



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN

Propuesta de utilización de agua lluvia en el proceso de papel reciclado. Enfoque desde la economía circular.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

Ingeniero de la Producción y Operaciones

AUTOR:

Marielisa Bravo C.

DIRECTOR:

Ing. Jonnatan Avilés González Dr. Sc.

Cuenca – Ecuador

2023

DEDICATORIA

A Xavier y Silvia por ser la combinación perfecta entre disciplina y diversión, por enseñarme que lo que se hace con propósito y amor casi nunca falla. A Juliana, por ser mi compañera de todo y hacerme acuerdo de reír siempre. A ustedes tres, por siempre estar, por siempre dar.

A mi familia y amigas por creer en mí y recordarme que me lo merezco.

A Viviana por ser mi ejemplo a seguir, mi maestra, mi segunda madre.

A mis profesores porque no sólo me inspiraron, sino que mi sueño se convirtió en algún día ser una de ellos.

A mis compañeros por acompañarme en este camino, que seguramente será uno de los más lindos de toda mi vida.

A Carlos Andrés por ser el verdadero concepto de mejor amigo: ser mi equipo estando cerca y apoyarme estando lejos.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Sc. Jonnatan Avilés por su gran aporte en la realización de este trabajo y en toda mi formación académica y personal.

Al proyecto MACCARD-UDA y a la Unión Europea por su colaboración con información relevante para el desarrollo de esta investigación.

Propuesta de utilización de agua lluvia en el proceso de papel reciclado. Enfoque desde la economía circular.

Marielisa Bravo Cordero

Ingeniería de la Producción y Operaciones, Universidad del Azuay

Cuenca, Ecuador

marielisabravoc@uazuay.edu.ec

Resumen Este artículo tiene como objetivo generar una propuesta para el uso sostenible del agua en el proceso artesanal de papel reciclado de la futura planta de Ingeniería de la Producción de la Universidad del Azuay. Con el fin de diseñar un sistema de recolección de agua lluvia, se lleva a cabo un estudio estadístico del comportamiento del agua en la fabricación de un lote de papel reciclado. Por un lado, se define la cantidad y calidad del agua potable para conocer las necesidades que debe cubrir el sistema de aprovechamiento de agua lluvia y, por otra parte, se evalúa el residuo líquido para cuantificar el desperdicio y la calidad con la que es desechado. Se evalúa la calidad del agua de la lluvia de la zona y, con ella, se manufactura un lote de papel reciclado. Los resultados muestran que el uso de agua lluvia no afecta la calidad del papel, se trabajó en torno a la metodología SCAPT (Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos). Adicionalmente, se considera la necesidad de tratar los desechos líquidos para asegurar el manejo del recurso hídrico a través de los principios de economía circular.

Palabras clave: papel reciclado; agua lluvia; sistema de aprovechamiento de agua lluvia; líquido residual; economía circular.



Marielisa Bravo C.
Autora



Ing. Damían Encalada A.
Director de la Escuela



Ing. Jonnatan Avilés G.
Director del Trabajo de Titulación

Abstract- This paper aims to develop a proposal for the sustainable use of water in the artisan process of recycled paper production at the Universidad del Azuay's future plant. In order to design a rainwater harvesting system, a statistical study of the behavior of water in the manufacture of a recycled paper batch was carried out. On the one hand, potable water quantity and quality is defined to meet the needs that the rainwater harvesting system must cover. On the other hand, liquid residuals are evaluated to quantify the waste and measure its quality. Moreover, the rainwater quality of the area is evaluated and recollected to manufacture a recycled paper batch from it. Results show that rainwater usage does not impact the paper's quality, so the RRWH (Rooftop Rainwater Harvesting) methodology is proposed. The final suggestion is treating liquid waste to manage water resources through the principles of circular economy.

Key words: recycled paper; rainwater; rainwater harvesting system; liquid waste; circular economy.



Ing. Damían Encalada A.
Faculty School Director



Ing. Jonnatan Avilés G.
Thesis Director



Translated by:



Marielisa Bravo C.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso que se encuentra en el planeta en gran cantidad, pero en su mayoría no es apta para el consumo humano. Se conoce que el 71% de la superficie del planeta está cubierto de agua, de la cual el 0,75% es agua dulce que se reparte en aguas superficiales y subterráneas (Martínez et al, 2006). El crecimiento demográfico, el desarrollo económico y el cambio en los patrones de consumo, han provocado el aumento del uso de agua dulce, el cual se ha multiplicado por seis en los últimos cien años y sigue creciendo a un ritmo anual de casi un 1% (UNESCO World Water Assessment Programme, 2021). El agua dulce se encuentra en una situación crítica, pues desde hace ya varios años, el mundo afronta su escasez debido a la alta contaminación de las aguas dulces y a la sobreexplotación del recurso (Rey, 2010).

El agua juega un papel muy importante en el desarrollo de un país, la producción y el medio ambiente (Yannopoulos et al, 2019). Se considera un bien económico, puesto que su uso, en combinación con otros factores, permite realizar una actividad productiva en desarrollo (Neme Castillo et al, 2021). Es por esta razón que el 20% del agua mundial se destina a la industria manufacturera (Rey, 2010), además de ser la actividad que registra el mayor consumo en las zonas urbanas (Rojas, 2005); los incrementos de la demanda de agua para el sector productivo son bruscos. De hecho, según el World Economic Forum Water Initiative (2009), en América Latina se proyecta un aumento del 56% del consumo de agua entre los años 2000 y 2030.

Históricamente, se ha considerado a la industria del papel como una de las más perjudiciales para el recurso hídrico, debido a la necesidad de significativos volúmenes de agua y a la generación de aguas residuales contaminantes (Alexandersson, 2003). En dicho proceso, este líquido es una de las materias primas más importantes, sin embargo, su explotación y contaminación han generado conflictos (Rojas, 2005). En términos generales, el crecimiento industrial sin un correcto manejo del agua, supone un riesgo en la sostenibilidad de los recursos hídricos, así como en los diferentes objetivos de desarrollo que dependen de este (World Water Assessment, 2012). En este contexto, si no se cambian los patrones de producción y consumo, por conductas que contribuyan a mejorar la situación actual, el mundo registrará un déficit hídrico del 40% para el 2030 (Water Resources Group, 2009)

Dada la necesidad de buscar alternativas que permitan un manejo sostenible del agua en la industria, se desarrolla una investigación que tiene como objetivo proponer un diseño para incorporar el uso de agua lluvia en el proceso semi artesanal de papel reciclado.

En términos metodológicos, una de las primeras necesidades de la investigación, es una revisión bibliográfica que permite comprender al agua lluvia y al proceso de papel reciclado por separado, para después unificar los conceptos en un solo sistema. La perspectiva del modelo de economía circular, permite evidenciar la importancia del reciclaje y la reutilización de recursos en el proceso artesanal existente de papel reciclado del Laboratorio de Ingeniería de la Producción de la Universidad del Azuay. Las técnicas de investigación empleadas responden al enfoque cualitativo y cuantitativo: análisis estadístico de la cantidad de agua utilizada a lo largo de la producción de un lote de papel reciclado y pruebas de laboratorio para determinar las características del agua que interviene en el proceso. La recopilación de información primaria y secundaria, permite proponer una metodología fundamentada en la literatura y adaptada a la naturaleza artesanal del proceso.

