

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

<https://doi.org/10.35381/a.g.v6i10.3182>

Tratamiento de aguas para uso agropecuario. Caso: Proyecto Agrosilvopastoril, Orellana, Ecuador

Water treatment for agricultural use. Case: Agrosilvopastoril Project, Orellana, Ecuador

Byron Jesús Serrano-Castillo

bserrano@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Coca, Orellana
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-2909-8035>

Greys Carolina Herrera-Morales

greys.herrera@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Coca, Orellana
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-9184-0333>

Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

mirian.jimenez@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Coca, Orellana
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-8047-7911>

Recibido: 15 de septiembre 2023

Revisado: 10 de noviembre 2023

Aprobado: 15 de diciembre 2023

Publicado: 01 de enero 2024

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue diseñar un tratamiento de aguas para uso agropecuario de las fincas que forman parte del proyecto agrosilvopastoril localizadas en la provincia de Orellana Ecuador. En cuanto a la metodología utilizada, se partió de la medición de los caudales, estableciendo puntos de muestreo estratégicamente situados en las fuentes de cuatro fincas. Los resultados mostraron que los caudales promedios fluctúan entre 0.01 hasta 503.38 L/s; que las concentraciones de cobre, hierro, pH y coliformes fecales superaron los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente; el caudal de diseño se determinó en base al consumo máximo por tipo y etapa de cultivo, en adición al consumo de uso pecuario. En conclusión este estudio proporciona una base integral para el diseño y la implementación de un sistema de tratamiento de agua adaptado a las características específicas del área de estudio y las necesidades de uso silvopastoril.

Descriptor: Diseño; agua de calidad; agropecuario; sistemas agrosilvopastoriles; cultivo. (Tesoro AGROVOC).

ABSTRACT

The objective of this research was to design a water treatment for agricultural use on the farms that are part of the agrosilvopastoral project located in the province of Orellana Ecuador. Regarding the methodology used, the starting point was to measure the flows, establishing sampling points strategically located at the sources of four farms. The results showed that the average flow rates fluctuate between 0.01 and 503.38 L/s; that the concentrations of copper, iron, pH and fecal coliforms exceeded the permissible limits established in current environmental regulations; The design flow was determined based on the maximum consumption by type and stage of cultivation, in addition to the consumption of livestock use. In conclusion, this study provides a comprehensive basis for the design and implementation of a water treatment system adapted to the characteristics specific to the study area and the needs of silvopastoral use.

Descriptors: Design; quality water; agricultural; agrosilvopastoral systems; crop. (AGROVOC Thesaurus).

INTRODUCCIÓN

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

El agua dulce es un recurso precioso, pero escaso. De todos los recursos hídricos disponibles en el mundo, solo el 0,3% corresponden a agua dulce. La agricultura es una de las actividades que más demanda agua. La producción de distintos cultivos, como el arroz, trigo y algodón, sobre utilizan las fuentes de agua (Tuninetti et al., 2019).

En la ganadería, el agua es necesaria durante todas sus etapas, consumiendo abundantes cantidades de este recurso. Por ejemplo, en la industria cárnica se necesita agua durante sus actividades de procesamiento, maquinaria y equipos, así como en las áreas de procesamiento (Rojas Sosa et al., 2022). El agua utilizada en las diversas actividades agropecuarias puede provenir de fuentes subterráneas, superficiales, incluyendo aguas residuales previamente tratadas. Factores de origen natural y antropogénico influyen en su disponibilidad.

Los factores antropogénicos tienen un gran impacto en la calidad del agua, debido a procesos derivados de actividades agrícolas, industrialización, aguas residuales, entre otros. Mientras que el agua en fuentes naturales puede alterarse debido a procesos hidrológicos, geológicos y climáticos; los que a su vez modifican el pH, alcalinidad, concentraciones de fósforo, flúor, sulfatos y demás parámetros del suelo (Khatri y Tyagi, 2015). El uso de agua de mala calidad en la producción agropecuaria podría alterar la inocuidad de los alimentos (Arenas et al., 2017).

En relación a la producción pecuaria existen reportes que indicarían que, la contaminación de productos como la leche o carne, se daría desde su producción (Arenas et al., 2017). Esto se debería al uso de agua con calidad deficiente, en actividades como limpieza de las instalaciones o lavado de utensilios; registrando la presencia de microorganismos como: coliformes, *E. coli*, *Salmonella* spp. y *Staphylococcus coagulasa* positivo (Martínez Vasallo et al., 2015; Valdivia Ávila et al., 2020).

