



Análisis para la mejora del sistema de recirculación de agua en la zona de empacadora y embarque de una finca de producción de banano en Urabá, Antioquia: Caso de estudio finca Estampa.

Joaquín Esteban Murillo Domínguez

Trabajo de grado profesional para optar al título de Ingeniero Sanitario

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria

Orientador

Juan Pablo Serna López, Doctor (PhD) en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Sanitaria

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	(Murillo, 2025)
Referencia	Murillo, Joaquín. (2025). <i>Análisis para la mejora del sistema de recirculación de agua en la zona de embarque y empaque de una finca de producción de banano en Urabá, Antioquia: Caso de estudio finca Estampa</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi madre, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi ejemplo de esfuerzo y dedicación. Sin ella, este sueño no habría sido posible.

A mis familiares y amigos, por creer en mí, por sus palabras de ánimo en los momentos difíciles y por compartir conmigo cada pequeño logro.

A mis profesores y mentores, que con paciencia y compromiso me guiaron en este camino del aprendizaje.

Y, finalmente, a mí mismo, por no rendirme, por superar los obstáculos y por demostrarme que los sueños se logran con esfuerzo y perseverancia.

Este trabajo es para todos ustedes.

Agradecimientos

Agradezco a toda mi familia por siempre apoyarme, particularmente a mi madre y a mi hermano, quienes han sido los pilares que me han sostenido a lo largo de mi carrera universitaria.

Extiendo mi agradecimiento a todos mis compañeros de estudio, en especial a Daniel, Carolina, Sebas y Jazmín, quienes fueron una guía invaluable durante esta travesía.

Mil gracias a la empresa Sara Palma S.A.S., y en especial al equipo de Gestión Ambiental y Certificaciones, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional. Un agradecimiento aún mayor a los aprendices de la empresa, quienes fueron una recarga anímica durante toda mi estadía en la región de Urabá.

Mi más sincero agradecimiento para Miryam, por ser una gran persona y un apoyo fundamental en mis prácticas académicas.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
1. Introducción	10
2. Objetivos	12
2.1 Objetivo general	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3. Marco teórico	13
4. Metodología.....	16
4.1 Revisión de literatura y consumo de agua en finca Estampa.	17
4.2 Diagnóstico y evaluación del estado del sistema de recirculación.....	18
4.2.1 Seguimiento diario de las labores en la finca.	18
4.2.2 Evaluación del funcionamiento de la PTRA	18
4.3 Gasto de agua en otras labores.	18
5. Análisis de resultados.	19
5.1. Revisión consumo de agua en la finca.	19
5.2 Revisión en campo del sistema de recirculación finca Estampa.	20
5.2.1 Operación y mantenimiento zona de empacadora.	20
5.2.2 Operación y mantenimiento de PTRA.....	21
5.3. Gastos de agua en otras labores.....	23
5.4 Propuesta de mejoras.....	25
6. Conclusiones y recomendaciones.....	26
Referencias	28
Anexos.....	30

Lista de tablas

Tabla 1. Aforo de agua consumida en zona de barcadilla.....	24
Tabla 2. Cálculo de consumo de agua por racimo.	25

Lista de figuras

Figura 1. <i>Consumo semanal finca Estampa</i>	19
--	----

Siglas, acrónimos y abreviaturas

PTRA	Planta de tratamiento y recirculación de aguas.
FAO	Food and Agriculture Organization
CORPOURABA	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá

Resumen

El presente trabajo aborda la gestión hídrica en la producción de banano, enfocándose en el sistema de recirculación de aguas de la finca Estampa, perteneciente a Agrícola Sara Palma S.A.S. Este sistema es esencial para reducir el impacto ambiental de la actividad bananera, caracterizada por un elevado consumo de agua y la generación de aguas residuales. Dentro de los objetivos se buscó diagnosticar el funcionamiento del sistema, identificar puntos críticos y proponer mejoras para optimizar el uso eficiente del agua.

La metodología empleada incluyó observación participativa, análisis de datos de consumo hídrico y diagnóstico detallado de las unidades de tratamiento. Los resultados evidenciaron pérdidas significativas de agua debido a la sobrecarga del caudal en la planta de tratamiento y recirculación de aguas (PTRA) y uso ineficiente del recurso en labores como el lavado de cochinillas. Estas deficiencias llevaron a un consumo que frecuentemente supera el límite semanal de 150 m³ establecido por la autoridad ambiental. Por ello se proponen mejoras, como la implementación de medidores en el área de la empacadora, capacitación del personal y aprovechamiento del agua de lavado. Estas acciones contribuirían a un uso más eficiente del recurso hídrico, garantizando la sostenibilidad ambiental y económica de la finca, y fomentando el cumplimiento de normativas ambientales.

Palabras clave: sistema de Recirculación de agua, producción de banano, demanda de agua, optimización del consumo.

Abstract

This work addresses water management in banana production, focusing on the water recirculation system at the Estampa farm, owned by Agrícola Sara Palma S.A.S. This system is essential for reducing the environmental impact of banana farming, which is characterized by high water consumption and the generation of wastewater. The objectives included diagnosing the system's operation, identifying critical points, and proposing improvements to optimize efficient water use.

The methodology employed included participatory observation, analysis of water consumption data, and a detailed diagnosis of the treatment units. The results revealed significant water losses due to overloads in the flow rate of the water treatment and recirculation plant (PTRA) and inefficient use of the resource in tasks such as cochineal washing. These deficiencies led to water consumption frequently exceeding the weekly limit of 150 m³ established by the environmental authority.

As a result, improvements are proposed, such as implementing meters in the packing area, training personnel, and reusing wash water. These actions would contribute to more efficient water use, ensuring the farm's environmental and economic sustainability while promoting compliance with environmental regulations.

Keywords: water recirculation system, banana production, water demand, consumption optimization.