La estructura de este escrito es la siguiente: una breve revisión literaria, seguida de la descripción de la metodología utilizada y de los resultados obtenidos. Posteriormente, se presenta el modelo propuesto, generando un análisis y discusión del mismo, para finalmente, exponer las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

II. REVISIÓN LITERARIA

A. *El Agua Potable y la Industria de Papel*

Un ser humano requiere mínimo de tres litros de agua potable por día para consumo y un total de veinte litros para las actividades antropogénicas (Baque-Mite et al, 2016), mientras que la Organización Mundial de la Salud, establece que el acceso óptimo al agua, debería ser superior a 100 litros por habitante al día para satisfacer todas las necesidades básicas de consumo e higiene (Howard et al, 2003). Lejos de esta premisa, en Cuenca se consumen 220 litros de agua potable diarios por persona (Baquero, 2013). Esta cifra se le puede atribuir a la falta de cultura del agua, que repercute en patrones de consumo en los que no se considera la escasez del recurso hídrico: de modo que, los desperdicios generados pueden llegar al 40% de ineficiencia en el uso del líquido (Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), 2016).

La SENAGUA (2016), además, expone que el uso para consumo humano y doméstico de los habitantes, no es la única fuente de desperdicio, dado que las actividades agropecuarias e industriales también presentan un uso ineficiente. Se menciona que, por cada litro de agua embotellada, las empresas utilizan 2,27 litros de agua potable como materia prima anualmente; de los cuales más de la mitad son descargados como agua contaminada (Buitrón, 2005). Si

se consideran estas grandes cifras de desperdicio, sumado a la limitada disponibilidad de las fuentes de agua dulce y a la constante degradación de su calidad (WWAP (World Water Assessment Program), 2012), la premisa de que el agua dulce será el primer recurso natural en escasear (Furumai, 2008), no está alejada de la realidad.

Una de las industrias más criticadas por el manejo del agua es la papelera, pues el papel es una lámina de fibras formada en una pantalla fina a partir de una suspensión de agua y su proceso depende considerablemente de este recurso (Alexandersson, 2003). Se utiliza “agua fresca” para el suministro a planta y “agua clarificada” para las operaciones de remoción de sólidos suspendidos; hablando en líneas generales sobre la cantidad de agua utilizada, se puede considerar que la pulpa de papel tiene una relación en peso de 200 a 1 entre agua y material fibroso (Area, 2012). Esto quiere decir que, por cada 5 gramos de papel producidos con agua potable, hay un litro menos para el consumo humano.

Conscientes de la contaminación que genera la producción de papel, la preocupación por el medio ambiente impulsó avances en la industria, orientadas al reciclado de fibras (Rivera, 2004). A partir de la popularización del papel reciclado, se lograron procesos que permitieron el ahorro de alrededor del 40% de agua (Van Oel & Hoekstra, 2010). Sin embargo, el porcentaje que se sigue utilizando, se convierte en agua clarificada o más conocida como “agua blanca”. Esta se refiere a una solución acuosa, drenada de la hoja de papel a medida que se va formando (Hubbe, 2007). Su composición varía dependiendo de la materia prima utilizada, de modo que, al usar fibras recicladas, el agua mantendrá varios químicos provenientes del papel recuperado (Alexandersson, 2003).

B. Fuentes Alternativas de Suministro de Agua

La preocupación es global, pues la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU, enfoca uno de sus objetivos a garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua (Naciones Unidas, 2016). En relación al contexto mundial, Ecuador formuló la Estrategia Nacional de la Calidad del Agua (ENCA) con el propósito de mejorar las condiciones de los recursos hídricos y controlar los agentes contaminantes de las fuentes naturales a nivel nacional (Secretaría Nacional del Agua, 2016). Como solución, propone la concienciación y acción de los ciudadanos, quienes *“deben empoderarse de la problemática vinculada a la calidad del agua y participar de forma activa en iniciativas que permitan conservar las fuentes de agua, ejercer control social de la*

contaminación e incentivar la adopción de buenas prácticas industriales” (Secretaría Nacional del Agua, 2016).

En referencia a las buenas prácticas, La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico recomienda la búsqueda de fuentes alternativas de suministro de agua y, específicamente, sugiere la recolección de agua lluvia, así como el uso de aguas grises como una opción de suministro (OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development, 2009). Otra de las opciones estudiadas es la desalinización que ya está funcionando en algunas partes del mundo y que consiste en potabilizar el agua del mar (Cao et al, 2009). Sin embargo, estas dos últimas alternativas, suponen tratamientos con costos elevados y, a veces no resultan accesibles para todo el mundo (González & Ureta, 2012) (Yang & Abbaspour, 2007).

El agua lluvia es una fuente de agua limpia, está libre de productos desinfectantes, sales, minerales y otros contaminantes (Krishna, 2005). La calidad de las gotas de lluvia siempre supera la del agua superficial y es comparable a la del agua subterránea, debido a que no entran en contacto con el suelo y las rocas, donde pueden disolver sales y minerales que son dañinos (Che-Ani et al, 2009). Debido a su pureza, es un recurso que puede ser aprovechado para el consumo humano, la agricultura y la industria (Martín & González, 2013). Para el sector productivo, la captación de agua lluvia supondría una reducción de costos, puesto que este método evita el uso de energía en la operación de sistemas de bombeo y de transporte, requiere instalaciones de fácil construcción y mantenimiento y, necesita de un mínimo tratamiento para potabilizar el agua (Pacheco, 2008).

Los sistemas de cosecha de agua lluvia se basan en la recolección y almacenamiento de gotas que caen sobre los techos u otro tipo de recolectores instalados o naturales, en la que la cantidad de agua recolectada depende del tamaño del área de captación y su calidad, de los contaminantes recogidos de la misma (Leggett & Shaffer, 2002). Además, para determinar la cantidad que será capaz de recoger el sistema, también es importante considerar el factor de precipitación media anual en la zona de estudio. Esta condición puede representar una desventaja, debido a que la disponibilidad de agua se limita a las temporadas de precipitación altas (Rojas-Valencia, 2012).

Considerando las ventajas y desventajas de utilizar el agua lluvia, se destaca que su uso responsable es un ejemplo para la educación ambiental y contribuye a la construcción de una sociedad consciente sobre el uso del agua (Furumai, 2008). Aunque es difícil superar el prejuicio de que este sistema es un gasto en tiempo y

dinero, vale la pena demostrar que la inversión en recursos limpios, se refleja en un ahorro de dinero que, a más de garantizar el acceso al recurso hídrico durante mucho más tiempo, disminuye considerablemente los pagos por su consumo (Adler, 2008).

La pluviometría es el estudio que proporciona mediciones de lluvia con un alto grado de precisión en una ubicación específica (Villarini et al, 2008). Según estudios sobre la pluviometría de Cuenca, las lluvias varían de mes a mes, los más secos son febrero y agosto, mientras que marzo es el mes con más lluvia en la ciudad (Quinteros & Ramirez, 2018). Los datos recogidos de la estación de monitoreo pluviométrico de ETAPA EP, ubicada en Challuabamba, indican que en los meses bajos se registran lluvias entre 10-30 mm y en los altos pueden llegar a un promedio de 130 mm (Genovez, 2018). Por tal motivo, se concluye que la precipitación pluvial es de 600 mm/año.

C. *La Economía Circular*

La economía circular propone mantener siempre los productos, componentes y materiales en sus niveles de uso más altos (Silva et al, 2021). Este modelo se sustenta en una transición hacia energías y materiales renovables; la cual desvincula la actividad económica del consumo de recursos finitos y comprende un sistema resistente, bueno para los negocios, las personas y el medio ambiente (MacArthur, 2013). La circularidad valora el agua en la medida en que cada litro se reutilice una y otra vez, haciendo que el agua en sí misma se convierta casi en parte de la infraestructura, en lugar de un recurso consumible (UNESCO World Water Assessment Programme, 2021).

