

Propuesta de un sistema VAC para el aprovechamiento sostenible de agua lluvia en la finca Nanche, en el municipio de Pandi, Cundinamarca

Bautista Arcila, P. A.; Apolinar Castiblanco, S. C.; Forero Buitrago, G. A.

P. A. Bautista Arcila pbautistaa@unbosque.edu.co.
Universidad El Bosque, Colombia
S. C. Apolinar Castiblanco
sapolinar@unbosque.edu.co.
Universidad El Bosque, Colombia
G. A. Forero Buitrago gforerob@unbosque.edu.co
Universidad El Bosque, Colombia

INVENTUM

Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia
ISSN: 1909-2520
ISSN-e: 2590-8219
Periodicidad: Semestral
vol. 17, núm. 32, 2022
inventum@uniminuto.edu

Recepción: 01 Febrero 2022
Aprobación: 15 Marzo 2022
Publicación: 15 Marzo 2022

URL: <http://portal.amelica.org/amei/journal/671/6713619011/>

Corporacion Universitaria Minuto De Dios - UNIMINUTO



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Resumen: Históricamente, la ingeniería ambiental se ha preocupado por la gestión del recurso hídrico. Así mismo, el agro colombiano hoy en día se ve altamente influenciado por las dinámicas del recurso hídrico, a la vez que es uno de sus principales contaminadores. La productividad agropecuaria puede aumentar ajustando los procesos que hagan al sector más competitivo, mediante un uso adecuado de las nuevas tecnologías. Lo anterior puede lograrse a través de los sistemas VAC (del vietnamita V: *vao* = jardín, A: *ao* = estanque, C: *chuong* = animales domésticos). En este artículo se presenta una propuesta desde la ingeniería ambiental para el aprovechamiento sostenible de aguas lluvias por medio de un sistema VAC aplicado a la finca Nanche en Pandi, Cundinamarca, con el propósito de contribuir a la gestión integral del recurso hídrico. Partiendo de un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés), se procesaron diferentes variables climatológicas, topográficas, hidrológicas y agroecológicas, a través de herramientas informáticas y un sistema de información geográfica (SIG). El diseño incluye un estanque con capacidad para 600 m³ para un área de captación de 8064 m² para el mes de mayor precipitación. En el estanque se criarán peces guppy, carpas y tilapias. Alrededor, se hará ganadería de leche con 12 vacas criollas en 6 hectáreas; agricultura con cercas vivas de naranja, guayaba, y cultivos de banano, papaya, yuca y maíz en 5 ha; además de un pequeño huerto casero. Así, se aprovechará casi el 100% del área de la finca (11,13 ha). Se propone un arreglo técnico (cronograma) que especifica el desarrollo de cada una de las actividades a lo largo del año, y un presupuesto, que resultó en aproximadamente 60.000.000 COP para iniciar el sistema desde cero. La demanda de recurso hídrico del sistema (10.994.977,86 L/mes) es del 94% de su disponibilidad (11.647.603,40 L/mes). El sistema VAC es fácilmente replicable y muy efectivo, ya que puede quintuplicar la producción y, consecuentemente, el rendimiento económico de la finca. Las ventajas ambientales del sistema lo hacen especialmente apropiado para el sector rural colombiano.

Palabras clave: agua lluvia, gestión integral del recurso hídrico, precipitación, sistemas de información geográfica, sistemas VAC, Hec-GeoHms, permacultura.

Abstract: Historically, environmental engineering has been concerned with the management of water resources. Likewise, Colombian agriculture today is highly influenced by the dynamics of water resources, while being one of its main polluters. Agricultural productivity can increase by adjusting the processes that make the sector more competitive, by making adequate use of new technologies. The above can be achieved through the VAC systems (from Vietnamese V: *vao* = garden, A: *.o* = pond, C: *chuong* = domestic animals). This article presents a proposal from environmental engineering for the sustainable use of rainwater through a VAC system applied to the Nanche farm in Pandi, Cundinamarca, and thus contribute to the Integrated Water Resource Management. Starting from a Digital Elevation Model (DEM), different climatological, topographic, hydrological and agroecological variables were processed, through computer tools and GIS. The design includes a pond with a capacity of 600 m³, which covers the entire available hydric resource over a catchment area of 8,064 m² in the month with the highest rainfall. In the pond, guppy fish, carp and tilapia will be raised, and around it there will be cattle raising with 12 “criolla” cows in 6 ha, and agriculture with live fences of orange and guayaba, and crops of banana, papaya, yucca, and corn in 5 ha, in addition to a small home garden. Thereby, almost 100% of the area of the farm (11.13 ha) will be used. In addition, a technical arrangement (schedule) is proposed, that specifies the development of each of the activities throughout the year, and a budget, which resulted in approximately 60,000,000 COP to start the system from scratch. The demand for water resources in the system (10,994,977.86 L/month) is only 30% of its availability (11,647,603.40 L/month). The VAC system is easily replicable and very effective, being able to quintuple the production and, consequently, the economic performance of the farm. The environmental advantages of the system make it especially suitable for the rural sector.

Keywords: rainwater, integral management of water resources, precipitation, geographic information systems, VAC systems, Hec-GeoHms, permaculture.