1. Introducción

La agricultura ha sido una actividad esencial para la humanidad desde los albores de la civilización, permitiendo el asentamiento de las comunidades y el desarrollo de las sociedades (Robledo, 2014). El cultivo del banano, originario del sudeste asiático, se ha expandido globalmente, convirtiéndose en uno de los frutos más consumidos y cultivados en el mundo debido a su valor nutricional y su rentabilidad económica (Sáez & Soto, 2011). En América Latina, la producción de banano es una actividad económica crucial, especialmente en países como Ecuador, Costa Rica y Colombia, que se destacan como grandes exportadores mundiales (Caicedo et al, 2022).

El cultivo del banano se ha convertido en un pilar para la economía en algunas regiones y representa una fuente significativa de ingresos y empleo para las familias. Para las mujeres, al ser en un gran porcentaje de casos el sustento familiar la producción de banano representan un 43 % de la mano de obra laboral en países en desarrollos, contribuyendo a mejoras en cuanto a la equidad de género en comunidades rurales. Sin embargo, la producción intensiva de banano también ha traído consigo una serie de desafíos, especialmente en términos de sostenibilidad ambiental (Food and Agriculture Organization [FAO], 2018).

Este cultivo enfrenta varios retos ambientales, entre los cuales destacan el uso intensivo de agroquímicos, la deforestación y, de manera particular, la gestión inadecuada del agua. La producción de banano requiere grandes cantidades de agua, tanto para el riego como para el procesamiento y limpieza del fruto. Esto ha llevado a problemas como la contaminación de fuentes hídricas por el uso de pesticidas y fertilizantes, así como la generación de aguas residuales con altas cargas de contaminantes (Ordoñez, 2016).

La ingeniería juega un papel crucial en la mitigación de los impactos ambientales asociados con la producción de banano. El tratamiento adecuado de las aguas residuales generadas en este proceso es fundamental para reducir la contaminación y proteger los ecosistemas acuáticos. Tecnologías como los sistemas de tratamiento biológico y la recirculación de agua son algunas de

las estrategias que implementadas para mejorar la sostenibilidad del cultivo de banano (FAO, 2017).

La región bananera de Urabá se ha consolidado como un eje clave en el desarrollo socioeconómico de Colombia, gracias a su agroindustria orientada hacia la exportación. Este sector no solo ha generado más de 72.000 empleos directos y 27000 empleos indirectos que benefician a miles de familias, sino que también ha impulsado la construcción de infraestructura y mejorado la calidad de vida de sus habitantes a través de iniciativas públicas y privadas. La integración de la economía local con los mercados internacionales ha permitido a Urabá destacar como un modelo de desarrollo sostenible, que combina productividad agrícola con responsabilidad social y ambiental, fortaleciendo así su competitividad en el ámbito global (Posada, 2022).

Este trabajo busca evaluar mejoras para la gestión y tratamiento de las aguas residuales generadas durante la producción de banano. Además, se propondrán soluciones para optimizar el uso del agua en la producción de la fruta con un enfoque en la ingeniería sanitaria.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el sistema de recirculación de aguas en la producción de banano de una finca bananera en Urabá, Antioquia para la adecuada optimización de dicho sistema.

2.2 Objetivos específicos

- Revisar los registros de consumo de agua en el proceso de empaquetado y posterior tratamiento en la planta de recirculación.
- Realizar el diagnóstico a las unidades de tratamiento implicadas en el sistema de recirculación.
- Proponer mejoras en el sistema de recirculación para maximizar la eficiencia en el consumo de agua.

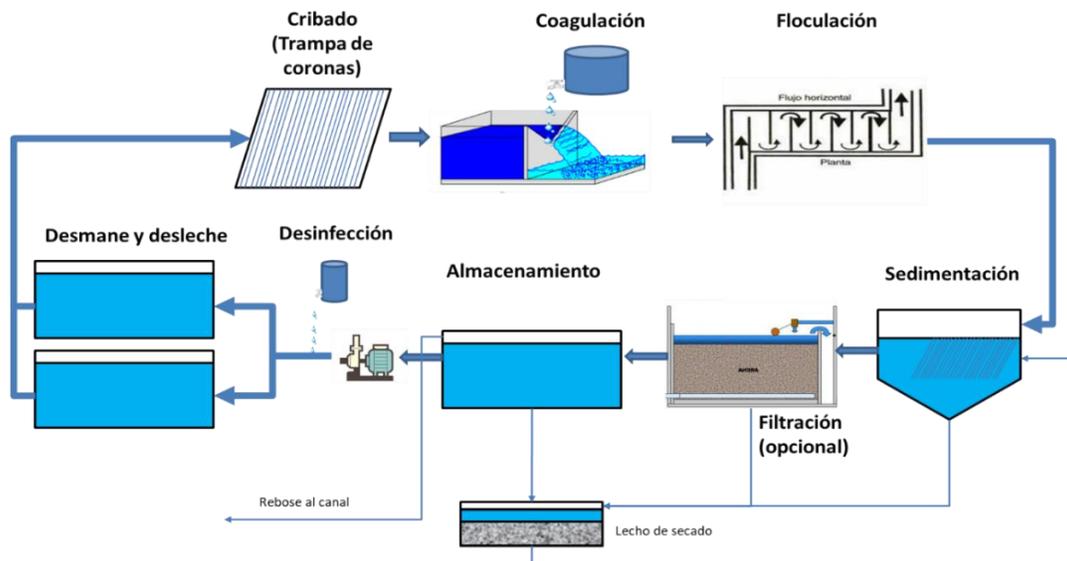
3. Marco teórico

La producción de banano requiere grandes cantidades de agua, lo que puede llevar a la sobreexplotación de fuentes hídricas locales, afectando la disponibilidad de agua para comunidades y ecosistemas. El uso intensivo de agua y la deforestación asociada a la expansión de la industria pueden contribuir al cambio climático, lo que a su vez puede impactar la disponibilidad de agua en el futuro (Medina, 2018).