La economía circular puede implementarse en el sector del agua para combatir el problema de escasez, causado por el enfoque lineal (Kakwani & Kalbar, 2020). En este enfoque el agua ha sido empujada a un modelo en el que se vuelve más contaminada a medida que viaja a través del sistema, imposibilitando su uso futuro (Stuchtey, 2015).

En este sentido, el reto de las industrias es desarrollar procesos que les permitan recuperar recursos hídricos, minimizando la cantidad de materia prima virgen que se extrae (Voulvoulis, 2018) y volver a utilizar el agua una y otra vez, tal como sucede en el ciclo natural. (Melgarejo Moreno, 2019).

Al considerar un rediseño que creará un nuevo sistema de agua circular, podemos tomar tres vistas diferentes (Gleason Espíndola et al, 2018):

1. La perspectiva del producto, que exige una distinción entre el agua como consumible y como duradero, ya que existen diferentes estrategias para reducir residuos en cada categoría.
2. La perspectiva de los recursos, que exige un equilibrio entre las extracciones y flujos de retorno.
3. La perspectiva de la utilidad, que se enfoca en maximizar el valor de la infraestructura hídrica.

Las acciones de mejora también deben estar dirigidas a la gestión de las aguas residuales; teniendo en cuenta todos los desafíos que aquello implica (Smol et al, 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se lleva a cabo en la planta piloto de producción artesanal de papel reciclado del laboratorio de Ingeniería de la Producción de la Universidad del Azuay, La metodología utilizada para generar una propuesta que incorpore el uso de agua lluvia en dicho proceso, se esquematiza en la Fig. 1.

Para generar una propuesta de implementación de agua lluvia en el proceso es indispensable definir la cantidad y calidad de agua requerida. Además, respondiendo al enfoque circular que persigue este trabajo, es importante conocer el porcentaje de desperdicio de agua que se genera en el proceso, identificando los flujos de efluentes que pueden ser potenciales de reciclaje.

Con el fin de conocer la cantidad de agua que demanda el sistema, se realiza un levantamiento de información no estructurado, mediante el método de observación directa; en el cual se definen las etapas de fabricación y el consumo de agua en cada una de ellas. Se toma como referencia la cantidad requerida para procesar 40 gramos de papel recuperado, lo que permite el cálculo de la relación de materia prima (Agua :: Papel).

Posteriormente, se ejecutan 5 simulaciones del proceso bajo las mismas condiciones y se evalúa el lote fabricado, en tamaño y calidad. El tamaño se mide en gramos y se obtiene pesando el total de láminas fabricadas en una balanza analítica OHAUS. Debido al gramaje variable de las hojas, se establece que el rango de aceptación de cada una sea entre 1 a 1,8 g.

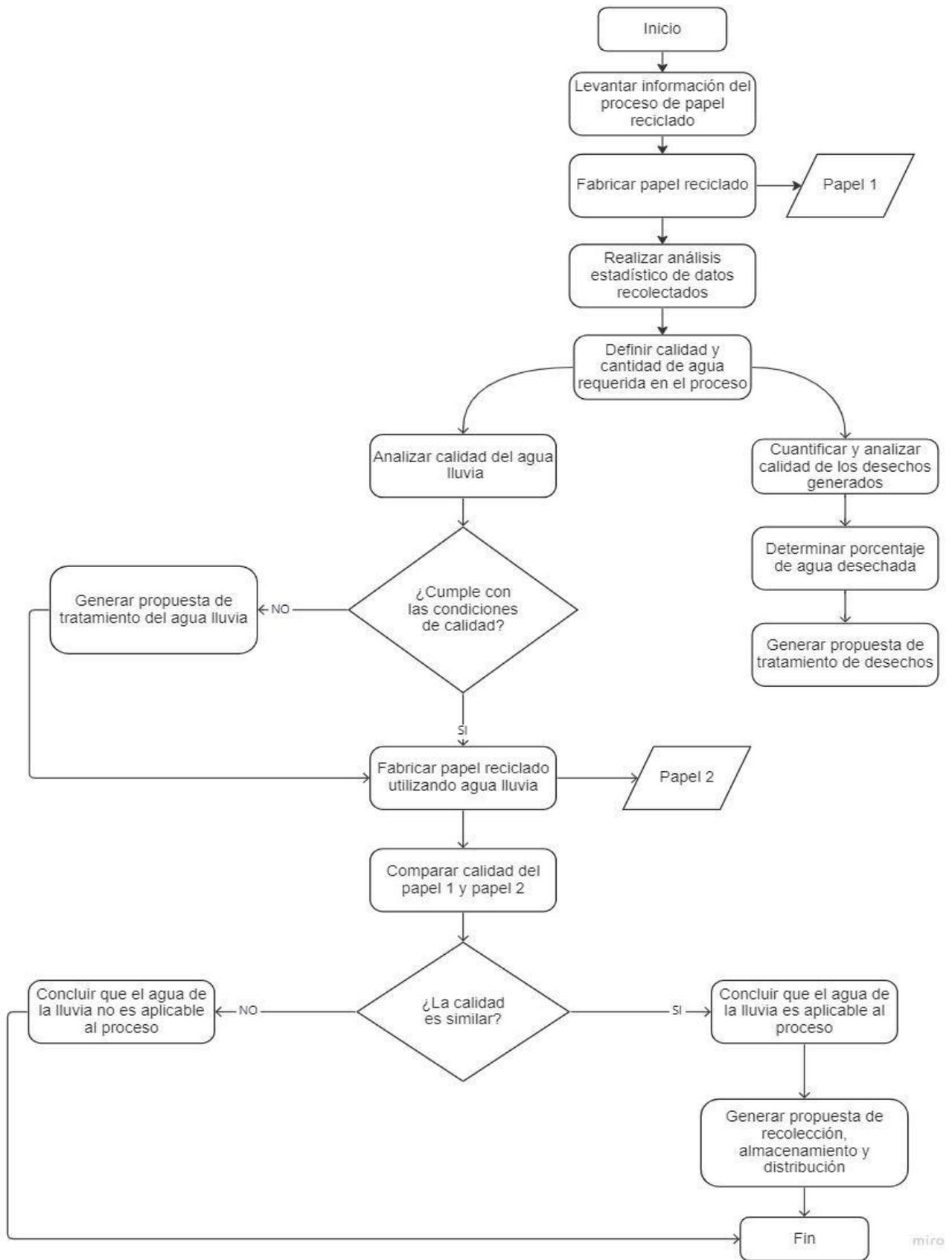


Figura 1. Metodología utilizada

Por otro lado, se analizan parámetros de calidad definidos por la ISO 4046-5:2016 (2016) para identificar características físicas del papel.

- Color: es la absorbancia de frecuencia de luz reflejada en el papel, se mide mediante el método CieLAB.
- Incombustibilidad: es el grado en que un papel resiste ser consumido cuando se calienta en presencia de aire.
- Absorción: es la masa de agua absorbida por unidad de área.
- Gramaje: es la masa de una unidad de área de papel.

La metodología utilizada para realizar las pruebas de calidad, se detalla en la Fig. 2. El procedimiento se puede evidenciar en los Anexos del 10 al 13.

