamente.

Bajo estas concepciones y beneficios que ofrece la economía circular, se planteó el estudio para la propuesta de un modelo de economía circular que, contribuya a la reutilización del agua residual, en las compañías ecuatorianas dedicadas a la manufactura de papel periódico y bond, para cumplir con el objetivo principal del estudio.

Parámetros del agua residual en la industria del papel

Reconociendo que la industria de papel es generadora de contaminación del agua de procesos, por ello, García Velásquez (2019) realizó un análisis del agua residual, en cuatro puntos de la producción de papel que, fueron la circulación M1, gris, Top y TK voltrax, donde se pudo conocer que las variables pH, temperatura y sólidos suspendidos, se encontraban por encima de los parámetros normales de 6-7, 30°C y 1.600 mg/L, respectivamente. Por ello, a través del tratamiento primario de estas aguas residuales, aplicando dosis de 20 a 320 mg/l de coagulante y 100 a 3.100 mg/l de floculantes, se pudo reducir en un 60% los parámetros pH, temperatura y sólidos suspendidos, removiendo los desechos sólidos que se encontraban en el agua residual.

La industria del papel contamina el agua, motivo por el cual el líquido vital que es expulsado en calidad de agua residual, proveniente de los procesos de las fábricas pertenecientes a este sector manufacturero, al ser medido por Merizalde *et al.* (2019), se pudo notar que todos sus parámetros se encontraban fuera de los límites permisibles por las normativas vigentes en el Ecuador, que hace referencia al Decreto 3516, Acuerdo Ministerial 97 del Ministerio

del Ambiente (2015). En este caso, la demanda bioquímica de oxígeno se encontraba en 980,2 mg/L, y la demanda química de oxígeno estaba en 1707, cuando la norma nacional solo acepta 250 DBO y 500 DQO, respectivamente. Además, los sólidos totales y suspendidos sumaron 6.350 y 4.591 mg/l, cifras superiores a 1.600 y 220 mg/l. El tratamiento de aguas residuales propuesto en este caso, pudo reducir estos parámetros de DQO y DBO en 70% y los de sólidos totales y suspendidos en 90%, para ajustarlos a la norma nacional.

Con estos estudios, se puede establecer la contaminación que generan los aditivos químicos y las materias primas provenientes de la pulpa de los árboles, en el agua residual, en donde el análisis de las mismas demostró que, todos los parámetros de estos residuos, se encontraban fuera de los parámetros permisibles por la legislación vigente en cada país considerado, no obstante, también se evidenció que la aplicación de los métodos para el tratamiento de estas aguas residuales, contribuyó a minimizar el nivel de contaminación ambiental, para que el agua pueda ser reutilizada en los procesos de producción de papel y se pueda cumplir con el modelo de economía circular.

La economía circular en la industria del papel

En el caso de la industria papelera, Fraga (2017) manifiesta que, la economía circular se está utilizando para la creación de modelos que fomenten la sostenibilidad, a través del uso de papel reciclado, cuyo propósito consiste en reducir la cantidad de árboles que deben talarse para contar con la materia prima para la producción de pulpa de papel.

Además, la industria papelera requiere grandes cantidades de agua para la producción de diversas gamas y tipos de papeles, por ello, la aplicación del modelo de la economía circular en este sector productivo, debe propiciar la reducción del agua de los procesos industriales para fabricación de sus subproductos, por medio del tratamiento de las mismas y el uso de aguas lluvias que después de transformarse en residual, deben ser debidamente tratadas (Melgarejo, 2019).

La replicación del modelo mediante el cual se pueden reutilizar los residuos que generan los procesos de la industria del papel periódico o bond, es esencial para garantizar su sostenibilidad y sujetarse a la legislación vigente en materia ambiental, para mantener continuidad en las operaciones productivas y maximizar sus niveles de productividad y competitividad en el sector económico en que se encuentra (Porcelli & Martínez, 2018).

En efecto, la economía circular se cumple porque los métodos para el tratamiento de las aguas residuales, deben tener una consecuencia positiva en

la minimización de los contaminantes que contienen los mismos al ser expulsados del proceso para la producción de papel periódico o bond, de modo que, el agua puede ser reutilizada de manera cíclica, para minimizar el consumo del mismo y conservar este recurso renovable, evitando inclusive, la contaminación de los cuerpos hídricos receptores que se encuentran en las laderas donde funcionan las fábricas papeleras.