Agrícola Sara Palma S.A.S es una empresa productora de banano ubicada en el municipio de Apartadó, Antioquia que cuenta con veintiséis fincas asociadas. Comprometida con el cuidado del recurso hídrico, en cada una de las fincas han implementado métodos para reducir el consumo de agua en los procesos de producción, es por esto que cada una de las fincas cuentan con un sistema de recirculación de aguas, con la finalidad de reducir el impacto que la industria bananera tiene en las fuentes hídricas. Los sistemas de recirculación de aguas (**Imagen 1**) son sistemas diseñados para gestionar el uso eficiente y sostenible del agua en la actividad de lavado y empaque del banano, para que posteriormente esta fruta pueda ser comercializada (FAO, 2017).

Imagen 1.

Diagrama de un sistema de recirculación en las fincas asociadas.



Fuente: (Vergara, 2020).

Se vuelve fundamental entender todos los procesos correspondientes a la fase de lavado y empaque del banano, es por esto que, a continuación, se definirán los conceptos y unidades referente a esta fase.

- **Canal de ingreso:** se trata del canal que conecta la trampa de coronas con la PTRA; en la entrada de esta se produce una alta turbulencia la cual se aprovecha como punto de mezcla rápida para agregar un coagulante (López et al ,2018).
- **Clúster o mano:** es una subdivisión del racimo completo del banano y consiste en un grupo de frutos que están adheridos a un mismo tallo secundario que se desprende del tallo principal del racimo (Montero, 1998).
- **Embarque:** es el día en que las cajas de banano, previamente empacadas y listas para la exportación, son transportadas desde la finca hacia el puerto o el lugar de acopio final. Este día es crucial dentro de la operación logística de la producción bananera, ya que garantiza que la fruta llegue a tiempo y en óptimas condiciones al mercado internacional (Montero, 1998).
- **Floculador:** en esta zona de menor turbulencia es donde se presenta las interacciones moleculares correspondientes a la formación de los flóculos de látex y los coloides sobrantes en los procesos concernientes al lavado de la fruta (López et al ,2018).
- **Lavado de cochinilla:** es el proceso de limpieza de los frutos de banano para eliminar cochinillas, que son insectos pequeños que se adhieren a la cáscara del banano. Estos insectos pueden afectar la calidad visual del fruto y reducir su valor comercial (Montero, 1998).
- **Lechos de secado:** son las unidades donde se depositan los lodos resultantes de la unidad de sedimentación. Estos lodos se recolectan periódicamente para después realizar la disposición respectiva (López et al ,2018).
- **Planta de tratamiento y recirculación de aguas (PTRA):** es una instalación diseñada para recoger, limpiar y reutilizar el agua utilizada en el lavado de bananos. Esta planta elimina contaminantes y sólidos del agua para que pueda ser recirculada, reduciendo el consumo de agua y minimizando el impacto en las fuentes de captación.
- **Racimo:** es la estructura completa de frutas que crece de una planta de banano y que se compone de múltiples grupos de bananos llamados "manos" o "clústeres" (Montero, 1998).

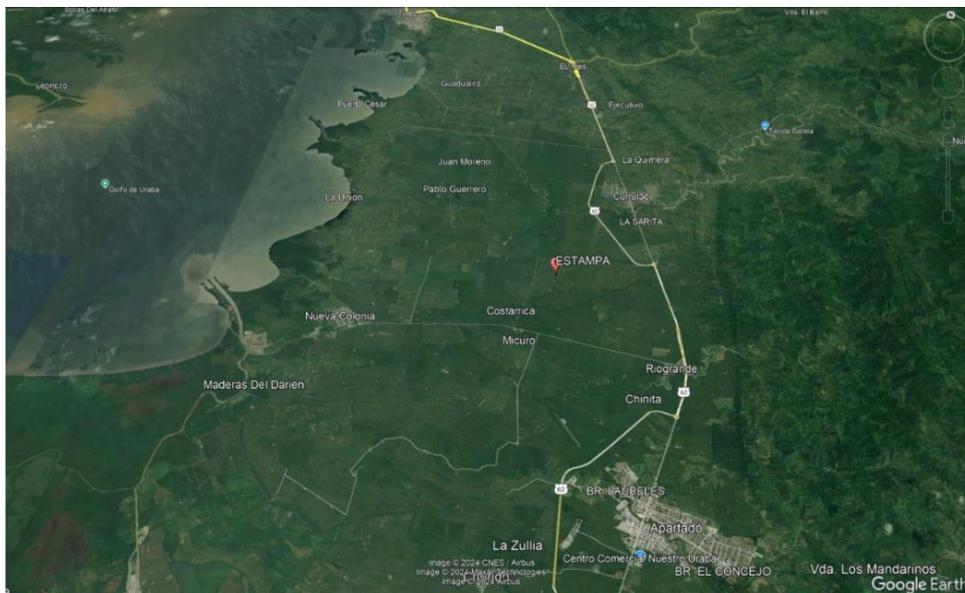
- **Reservorio:** es una unidad para el almacenamiento, la desinfección y el transporte nuevamente hacia los tanques de desmane y desleche (López et al ,2018).
- **Sistema de recirculación de aguas:** es un conjunto de procesos e infraestructura diseñado para recoger, tratar y reutilizar el agua empleada durante las operaciones de lavado y procesamiento del banano de la zona de embarque empacadora de una finca bananera. Este sistema incluye componentes como tanques de desleche y desmane, sedimentador, floculadores, trampa de coronas y reservorios de almacenamiento (Vergara, 2020).
- **Tanques de desmane y desleche:** en el tanque de desleche, los clústeres se dejan por un tiempo mínimo de diez minutos para que se dé la mayor remoción del látex en la fruta. El tanque de desmane es aquel donde llegan los clústeres de bananos recién cortados del racimo para realizar la respectiva clasificación por parte de los operarios (Montero, 1998).
- **Trampa de coronas:** es una unidad de cribado donde el agua con látex que sale de los tanques de desleche y desmane será separada de los sólidos gruesos como arenas y los trozos de coronas sobrantes de los clústeres de banano (López et al ,2018).
- **Zona de embarque y empacadora:** es el área donde se llevan a cabo las actividades de selección, clasificación y empaque de los racimos de banano tras su cosecha. En esta zona, los frutos se limpian, revisan y clasifican según su calidad, y luego se empacan en cajas listas para su transporte y posterior comercialización (Montero, 1998).
- **Zona de mercado nacional:** es el área destinada al manejo del producto que no cumple con los estándares de calidad premium necesarios para la exportación. En esta zona, el banano de "rechazo" se separa y se empaca en cajas especialmente preparadas para su venta en el mercado interno, asegurando que el fruto aún cumpla con las condiciones adecuadas para el consumo local (Zárate, 2023).