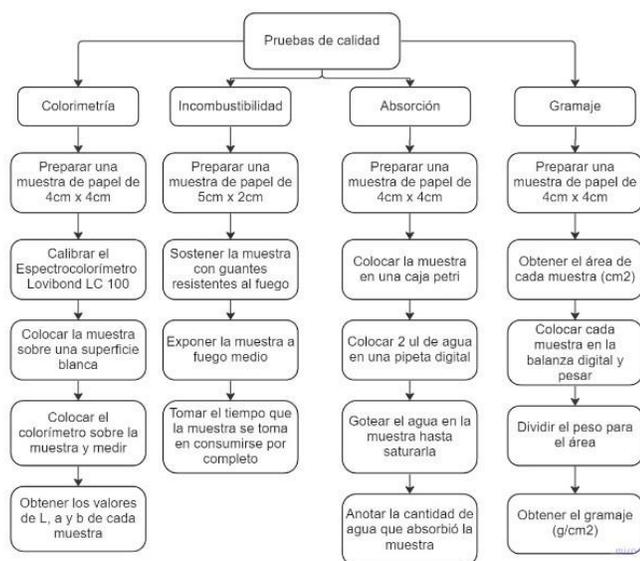


Figura 2. Pruebas de Calidad

Al mismo tiempo, se cuantifica el residuo líquido generado en cada una de las simulaciones y se compara con la cantidad de agua de entrada, esto con el fin de descubrir el porcentaje de agua desperdiciada al producir un lote. Para obtener dicha información, se analiza el conjunto de datos levantados, mediante estadística descriptiva para caracterizar el comportamiento de las variables en estudio: cantidad de agua residual al final del proceso (ml) y el tamaño del lote de producción (g).

Por otro lado, se caracteriza al agua potable como materia prima utilizada actualmente en el proceso. Esta es la referencia para definir los requerimientos cualitativos, obtenidos de investigaciones existentes sobre la calidad del agua de Cuenca (Mejía & Salamea, 2011) y compararla con el agua lluvia para definir si su calidad se adapta a las necesidades del proceso.

Adicionalmente, se evalúa el agua residual para identificar los cambios que sufre el líquido durante la manufactura y las

condiciones en la que es desechada al ambiente. En efecto, se toman muestras de los tipos de agua mencionados, se tratan y se someten a pruebas de laboratorio.

El tratamiento previo a los análisis, se basa en la eliminación de sólidos sedimentables, los cuales se definen como aquellos que se sedimentan en un fluido inalterado después de un tiempo específico (Pavanelli & Bigi, 2005). Para ello, se deja reposar las muestras por un día y se separan los líquidos de los sólidos. Después de este procedimiento, las muestras son llevadas con laboratoristas, quienes evalúan los siguientes parámetros químicos:

- pH
- Conductividad eléctrica (CE)
- Sólidos totales

Se consideran estas características por ser indicadores importantes de calidad del agua. El pH define la acidez o alcalinidad del líquido, teniendo en cuenta que el agua pura es neutra (Agarwal, 2005) y que un pH alcalino puede deberse a la presencia de carbonatos de calcio y magnesio (Rosli et al, 2012). La conductividad eléctrica es uno de los parámetros importantes de calidad, ya que indica la cantidad de iones inorgánicos disueltos; el agua pura tiene una CE muy baja, por lo que una desviación de este valor es una medida de traza de impurezas iónicas (Light et al, 2004). Por otro lado, los sólidos totales son la suma de los sólidos disueltos y suspendidos presentes en la muestra, los primeros describen la presencia de sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica en el agua (Rusydi, 2018), en cambio, los suspendidos son el material orgánico e inorgánico que pueden ser retenidos por un filtro con un tamaño de poro de 2 μm (American Public Health Association, 1926) y se relacionan con la turbidez (Rosli et al, 2012).

El pH se evalúa en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Azuay, mediante un medidor de potencial de hidrógeno que requiere 3 muestras de 50 ml de cada tipo de agua. Mientras que, la conductividad eléctrica y los sólidos totales son evaluados en el Laboratorio de Saneamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de ETAPA EP, bajo el método SM 2510 B y SM 2540 B, respectivamente. Para llevar a cabo estas pruebas, se recogen muestras de 2000 ml de cada tipo de agua.

Con pleno conocimiento de la calidad de las aguas y de la cantidad requerida para fabricar un lote, es posible determinar la adaptabilidad del agua lluvia al proceso y estimar la demanda de agua para la producción en un periodo determinado. A partir de dicha información, se elabora un lote de papel reciclado con agua lluvia como materia prima y se evalúa la calidad de los resultados,

comparándola con la de los papeles fabricados a partir de agua potable. Este experimento proporciona información relevante para saber si el agua de la lluvia interfiere en la calidad del producto y, en base a ello, determinar la factibilidad de incorporar su uso en el proceso de papel reciclado.

A continuación, se diseña un modelo de recolección, tratamiento y distribución de agua lluvia que se adecúa a los requerimientos de la planta. El objetivo es instalar un sistema con el mínimo uso de energía posible, aprovechando la pendiente y la gravedad del paisaje (Nolasco, 2011). Por ese motivo, el diseño se basa en sistemas SCAPT, metodología que da las pautas para recolectar lluvia directamente de los techos. Para ello es preciso considerar los siguientes elementos: área de captación, canal y bajante, sistema de tratamiento, sistema de almacenamiento y sistema de entrega (Che-Ani et al, 2014).

A fin de determinar el área de captación, se estima la demanda de agua de la planta para un año y se obtiene el promedio de lluvia anual en la zona, determinado por la estación meteorológica de proyecto MACCARD-UDA. Estas variables se ordenan en una matriz de doble entrada del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2013), presentada en la Fig. 3. Los valores que no se encuentran en la tabla pueden ser calculados dividiendo el agua captada para la precipitación pluvial (Belelli & Vázquez, 2018).

Precipitación pluvial (mm/año)	Agua captada (litros/año)		
	Superficie de captación (m ²)		
	20	30	40
200	4,000	6,000	8,000
300	6,000	9,000	12,000
500	10,000	15,000	20,000
1,000	20,000	30,000	40,000
1,500	30,000	45,000	60,000

Figura 3. Cantidad aproximada de agua captada por superficie de captación

En base a los datos de demanda de la planta, precipitación pluvial en la zona de estudio y superficie de captación necesaria, se diseña el sistema de recolección, filtrado, almacenaje y distribución de agua lluvia para la planta de papel reciclado. El modelo propuesto se desarrolla a partir de literatura existente sobre sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

V. RESULTADOS Y MODELO PROPUESTO

A. Factibilidad del Uso del Agua Lluvia

A partir del levantamiento de información, se concluye que la planta de papel reciclado sigue un proceso artesanal de cuatro fases, que se muestran en la Fig. 3.

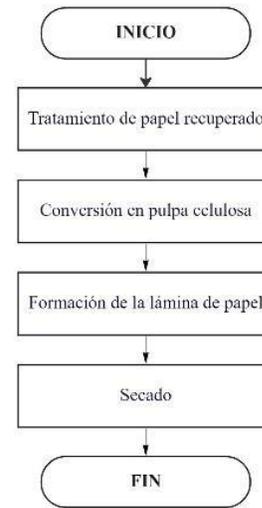


Figura 4. Proceso de elaboración de papel reciclado

- 1) *Tratamiento del papel recuperado*: Los papeles usados, tipo cuaderno ingresan a la trituradora para ser cortados en tiras de aproximadamente 4x0,5 cm y después dejarlas reposar en agua por un mínimo de 24 horas. Las tiras deben quedar completamente sumergidas, con el fin de ablandar y desintegrar las fibras del papel original. (Anexo 1 y 2)
- 2) *Conversión en pulpa celulosa*: En este punto la materia prima se deshace fácilmente y es llevada a una licuadora por aproximadamente 20 segundos. Con ayuda de agua, esta se encarga de romper por completo las fibras y de formar la pulpa del nuevo papel. (Anexo 3)
- 3) *Formación de la lámina de papel*: La pulpa se vierte en una tolva con agua en su interior y se mezcla con una paleta hasta que quede bien dispersa. Después, se utiliza un colador rectangular, que separa la pulpa del agua. Este recoge las fibras húmedas y forma una lámina regular de pasta sobre su superficie. Posteriormente, la lámina todavía impregnada en el colador, se sitúa sobre una tela de algodón, en la cual queda retenida. (Anexo 4 y 5)
- 4) *Secado*: La lámina situada sobre la tela, empieza su secado. El tiempo de evaporación del agua depende de las condiciones de la temperatura ambiente del experimento; puede demorarse entre 24-48 horas. Cuando las láminas están completamente secas, se despegan fácilmente de la tela. Es importante tener en cuenta que es difícil conseguir un buen acabado de los

bordes, de modo que es necesario perfilar cada hoja al final del proceso. (Anexo 6 y 7)

La Tabla I refleja la cantidad de agua que se consume en cada fase. Se debe tener en cuenta que el agua utilizada en la primera fase se reutiliza varias veces para remojar la materia prima, lo que quiere decir que su valor no es estándar. Por esta razón se presenta un dato estimado, el cual será considerado para calcular la demanda de agua, más no como entrada del proceso para obtener el porcentaje de desperdicio.