Por otro lado, el riego de cultivos con agua de mala calidad podría alterar el suelo y tener efectos adversos en el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Esto conduciría a

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

problemas de calidad en la producción, alterando así la seguridad de los alimentos (Tomaz et al., 2020). El agua contaminada constituye una amenaza para la calidad de productos agrícolas en varios países, debido a que es la responsable del vertimiento de agroquímicos, materia orgánica, sedimentos y sales; los cuales contienen nitratos, metales, organismos patógenos del ganado, plaguicidas y contaminantes emergentes. Del total de agua que se extrae a nivel mundial, el 70% es utilizada en actividades agrícolas. Paralelamente, el agua natural empleada en actividades agrícolas, puede contener sustancias tóxicas para los seres vivos como los contaminantes orgánicos e inorgánicos (fertilizantes y metales pesados), así como minerales y microorganismos (Quinteros et al., 2019). En Ecuador, las aguas residuales de casi todas las ciudades son descargadas directamente en los cuerpos de agua, siendo su principal fuente de polución; a lo cual se suman las descargas provenientes de la minería artesanal, así como de actividades hidrocarburíferas y agricultura. El 82% del agua autorizada se emplea en actividades agropecuarias; de esta, el agua utilizada para riego agrícola incumple en un 53,3% los criterios de calidad para dicho fin (Secretaría del Agua; Agencia de Regulación y Control del Agua, 2016).

En este contexto, la gestión del agua juega un papel fundamental para mantener la seguridad alimentaria. Las tecnologías para su tratamiento permiten obtener agua de calidad, al remover contaminantes como metales pesados, materia orgánica e inorgánica, sustancias químicas y contaminantes microbianos (Abu Hasan et al., 2020). Los procesos para el tratamiento dependerán de una serie de factores, entre ellos se encuentran las características del agua cruda; entre los más comunes se encuentran la mezcla rápida, floculación, sedimentación y/o clarificación, filtración y desinfección (Vigneswaran et al., 2009). Por tal motivo, el presente trabajo se centró en el diseño de un sistema de tratamiento de agua, para uso en el ámbito agropecuario de la Estación Experimental La Belleza y su área de influencia.

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

El objetivo de esta investigación fue diseñar un tratamiento de aguas para uso agropecuario de las fincas que forman parte del proyecto agrosilvopastoril localizadas en la provincia de Orellana, Ecuador. Esta propuesta beneficia de manera directa al área social y ambiental, en diferentes aspectos como mejorar la calidad del agua, optimizar el uso de este recurso y disminuir un porcentaje de enfermedades gastrointestinales en la producción y crianza de animales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se compone de dos partes principales, un análisis documental para el desarrollo del marco teórico referencial que guíe el desarrollo de la investigación. Los temas principales a tratar fueron: producción agrosilvopastoril, calidad del agua para uso agropecuario, calidad del agua en fuentes naturales, sistemas convencionales para el tratamiento del agua y parámetros de calidad del agua. Un segundo momento se desarrolla una investigación de campo que se describe a continuación.

Se recorrieron los predios de las fincas de estudio, identificando las 3 ha de cada una que forman parte del proyecto agrosilvopastoril. Para la georreferenciación de los puntos se empleó el GPS Montana 680 de la marca Garmin y se procedió de la siguiente manera: Recorrido e identificación del área; selección de puntos y levantamiento de sus coordenadas, guardado de las coordenadas en la memoria del dispositivo; ingreso de las coordenadas en el software ArcGIS y creación de los planos perimétricos de cada finca.

Se procedió a realizar la medición del caudal de los cuerpos de agua para su uso agropecuario, de las fincas que forman parte del proyecto agrosilvopastoril, se realizó mediante el método volumétrico y método de flotadores, a partir de lo propuesto por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Chamorro, 2011), métodos que son descritos en los siguientes puntos. También se aplicó el método volumétrico; este método se utilizó en una caída de agua, en la cual se pudo interponer un recipiente

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

impermeable de volumen conocido (botella de 1 L y balde de 10 L), como se visualiza en Ilustración 3-3; con ayuda de un cronómetro se registró el tiempo de llenado. Una vez conocidos el volumen y tiempo de llenado, a través de cálculos con la ecuación descrita a continuación, pudo obtenerse el caudal.