4. Metodología.

La práctica se centró en el sistema de recirculación de la finca Estampa perteneciente a la finca Agrícola Sara Palma S.A.S. La finca se localiza en el corregimiento de Nueva Colonia, perteneciente al municipio de Turbo, Antioquia. Hace parte de la comunal La Suerte, posee una extensión de 138.66 hectáreas. La temperatura promedio en la zona es de 28 grados Celsius, con una humedad relativa media del 85%; y se encuentra a una altura de 14 metros sobre el nivel del mar (**Imagen 2**). La precipitación anual promedio es de 2500 mm; la región corresponde a una zona de transición entre el bosque húmedo seco y el bosque tropical (Bautista, 2021).

Imagen 2.

Zona de estudio: finca Estampa.



Fuente: Google Earth.

Las actividades productivas de la finca Estampa se abastecen mediante una fuente de agua subterránea. El registro del consumo de agua en la finca se realiza mediante un sistema de base de datos. Este proceso incluye la captura de una fotografía semanal, tomada al inicio de la jornada laboral del primer día de la semana. En dicha foto se documenta la lectura del medidor (**Imagen 3**), el cual está instalado inmediatamente después de la bomba de succión que extrae el agua del pozo subterráneo que abastece a toda la finca.

Imagen 3.

Medidor de agua finca Estampa



Fuente: Elaboración propia.

En el desarrollo de la práctica académica en la finca se llevó a cabo diversas actividades orientadas a la comprensión y aplicación de la ingeniería sanitaria en los procesos productivos del banano como lo son el desmane y la selección de la fruta en área de empaque y embarque. La metodología utilizada se basó en la observación participativa y en el aprendizaje práctico, lo que permitió involucrarse de manera activa en las distintas etapas de la producción y dar distintas perspectivas en cuanto a la demanda de agua en el sistema de recirculación. A continuación, se plantea lo realizado en el desarrollo del estudio.

4.1 Revisión de literatura y consumo de agua en finca Estampa.

La revisión bibliográfica del sistema de recirculación de aguas de la finca Estampa implicó la recopilación de información de fuentes relevantes, como manuales de operación, libros, revistas científicas, informes técnicos y estudios de casos. Posteriormente, se analizó y sintetizó esta información para obtener una comprensión completa del funcionamiento y operación del sistema. Este proceso permitió obtener conocimientos fundamentales y actualizados sobre la operatividad del sistema de recirculación en el sitio de estudio.

También se recopiló la información correspondiente al consumo semanal de agua en la finca; Para ello, se usó como base el cumplimiento de los límites de concesión de demanda hídrica para el pozo subterráneo de la finca Estampa otorgada y regulada por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABA) por la Resolución 200-03-30-99-0322-2023 (CORPOURABA, 2023).

4.2 Diagnóstico y evaluación del estado del sistema de recirculación.

Se realizó una caracterización detallada del estado y funcionamiento del sistema de recirculación, los procesos de tratamiento utilizados, los equipos y procedimientos o protocolos de operación; este sistema forma parte de la zona de embarque y empaque de la finca, como se evidencia en el Anexo 1 (el área llamada “sitio de monitoreo” es la correspondiente a la PTR). Esta actividad tuvo una duración de dos semanas, abarcando las semanas 42 y 43 del año 2024.

4.2.1 Seguimiento diario de las labores en la finca.

Se realizó el diagnóstico diariamente durante dos semanas en el sistema de la finca Estampa, inicialmente se tomó el registro del medidor de agua antes de iniciar la jornada de labor con la intención de medir el consumo de agua diario en la finca. En este seguimiento se observó el llenado de los tanques de desleche y desmane, el pre-aseo y aseo en la zona de empaque y embarque.

4.2.2 Evaluación del funcionamiento de la PTR

En las observaciones del sistema de recirculación, se hizo un énfasis especial a la planta de tratamiento y recirculación de aguas, puesto que este es crucial en el manejo y la disposición de las aguas, es por esto que se analizó parte por parte la operación y el mantenimiento de la planta.

4.3 Gasto de agua en otras labores.

Con el objetivo de reducir el consumo de agua y maximizar su aprovechamiento, se analizaron actividades en las que el agua no es utilizada de manera eficiente y que no están consideradas en el sistema de recirculación, como lo es el lavado de la cochinilla. Es por esto que, se realizó un aforo de agua para medir la demanda de agua de esta labor para el posible aprovechamiento de este volumen de agua gastada para reducir la demanda en la fuente de captación.