TABLA I
CANTIDAD DE AGUA UTILIZADA PARA PROCESAR 40 G DE PAPEL RECUPERADO

FASE	CANTIDAD	UNIDAD
Tratamiento del papel recuperado	5500	ml
Conversión en pulpa celulosa	700	ml
Formación de la lámina de papel	5000	ml

Suponiendo que el recurso no se reutiliza en las siguientes fases, el consumo total de agua potable para producir un lote de papel reciclado es de 11200 ml.

A continuación, se ponen en marcha las cinco simulaciones del proceso y se miden las variables establecidas, el tamaño del lote se cuantifica en gramos, y la cantidad de agua residual generada en ml. Los resultados obtenidos, se detallan en la Tabla II.

TABLA II
DATOS PARA ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

Simulación	Agua residual (ml)	Tamaño del lote (g)
1	5510	21,6
2	5430	23,3
3	5385	22,6
4	5420	20,1
5	5390	23,2

Los criterios estadísticos del conjunto de datos fueron evaluados al 95% de confianza por ser un proceso de tipo artesanal. De acuerdo a los resultados reflejados en la Tabla III, se determina que el tamaño del lote es de 22 gramos, con una desviación estándar de 1,34. Esto representa 14 hojas con un gramaje entre 1 y 1,8 g. El Anexo 7 demuestra la irregularidad de las dimensiones de cada lámina, de modo que, para obtener un producto final estético y estándar, se refilan las hojas con una medida de 12x16 cm. (Anexo 8)

Por otro lado, se generan $5427 \pm 50,2$ ml de residuos acuosos. Si se toma como valor de entrada la suma de agua utilizada en las fases de conversión en pulpa celulosa y formación de la lámina de papel, se establece que 5700 ml entran al proceso. Esto quiere decir que, alrededor del 95,2% del agua queda como efluente, la cual es desechada como desperdicio.

TABLA III
ANÁLISIS ESTADÍSTICO

PARÁMETROS	AGUA RESUDUAL	TAMAÑO DEL LOTE
Media	5427	22,16
Mediana	5420	22,6
Desviación estándar	50,19	1,34
Varianza de la muestra	2520	1,783
Rango	125	3,2
Mínimo	5385	20,1
Máximo	5510	23,3
Suma	27135	110,8

La Tabla IV muestra los resultados obtenidos de la medición de los parámetros de calidad del agua y los compara con los valores promedio del agua potable en Cuenca. De acuerdo a los parámetros medidos, el agua residual del proceso se demuestra contaminada. Los elevados valores de conductividad eléctrica y sólidos totales indican que no es posible reutilizarla en el proceso. Por lo contrario, se evidencia la pureza del agua de la lluvia, lo que permite elaborar un lote de papel reciclado con la misma. (Anexo 9)

TABLA IV
PARÁMETROS QUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

PARÁMETRO	U	AGUA POTABLE	AGUA LLUVIA	AGUA RESIDUAL
pH	pH	6,5-8,5	6,6	7,97
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	110	60.1	213
Sólidos Totales	mg/L	59	54	313

La calidad de las láminas elaboradas con agua de la lluvia se compara con los valores de referencia, obtenidos del papel fabricado con agua potable. La Tabla V demuestra que el uso de agua lluvia no influye notablemente en la calidad del papel, por lo que se concluye que el agua de la lluvia es adaptable al proceso artesanal de fabricación de papel reciclado.

TABLA V
PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CALIDAD DEL PAPEL

PARÁMETRO	U	VALOR REFERENCIAL	VALOR MEDIDO
Color	L	86,6	86,8
	a	1,4	1,8
	b	-4,8	-4,2
Incombustibilidad	s	7,3	6,9
Absorción	ml	0,2	0,23
Gramaje	g/cm ²	0,0043	0,0040

B. Propuesta de Recolección, Almacenamiento y Uso de Agua Lluvia

La propuesta se realizará en base al sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT), en el cual el flujo de agua recorrerá cualquiera lo largo de los elementos explicados en la Fig. 5, tomando cualquiera de las tres rutas mostradas.

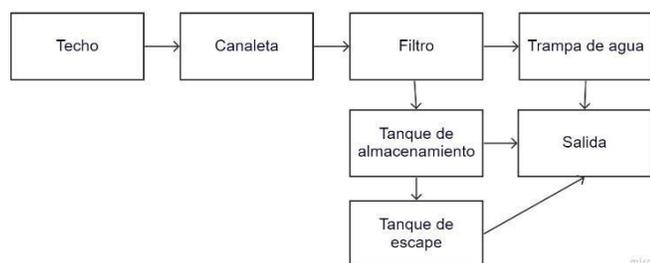


Figura 5. Flujo del agua lluvia en el sistema

En primer lugar, se determina el área de captación. Considerando que la planta espera producir 20 lotes por semana y que se trabajan 48 semanas al año, la producción anual será de 960 lotes. Esto quiere decir que se requieren aproximadamente 10800 litros de agua al año. Con una pluviometría promedio de 700 mm/año (MACCARD-UDA, 2022) se realiza una interpolación lineal, lo que requiere una superficie de captación igual a 15,5 m².

El techo del Laboratorio es de teja, material que presenta un coeficiente de escorrentía igual a 0,8 (Sivanappan, 2006). Para la recolección, sólo se considera la mitad de la estructura, la cual tiene una superficie de 16 m². y se plantea la utilización de la canaleta existente, la cual deberá adecuarse de acuerdo a la Figura 6 para que el agua caiga directamente al filtro, mediante la instalación de un tubo PVC de 75 mm de diámetro, al final de la misma.