Procesamiento de información en SPSS

Para los efectos del procesamiento de información; se realizó a través del paquete estadístico de las ciencias sociales (SPSS), al respecto el procesamiento de los caudales de cada medición individual, así como de los valores de los parámetros de calidad del agua, se realizó con la herramienta estadística antes mencionada y así obtener medidas de dispersión: medias, desviación estándar, máximos, mínimos y coeficientes de variación. Para obtener las medias de subgrupo, se siguieron los pasos mencionados a continuación:

1. Seleccionar en los menús: Analizar > Estadísticos descriptivos > Descriptivos...
2. Seleccionar una o más variables dependientes.
3. Utilizar uno de los siguientes métodos para seleccionar variables independientes categóricas:
Seleccionar una o más variables independientes.
Seleccionar una o más capas de variables independientes.
4. En “Opciones” para obtener estadísticos de media, de dispersión (desviación estándar, mínimo y máximo).

Selección de los métodos de tratamiento

La complejidad del sistema de tratamiento depende de la calidad del agua cruda, donde la selección de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados desempeñan un papel fundamental. Existen una serie de criterios generales a considerar durante el tratamiento del agua, basados en la calidad del agua cruda, detallados por Romero

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

Rojas (1999), formulados para suministro doméstico, los mismos que sirvieron de referencia para este trabajo

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación, se parte de un análisis de los principales elementos teóricos descritos en la investigación que sirven de base para el desarrollo de la investigación de campo.

Producción agrosilvopastoril

Se entiende por sistemas agrosilvopastoriles a un grupo de técnicas para el uso de la tierra que busca incrementar y diversificar la producción, obtener ventajas para el bienestar animal y prestar servicios ambientales. Involucra la asociación entre componentes leñosos, ya sea forestal o frutal, y ganadería y/o cultivos en el mismo sitio; entre los cuales deben desarrollarse interacciones a nivel ecológico y/o económico, o únicamente mediante interacciones biológicas. La producción agrosilvopastoril incluye árboles de pastura y forrajeros, pastura en bosques de regeneración natural, plantaciones agrícolas con cultivos y pasturas (Iglesias et al., 2011; Rodríguez Licea et al., 2022).

Estos sistemas aplican varios principios de agroecología: transforman la energía solar en biomasa; fijación de nitrógeno; uso sostenible del agua; rehabilitación de suelos degradados; reciclaje de nutrientes; conservación y uso de la biodiversidad; reducción de la contaminación ambiental; y, manejo integrado de la salud animal (López Vigoa et al., 2017).

Calidad del agua para uso agropecuario

Una buena calidad del agua es fundamental para el desarrollo económico y sostenible en la producción agropecuaria. Los contaminantes de origen geogénico pueden estar presentes en las fuentes de agua, como las empleadas para riego, a lo cual se suma la

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

deficiente potabilización del agua. Pueden convertirse en una fuente de contaminación microbiológica y un riesgo para la salud pública, pues alteran la inocuidad de los productos que la utilizan y generan enfermedades en la población que los consume (Arenas et al., 2017).

Para garantizar la calidad del agua en la industria agropecuaria, se debe considerar el cumplimiento de parámetros físicos, químicos y biológicos, establecidos en normativas. Las fuentes de agua empleadas en aplicaciones agropecuarias incluyen aguas subterráneas, superficiales, residuales municipales e industriales debidamente tratadas. Las tecnologías para el tratamiento del agua utilizada para los mercados agropecuarios incluyen filtración, tratamiento biológico, mezcla/aireación, ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección (Arenas et al., 2017).

Calidad del agua en fuentes naturales

La calidad del agua dulce, en sistemas subterráneos y superficiales, en entornos rurales y urbanos se ve afectada por procesos naturales y antropogénicos. La meteorización de las rocas, evapotranspiración, deposiciones por el viento, lixiviación del suelo, escurrimiento por factores hidrológicos y procesos biológicos en el medio acuático, son factores que pueden cambiar el pH, alcalinidad, carga de fósforo, aumento del flúor y altas concentraciones de sulfatos, en el agua. Mientras que, los factores antropogénicos que alteran la calidad del agua incluyen impactos debido a la agricultura, uso de fertilizantes, abonos y pesticidas, crianza de animales, prácticas de riego ineficientes, deforestación de bosques, acuicultura, contaminación debido a efluentes industriales y aguas residuales domésticas, minería y actividades recreativas; siendo las responsables de elevar las concentraciones de metales pesados, mercurio, coliformes y cargas de nutrientes (Khatri y Tyagi, 2015).