Resumo: Historicamente, a engenharia ambiental tem se preocupado com a gestão dos recursos hídricos. Da mesma forma, a agricultura colombiana hoje é altamente influenciada pela dinâmica dos recursos hídricos, sendo um de seus principais poluidores. A produtividade agrícola pode aumentar ajustando os processos que tornam o setor mais competitivo, fazendo uso adequado de novas tecnologias. O acima pode ser alcançado através do sistemas VAC (do vietnamita V: *vao* = jardim, A: *ao* = lagoa, C: *chuong* = animais domésticos). Este artigo apresenta uma proposta da engenharia ambiental para o uso sustentável da água da chuva através de um Sistema VAC aplicado a a fazenda Nanche em Pandi, Cundinamarca, e assim contribuir para a gestão integral dos recursos hídricos. A partir de um Modelo Digital de Elevação (DEM), diferentes variáveis climatológicas, topográficas, hidrológicas e agroecológicas foram processadas por meio de ferramentas computacionais e SIG. O projeto inclui uma lagoa com capacidade de 600 m³ para uma área de captação de 8.064 m² para o mês de maior pluviosidade. Peixes Guppy, carpas e tilápias serão criados na lagoa. Ao seu redor, haverá pecuária leiteira com 12 vacas crioulas em 6 hectares, agricultura com cerca viva de laranja, goiaba e banana, mamão, mandioca e milho em

5 hectares, além de uma pequena horta. Assim, quase 100% da área da fazenda (11,13 ha) será utilizada. Propõe-se um arranjo técnico (cronograma), que especifica o desenvolvimento de cada uma das atividades ao longo do ano, e um orçamento, que resultou em aproximadamente 60.000.000 COP para iniciar o sistema do zero. A demanda de recursos hídricos do sistema (10.994.977,86 L/mês) é de 94% de sua disponibilidade (11.647.603,40 L/mês). O Sistema VAC é facilmente replicável e muito eficaz, podendo quintuplicar a produção e, conseqüentemente, o desempenho econômico da fazenda. As vantagens ambientais do sistema o tornam especialmente apropriado para o setor rural colombiano.

Palavras-chave: água da chuva, gestão integrada de recursos hídricos, precipitação, sistemas de informação geográfica, sistemas VAC, Hec- GeoHms, permacultura.

Propuesta de un sistema VAC para el aprovechamiento sostenible de agua lluvia en la finca Nanche, en el municipio de Pandi, Cundinamarca1

licado a la finca Nanche en Pandi, Cundinamarca, con el propósito de contribuir a la gestión integral del recurso hídrico. Partiendo de un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés), se procesaron diferentes variables climatológicas, topográficas, hidrológicas y agroecológicas, a través de herramientas informáticas y un sistema de información geográfica (SIG). El diseño incluye un estanque con capacidad para 600 m³ para un área de captación de 8064 m² para el mes de mayor precipitación. En el estanque se criarán peces guppy, carpas y tilapias. Alrededor, se h

Resumen

Históricamente, la ingeniería ambiental se ha preocupado por la gestión del recurso hídrico. Así mismo, el agro colombiano hoy en día se ve altamente influenciado por las dinámicas del recurso hídrico, a la vez que es uno de sus principales contaminadores. La productividad agropecuaria puede aumentar ajustando los procesos que hagan al sector más competitivo, mediante un uso adecuado de las nuevas tecnologías. Lo anterior puede lograrse a través de los sistemas VAC (del vietnamita V: vao = jardín, A: ao = estanque, C: chuong = animales domésticos). En este artículo se presenta una propuesta desde la ingeniería ambiental para el aprovechamiento sostenible de aguas lluvias por medio de un sistema VAC aplicado a la finca Nanche en Pandi, Cundinamarca, con el propósito de contribuir a la gestión integral del recurso hídrico. Partiendo de un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés), se procesaron diferentes variables climatológicas, topográficas, hidrológicas y agroecológicas, a través de herramientas informáticas y un sistema de información geográfica (SIG). El diseño incluye un estanque con capacidad para 600 m³ para un área de captación de 8064 m² para el mes de mayor precipitación. En el estanque se criarán peces guppy, carpas y tilapias. Alrededor, se hará ganadería de leche con 12 vacas criollas en 6 hectáreas; agricultura con cercas vivas de naranja, guayaba, y cultivos de banano, papaya, yuca y maíz en 5 ha; además de un pequeño huerto casero. Así, se aprovechará casi el 100% del área de la finca (11,13 ha). Se propone un arreglo técnico (cronograma) que especifica el desarrollo

de cada una de las actividades a lo largo del año, y un presupuesto, que resultó en aproximadamente 60.000.000 COP para iniciar el sistema desde cero. La demanda de recurso hídrico del sistema (10.994.977,86 L/mes) es del 94% de su disponibilidad (11.647.603,40 L/mes). El sistema VAC es fácilmente replicable y muy efectivo, ya que puede quintuplicar la producción y, consecuentemente, el rendimiento económico de la finca. Las ventajas ambientales del sistema lo hacen especialmente apropiado para el sector rural colombiano.