El aforo se realizó durante la semana 43, contando con el apoyo del personal encargado del lavado de la cochinilla para estimar el consumo de agua en esta actividad. Para ello, se utilizó un balde con una capacidad de 20 litros y se midieron los tiempos de llenado de este, lo que permitió calcular el caudal de agua utilizado por las mangueras en el lavado de la cochinilla. Tras realizar varias repeticiones de las mediciones, se promediaron los datos obtenidos y se determinó un caudal promedio gastado en esta labor.

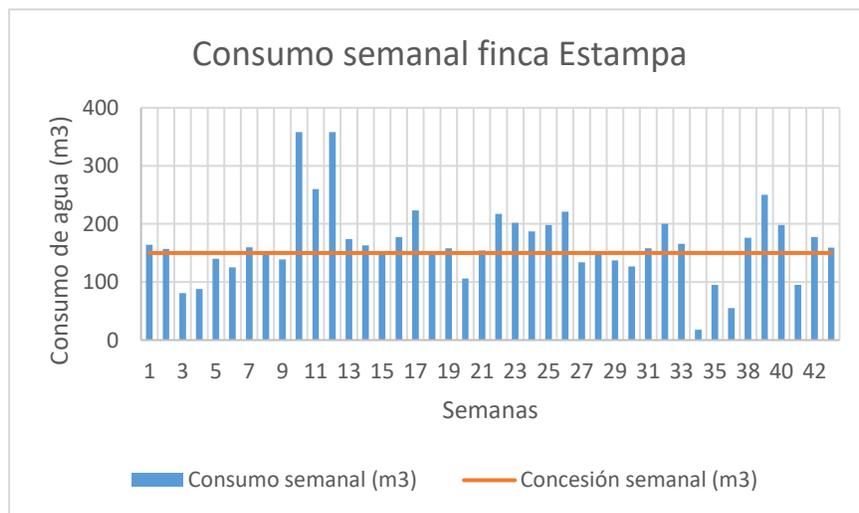
5. Análisis de resultados.

5.1. Revisión consumo de agua en la finca.

Para determinar la demanda hídrica de la finca, se analizaron los consumos de agua registrados durante el año 2024 como periodo de referencia. En este análisis, se revisaron los consumos semanales de agua, los cuales se compararon con el límite máximo establecido por la Resolución 200-03-30-99-0322-2023 de CORPOURABA (Figura 1). Se observó que el consumo semanal máximo permitido, de 150 m³, fue superado en varias semanas, lo que puede llegar a implicar sanciones según la normativa ambiental vigente en Colombia según lo establecido por la Ley 1333 de 2009 (Congreso de la República de Colombia, 2009).

Figura 1.

Consumo semanal finca Estampa.



Fuente: Elaboración propia.

El alto consumo de agua observado en esas semanas se asocia a los picos de producción de banano, los cuales coinciden con los periodos de mayor demanda de recursos hídricos debido a la intensificación de las actividades de cultivo. Estos picos de producción se deben, en gran medida, a la planificación de la empresa, que cronograma estratégicamente estos periodos para maximizar el rendimiento. Además, el incremento en la producción también puede estar influenciado por la introducción de nuevas variantes de banano, que requieren mayor consumo de agua para sostener un desarrollo óptimo y mantener la calidad del producto (Hoyos, 2021).

5.2 Revisión en campo del sistema de recirculación finca Estampa.

En las semanas 42 y 43 del año 2024 se realizaron las jornadas de campo donde se analizó al detalle todos los procedimientos realizados en el sistema de recirculación. En estas visitas se planteó el paso a seguir y se definieron los parámetros correspondientes para la identificación de los puntos críticos. Se encontró los siguientes hallazgos:

5.2.1 Operación y mantenimiento zona de empacadora.

En la zona de empacadora está compuesta por los tanques de desmane y desleche con 20 y 36 m³ respectivamente; cada uno cuentan con una profundidad de 70 y 78 cm respectivamente, profundidad que según Vallejo, Vallejo, Nájera y Garnier (2018) son profundidades claves para la disminución del consumo de agua en la finca.

En esta zona no se evidenciaron malas prácticas durante la operación rutinaria en los días de embarque, por lo que se determinó que las actividades realizadas en esos días no son las responsables de las pérdidas significativas de agua (**Imagen 4**).

El aseo a la zona de empacadora es una actividad que la empresa realiza semanalmente. Para esta labor, los tanques de desmane y desleche deben vaciarse por completo, pero este proceso debe realizarse de manera secuencial, vaciando un tanque a la vez. Este procedimiento permite controlar el caudal del agua descargada, evitando que se produzcan desbordamientos en el sistema. El agua descargada fluye hacia la planta de recirculación y, posteriormente, se almacena en el reservorio de agua, que tiene una capacidad total de 213 m³. Lo que se evidenció en este proceso es que no se tenía regulado el caudal, esto implicó una gran pérdida del caudal de agua que debía entrar a la PTR, caudal de agua que se desperdicia en los canales de desagüe de la finca.

Imagen 4.

Tanque de desmane en operación finca Estampa.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Operación y mantenimiento de PTRA.

Respecto a la planta de recirculación, durante su operación se verificó su correcto funcionamiento y manejo (**Imagen 5**). No se detectaron pérdidas ni filtraciones que pudieran indicar que esta fuera un factor contribuyente al aumento en el consumo de agua. La planta cuenta con una capacidad de almacenamiento de 26 m³.

Esta área, como la zona de empacadora también se le debe hacer una jornada de aseo que se realiza en la misma jornada junto a la anteriormente mencionada. En esta actividad se evidenció un déficit en la operación, ya que el sistema debe recibir el agua descargada de los tanques de desleche y desmane para transportarla al reservorio. Sin embargo, se constató que la planta estaba completamente llena, lo que provocó un desbordamiento significativo. Como resultado, una gran cantidad de agua se desperdició al derramarse en los alrededores de la planta de tratamientos (**Imagen 6**).

Imagen 5.

Planta de tratamiento de aguas finca Estampa.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6.