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

Sistemas convencionales para el tratamiento del agua

De acuerdo con sus características los sistemas de tratamiento pueden ser convencionales, compactas y no convencionales. Los sistemas convencionales son construidos *in situ*, sus unidades se encuentran separadas por lo que es fácil reconocerlas, además están construidas en materiales como el hormigón. Mientras que, los sistemas compactos son prefabricados, a pesar de que lucen como una sola unidad al interior existen compartimentos donde se desarrollan los procesos, están constituidas por materiales como láminas metálicas o fibra de vidrio. Los sistemas no convencionales, son aquellas tecnologías que resaltan por su fácil operación y mantenimiento, utilizadas principalmente en zonas rurales y lugares pequeños, basadas en la filtración (Lozano y Lozano, 2015).

El tratamiento de agua convencional utiliza una combinación de procesos y operaciones físicas, químicas y biológicas (Pakharuddin et al., 2021). Estos sistemas pueden incluir diferentes procesos como el cribado, que busca eliminar partículas; coagulación/floculación, donde se forman flóculos y partículas grandes; sedimentación, con el objetivo de sedimentar y eliminar partículas/flóculos; filtración, que pretende lograr la eliminación de algas, sedimentos, arcilla, partículas orgánicas/inorgánicas y microorganismos, así como reducir la turbidez y disminuir la obstrucción de la membrana; y, desinfección, para inactivar microorganismos.

Dependiendo de la calidad del agua cruda y las impurezas presentes en ella, los procesos solos o en combinación con otros, forman parte de los esquemas de tratamiento para el suministro de agua. Los procesos de tratamiento de agua más comunes, utilizados para el tratamiento de agua cruda de una fuente superficial, son mezcla rápida, floculación, sedimentación y/o clarificación, filtración y desinfección. Las tecnologías convencionales para la mezcla incluyen los mezcladores hidráulicos y reactor mecánico de retro mezcla; en la floculación, esta puede ser de tipo hidráulico y mecánico; en la sedimentación, estas tecnologías abarcan la sedimentación de flujo

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

horizontal rectangular; mientras que la filtración puede ser rápida con arena; y, la desinfección mediante cloración (Vigneswaran et al., 2009).

Parámetros de calidad del agua

La contaminación de agua deteriora su calidad y agota la biota acuática, poniendo en riesgo a la salud de la población humana; surgiendo así la necesidad de comprobar su calidad a intervalos regulares de tiempo. La calidad del agua puede ser descrita a través de parámetros físicos, químicos y biológicos. Las características del agua de mar son prácticamente constantes, mientras que las características de las aguas superficiales y subterráneas varían en función de factores como la naturaleza de la zona de captación, tipo de suelo y, en el caso de los acuíferos, de la roca de confinamiento. Los parámetros físico-químicos del agua pueden monitorearse más rápido y con mayor frecuencia, permitiendo comprender la naturaleza de las especies químicas y sus propiedades físicas (Samboni et al., 2007).

Desarrollo del estudio de campo

El desarrollo del presente estudio partió del levantamiento de información correspondiente a caudales en fuentes, para esto se establecieron puntos de muestreo distribuidos de la siguiente forma: Dos en la finca Luis Prado, dos en la finca Heraldo Encarnación, tres en José Cuenca y cinco en la finca La Belleza. Estos puntos fueron debidamente codificados y georreferenciados. Luego de establecidos los puntos en los cuerpos de agua, se procedió a la medición de varios parámetros necesarios para obtener el caudal. Para esto se utilizó tanto el método volumétrico como el método de flotadores.

Se midió el ancho y tres profundidades (h_1 , h_2 , h_3) en centímetros, el área hidráulica es el producto de estos parámetros, mientras que el caudal es el producto de esta última y la velocidad, para el caso de los flotadores. En el caso del método volumétrico se

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

determinó el volumen por unidad de tiempo. Los resultados de caudal se expresaron en L/s. En todos los casos se realizaron tres mediciones para cada punto en cada finca.