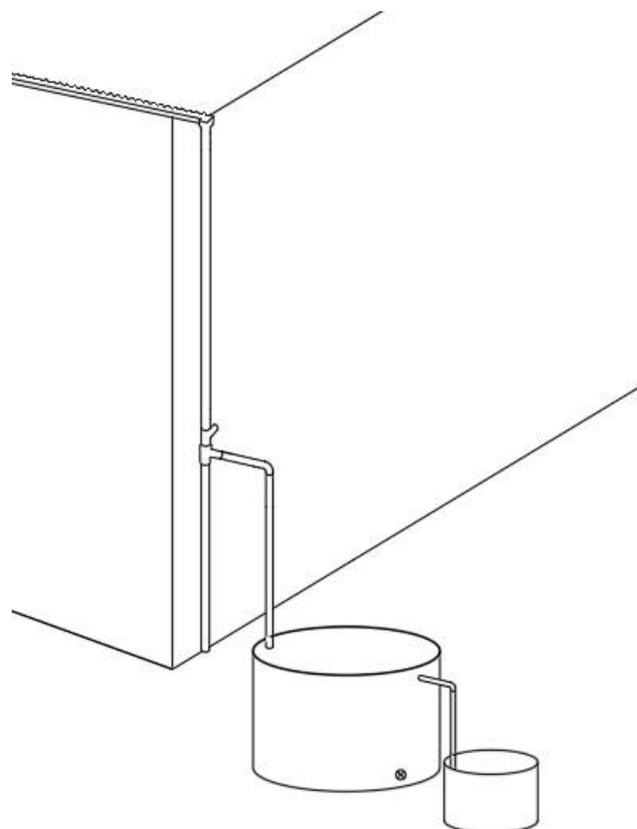


Figura 6. Sistema de aprovechamiento de agua lluvia

De acuerdo a las necesidades del proceso, en cuanto a calidad de agua, se plantea únicamente un método de filtración de sólidos suspendidos. Como primer filtro se recomienda utilizar una malla tipo tela mosquitera en la cual queden detenidos los residuos voluminosos, que deberá estar ubicada en un lugar accesible para su limpieza frecuente, de modo que se sugiere instalar una conexión en forma de Y como se aprecia en la Fig. 6.

Tomando en cuenta que la primera lluvia que llega al techo es la encargada de remover microorganismos y residuos sólidos que se acumulan en la superficie, se propone un mecanismo de limpieza. Este se basa en los autores De Carvalho, Luz, Santos y Gavazza (2018), quienes manifiestan que 1 milímetro de agua de limpieza mejora la calidad inicial para el almacenaje del agua. A favor lo mencionado, Belelli & Vázquez (2018) consideran que es preciso diseñar un primer desviador de descarga, en el cual todas las partículas más pesadas que el agua se asientan, provocando que únicamente el agua pura pase al tanque. La trampa de agua debe diseñarse con un metro de caño por cada 10 m² de techo. En este caso, la longitud del caño de la trampa será de 1,6 m y se conectará al sistema mediante un tubo "Tee". Una tapa al final de la trampa permitirá liberar el agua y la suciedad retenida después de cada lluvia.

Todas las tuberías y accesorios de conexión del sistema tendrán un diámetro de 75 mm.

Posteriormente, se calcula el volumen del tanque de almacenamiento con la ecuación (1) propuesta por Pantoja, Alvizuri, Soria, y Lo-Iacono-Ferreira (2022). El volumen se calcula para un periodo mensual.

$$V = \frac{PP * Ce * Ac}{1000} \quad (1)$$

En donde:

- $V = \text{Volumen del tanque}$
- $PP = \text{Precipitación } \left(\frac{L}{m^2}\right)$
- $Ce = \text{Coeficiente de escorrentía}$
- $Ac = \text{Área de captación } (m^2)$

El máximo de precipitación mensual, dado generalmente en el mes de marzo, es de 165 mm (MACCARD-UDA, 2022). Por lo tanto, se obtiene que la capacidad mensual del tanque debe ser de 2,2 m^3 . Sin embargo, según Abdulla y AlShareef (2006), existe un porcentaje del 20% anual en pérdidas por la evaporación, los procesos de captación y recolección de agua, por lo que se estima que el volumen puede reducirse a 2 m^3 .

Un punto crítico del diseño es el tipo de tanque a utilizar para el almacenamiento de agua de lluvia. Aunque se espera un uso no potable, el tipo de demanda juega un papel importante en la selección del tanque (Campisano et al, 2017). Cuando la demanda es de unos pocos metros cúbicos, se recomiendan tanques de plástico o metal que se ubiquen sobre el suelo (GhaffarianHoseini et al, 2016).

Se propone que la estructura del tanque sea tal que impida el ingreso de factores contaminantes, pero que cuente con un acceso para limpieza y reparación. La válvula debe ubicarse en la parte inferior para aprovechar la gravedad, además de asegurar que quede totalmente sellada mientras no se requiera extraer agua.

Uno de los principios de la recolección del agua lluvia, planteados por Lancaster (2019), establece siempre planear una ruta de desbordamiento de agua para proteger el sistema en caso de tormentas muy grandes. Esta debe ser del mismo tamaño o más grande que el flujo de entrada y puede ser manejado como un recurso de agua, por lo que se plantea un sistema de desbordamiento dirigido a un tanque abierto externo, que sirva para diferentes necesidades de la Universidad.

Es importante resaltar que sólo la puesta en marcha del sistema propuesto revelará su eficiencia, por lo que será necesario revalorar los factores planteados y adecuarlos para su beneficio. Así mismo, tener en cuenta que los sistemas de recolección de agua de lluvia

requieren mantenimiento regular, limpieza y pruebas para mantener el sistema higiénico y en buen funcionamiento.

Con el fin de desechar los residuos generados en mejores condiciones y poner sobre la mesa la posibilidad de retornar el agua a su ciclo, se buscan alternativas de tratamiento de desechos. Las grandes fábricas de papel que generan efluentes sumamente contaminantes, utilizan métodos de microfiltración, ultrafiltración y ósmosis invertida; que aseguran la reutilización de más del 80% de las aguas residuales como agua pura (Pizzichini et al, 2005). Sin embargo, estos tratamientos son costosos, de infraestructura compleja y responden a altos niveles de contaminación; por lo que, para un proceso artesanal que no utiliza químicos, se puede optar por métodos de adsorción y filtración con tecnología simple como carbones activados comerciales, alúmina activada comercial, arena o gel de sílice (Crini & Lichtfouse, 2019).

C. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Esta investigación aportó, por un lado, al conocimiento de la cantidad y calidad de agua utilizada en el proceso y, por otro lado, a reconocer cómo el agua lluvia puede beneficiar la producción de papel reciclado desde un enfoque de economía circular. Aunque en la ciudad ya se estén utilizando estos sistemas para uso doméstico y comercial, se permitió demostrar que es factible incorporar su uso en la producción artesanal.

El estudio definió que la pulpa de papel tiene una relación en peso de 280 a 1 entre agua y material fibroso. De modo que, se determinó que para producir un lote de 22 gramos de papel reciclado se necesita aproximadamente el 5% del agua que consume un cuencano a diario, desechándola en condiciones contaminantes al finalizar el proceso.

Lo mencionado demuestra que, en el sistema actual de producción, el uso del agua potable sigue un modelo lineal en el que se utiliza, se contamina y se desecha. De modo que, la utilización de agua de lluvia para el suministro en la planta, representa un cambio significativo en la percepción del agua como producto y en su utilidad. Esto quiere decir que el agua dentro del proceso, ahora es visto como un producto duradero que, mediante una infraestructura adecuada, maximiza la utilidad de una fuente renovable de agua. No obstante, un sistema de recolección de agua lluvia por sí solo, no percibe al agua como recurso. Para que exista balance entre la entrada y salida de los flujos, es preciso retornar el agua de buena calidad al ambiente, mediante la gestión de desechos.

La pluviometría de la zona y la calidad del agua lluvia del sector, se convierten en una ventaja para diseñar el sistema de aprovechamiento. Sin embargo, es importante resaltar que este

trabajo no valora estudios bacteriológicos del agua lluvia, lo que puede afectar a largo plazo la calidad del papel. En cuanto al sistema de manejo de desechos, se sabe que el agua está contaminada, sin embargo, al no valorar la demanda bioquímica de oxígeno no se conoce con exactitud el grado de contaminación, lo que dificulta la toma de decisiones al momento de decidir el método más adecuado de tratamiento.

D. CONCLUSIONES

El desarrollo de la investigación demostró que es importante analizar el comportamiento del recurso hídrico dentro de un proceso para buscar alternativas que contribuyan a un manejo adecuado de este. Al conocer la cantidad y calidad de agua que requiere la fabricación de papel reciclado, es más fácil identificar un sistema de manejo del agua eficiente para la planta y responsable con el medio ambiente.