Materiales y métodos

Se destaca que la metodología aplicada en la presente investigación es de tipo descriptivo, que según Alban *et al.* (2020), caracteriza a las principales variables del estudio. Se escogió la descripción, porque entre sus resultados, trata de caracterizar a las empresas papeleras que funcionan a nivel nacional, las cuales no son muchas en cantidad, pero por su gran tamaño, pueden causar elevados niveles de contaminación al ambiente, indicando los desechos contaminantes que genera.

Además, se emplea un estudio cuali-cuantitativo, porque según Soto (2020) para algunos autores, la cooperación internacional es un factor de prestigio para las instituciones universitarias, mientras que los críticos de una abierta política de internacionalización (norte-sur, este expresa resultados numéricos, en parámetros, así como la profundización de estos hallazgos, para una mejor comprensión de los mismos, vía triangulación metodológica. En efecto, los parámetros cuantitativos pertenecen a los desechos y a los límites permisibles del agua residual proveniente de los procesos industriales para la elaboración del papel periódico y bond, mientras que los cualitativos son fruto de la profundización de este conocimiento.

También se aplica como técnica la observación indirecta que, según Cadena-Iñiguez *et al.* (2017), es un mecanismo para recopilar información sin elaborar preguntas a ningún participante. Por ello, se tomaron los registros elaborados por estas empresas en mención, para conocer el nivel de desechos y los parámetros de las aguas residuales.

La población considerada fueron las empresas del sector CIIU C-1701.05 en el Ecuador que, son aquellas pertenecientes al ramo productivo de las fábricas que elaboran papeles periódicos y el que toma la denominación bond, las cuales, por no ser numerosas, no se requirió ningún procedimiento de muestreo.

El procesamiento de la información se realizó a través de los registros, en donde primero se cumplió con el objetivo específico de caracterizar a estas industrias, desde el punto de vista de su producción y de la generación de desechos, especialmente del agua residual que se expulsa de los procesos.

Además, es necesario esquematizar el modelo de economía circular, como parte del segundo objetivo específico, para lo cual, se debe mencionar los tratamientos mediante los cuales se puede reducir el nivel de contaminantes en el agua residual y contar con este desperdicio, en calidad de materia prima, para reutilizarlo en el proceso productivo.

De esta manera, los resultados del uso de la economía circular en el proceso productivo del papel periódico y bond, deben utilizar los siguientes indicadores comparativos:

Tabla 19.

Parámetros del agua residual del proceso de producción de papel periódico y bond.

Parámetro	Sin tratamiento	Con tratamiento	Normativa
pH	6 a 8	6-7	6-7
DQO	1.707 mg/l	426,75 mg/l	500 mg/l
DBO	980,2 mg/l	245,05 mg/l	250 mg/l
Sólidos totales	6.350 mg/l	1.587,5 mg/l	1.600 mg/l
Sólidos suspendidos	4.591 mg/l	229,55 mg/l	220 mg/l

Nota. Adaptado de *Acuerdo Ministerial 97*, por Registro Oficial Edición Especial 387, 2015

Estos parámetros comparativos, sirven para establecer los cambios que se generan con el uso de los métodos para el tratamiento de las aguas residuales, los cuales contribuyen a la reutilización del agua residual en el proceso productivo, para reducir los gastos en la compra de estas materias primas en la empresa y el beneficio que se ocasiona al ambiente, al liberarlo de la contaminación.

Resultados y discusión

Los resultados del primer objetivo específico que, procura describir las características de las empresas papeleras, se evidenciaron en las siguientes tablas y figuras:

Tabla 20.