El análisis estadístico descriptivo muestra que, para la Finca Luis Prado, el valor promedio del caudal se encuentre entre 0.34 y 13.06 L/s, siendo mayor en el punto FLPP1. En el caso de la Finca Heraldo Encarnación, se evidencian caudales entre 1.75 a 5.81 L/s. En cuanto a la Finca José Cuenca, los caudales promedio se sitúan entre 0.01 hasta 50.33 L/s, se evidencia que los caudales son elevados en FJCP2 durante todos los monitoreos, mientras que en los otros dos puntos los caudales son bajos. En lo referente a la Finca la Belleza, se presentan caudales de entre 0.01 a 14.97 L/s.

El cálculo de la demanda de agua se realizó en función de un uso agrosilvopastoril, compuesto de 3 hectáreas de cada finca destinadas al cultivo de yuca, plátano, cacao y café, más la crianza de 20 cabezas de ganado bovino. La superficie total comprende 12 hectáreas. En lo referente a cultivos, con estas consideraciones y más características intrínsecas de la zona, el software CROPWAT permitió estimar la cantidad de agua necesaria para riego seccionado para cada etapa de cultivo.

Como resultado se determinó que, dependiendo del cultivo, en la etapa inicial se requieren de 0.02 a 0.04 L/s/ha, en la etapa de desarrollo se demanda de 0.01 a 0.04 L/s/ha, mientras que en la etapa media se necesitan de entre 0.02 a 0.03 L/s/ha, por su parte en la etapa final se requiere desde 0.00 hasta 0.18 L/s, para los cultivos de cacao y café respectivamente. En tal virtud, se determina que las necesidades de riego están dadas por el valor máximo requerido, es decir 0.18 L/s/ha. Esto da como resultado un total requerido, para las 12 hectáreas, un caudal de 2.16 L/s, a esto se considera un factor de maximización del 25 % lo que implica un total de consumo de 2.7 L/s, equivalentes a 233.28 m³/día.

En lo referente a consumo de agua para consumo pecuario, se consideraron los valores de producción de leche promedio, consumo de agua por animal y consumo de agua para limpieza de instalaciones, equivalentes a 5.6 L de leche/vaca/día, 3.85 - 5 L de

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

agua/L de leche producida/día y 23-149.5 L agua/vaca/día respectivamente. En base a estas consideraciones se estimó un consumo de 177.5 L/día, si se considera que son 20 bovinos el consumo se determina en 3550 L/día, finalmente considerando el factor de maximización, se tiene un total de consumo de 4437.5 L/día, equivalentes a 4.44 m³/día.

Tras la adición de la demanda de agua para consumo pecuario y agrícola se obtuvo un consumo neto de consumo neto: 237.72 m³/día, equivalente a 2.8 L/s o 0.0003 m³/s, este valor corresponde al caudal de diseño utilizado en el sistema de tratamiento.

El diseño del sistema de tratamiento parte por el diseño del canal, antes de esto se determinó el valor del tirante normal o altura del agua, para ello se utilizó el coeficiente de Manning, el resultado de este cálculo equivale a 0.04 m. El área del canal resulta del producto del tirante normal por la base del canal equivalente a 0.34 m, como resultado se obtiene un área de 0.01 m². Los valores anteriores se utilizaron para calcular el radio hidráulico, cuya estimación da como resultado un valor de 0.03 m. Por su parte, la velocidad de transporte del agua se calculó en función del radio hidráulico, coeficiente de Manning y el gradiente hidráulico equivalentes a 0.030 m, 0.013 y 0.001 m/m respectivamente.

Para la instalación de barras se consideró una separación de 20 mm, lo que da un estimado de 10 barras requeridas. Considerando la variación de velocidad al pasar por entre las barras, dado que el área disminuye, se determina en 0.01 m/s. En cuanto a la base del triángulo equivalente al ancho del canal se calcula en 0.342 m. A partir de estos valores y la aceleración de la gravedad, se calculó la altura crítica, que resulta en 0.02 m. La altura al inicio del resalto se calculó en 0.005 m, mientras que la velocidad al inicio del resalto en 1.819 m/s. La velocidad al inicio de resalto hidráulico se calculó dividiendo el caudal para la altura el inicio del resalto, con resultado de 1.819 m/s.

Por su parte el número de Froude fue calculado en 8.837, este resultado es un valor adimensional que relaciona las fuerzas de inercia y gravedad que actúan sobre el fluido.