Perdidas por rebose de agua en planta de tratamientos finca Estampa.



Fuente: Elaboración propia.

5.3. Gastos de agua en otras labores.

Con el objetivo de reducir el consumo de agua, se propuso, además de inspeccionar los puntos críticos del sistema de recirculación, evaluar la zona de lavado de cochinilla (Imagen 7). Esta área es especialmente relevante, ya que se identificó una cantidad significativa de agua que no se reintegra al sistema de recirculación, lo que limita su aprovechamiento. Sin embargo, no fue posible determinar con exactitud el volumen de agua utilizada, debido a la ausencia de un sistema de medición. Por ello, se resaltó la importancia de instalar medidores de agua en esta zona, para cuantificar de manera precisa el consumo y optimizar su uso.

En particular, aunque en esta zona se emplean pistolas de agua a presión para el lavado de los racimos, herramienta fundamental para optimizar el consumo, el agua utilizada se desecha directamente al desagüe en lugar de redirigirse al reservorio para su reutilización (Vallejo et al, 2018). Por esta razón, se decidió realizar un aforo con el fin de estimar el volumen de agua que podría ser recuperado y aprovechado en los diferentes procesos de la finca.

Imagen 7.

Zona de lavado de cochinilla finca Estampa.



Fuente: Elaboración propia.

Este aforo se realizó utilizando un balde con una capacidad volumétrica de aproximadamente 20 litros; el aforo consistió en que uno de los operarios abriera la manguera con la que se realiza el lavado y se determinó el tiempo con que este se logra llenar (**Anexo 2**); se realizaron diez mediciones. En la **Tabla 1** se muestran los resultados correspondientes al aforo realizado en esta área.

Tabla 1

Aforo de agua consumida en zona de lavado de cochinilla.

Prueba	Volumen (litros)	Tiempo de llenado (Segundos)
1	20	103,2
2		97,3
3		96,5
4		102
5		97,7
6		101,8
7		115,4
8		103,6
9		99,1
10		103,2
Promedio		105,98

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos recolectados como base, se promedió los datos y se obtuvo que el tiempo de llenado del balde fue de 105,98 segundos. Teniendo el volumen estimado del balde en 20 L, se calculó un caudal en las mangueras de 0,189 L/s.

Con el caudal promedio gastado por racimo, se procedió a estimar cuando volumen de agua se gastaba un operario por racimo, para esto se midió el tiempo en el cual un operador le llevaba lavar por completo el racimo, los resultados se dan a continuación en la **Tabla 2**.

Tabla 2*Cálculo de consumo de agua por racimo.*

Racimo	Tiempo de lavado (segundos)
1	10,2
2	8,7
3	9,3
4	12,4
5	11,6
6	7,9
7	11
8	8,3
9	10,5
10	9,6
11	8,9
12	12,7
13	13,2
14	10,8
15	11,6
Promedio	10,45

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó que el tiempo promedio de lavado por racimo es de 10,45 segundos. Considerando datos internos de la empresa, que indican un promedio diario de 867 racimos cortados en un día de embarque para la finca, se calculó un consumo promedio diario de agua netamente en el lavado de cochinillas aproximadamente de 1618 litros, equivalentes a 1,6 m³.

5.4 Propuesta de mejoras.

Aunque la finca dispone de un medidor general para registrar y controlar el consumo de agua en todas sus dependencias y actividades productivas que allí se realizan, resulta imprescindible la instalación de un medidor exclusivo para la zona de empacadora y embarque. Esto permitiría medir y monitorear con precisión los volúmenes de agua utilizados en dicha área y

verificar si las medidas implementadas para reducir el consumo están generando los resultados esperados.

Revisar y ajustar el horario de la jornada de aseo para coordinarla con la capacidad operativa de la planta de recirculación y el reservorio, puesto que es fundamental que la PTRa se encuentre vacía y no antes de transportar toda el agua al reservorio. Esto aseguraría que la planta de recirculación esté en condiciones óptimas para recibir el volumen de agua descargado, evitando pérdidas por sobrecarga.

Aunque durante la operación de la planta de recirculación, se realiza un uso y manejo adecuados, es esencial realizar capacitaciones al personal en prácticas eficientes de manejo de agua, enfocándose en la regulación del caudal y el manejo adecuado de los sistemas de control. Esto traería un aumento en la consciencia del personal sobre la importancia de la conservación del agua y la operación adecuada del sistema para minimizar pérdidas.

El aforo de agua realizado en la zona de lavado de cochinilla evidenció un importante potencial para el ahorro y optimización en el uso del recurso hídrico. Por ello, resulta fundamental implementar medidas que permitan aprovechar eficientemente este caudal. Una de las acciones clave es la instalación de canales y estructuras preliminares, como desarenadores, que faciliten el transporte y la integración del agua al sistema de recirculación.

6. Conclusiones y recomendaciones

Basado en la revisión de los registros de consumo de agua, se concluye que, aunque la finca dispone de un sistema para medir el consumo hídrico, el uso del recurso en varias ocasiones supera significativamente los límites establecidos por la autoridad ambiental. En particular, se observó que el consumo semanal permitido de 150 m³ fue excedido en varias semanas, superando incluso el límite en más de 50 m³. Esto evidencia la necesidad urgente de implementar estrategias de monitoreo continuo y optimización de los procesos, para garantizar el cumplimiento de la regulación ambiental, especialmente durante los picos de producción, sin comprometer la sostenibilidad económica ni la ambiental.

El diagnóstico realizado mostró que los principales puntos críticos del sistema de recirculación de agua están asociados a problemas operativos, como el manejo inadecuado del caudal durante la limpieza de los tanques y el desbordamiento del reservorio en la PTRA. Se subraya entonces la importancia de capacitar al personal y de establecer protocolos claros para la operación de estos sistemas.