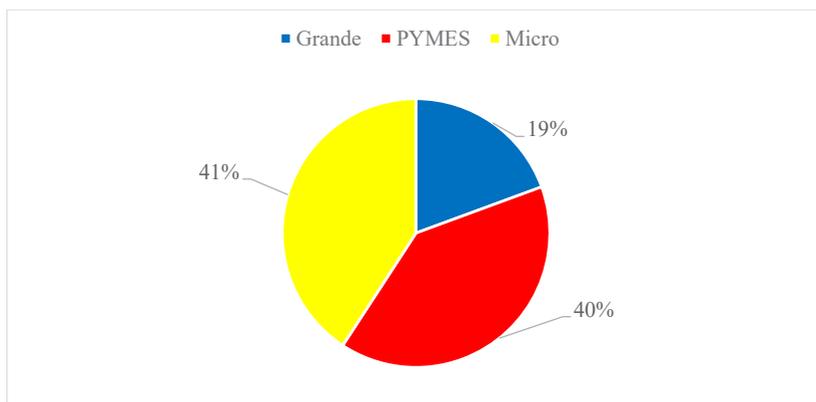
Clasificación de empresas papeleras clasificadas según tamaño en Ecuador.

Tamaño de empresa	Cantidad
Grande	20
PYMES	41
Micro	42
Total	103

Nota. Adaptado de *Empresas papeleras*, por Superintendencia de Compañías, 2022, (www.supercias.gob.ec)

Figura 38.

Clasificación de empresas papeleras clasificadas según tamaño en Ecuador.



Nota. Adaptado de *Empresas papeleras*, por Superintendencia de Compañías, 2022, (www.supercias.gob.ec)

Se observa una mayor participación de las PYMES y microempresas papeleras con 81%, sin embargo, son las grandes las que necesitan mayor cantidad de agua, energía y pulpa de árboles, para trabajar, sobre todo, cuando no existen los tratamientos adecuados ni se practica el reciclaje en proporciones suficientes:

Tabla 21.

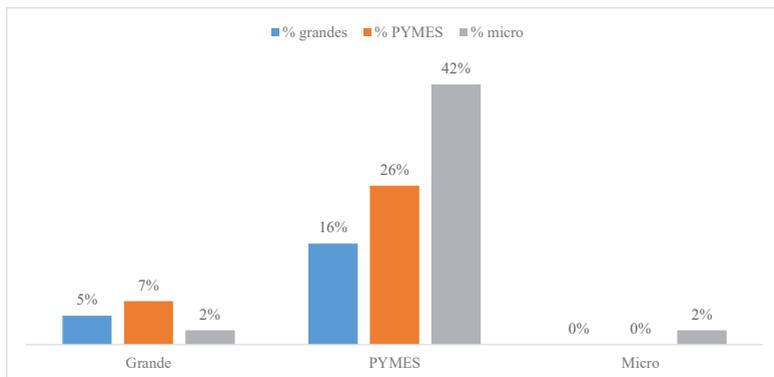
Clasificación de empresas papeleras clasificadas según tamaño en la Zona 8, Guayas.

Tamaño de empresa	Grandes	% grandes	PYMES	% PYMES	Micro	% micro	Total	% total
Grande	2	5%	3	7%	1	2%	6	14%
PYMES	7	16%	11	26%	18	42%	36	84%
Micro		0%		0%	1	2%	1	2%
Total	9	21%	14	33%	20	47%	43	100%

Nota. Adaptado de *Empresas papeleras*, por Superintendencia de Compañías, 2022, (www.supercias.gob.ec)

Figura 39.

Clasificación de empresas papeleras clasificadas según tamaño en la Zona 8, Guayas.



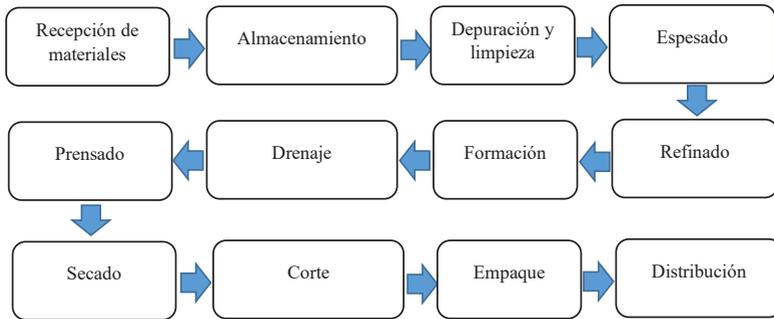
Nota. Adaptado de *Empresas papeleras*, por Superintendencia de Compañías, 2022, (www.supercias.gob.ec)

De la misma manera, a pesar que la participación de las PYMES microempresas papeleras con 79%, son mayoritarias en la zona 8, no obstante, se ha puesto mayor énfasis en la gran empresa, dada la elevada cantidad de recursos, como el agua y la energía que, requieren para sus operaciones. En la provincia del Guayas, las empresas más importantes, son Papelera Nacional y Papelesa, entre las grandes fábricas.