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

En cuanto a la altura del agua después del resalto se calculó en 0.17 m. Al final del resalto hidráulico, la velocidad del agua es de 0.502 m/s. La energía disipada en el resalto se calcula a partir de la altura del agua al inicio del resalto y después del mismo, este valor se calcula en 0.006 m. De la misma manera se calcula la longitud del resalto, el resultado es de 0.076. Por su parte, la distancia del vertedero a la sección 1, que depende de la altura crítica y la altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal aguas abajo, da como resultado 0.12 m.

Para la sección 1 del floculador, a partir de los valores de velocidad del agua a través del tanque y tiempo en la sección 1 se calculó la longitud del recorrido de agua, se determinó la longitud del recorrido de agua en 198 m. A partir del caudal de diseño y tiempo en la sección 1, que se consideró de 15 minutos, se determinó un volumen de 2.7 metros cúbicos. El cociente del caudal y la velocidad del agua través del tanque, representa el área transversal de un canal entre bales, para este caso de cálculo en 0.014 m^2 . Mientras tanto, el cociente del área transversal del canal entre baffles y el ancho que fue asumido en 0.35 m da como resultado un calado de 0.039 m.

Dado que el espacio libre entre el tabique y la pared del tanque se considera en 1.5 veces o el 150 % del ancho, se considera un resultado de 0.525 m. A partir de sustituir el espacio libre entre el tabique y la pared del tanque de la longitud total se obtuvo la longitud efectiva útil del canal que corresponde a 9.13 m. El cociente de la longitud del recorrido del agua en la sección 1 y la longitud efectiva útil del canal da como resultado el número de canales en 21.

A partir del número de canales, el ancho y el ancho de las paredes se calculó el ancho de la cámara de floculación en 9.66 m. Mientras que el radio hidráulico de la canaleta se calculó desde los valores del área transversal de un canal entre baffles, el calado de agua en los canales y el ancho, determinándose un radio de 0.031 m. En cuanto a las pérdidas, se calcularon las mismas por fricción y localizada en 0.14 m y 0.15 m respectivamente, que sumadas dan 0.29 m, lo que representa las pérdidas totales. Para

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

finalizar, con los valores de pérdidas totales y tiempo en la sección 1 se obtuvo el gradiente de velocidad que resulta ser de 59 l/s.

En cuanto a la sección 2 del floculador, a partir de los valores de velocidad del agua a través del tanque de 0.165 m/s y tiempo en la sección 2, que corresponde a 15 minutos, se calculó la longitud del recorrido de agua, se determinó la longitud del recorrido de agua en 148.5 m. A partir del caudal de diseño y tiempo en la sección 1, se determinó un volumen de 2.7 metros cúbicos. El cociente del caudal y la velocidad del agua través del tanque, representa el área transversal de un canal entre bafles, para este caso de cálculo en 0.018 metros cuadrados.

Mientras tanto, el cociente del área transversal del canal entre bafles y el ancho que fue asumido en 0.40 m da como resultado un calado de 0.045 m. Dado que espacio libre entre el tabique y la pared del tanque se considera en 1.5 veces o el 150 % del ancho, se considera un resultado de 0.6 m. A partir de sustituir el espacio libre entre el tabique y la pared del tanque de la longitud total se obtuvo la longitud efectiva útil del canal que corresponde a 14.40 m. El cociente de la longitud del recorrido del agua en la sección 2 y la longitud efectiva útil del canal da como resultado el número de canales en 10. A partir del número de canales, el ancho y el ancho de las paredes se calculó el ancho de la cámara de floculación en 5.1 m.

Mientras que el radio hidráulico de la canaleta se calculó desde los valores del área transversal de un canal entre bafles, el calado de agua en los canales y el ancho, determinándose un radio de 0.036 m. En cuanto a las pérdidas, se calcularon las mismas por fricción y localizada en 0.048 m y 0.04 m respectivamente, que sumadas dan 0.087 m, lo que representa las pérdidas totales. Para finalizar, con los valores de pérdidas totales y tiempo en la sección 1 se obtuvo el gradiente de velocidad que resulta ser de 32 l/s.

Para el diseño del sedimentador, se partió por calcular el área superficial de la unidad, esta se determinó a partir del caudal de diseño, de 0.003 m³/s y la velocidad de

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

sedimentación de 0.0001 m/s, este valor se obtuvo bibliográficamente de Fernández et al. (2021), por lo tanto, el área queda en 0.30 m². Las dimensiones del sedimentador fueron establecidas de la siguiente manera: la separación entre la entrada y la pantalla difusora se fijó en 0.75 m, la profundidad en 2 m, el ancho en 2.8 m, la longitud de la zona de sedimentación en 10.91 m, la longitud total en 11.66 m y la altura máxima en 2.2 m. Estas medidas fueron determinadas considerando que la relación de largo a ancho debe situarse entre 3 y 6, mientras que la relación de longitud a profundidad debe encontrarse entre 5 y 20.