Palabras clave: agua lluvia, gestión integral del recurso hídrico, precipitación, sistemas de información geográfica, sistemas VAC, Hec-GeoHms, permacultura.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, históricamente se ha querido lograr la tecnificación del campo, que consiste en proveer a las personas herramientas para mejorar el desempeño agropecuario. Si bien el país actualmente es más urbano que rural, tal como lo expresa Finagro [1]: “El campo es la esperanza para Colombia”. Aunque Colombia cuenta con suficiente riqueza en biodiversidad y capacidad productiva del suelo, y el sector agropecuario tiene una participación importante en la economía nacional, este se ha ido debilitando en los últimos años mientras otros sectores económicos han ido creciendo. De hecho, solo el 4,7% de la superficie del país tiene cultivos, mientras que su área potencial es del 19,3%, en contraposición a actividades como la ganadería, que está presente en más del 30% del país, aunque solo podría implementarse en el 13,3% [2].

Por otro lado, pese a que en Colombia existe la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico desde el año 2010, se “evidencia una crisis de gobernabilidad que no favorece la gestión integral de los recursos hídricos”, debido a fallos a nivel tanto teórico como operativo [3]. Esto se puede observar en sistemas de todo tipo, particularmente los rurales, como es el caso de la finca Nanche, en donde se lleva a cabo principalmente la ganadería tradicional, que tiene consecuencias tales como la deforestación para adecuación de pasturas, cambios graves en las características físicas e hidrológicas del suelo y erosión [4], además de limitar el espacio para otro tipo de actividades, pues requiere una gran extensión de terreno. Esto, sin mencionar las emisiones de gases de efecto invernadero, las cuales se ha demostrado que pueden reducirse al combinar la cría de ganado con especies vegetales, como ocurre dentro de los sistemas silvopastoriles. Debido a las características climatológicas, topográficas e hidrológicas propias del área, de acuerdo con la temporada, se pueden presentar inundaciones o sequías que afectan directamente la producción agropecuaria de la finca, gracias a las características del ecosistema (falta de recarga en el manto freático en la temporada de lluvias y ausencia del movimiento ascendente del agua por capilaridad); o acciones antrópicas (escurrimiento superficial causado por la deforestación de los árboles para el establecimiento de pasturas, y por falta de conocimiento y acceso a software e información precisa que permita conocer las dinámicas del ciclo hidrológico del terreno de estudio).

Los modelos hidrológicos simulan, a través de simplificaciones, los fenómenos climáticos que ocurren en la realidad [5]. Para generar estos modelos, se utilizan herramientas informáticas, como los sistemas de información geográfica (SIG) y sus complementos computacionales. Así, es posible diseñar un modelo de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias, con el fin de mejorar la productividad, la eficiencia y el manejo de una finca como sistema

productivo. En Colombia, con base en información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la disponibilidad de agua es alta, aproximadamente $57.000 \text{ m}^3/(\text{habitante/año})$, motivo por el cual el aprovechamiento de agua lluvia no es común, y no son bien conocidas las diferentes técnicas de aprovechamiento del agua lluvia para prácticamente ningún uso [6].

El agua lluvia se debe entonces captar, conducir y aprovechar de manera eficiente, mediante embalses y canales que maximicen la infiltración en el subsuelo para aumentar la recarga de acuíferos subterráneo, complementando estas estructuras con una reforestación planeada [7]. Al conocer la topografía del suelo, es posible ubicar un embalse para el correcto almacenamiento, de modo que en su diseño tenga rebosadero de excesos para la irrigación para evitar que se llene totalmente y promoviendo el riego de las áreas más secas, como se conoce comúnmente en el diseño en línea clave, surcos que van desde la vertiente a la ladera. Esta forma de manejo de agua lluvia, combinada con los sistemas más eficientes para la producción de alimento en el mundo, puede representar una oportunidad para el campo colombiano, especialmente si se aplica dentro sistema VAC.

Un sistema VAC es un tipo de sistema productivo rural que se puede ubicar en diferentes condiciones agroecológicas, incluyendo áreas de clima cálido o clima frío, áreas rurales o áreas periurbanas. Surgido como un proyecto de desarrollo comunitario con base en la economía del hogar en Vietnam, un sistema VAC consiste en un sistema circular compuesto (V: vao = jardín, A: ao = estanque, C: chuong = animales domésticos) [8]. Para el presente caso, se trata de un sistema con la suficiente altura como para utilizar un sistema VAC de meseta (upland VAC system), el cual consiste en un embalse (colector), con diferentes siembras alrededor, de especies como cebolla, papa, caña de azúcar o té, e incluso arbóreas. La ganadería es también común en estos sistemas, pues la siembra alrededor se basa en un sistema circular, de manera que lo cultivado supla las necesidades de los animales. Finalmente, dentro del embalse se incluyen peces para que parte o la totalidad del estiércol sirva de alimento para algas, que a su vez son alimento para los peces. Así pues, se busca llegar a un sistema cerrado en el que, además de los beneficios expuestos, sea posible evitar al máximo la generación de residuos [9].

Actualmente estos sistemas no son ampliamente utilizados fuera de Asia, pero en Vietnam, por ejemplo, han permitido la estabilización del estándar de nutrición en la zona rural. Dada la necesidad de tecnificar el campo, constituyen una alternativa de bajo costo de implementación, rentable y con grandes beneficios ambientales, económicos, ecológicos y sociales [9, 17, 20]. Cabe resaltar, además, que tanto Colombia como Vietnam, y otros países asiáticos en los que se ha desarrollado este tipo de sistema, tienen un clima intertropical y usos del suelo muy similares, debido a su ubicación entre los trópicos de Cáncer y Capricornio [10], como se puede observar en la figura 1, por lo cual se puede afirmar que, en cuanto a condiciones climáticas y agroecológicas, el sistema utilizado es replicable.