Prosiguiendo con la caracterización de las empresas que producen papel periódico y bond, se ha esquematizado las fases más importantes del proceso productivo en mención, como se indica seguido:

Figura 40.

Proceso general en empresas papeleras.



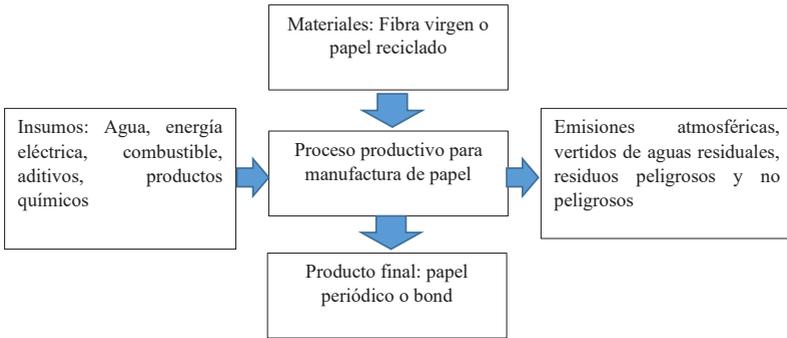
Nota. Adaptado de *Análisis del comportamiento del ciclo de vida del producto y las metas ambientales del Ecuador para la aplicación de la economía circular en empresas del sector manufactura, CIU C-17 fabricación del papel y de productos de papel*, por Navarrete Rocafuerte, 2022, Universidad de Guayaquil.

El proceso que empieza por la recepción de materiales, sean reciclados o nuevos, después de su almacenamiento temporal, continúa hacia su depuración y espesado, donde interviene el agua de procesos, de allí, hasta el refinado, el agua continúa siendo una materia prima importantes en estas tareas manufactureras, previas al secado, donde se expulsa vapor de agua y su empaque para la distribución final del papel periódico o bond.

Este proceso que utiliza agua y aditivos químicos como fenoles, dioxinas y furanos, además de las propias ligninas y taninos de las fibras vegetales de madera, genera los siguientes impactos ambientales:

Figura 41.

Impacto ambiental generado por las industrias papeleras.



Nota. Adaptado de *Análisis del comportamiento del ciclo de vida del producto y las metas ambientales del Ecuador para la aplicación de la economía circular en empresas del sector manufactura, CIIU C-17 fabricación del papel y de productos de papel*, por Navarrete Rocafuerte, 2022, Universidad de Guayaquil.

Se observa que, el agua es una de las materias primas esenciales para la producción del papel, razón por la cual, es necesario conocer cómo impactan al ambiente, los vertidos de aguas residuales combinados con aditivos químicos que, se expulsan como parte del proceso de fabricación del producto en mención.

Con base en esta información, se presentó la cantidad de desechos que puede generar una industria papeleras en la Zona 8:

Tabla 22.

Desperdicios no recuperables en la industria papelera.

Tamaño de empresa	Cantidad
Desechos industriales del molino	7,36 millones Kg.
Lodos del clarificador	4,36 millones Kg.
Lodos de trampa molino 2	549 mil Kg.
Lodos de trampas molino 1	189 mil Kg.
Lodos con metal	109 mil Kg.
Otros desperdicios	15 mil Kg.
Agua no recuperada 20%	6 m ³ /ton. manufacturada de papel

Nota. Adaptado de *Propuesta de utilización de agua lluvia en el proceso de papel reciclado. Enfoque desde la economía circular*, por Bravo Cordero, 2023, Universidad del Azuay

Mientras tanto, los datos correspondientes a los parámetros de las aguas de proceso en la producción de papel, fueron los siguientes:

Tabla 23.

Parámetro de aguas residuales en la industria papelera.