El análisis del consumo de agua en actividades no integradas al sistema de recirculación, como el lavado de cochinilla, reveló que estas representan un volumen significativo de agua desechada. Se concluye que la integración de estas actividades al sistema de recirculación podría contribuir significativamente a la reducción del consumo global de agua en la finca, aumentando la eficiencia del sistema.

Las propuestas de mejoras, como la regulación adecuada de los caudales en la zona de empaquetado y la optimización de la capacidad de almacenamiento en la PTRA, son viables y fundamentales para reducir el desperdicio de agua. Estas acciones no solo permitirán reducir el impacto ambiental de las actividades productivas en la finca, sino que también contribuirán al cumplimiento normativo y a la sostenibilidad a largo plazo de la producción en la finca.

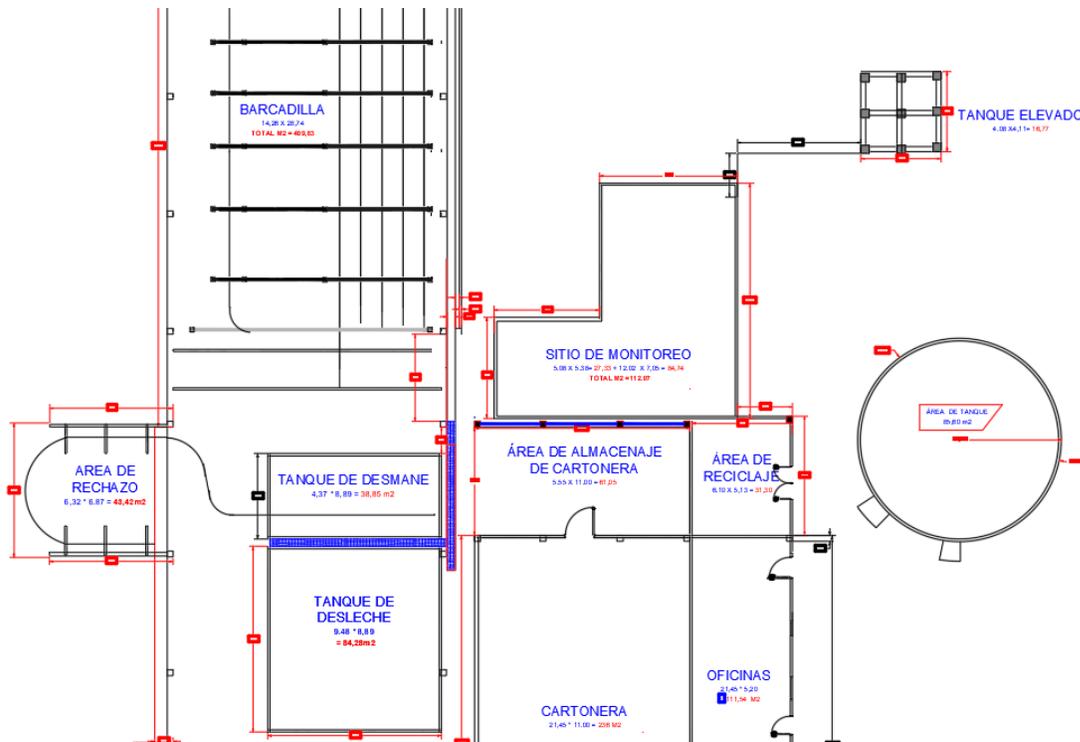
Referencias

1. Agrícola Sara Palma S.A.S (2022). *Programa quinquenal de uso eficiente y ahorro del agua. Finca Estampa* [Documento no publicado].
2. Bautista Racero, A. (2021). *Efectos del desguasque y aplicaciones de sales potásicas, en las poblaciones de cochinilla harinosa Pseudococcus sp., en el cultivo de banano (Musa AAA Simmonds), en la finca Estampa, municipio de Turbo - Antioquia.*
3. Caicedo Asprilla, H., Vargas Calderón, D. F., Rosero Giraldo, J. M., Durán Peralta, J., Jaramillo Cruz, C. A., Amórtegui, Y., Cruz Aguilar, P. L., Ríos Obando, J. F., Vargas García, L. M., & Tegethoff, T. M. (2022). *Plan estratégico y prospectivo del sector de frutas frescas en el Valle del Cauca 2033*. Programa Editorial Universidad del Valle. <https://doi.org/10.25100/peu.684>
4. Congreso de la República de Colombia. (2009). *Ley 1333 de 2009 - Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 47.361 del 21 de julio de 2009.
5. CORPOURABA. (2023). *Resolución 200-03-30-99-0322-2023: AGRÍCOLA SARA PALMA S.A.S, Expediente 200-16-51-01-222-2009*
6. FAO. (2017). *Huella de agua de la industria bananera*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a65d5e57-81b3-4efd-97a6-6a111b2b2ad0/content>
7. Granados Ibáñez, E. N., & Povea Gutiérrez, G. J. (2017). *Estudio de competitividad del sector exportador del banano del departamento del Magdalena y del Urabá antioqueño*.
8. Google Earth. (s.f.). *Zona de estudio en la subregión de Urabá, Antioquia*.
9. Hoyos Álvarez, J. A. (2021). *Estandarización de los procesos de producción para el aprovechamiento máximo de la fruta y sus recursos de la empresa Agrícola Sara Palma S.A.*
10. IPCC (2019). *Informe especial sobre cambio climático y uso de la tierra*. Ginebra: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
11. López, C. E., Bermúdez, L. H., García, C. M., & Londoño, P. A. (2018). *Manual para planta de recirculación y tratamiento de agua de lavado de banano*.
12. Medina, D. C. M. (2018). Impacto ambiental generado por la agricultura colombiana 1970-2014. *Conexión Agropecuaria JDC*, 8(1), 31-47.