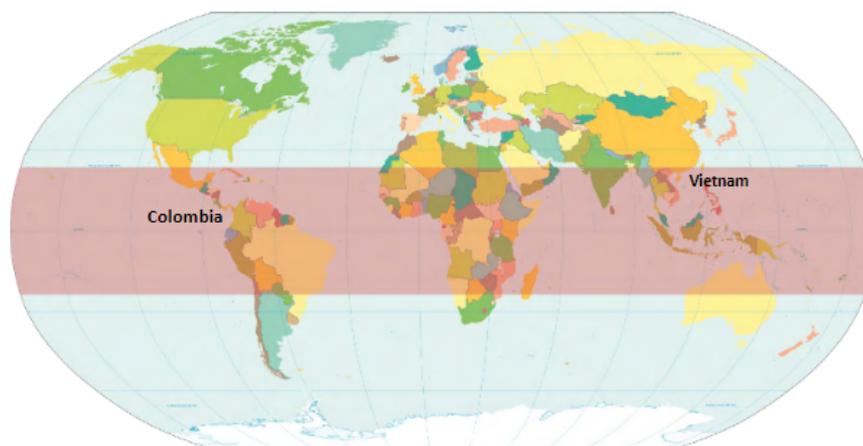


Figura 1

Ubicación de Colombia y Vietnam sobre la zona intertropical.

https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_intertropical#/media/Archivo:World_map_torrid.svg

I. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la finca Nanche, ubicada en una de las 12 veredas (San Miguel) del municipio de Pandi, en el departamento de Cundinamarca. Esta se ubica sobre las coordenadas $4^{\circ} 07'59''$ N, $74^{\circ} 28' 13''$ W, y tiene un área de 11,13 hectáreas ($0,11 \text{ km}^2$) donde se desarrolla principalmente actividad ganadera, aunque se cuenta con historial de cultivos. Tiene una casa de familia y un establo que ocupan aproximadamente 0,054 ha.

B. Establecimiento de la línea base, a partir de variables climatológicas, topográficas e hidrológicas y agroecológicas

Los datos climatológicos se obtuvieron de la estación meteorológica del municipio de Pandi (21195060), en la plataforma de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos del Sistema de Información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos (DHIME) del IDEAM.

Se obtuvieron datos sobre la precipitación promedio mensual plurianual de 24 años (1996- 2019). Los datos se procesaron a través de un código en lenguaje Python, elaborado por el ingeniero Gonzalo Forero, procesado mediante Google Colaboratory. Esta herramienta procesa los datos de precipitación y genera tablas y gráficos de los promedios útiles para el análisis estadístico. Simultáneamente se descargó un DEM (modelo de elevación digital) de Alos Palsar, de 12,5 metros por píxel. El DEM se procesó utilizando las herramientas HEC-Geo HMS, Geo RAS y ARC Hydro Tools de ArcGIS, donde se generaron las líneas de drenaje presentes dentro y alrededor de la finca, para ubicar correctamente un embalse.

Se ubicó el embalse sobre la línea de drenaje principal y se obtuvo la cuenca o el área de captación, utilizando la herramienta HecGeoHms. Con el dato del área, fue posible obtener la cantidad disponible de agua para llenar el embalse del sistema VAC. Con los datos de lluvia y el consumo de agua estimado, se realizó un análisis de oferta y demanda de agua, para determinar la disponibilidad del recurso hídrico mes a mes, considerando el coeficiente de escorrentía reportado en la Norma NS 085 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) para áreas menores a 80 hectáreas, donde se recomiendan valores para este parámetro de acuerdo con la pendiente del terreno y la cobertura vegetal. El

punto seleccionado para ubicar el embalse fue el más bajo del área de captación frente a la finca, de acuerdo con las curvas de nivel. Utilizando esta última información, se trazaron surcos sobre el terreno, de manera que fuese posible que el flujo de agua se diera desde las vertientes o líneas de drenaje hacia la ladera o las partes más secas del terreno, para permitir un riego por gravedad y uniforme. Se planteó la siembra sobre estos surcos para el mantenimiento del sistema VAC y la máxima absorción de agua lluvia.

Como variables agroecológicas se tuvieron en cuenta el historial y el uso actual de la finca, según su administrador, y la observación de fincas aledañas. Además, se evaluaron las características del suelo, a través de una capa; y su vocación, a través de revisión de mapas SIG del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

C. Diseño del sistema VAC

Para calcular sus dimensiones, la superficie del estanque se asumió con forma rectangular y se calculó el volumen considerando la disponibilidad de agua. Para seleccionar las especies de cada actividad económica se establecieron criterios sociales, económicos y ecológicos mínimos, tal como se muestran en la tabla 1, que fueron evaluados en una matriz y comparados con la literatura. A continuación, a través de ArcMap, con insumos de Google Earth Pro se construyó el mapa de distribución espacial de las actividades establecidas para la finca. Esto con el fin de hacer un conteo del número de individuos y/o área ocupada por cada una de las actividades, que el programa genera de manera automática a través de la tabla de atributos de cada una de las capas.