Parámetro	Obtenidos	Límite máximopermisible	Diferencia
pH	6,7	6-7	
DQO	1707 mg/l	500 mg/l	1.207 mg/l
DBO	980,2 mg/l	250 mg/l	730,2 mg/l
Sólidos totales	6.350 mg/l	1.600 mg/l	4.650 mg/l
Sólidos suspendidos	4.591 mg/l	220 mg/l	4.371 mg/l

Nota. Adaptado de *Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria de papel*, por Merizalde *et al.*, 2019, Revista politécnica

Con estos datos, se conoce la afectación que sufre el agua de proceso, durante la producción depapel periódico y bond, para pasar a la descripción del siguiente objetivo.

A propósito del modelo de economía circular en las fábricas papeleras, para la reutilización de las aguas residuales, es preciso esquematizar el ciclo de vida del papel, como se evidencia seguido:

Figura 42.

Ciclo de vida del papel.



Nota. Adaptado de *Análisis del comportamiento del ciclo de vida del producto y las metas ambientales del Ecuador para la aplicación de la economía circular en empresas del sector manufactura*, CIIU C-17 fabricación del papel y de productos de papel, por Navarrete Rocafuerte, 2022, Universidad de Guayaquil.

El ciclo de vida del papel inicia con la tala de árboles, debido a que una de las principales materias primas para la fabricación de este producto, en conjunto con el agua, es la pulpa de los árboles. No obstante, a partir que los materiales se procesan y se transforman en productos, se debe reciclar el mismo, para que vuelvan a ingresar al proceso productivo, evitando la tala de árboles.

Según la web site de la Universidad del País Vasco (2023), el ahorro de agua, energía, madera, al reciclar el papel y utilizar en la producción de este producto, es el siguiente:

Tabla 24.

Ahorro ambiental al producir papel con materia prima reciclada, considerando un paquete de 500 hojas de papel bond.

Materia prima	Consumo normal	Ahorro en %	Ahorro en consumo
Agua	79,4 litros	61%	48,43 litros
Energía	16,3 Kw-hora	61%	9,94 Kw-hora
Madera	7,5 Kg	100%	7,5 Kg.

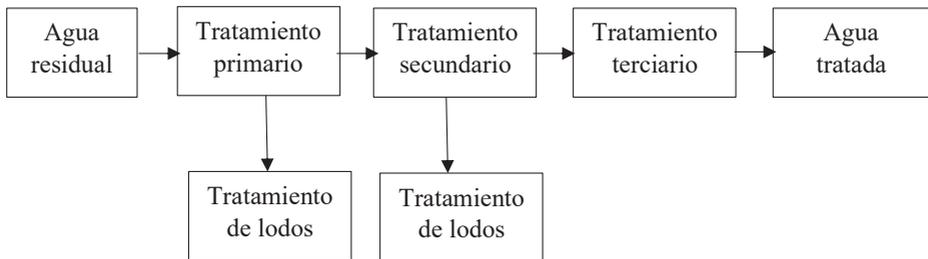
Nota. Adaptado de *¿Quieres conocer el impacto ambiental del papel/cartón residuo y cuidar el medio ambiente?*, por Universidad del País Vasco, 2023, ehu.eus (<https://www.ehu.eus/es/web/araba/campus-iraunkorra-pape-ra-eta-kartoia>)

Sin embargo, no solo el uso de material reciclado como materia prima para la elaboración de papel, constituye un mecanismo certero para la reducción del agua, sino que, además, se puede reutilizar el agua, mediante el uso de sistemas de tratamiento que, permitan descargar el líquido vital a un vertedero seguro, inclusive, reutilizando la mayor parte del agua, de modo que, se reduzca al mínimo el desperdicio del líquido vital.

El proceso general del tratamiento de las aguas residuales en las fábricas papeleras, se esquematiza seguido:

Figura 44.

Ciclo para el tratamiento de aguas residuales en industria papelera.



Nota. Adaptado de *¿Quieres conocer el impacto ambiental del papel/cartón residuo y cuidar el medio ambiente?*, por Universidad del País Vasco, 2023, ehu.eus (<https://www.ehu.eus/es/web/araba/campus-iraunkorra-pape-ra-eta-kartoia>)

Este tipo de tratamiento de las aguas residuales, no es costoso, pero es muy eficiente, por ello, se sugiere a las industrias papeleras a implementarlo.