A partir del caudal, profundidad y ancho se calculó la velocidad horizontal en 0.055 cm/s. La relación de velocidades horizontal y de sedimentación es de 6 a 6. A partir del caudal, profundidad y área superficial de la unidad se estableció el tiempo de retención en 5.6 horas. Para el número de orificios, antes se consideró un diámetro de 4 cm lo que da un área de 0.0013 m², de esta manera se determina un total requerido de 24 orificios, distribuidos en 4 columnas con un espaciado de 0.24 m y 6 filas con un espaciado de 0.55 m. Para finalizar, el vertedero de salida es de 2.8 m de ancho y 0.01 m de alto.

Para el tratamiento del filtro lento de arena, se consideraron tres capas. La primera capa es de grava de 1.0 a 2.5 cm y espesor de 10 cm. La segunda capa es de grava fina de 0.5 a 1.0 cm y un espesor de 10 cm. La tercera capa es de arena fina de 0.3 - 1.0 mm y un mínimo de 90 cm de espesor. Para el diseño del sistema de drenaje y distribución se consideró la Norma CPE INEN 5 (1992), que establece una velocidad de 0.3 m/s. El diámetro de la tubería se consideró de ½". De esto se deduce que el caudal que ingresa es de 1.90015E – 05 m³/s.

CONCLUSIÓN

El análisis de los caudales de las fuentes de agua proporciona una visión crucial de la disponibilidad hídrica. Estos datos son fundamentales para comprender la sostenibilidad de los recursos acuáticos en las áreas de estudio y forman la base para decisiones

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

informadas en la gestión del agua. La aplicación del SPSS en el análisis de datos ha proporcionado una comprensión profunda de la variabilidad en los caudales. Las medidas de dispersión obtenidas son herramientas valiosas para identificar patrones, evaluar la consistencia de los datos y respaldar de manera robusta las conclusiones estadísticas, fortaleciendo así la base de conocimientos para la gestión efectiva del agua. La cuidadosa selección de un sistema de tratamiento convencional se ha basado en criterios rigurosos, asegurando la elección de un método eficiente y técnicamente viable. Esta decisión representa un paso significativo hacia la garantía de la calidad del agua, estableciendo las bases para la implementación exitosa de prácticas de gestión hídrica en las áreas de estudio. En conjunto, este estudio proporciona una base integral para el diseño y la implementación de un sistema de tratamiento de agua adaptado a las características específicas del área de estudio y las necesidades de uso silvopastoril.

FINANCIAMIENTO

No monetario

AGRADECIMIENTO

A los profesores, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Facultad de Ecuador, a los propietarios de las fincas que forman parte del proyecto agrosilvopastoril y toda la población involucrada en la investigación.

REFERENCIAS CONSULTADAS

Abu Hasan, H., Hafizuddin Muhammad, H., y Ismail, N. (2019). A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 101035. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101035>

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

- Arenas, N., Abril, D., y Morenon, D. (2017). Evaluación de la calidad del agua para uso agropecuario en predios ganaderos localizados en la región del Sumapaz (Cundinamarca, Colombia). [Evaluation of water quality for agricultural use in livestock farms located in the Sumapaz region (Cundinamarca, Colombia)]. *Archivos de Medicina*, 17(2), 319-325. <https://doi.org/10.30554/archmed.17.2.1979.2017>
- Chamorro, G. (2011). Estimación del caudal por el método de flotadores. [Estimation of flow by the float method]. Perú, Lima: Senamhi. <https://n9.cl/6fzia>
- Fernández, J., Montenegro, S., Ledezma, C., y Yanza, J. (2021). Sedimentabilidad de partículas floculentas en aguas con alto contenido de color y baja turbiedad, coaguladas con FeCl₃ + PAC versus PAC. [Sedimentability of flocculent particles in waters with high color content and low turbidity, coagulated with FeCl₃ + PAC versus PAC]. *Tecnológicas*, 24(51), e1789. <https://doi.org/10.22430/22565337.1789>
- Iglesias, J., Funes, F., Toral, Odalys, C., Simón, L., y Milera, M. (2011). Diseños agrosilvopastoriles en el contexto de desarrollo de una ganadería sustentable. Apuntes para el conocimiento. [Agrosilvopastoral designs in the context of sustainable livestock development. Notes for knowledge]. *Pastos y Forrajes*, 34(3), 241-257. <https://n9.cl/6mqig>
- Khatri, N., y Tyagi, S. (2015) Influencias de factores naturales y antropogénicos en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en áreas rurales y urbanas. [Influences of natural and anthropogenic factors on the quality of surface and groundwater in rural and urban areas]. *Fronteras en las ciencias biológicas*, 8(1), 23-39. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
- López Vigoa, O., Sánchez Santana, T., Iglesias Gómez, J., Lamela López, L., Soca Pérez, M., Arece García, J., y Milera Rodríguez, M. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. [Silvopastoral systems as an alternative