Sociales	Económicos	Ecológicos
Conocimiento del manejo	De corto plazo	Endémica
Alta demanda para consumo	Alta producción	Útil para el sistema
Cómoda para cosecha	Bajos costos de manejo	Temperatura
	Fácil comercialización	Precipitación
	Poco uso de maquinaria	Altura
		Topografía
		Tipo de suelo

Tabla 1
Criterios de selección de las especies.
elaboración propia.

Finalmente, se realizó el cálculo de la demanda de agua con todas las especies seleccionadas para el sistema VAC, basado en datos bibliográficos de densidad y requerimientos de agua de cada una de las especies.

También se determinó la cantidad de peces, teniendo en cuenta la densidad para cada especie reportada en la bibliografía.

Además, fue necesario calcular la disponibilidad total de aguas lluvias, con base en las tablas obtenidas en los resultados de la línea base, puesto que anteriormente únicamente se había tenido en cuenta lo correspondiente a la esorrentía en el área de captación.

D. Arreglo técnico y económico para la

aplicación del sistema VAC

Para presentar el arreglo técnico del sistema VAC, se realizó un cronograma de actividades anual, basado en la experiencia reportada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para otros países en este tipo de sistemas.

Para el arreglo económico, se generó un presupuesto que reúne los insumos y la mano de obra necesarios para implementar todas las actividades. Este se elaboró a través de una hoja de cálculo de Excel, en la que se tuvo en cuenta el valor individual y el valor total con el que se debe contar para iniciar la propuesta.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Establecimiento de la línea base

1) Procesamiento de variables climatológicas (precipitación promedio mensual plurianual)

En la figura 2 se observan los promedios mensuales multianuales, es decir, el promedio de los valores diarios de todos los meses, en los 24 años. A partir de esta, se determina que el mes de menor precipitación, de acuerdo con su promedio mensual multianual para los 24 años analizados, es agosto, mientras que el de mayor precipitación es noviembre.

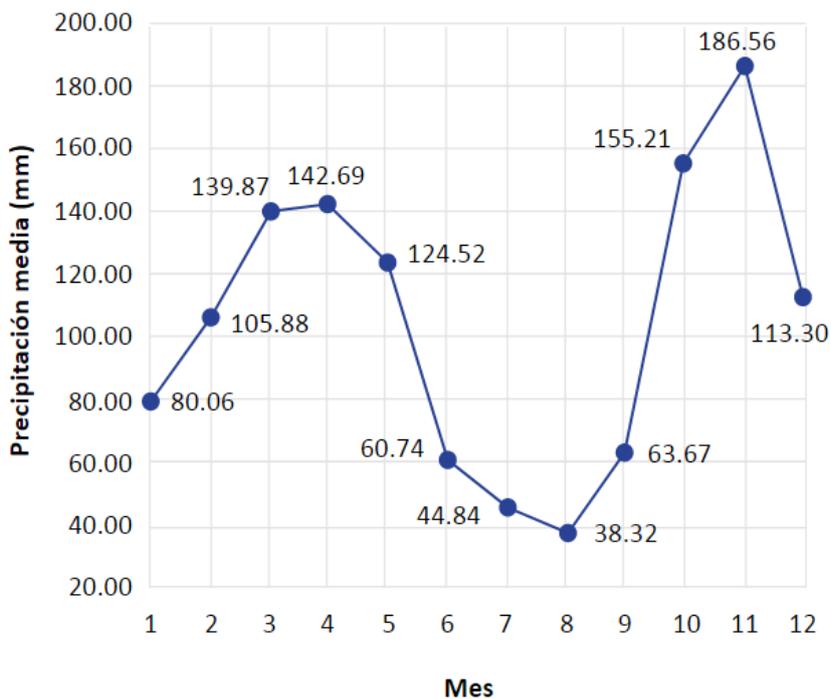


Figura 2.

Precipitación promedio mensual plurianual.

elaborada a partir de datos de precipitación del IDEAM, procesados a través de Google Colaboratory.

2) Procesamiento de variables topográficas e hidrológicas

Para evitar errores del DEM por la presencia de nubes, se realizó la descarga del DEM teniendo en cuenta el mes de menor precipitación, que es agosto. En la figura 3, se pueden apreciar las curvas de nivel, donde el terreno posee una pendiente aproximada del 4%. Así, la topografía del terreno se define como ligeramente ondulada (3-7%) [11].

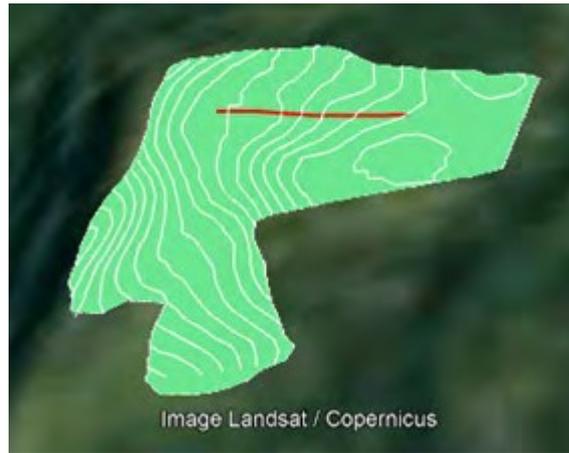


Figura 3.
Elevación promedio del área de captación.
Google Earth Pro.