En este contexto, se pueden utilizar procesos de homogenización, oxidación, filtración de efluentes y osmosis, para el tratamiento de las aguas residuales, todos los cuales se enlazan con la tecnología cero vertidos, como es el caso de la tecnología Zero Liquid Discharge (ZLD), que también trata de impedir vertidos o descarga de aguas residuales, porque se procura aprovechar al máximo el agua de procesos.

Figura 45.

Tratamiento de aguas residuales en industria papelera.



Nota. Adaptado de *La función del “Zero Liquid Discharge” (ZLD) en el tratamiento de residuos peligrosos*, por HRS, 2018, hrs-heatexchangers (<https://www.hrs-heatexchangers.com/es/noticias/la-funcion-del-zero-liquid-discharge-zld-en-el-tratamiento-de-residuos-peligrosos/>)

Además, la garantía de recuperación del agua de procesos, radica en una óptima separación de los componentes peligrosos y no peligrosos, entre los primeros se citan los aditivos químicos y en entre los segundos se citan a los lodos provenientes de las materias primas vírgenes o del papel reciclado, por lo que se puede recuperar entre el 90% al 95% del agua residual.

Bajo el uso de estos tipos de tratamientos de aguas residuales con cero vertidos, se aspira a obtener los siguientes indicadores en el agua de procesos:

Tabla 25.

Indicadores esperados con el tratamiento de cero vertidos en las aguas residuales de la industria papelera.

Parámetro	Sin tratamiento	Con tratamiento	Normativa
pH	6-7	6-7	6-7
DQO	1.707 mg/l	350 mg/l	500 mg/l
DBO	980,2 mg/l	200 mg/l	250 mg/l
Sólidos totales	6.350 mg/l	1.400 mg/l	1.600 mg/l
Sólidos suspendidos	4.591 mg/l	220 mg/l	220 mg/l

Nota. Adaptado de *Acuerdo Ministerial 97*, por Registro Oficial Edición Especial 387, 2015

Esto significa que, el modelo de economía circular que, incluye el uso de papel reciclado en vez de materia prima virgen, así como la utilización de sistemas de tratamiento de aguas residuales de cero vertidos, consigue reducir del 90% al 95% el agua de procesos y mantener los parámetros permisibles del líquido vital, bajo los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 97, vigente en el Ecuador.

Discusión

Los resultados evidenciaron las principales características de las empresas papeleras, mencionando que, a pesar de ser las PYMES y microempresas mayor en número (80%), en los cantones de Guayaquil, Durán y Samborombón, es la gran empresa la que ocasiona mayor contaminación, debido a que su producción es hasta 20 más alta que las compañías de menor tamaño.

El hallazgo de mayor relevancia que confirma lo mencionado en el primer párrafo, se encuentra relacionado con la descripción de los impactos ambientales que genera esta industria, en donde el elevado consumo de fibra virgen proveniente de los árboles, energía eléctrica, aditivos químicos y agua, este último en niveles de 30 a 33 m³, por cada tonelada de papel fabricado, generan un grave problema al ecosistema y se oponen a los principios de sostenibilidad y ecoeficiencia industrial.

Además, la contaminación del agua de procesos, generada en la producción de papel periódico y bond, ha sido verificada porque en varios estudios se pudo conocer que los parámetros del agua residual cuadruplicaron o triplicaron los límites máximos permisibles fijados en el Acuerdo Ministerial 97, vigente en el plano nacional.

Al respecto, el estudio de Merizalde *et al.* (2019) comprobó una reducción del 75% al 80% de los parámetros del agua residual, mediante el uso de un sistema de tratamiento de aguas residuales, con la metodología de vertido cero, el cual contribuyó al mantenimiento de estos parámetros, bajo los límites permisibles fijados en el Acuerdo Ministerial 97.

Asimismo, García Velásquez (2019) pudo verificar una reducción de los sólidos suspendidos y totales, a niveles del 85%, con la aplicación del sistema de tratamiento de aguas residuales con cero vertidos, el cual incluso contribuyó a reducir la temperatura del agua, al separar adecuadamente los lodos del agua de procesos y dejarla apta para su reutilización en el proceso productivo de elaboración de papel.