El trabajo realizado evidenció que el agua interviene en 3 de las 4 fases de elaboración de papel reciclado y que conforma el 99% del peso de la pulpa de papel; por lo que el rol del agua a lo largo del proceso es indispensable. Sin embargo, al finalizar la producción, los residuos líquidos son desechados al entorno con sustancias contaminantes para el medio ambiente.

Para sustituir el uso de agua potable en el proceso, se evaluó la calidad del agua de la lluvia, demostrando que es un recurso lo suficientemente limpio para adaptarse a los requerimientos. Además, la fabricación de un lote a partir de agua lluvia evidenció que utilizar este líquido, en lugar de agua potable, no influyó en el desarrollo del proceso, ni en las características del producto.

Al ser una planta artesanal piloto, con recursos limitados, un sistema de aprovechamiento de agua lluvia es una oportunidad para reducir costos y obtener beneficios de recursos naturales. La revisión literaria permitió proponer un sistema que se adecue a las necesidades y limitaciones de la planta, sugiriendo el uso del techo del laboratorio para la captación del agua y un sistema de tuberías que aproveche la gravedad para llevar el líquido limpio a almacenarse en un tanque hermético con una válvula que permita su distribución.

Para que el sistema cumpla el concepto de circularidad, se planteó el manejo de desechos. Las pruebas de calidad de los residuos acuosos permitieron concluir que contienen elementos contaminantes, por lo que se sugiere tratarlos antes de devolverlos al medio ambiente. Esto con el fin de desarrollar un sistema integral de manejo responsable del agua, en el que los flujos de entrada sean de fuentes naturales y los de salida, puedan retornar al ciclo del agua.

E. REFERENCIAS

- Abdulla, F. A., & Al-Shareef, A. W. (2006). *Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan*. Integrated urban water resources management (pp. 291-300). Springer, Dordrecht.
- Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, J. A. (2008). *Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos*. México DF, México.: International Renewable Resources Institute Mexico.
- Agarwal, S. K. (2005). *Water pollution (Vol. 2)*. APH publishing.
- Alexandersson, T. (2003). *Water Reuse in Paper Mills-Measurements and Control Problems in Biological Treatment*. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund Institute of Technology.
- American Public Health Association. (1926). *Standard methods for the examination of water and wastewater (Vol. 6)*. American Public Health Association.
- Area, M. C., Mastrantonio, G., & Velez, H. (2012). *Gestión ambiental en la fabricación de papel reciclado*. Reciclado Celulósico, 306.
- Artiga, R. (2008). *El agua y el medio ambiente en Cuenca, Ecuador*. EL AGUA, 118
- Baquero, M. T. (2013). *Ahorro de agua y reutilización en la edificación en la ciudad de Cuenca, Ecuador*. Estoa. Revista de la Facultad de arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, 2(3), 71-81.
- Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Ozorio, B., Suatunce, P., Diaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016). *Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador*. Revista Ciencia UNEMI, 9(20), 109-117.
- Belelli, E. C., & Vázquez, L. (2018). *Captación de agua de lluvia*. Ediciones INTA.
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., & Han, M. (2017). *Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives*. Water research, 115, 195-209.
- Cao, X., Huang, X., Liang, P., Xiao, K., Zhou, Y., Zhang, X., & Logan, B. E. (2009). *A new method for water desalination using microbial desalination cells*. Environmental science & technology, 43(18), 7148-7152.
- Che-Ani, A. I., Shaari, N., Sairi, A., Zain, M. F. M., & Tahir, M. M. (2009). *Rainwater harvesting as an alternative water supply in the future*. European journal of scientific research, 34(1), 132-140.
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). *Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment*. Environmental Chemistry Letters, 17(1), 145-155.
- De Carvalho, J. R. S., Luz, J., Santos, S. M., & Gavazza, S. (2018). *A PVC-pipe device as a sanitary barrier for improving rainwater quality for drinking purposes in the Brazilian semiarid region*. Journal of Water and Health, 16(3), 391-402.
- Furumai, H. (2008). *Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable urban water use*. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 33(5), 340-346.
- Genovez, D. G. (2018). *Análisis de precipitaciones y elaboración de hietogramas de diseño para la ciudad de Cuenca*. [Trabajo de Graduación Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil]. Universidad del Azuay.
- GhaffarianHoseini, A., Tookey, J., GhaffarianHoseini, A., Yusoff, S. M., & Hassan, N. B. (2016). *State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: a review*. Desalination and Water Treatment, 57(1), 95-104.
- Gleason Espíndola, J. A., Cordova, F., & Casiano Flores, C. (2018). *The importance of urban rainwater harvesting in circular economy: the case of Guadalajara city*. Management Research Review, 41(5), 533-553.
- González, I. C., & Ureta, K. E. M. (2012). *Escasez de agua: en busca de soluciones normativas*. Economía, 374.
- Howard, G., Bartram, J., Water, S., & World Health Organization. (2003). *Domestic water quantity, service level and health*
- Hubbe, M. A. (2007). *Water and papermaking. 2. White water components*. Paper Technology (Leatherhead, England), 48(2), 31-40.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017). *Conozcamos Cuenca a través de sus cifras*.