Utilizando la herramienta Hec-GeoHms, se delimitó el área de captación (de la que se obtendrá el agua para llenar el estanque del sistema VAC), área de 8064 m². Esta es el área aferente que permite llenar el embalse al llover. El embalse se ubicó en la parte más alta del terreno, con el fin de que, por gravedad, se pueda distribuir el agua a las partes más bajas sin necesidad de sistemas de bombeo.

Los surcos, que se trazaron en medio de las curvas de nivel entre los 1680 y 1645 m s. n. m., se excavarían en el terreno para maximizar la infiltración y así favorecer la infiltración de agua en el suelo y su uso por las plantas. Todas las características mencionadas se pueden observar en la figura 4.

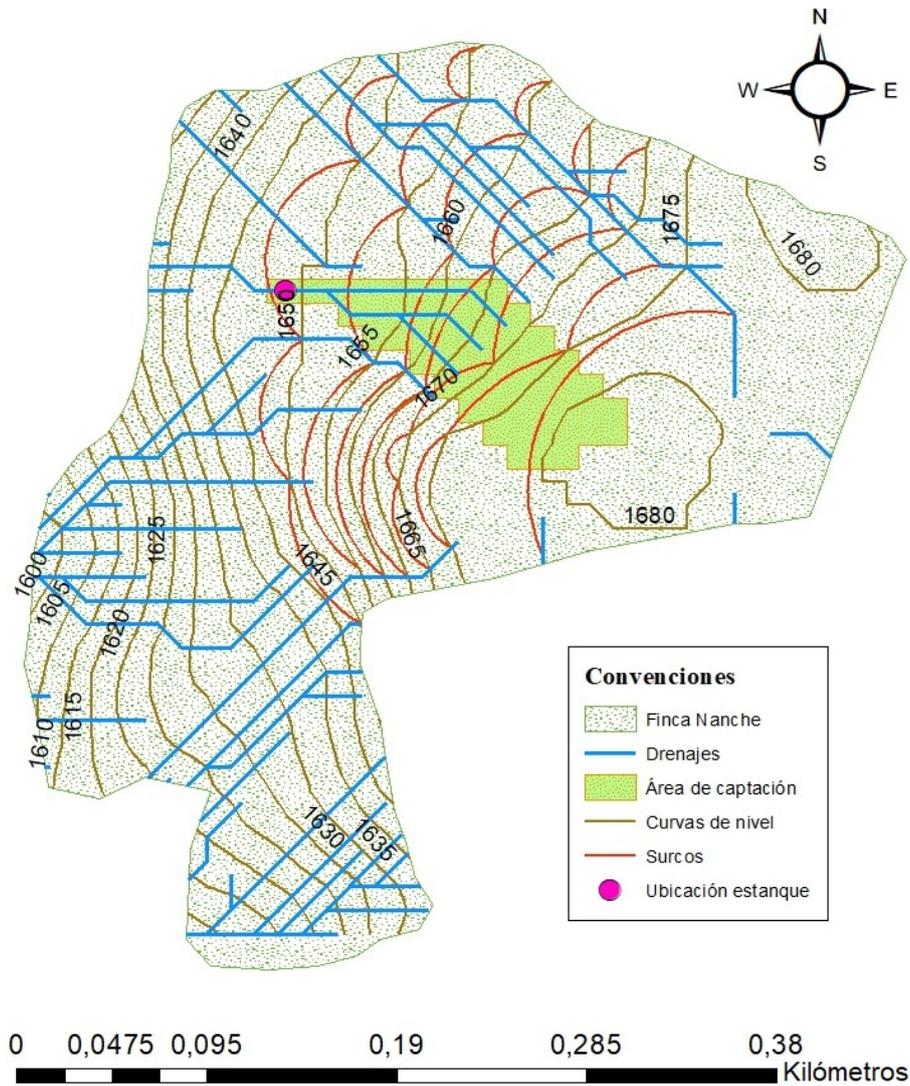


Figura 4
 Mapa de determinación de oferta hídrica en la finca y ubicación del estanque para el sistema VAC en la finca Nanche elaboración propia.

Para calcular la disponibilidad del recurso hídrico para el estanque mes a mes, se consideró un 35% de escurrimiento, de acuerdo con el coeficiente de escurrimiento de la Norma NS 085 de la EAAB [12] para pendientes entre el 2% y el 7%. El cálculo se puede apreciar en la tabla 2.

Mes	Precipitación promedio mensual en L/m ²	Área de Captación en m ²	Coefficiente de escorrentía Norma NS 085 EAAB	Litros de agua aprovechable al mes en litros
Enero	80.06	8,064.00	0.35	225,960
Febrero	105.88			298,848
Marzo	139.87			394,763
Abril	142.69			402,718
Mayo	124.52			351,442
Junio	60.74			171,441
Julio	44.84			126,555
Agosto	38.32			108,151
Septiembre	63.67			179,693
Octubre	155.21			438,065
Noviembre	186.56			526,549
Diciembre	113.30			319,791
Anual	1,255.7	3,543,976		

Tabla 2.
Cálculo de agua aprovechable mensualmente en litros.
elaboración propia.