Además, como parte de la discusión, es digno de destacar la importancia que han tenido los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la minimización de la contaminación del agua de procesos y en la aplicación del modelo circular, en donde se estima que el reúso del líquido vital, así como el reemplazo de papel reciclado en vez de pulpa de madera, como materia prima principal para la elaboración del papel periódico o bond, constituyen las dos opciones de mayor envergadura, para el cumplimiento de los principios de la economía circular en las fábricas papeleras.

Así lo manifiesta Graziani (2018), al manifestar que el modelo de economía circular busca cero desperdicio, al aprovechar al máximo los recursos que pone a disposición la misma naturaleza o en el caso de la industria papelera, la acción humana, para generar un ciclo de producción sostenible que, logre preservar los recursos no renovables, como el agua, por ejemplo.

Estos resultados también coinciden con el estudio de Aedo & Ferrer (2022), quienes obtuvieron una reducción del agua en proceso de producción del papel, igual a 6 m³ por tonelada de papel fabricado, al aplicar el modelo de economía circular, consistente en el reciclaje del papel y el tratamiento efectivo del agua de procesos.

De igual manera, Bravo Cordero (2023) consiguieron reducir la cantidad de sólidos en las aguas residuales, en 54 mg/l, es decir, en el 90% de los sólidos suspendidos, al utilizar el modelo de economía circular que, además de implementar un sistema de tratamiento de las aguas residuales, también implantó una infraestructura para la captación del agua de lluvias y su uso en las tareas de manufactura del papel periódico y bond, para aplicarla de manera cíclica en esta industria.

Finalmente, se pudo conocer que, la aplicación del modelo de economía circular, influye en la reutilización del agua residual en los procesos productivos efectuados por las empresas del sector CIU C-1701.05 en el Ecuador, para reducir el despilfarro del líquido vital, minimizando gastos y generando mayor ecoeficiencia, para preservar los recursos naturales y potenciar los indicadores de productividad y competitividad de este sector productivo.

Conclusión

Las principales características de las empresas papeleras, es que se encuentran conformadas en su mayoría por las PYMES y microempresas, pero es la gran empresa la que ocasiona mayores impactos ambientales, por el alto consumo de fibra virgen proveniente de los árboles, energía eléctrica, aditivos químicos y agua en niveles de 30 a 33 m³ por cada tonelada de papel fabricado, generando un grave problema al ecosistema y oponiéndose a los principios de ecoeficiencia, los cuales fueron verificados por la cuadruplicación o triplicación de los límites máximos permisibles de las aguas residuales, como DQO, DBO, sólidos suspendidos y totales, fijados en el Acuerdo Ministerial 97, vigente en el país.

En conclusión, el modelo de economía circular contribuye a la reducción de la contaminación en la industria papelera, mediante la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales y el reemplazo de la pulpa de madera por papel reciclado, como materia prima principal para la elaboración del papel periódico o bond, constituyendo las dos opciones de mayor envergadura, para el cumplimiento de los principios de la economía circular en el sector productivo CIU C-1701.05.

Referencias

- Aedo, F. G. P., & Ferrer, G. R. (2022). Reutilización de aguas en España y el Perú: avances y desafíos. *Sostenibilidad Económica, Social y Ambiental*, 4, 75–100. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad2022.4.05>
- Alban, G. P. G., Arguello, A. E. V., & Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), 163–173. [https://doi.org/https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)