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

for sustainable animal production in the current context of tropical livestock farming]. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 83-95. <https://n9.cl/mulox>

Lozano, W., y Lozano, G. (2015). Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio. [Water purification: Design principles, process control and laboratory]. Universidad Piloto. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1c3q113>

Martínez Vasallo, A., Villoch Cambas, A., Ribot Enríquez, A., Nivian, Riverón Alemán, Y., y Ponce Ceballo, P. (2015). Calidad e inocuidad en la leche cruda de una cadena de producción de una provincia occidental de Cuba. [Quality and safety of raw milk in a dairy production chain in a western province of Cuba]. *Revista de Salud Animal*, 37(2), 79-85. <https://n9.cl/r31qo>

Pakharuddin, N., Fazly, M., Ahmad, S., Tho, K., and Zamri, W. (2021). Water treatment process using conventional and advanced methods: A comparative study of Malaysia and selected countries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 880(1), 012017. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/880/1/012017>

Quinteros, J., Gómez, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., y Carrera, D. (2020). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglahuayco. [Evaluation of water quality for irrigation and use of the water resources of the Toglahuayco stream]. *Siembra*, 6(2), 46-57. <https://n9.cl/syth0n>

Rodríguez Licea, G., Amaro Peralta, E., Martínez Castañeda, F., Palma García, J. (2022). Transición de una producción de monocultivo a un sistema agrosilvopastoril con enfoque de economía circular. [Transition from monoculture production to an agrosilvopastoral system with a circular economy approach]. Colima, México: Universidad de Colima. <https://n9.cl/5ib9x>

Rojas Sosa, I., Perez Reyes, M., Santana, A., y Espinoza, C. (2022). Impacto Ambiental de la Industria Ganadera. [Environmental Impact of the Livestock Industry]. Ecuador: Instituto Tecnológico de Santo Domingo. <https://n9.cl/wvuyb>

Romero Rojas, J. (1999). Potabilización del agua. [Water purification]. (3ra ed.). México: Alfaomega. <https://n9.cl/e0a2a>

Samboni, N., Carvajal, Y., y Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. [Review of physicochemical parameters as indicators of water quality and contamination]. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. <https://n9.cl/4ai30c>

Byron Jesús Serrano-Castillo; Greys Carolina Herrera-Morales; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

Secretaría del Agua; Agencia de Regulación y Control del Agua. (2016). Estrategia Nacional de Calidad del Agua. [National Water Quality Strategy]. Quito, Ecuador. <https://n9.cl/1klc>

Tomaz, A., Palma, P., Alvarenga, P., María Conceição, M. (2020). Soil salinity risk in a climate change scenario and its effect on crop yield. *Climate Change and Soil Interactions*, 351-396. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00013-8>

Tuninetti, M., y Carole, S. (2019). Water Debt Indicator Reveals Where Agricultural Water Use Exceeds Sustainable Levels. *Water Resources Research*, 55(3), 2464-2477. <https://doi.org/10.1029/2018WR023146>

Valdivia Ávila, A., Rubio Fontanills, Y., Pérez Hernández, Y., Sarmenteros Bon, I., Vega Alfonso, J., y Mendoza Rodríguez, A. (2020). Factores que influyen en la calidad higiénico-sanitaria de la leche en dos lecherías. *Pastos y Forrajes*, 43(4), 267-274. <https://n9.cl/q8m1pa>

Vigneswaran, H., Visvanathan, C., y M. Sundaravadivel, M. (2019). Conventional Water Treatment Technologies. *Wastewater Recycling, Reuse, and Reclamation*. <https://n9.cl/s38ce>