- <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/conozcamos-cuenca-a-traves-de-sus-cifras/>
- International Organization for Standardization. (2016). *Paper, board, pulps and related terms (ISO 4046-5:2016)*. <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:4046-5:ed-2:v1:en>
- Kakwani, N. S., & Kalbar, P. P. (2020). *Review of Circular Economy in urban water sector: Challenges and opportunities in India*. Journal of Environmental Management, 271, 111010.
- Krishna, H. J. (2005). The Texas Manual on Rainwater Harvesting, Texas Water Development Board.
- Lancaster, B. (2019). *Rainwater harvesting for drylands and beyond, volume 1: guiding principles to welcome rain into your life and landscape (Vol. 1)*. Rainsource Press.
- Leggett, D. J., & Shaffer, P. (2002, September). Buildings that save water—rainwater and greywater use. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer (Vol. 151, No. 3, pp. 189-196). Thomas Telford Ltd.
- Light, T. S., Licht, S., Bevilacqua, A. C., & Morash, K. R. (2004). *The fundamental conductivity and resistivity of water*. Electrochemical and solid-state letters, 8(1), E16
- MACCARD-UDA. (2022). *Datos Precipitación Mensual*. Proyecto MACCARD-UDA. Universidad del Azuay. Cuenca. Ecuador.
- MacArthur, E. (2013). *Towards the circular economy*. Journal of Industrial Ecology, 2(1), 23-44.
- Martín, A., & González, A. (2013). *Sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia. Coordinación de tratamiento y calidad del agua*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Morelos.
- Martínez, O. F., Ihl, T., & López, J. R. (2006). *Acceso al agua potable Indicador clave de desarrollo humano*. Teoría y Praxis, (2), 171-180.
- Mejía, G. & Salamea, P. (2011). *Diseño de un Sistema Para Reciclado, Control y Utilización de Agua Lluvia en la Ciudad de Cuenca*. [Trabajo de Graduación Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico]. Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca.
- Naciones Unidas. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina*. Santiago.
- Neme Castillo, O., Valderrama Santibáñez, A. L., & Chiatchoua, C. (2021). *Factores determinantes del consumo productivo de agua y sus efectos en la actividad económica de México*. Economía, sociedad y territorio, 21(66), 505-537.
- Nolasco, J. (2011). *Sustainable water management for urban agriculture: Planting justice, oakland* (pp. 1-12). CA: Working Paper Pacific Institute.
- OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development). (2009). *Alternative Ways of Providing Water: Emerging Options and Their Policy Implications*. Advance Copy for 5thWorldWater Forum. OECD: Paris.
- Pacheco Montes, M. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviatl" en México.
- Pantoja Rico, R. A., Alvizuri Tintaya, P. A., Soria Céspedes, F. A., & Lo-lacono-Ferreira, V. G. (2022). *Diseño conceptual de un sistema de captación de agua de lluvia en la Universidad Católica Boliviana San Pablo*. International Congress on Project Management and Engineering Terrassa.
- Pavanelli, D., & Bigi, A. (2005). *Indirect methods to estimate suspended sediment concentration: reliability and relationship of turbidity and settleable solids*. Biosystems engineering, 90(1), 75-83.
- Pizzichini, M., Russo, C., & Di Meo, C. (2005). *Purification of pulp and paper wastewater, with membrane technology, for water reuse in a closed loop*. Desalination, 178(1-3), 351-359.
- Quinteros, M. E. & Ramirez, O. E. (2018). *Modelamiento de la Precipitación en la Zona Urbana de la Ciudad De Cuenca*. [Trabajo de Graduación Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Ambiental]. Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca.
- Rey, M. S. G. (2010). *La escasez de Agua en el mundo y la importancia del Acuífero Guaraní para Sudamérica: Relación abundancia-escasez*. CAEI.
- Rivera, N. A. (2004). *El reciclado de papel y cartón*. Elementos: Ciencia y Cultura, 11(53), 54-56.
- Rojas, H. G. G., & Hilda, R. (2005). *Industrial water demand in Mexico: econometric analysis and implications for water management policy*. These pour le doctorat en Sciences Economiques, Université de Toulouse, France, 205.
- Rojas-Valencia, M. N., Gallardo-Bolaños, J. R., & Martínez-Coto, A. (2012). *Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia*. TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 15(1), 16-23.
- Rosli, N. A., Zawawi, M. H., & Bustami, R. A. (2012). *Salak river water quality identification and classification according to physico-chemical characteristics*. Procedia Engineering, 50, 69-77.
- Rusydi, A. F. (2018, February). *Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review*. IOP conference series: earth and environmental science (Vol. 118, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
- Secretaría Nacional del Agua. (2016, septiembre). *Estrategia Nacional De Calidad Del Agua*. Quito.
- Silva, TGE, Pontes, AC da SJE, Musetti, MA y Ometto, AR. (2021). *Economía circular: una visión general del estado del arte de las políticas públicas en Brasil*. Revista de producción en línea, 21(3), 951-972.
- Sivanappan, R. K. (2006, November). *Rain water harvesting, conservation and management strategies for urban and rural sectors*. National Seminar on Rainwater Harvesting and Water Management (Vol. 11, No. 12, p. 1). New Delhi, India: Institution of Engineers (India), Nagpur Local Centre, Nagpur in association with UNESCO.
- Smol, M., Adam, C., & Preisner, M. (2020). *Circular economy model framework in the European water and wastewater sector*. Journal of Material Cycles and Waste Management, 22(3), 682-697.
- Stuchtey, M. (2015). *Rethinking the water cycle*. McKinsey Global Institute.
- UNESCO World Water Assessment Programme. (2021). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021*. Ecología Política, (19), 49-65.
- Van Oel, P. R., & Hoekstra, A. Y. (2010). The green and blue water footprint of paper products: Methodological considerations and quantification.
- Villarini, G., Mandapaka, P. V., Krajewski, W. F., & Moore, R. J. (2008). *Rainfall and sampling uncertainties: A rain gauge perspective*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 113(D11).
- Voulvoulis, N. (2018). *Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach*. Current Opinion in Environmental Science & Health, 2, 32-45.
- Water Resources Group. (2009). *Charting Our Water Future*. Water, June (3), 1-32
- World Economic Forum Water Initiative. (2009). *Managing Our Future Water Needs for Agriculture, Industry, Human Health and the Environment*. The Bubble Is Close to Bursting: A Forecast of the Main Economic and Geopolitical Water Issues Likely to Arise, (January), 68.
- WWAP, U. (2012). *World Water Assessment Programme: The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*. Paris: UNESCO.
- Yang, H., & Abbaspour, K. C. (2007). *Analysis of wastewater reuse potential in Beijing*. Desalination, 212(1-3), 238-250.
- Yannopoulos, S., Giannopoulou, I., & Kaiafa-Saropoulou, M. (2019). *Investigation of the current situation and prospects for the development of rainwater harvesting as a tool to confront water scarcity worldwide*. Water, 11(10), 2168.

F. ANEXOS

Anexo 1. Papel triturado



Anexo 2. Papel remojado



Anexo 3. Pulpa de papel



Anexo 4. Formación de la lámina de papel



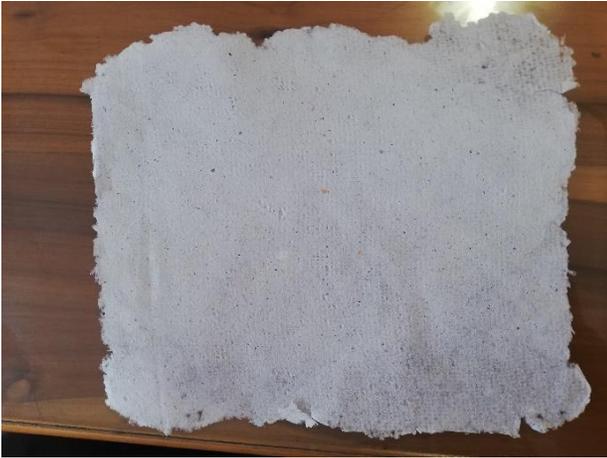
Anexo 5. Lámina de papel húmeda



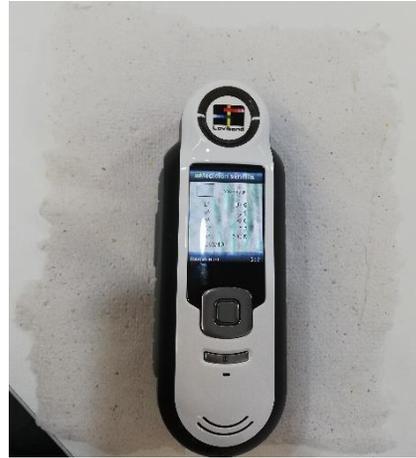
Anexo 6. Lámina de papel seca



Anexo 7. Lámina de papel



Anexo 10. Colorimetría



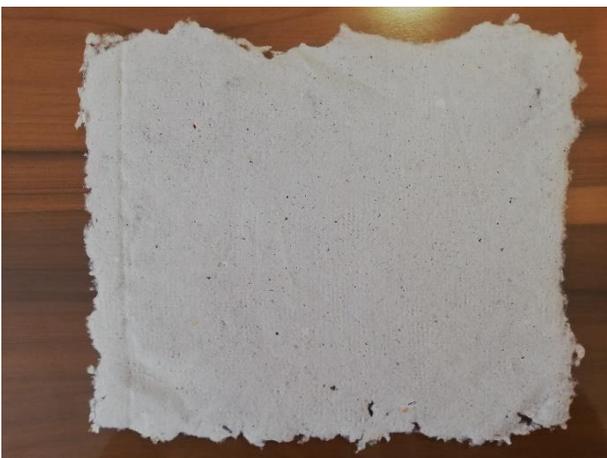
Anexo 8. Lámina de papel perfilada



Anexo 11. Incombustibilidad



Anexo 9. Lámina de papel con agua lluvia



Anexo 12. Absorción



Anexo 13. Gramaje