Se determinó que, como era de esperar, agosto será el mes en que la finca contará con menor disponibilidad de agua (108.151 L o 108.151 m³), mientras que el mes de noviembre será el de mayor disponibilidad (526.549 L o 526.549 m³).

3) Variables agroecológicas en la determinación de actividades agropecuarias aplicables a la finca

Según la información aportada por el propietario y administrador, el uso para ganadería ha sido constante en la finca. También se ha cultivado café, yuca, habichuela, arveja y tomate. Además, se conoce el uso para producción de diferentes frutales en fincas aledañas también.

Actualmente, el uso de la finca se limita a la ganadería de ceba, con un rendimiento aproximado de 2200 kg/año. Según el mapa de vocación de suelo del IGAC [13], esta zona tiene vocación forestal y agrosilvopastoril.

Por otra parte, en cuanto a los atributos de la capa de suelos, que se pueden observar en la figura 5 y la tabla 3, se identificaron dos áreas. En la primera, el clima es templado húmedo, el paisaje es de montaña, el relieve incluye lomeríos, el material parental está formado por cenizas volcánicas y arcillolitas. En la segunda área, el material parental está formado por cenizas volcánicas sobre rocas sedimentarias limoarcillosas. La textura es fina para la primera área y media para la segunda

FID	CLIMA 1	PAISAJE	TIPO RELIE	MATERIAL P	Grupos Tex
0	Templado húmedo	Montaña	Lomas	Cenizas volcánicas y arcillolitas	Suelos de textura fina
1	Templado húmedo	Montaña	Lomas y colinas	Cenizas volcánicas sobre rocas sedimentarias limoarcillosas	Suelos de textura media

Tabla 3.
Atributos de las dos áreas de suelo en la finca.
Capa de ArcGIS.

“Los suelos aluviales recientes son de textura mediana a moderadamente fina, o sea que son generalmente de textura franco-limosa a franco-arcillo-limosa” [14].

Considerando que los sistemas VAC incluyen estanques de peces, en el diseño propuesto se incluyó actividad piscícola, ganadera de leche, y agrícola.

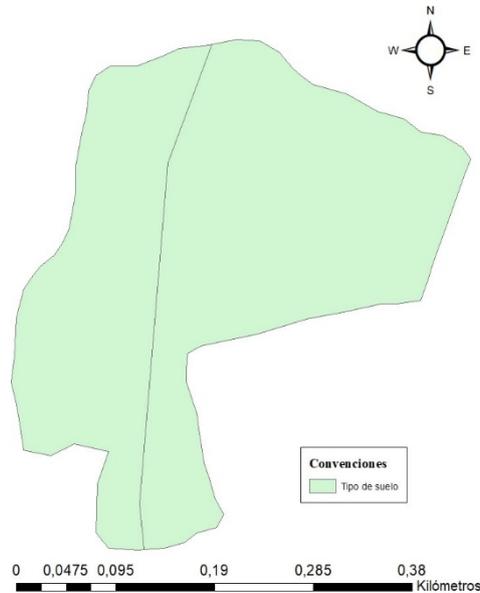


Figura 5.
Mapa de tipo de suelos, finca Nanche.
ArcGIS.

El dimensionamiento de estructuras hidráulicas utilizando DEM se usa cada vez más como herramienta para un mejor aprovechamiento del recurso hídrico [15].

De acuerdo con Luu [9], el área del estanque en sistemas VAC generalmente está entre 100 y 1500 m², y la profundidad, alrededor de 1 m. Por otro lado, los tanques para el mantenimiento de peces, por lo general, tienen una profundidad de entre 1,20 m y 1,50 m [16]. En este orden de ideas, para lograr almacenar los 526.549 m³ de agua disponible en el mes de noviembre, se consideró una profundidad de 1,50 m. Esto implica que el área superficial debe ser de alrededor de 350 m². Asumiendo un tanque cuadrado, con un lado de 20 m, el área superficial representaría 400 m², lo que se ubica dentro de los parámetros. Por lo tanto, el volumen del estanque sería de 600 m³, suficiente para almacenar el agua en el mes de mayor precipitación. Las dimensiones del estanque se pueden observar en la figura 6.

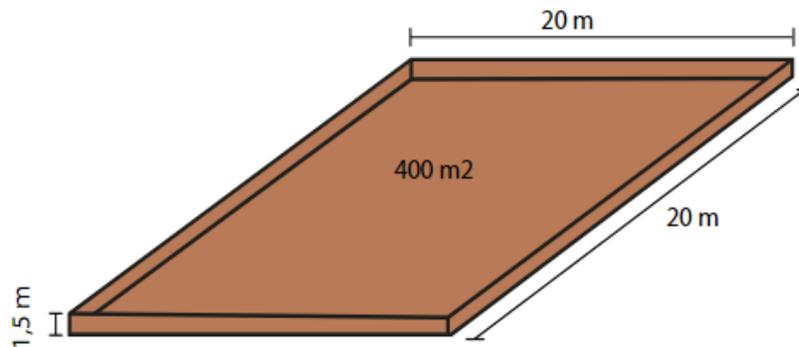


Figura 6

Esquema dimensiones del estanque para peces.

elaboración propia.