13. Montero, Hugo. (1998). *Paquete de capacitación en manejo y postcosecha y comercialización del plátano*.
14. Ordoñez, A. (2016). *Impacto ambiental en los recursos naturales derivado de la actividad agrícola bananera en el Cantón Machala Provincia de el Oro*. Universidad técnica de Machala.
15. Posada González, S. (2022). *La Agroindustria Bananera como motor del Desarrollo Socioeconómico de la región de Urabá en los últimos 20 años*. Trabajo de Investigación, Pregrado en Economía.
16. Robledo-Arratia, L. (2014). *La historia de la agricultura y los cultivos transgénicos*. Cienciorama UNAM.
17. Sáez, J. A. L., & Soto, J. P. (2011). *Historia natural de los plátanos y las bananas*. Quercus, 212, 0054.
18. Vallejo Chaverri, A. L., Vallejo Solís, M. Á., Nájera Fernández, J., & Garnier Zamora, L. A. (2018). *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*.
19. Vergara, J. (2020). *Manual técnico de calidad de agua en plantas de tratamiento y recirculación* [Documento no publicado]. Apartadó: Uniban.
20. Zárate Martínez, Y. M. (2023). *Protocolo operacional de plantas de tratamiento de aguas residuales con recirculación para el lavado del banano en el Urabá Antioqueño: Un enfoque en la calidad del agua y el soporte técnico* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia.

Anexos

Anexo 1. Zona de embarque finca estampa.



Anexo 2. Aforo de agua zona de cochinilla finca Estampa.



Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Póster para presentación.

Escuela Ambiental

Análisis para la mejora del sistema de recirculación de agua en la zona de empacadora y embarque de una finca de producción de banano en Urabá, Antioquia: Caso de estudio finca Estampa.



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Facultad de Ingeniería

ESTUDIANTE: Joaquin Esteban Murillo Dominguez

PROGRAMA: Ingeniería Sanitaria

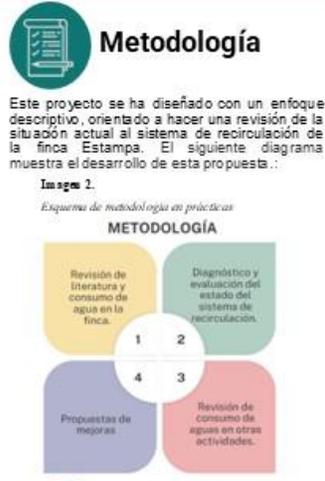
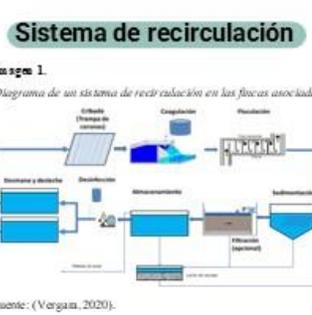
ASESOR(ES): Juan Pablo Serna López

SEMESTRE: 2024-2

Introducción

La producción de banano en el Urabá antioqueño se ha convertido en un pilar para el desarrollo social y económico de la región. Sin embargo, su producción intensiva enfrenta desafíos ambientales, especialmente por el alto consumo de agua en riego, procesamiento y limpieza de la fruta (Ordóñez, 2016; Posada, 2022). Este trabajo se enfocó en evaluar el sistema de recirculación y optimizar el uso del agua en la producción en la finca Estampa, proponiendo soluciones prácticas desde la ingeniería sanitaria para mejorar la sostenibilidad del cultivo y mitigar su impacto ambiental.

- ### Objetivo general
- ✓ Evaluar el sistema de recirculación de aguas en la producción de banano de una finca bananera para la adecuada optimización de dicho sistema.
- ### Objetivos específicos
- ✓ Revisar los registros de consumo de agua en el proceso de empaque y posterior tratamiento en la planta de recirculación.
 - ✓ Realizar el diagnóstico a las unidades de tratamiento implicadas en el sistema de recirculación.
 - ✓ Proponer mejoras en el sistema de recirculación para maximizar la eficiencia en el consumo de agua.



Con una estimación de racimos promedio cortados al día, se calculó un consumo promedio diario de agua netamente en el lavado de cochinitas aproximadamente de 1618 litros, equivalentes a 1,6 m³.

- ### Propuestas de mejora
- Instalación de medidores de aguas en la zona de empacadora y embarque.
 - Capacitaciones al personal de trabajo en el uso y ahorro eficiente del agua.
 - Instalación de canales y desarenadores para aprovechar el agua utilizada en la zona de lavado de cochinita.

- ### Conclusiones
- ✓ La revisión de los registros de consumo de agua revela que, aunque la finca cuenta con un sistema de medición, en ocasiones se supera el límite 150 m³, lo que exige estrategias de monitoreo continuo y optimización de procesos para cumplir con la normativa sin afectar la sostenibilidad.
 - ✓ El diagnóstico identificó problemas operativos en el sistema de recirculación de agua, como manejo inadecuado de caudales y desbordamientos, destacando la necesidad de capacitar al personal y establecer protocolos claros para su correcta operación.
 - ✓ El análisis mostró que actividades fuera del sistema de recirculación, como el lavado de cochinita, generan un alto desperdicio de agua, por lo que su integración podría reducir significativamente el consumo total y aumentar la eficiencia del sistema.

DATOS DE CONTACTO DEL AUTOR

 Murillo.murillo@udea.edu.co

- Ordóñez, A. (2016). Impacto ambiental en los recursos naturales derivado de la actividad agrícola bananera en el Cantón Machala Provincia de el Oro. Universidad técnica de Machala.
- Posada González, S. (2022). La Agroindustria Bananera como motor del Desarrollo Socioeconómico de la región de Urabá en los últimos 20 años. Vergara, J. (2020). Manual técnico de calidad de agua en plantas de tratamiento y recirculación



Escanea este QR para acceder a la bibliografía del trabajo.