- Almeida-Guzmán, M., & Díaz-Guevara, C. (2020). Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. Avances en Ecuador. *Estudios de La Gestión. Revista Internacional de Administración*, 8, 34–56. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.10>
- Arinas, R. J. S. (2018). Economía circular: líneas maestras de un concepto jurídico en construcción. *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 10(1 SE-Estudis). <https://raco.cat/index.php/rcda/article/view/359759>
- Báez, S. (2018). *La Cooperativa Unión Papelera Platense: Entre la producción y la contaminación. Un estudio del conflicto ambiental en torno al vertido de efluentes en el Arroyo del Gato* [Universidad Nacional de La Plata]. <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.1559/te.1559.pdf>
- Bravo Cordero, M. (2023). *Propuesta de utilización de agua lluvia en el proceso de papel reciclado. Enfoque desde la economía circular* [Universidad del Azuay]. <https://doi.org/https://doi.org/https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12796>
- Cadena-Iñiguez, P., Rendón-Medel, R., Aguilar-Ávila, J., Salinas-Cruz, E., Cruz-Morales, F. D. R. D. L., & Sangerman-Jarquín, D. M. (2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1603–1617.
- Chaves Ávila, R., & Monzón Campos, J. L. (2018). La economía social ante los paradigmas económicos emergentes: innovación social, economía colaborativa, economía circular, responsabilidad social empresarial, economía del bien común, empresa social y economía solidaria. *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 93, 5. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.93.12901>
- Fraga, M. A. C. H. D. C. (2017). *A economia circular na indústria portuguesa de pasta, papel e cartão* [Universidad de Nova]. https://run.unl.pt/bitstream/10362/21794/1/Fraga_2017.pdf
- Garabiza, B., Prudente, E., & Quinde, K. (2021). La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador: Estudio de caso. *Revista Espacios*, 42(02), 222–237.
- García Valero, A. (2022). *Regeneración y reutilización de aguas contaminadas mediante la aplicación de tratamientos físicos, químicos y biológicos de bajo coste y respetuosos con el medioambiente* [Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://doi.org/10.31428/10317/11393>

- García Velásquez, S. (2019). *Optimización a escala laboratorio del sistema de tratamiento de agua residual de una industria papelera* [Universidad Autónoma e Occidente]. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11734/T08905.pdf?sequence=5>
- Graziani, P. (2018). *Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina*. CAF Development Bank Of Latinamerica.
- HRS. (2018). *La función del “Zero Liquid Discharge” (ZLD) en el tratamiento de residuos peligrosos*. 10-09-2018. <https://www.hrs-heatexchangers.com/es/noticias/la-funcion-del-zero-liquid-discharge-zld-en-el-tratamiento-de-residuos-peligrosos/>
- INEC. (2012). *Clasificación Nacional de Actividades Económicas*. <https://doi.org/https://doi.org/https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/descargas/ciiu.pdf>
- Latorre, A. (2005). *Contaminantes orgánicos en procesos de depuración de aguas residuales de industrias papeleras*. Universitat de Barcelona.
- Melgarejo, J. (2019). *Congreso Nacional del Agua Orihuela Innovación y Sostenibilidad*. Universitat d'Alacant. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88467/1/Congreso_Nacional_Agua_2019_27-52.pdf
- Merizalde, E., Montenegro, L., & Cabrera, M. (2019). Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria de papel. *Revista Politécnica*, 43(1), 7–14.
- Navarrete Rocafuerte, S. Y. (2022). *Análisis del comportamiento del ciclo de vida del producto y las metas ambientales del Ecuador para la aplicación de la economía circular en empresas del sector manufactura, CIIU C-17 fabricación del papel y de productos de papel*. Universidad de Guayaquil.
- ONU. (2023). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. 2023. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Porcelli, A. M., & Martínez, A. N. (2018). Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. *Revista Derecho GV*, 14(3), 1067–1105. <https://doi.org/10.1590/2317-6172201840>
- Registro Oficial Edición Especial 387. (2015). *Acuerdo Ministerial 97*. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

- Soto, R. M. S. (2020). El método mixto para el análisis de la cooperación académica entre universidades como factor de prestigio internacional: una elección metodológica para una realidad compleja. *Communication & Methods*, 2(2), 134–148. <https://doi.org/10.35951/v2i2.84>
- Superintendencia de Compañías. (2022). *Empresas papeleras*. <https://www.supercias.gob.ec/portalscvs/index.htm>
- Universidad del País Vasco. (2023). *¿Quieres conocer el impacto ambiental del papel/cartón residuo y cuidar el medio ambiente?* 2023. <https://www.ehu.eus/es/web/araba/campus-iraunkorra-papera-eta-kartoia>
- Vidal Daza, O. A., & Perez Vidal, A. (2018). Estimación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Emitidos por una Industria Papele-
ra Mediante el Modelo AERMOD. *Ingeniería*, 23(1), 31. <https://doi.org/10.14483/23448393.12262>