El hecho de que el estanque tenga tan poca profundidad es beneficioso para el sistema, puesto que es una ventaja operacional en cuanto a la facilidad de limpieza y por motivos de seguridad: previene el riesgo de inundación y la ocurrencia de accidentes. Lo normal en este tipo de sistemas es que el estanque se encuentre lo más central posible respecto a los límites de la finca [9, 17]. En este caso, aunque el estanque no se ubica exactamente en el centro, la distancia de este al punto más alejado (hacia este y sur) no supera los 400 m, de manera que facilita el correcto desarrollo del Sistema VAC, como se puede observar en el mapa del espacio real a escala que ocupa este dentro de la finca (figura 7).

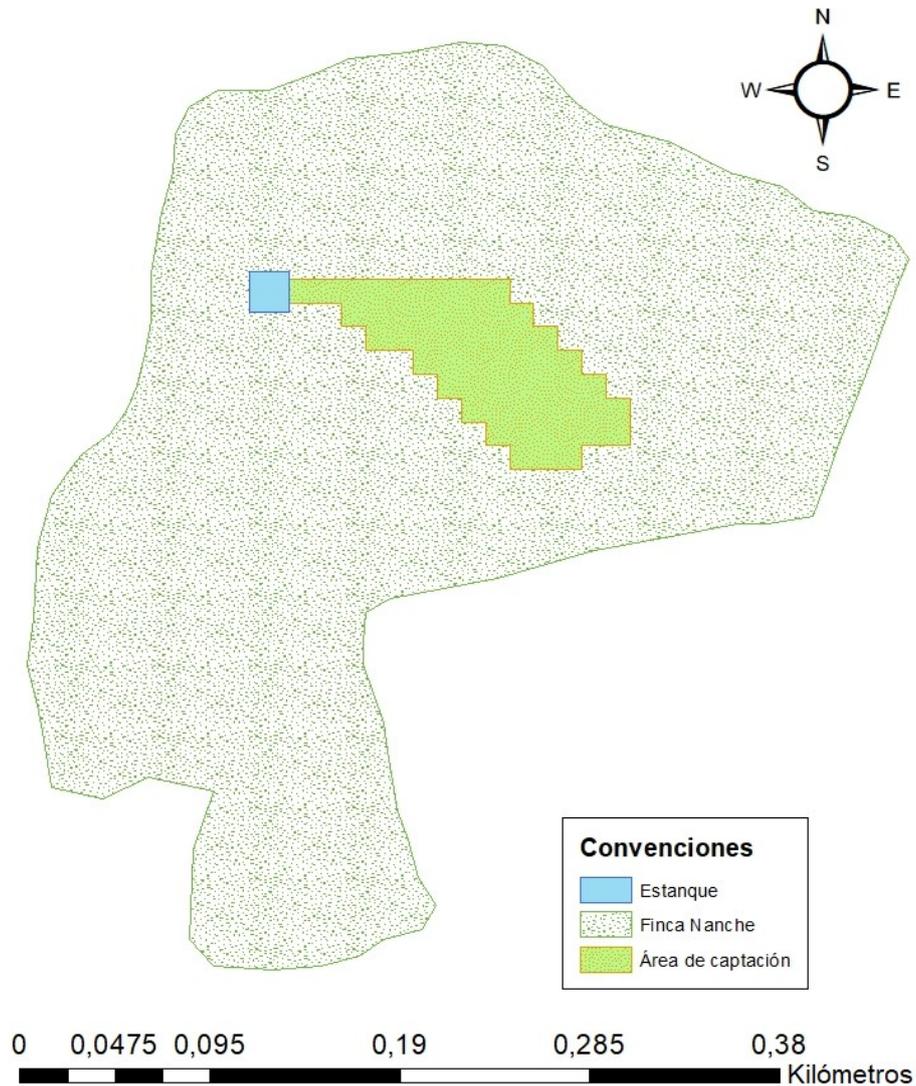


Figura 7
 Mapa de ubicación del estanque
 elaboración propia.

2) Selección de las especies posibles y viables en todas las actividades productivas para el correcto funcionamiento del sistema VAC

Con base en los criterios sociales, económicos y ecológicos mencionados en la tabla 1, los cuales permiten garantizar la producción, el rendimiento y la estabilidad al proyecto, se determinaron las especies que se introducirán en la finca (tabla 4) para la realización de cada una de las actividades propias de un sistema VAC.

En cuanto a la ganadería, es importante mencionar que el ganado de leche, que fue el tipo seleccionado en este caso, requiere mayor cantidad de agua que el ganado para producción de carne [18]. Según la Federación Nacional de Ganaderos (Fedegán), en fincas tradicionales se pueden incluir entre 1,5 y 1,8 vacas con peso vivo entre 400 k y 500 k por hectárea [19]. Por tanto, se determinó que en esta finca se tendrían un total de 12 vacas: 6 en producción y 6 vacas secas (que actualmente no están en producción, por encontrarse en gestación) de raza criolla (predominantemente cebú), por ser adaptables y comunes en la zona. De

este modo, los beneficiarios de la finca cuentan con un ingreso constante: pueden aprovechar la leche diariamente, y el terneraje una vez que termine la gestación.

Respecto a la agricultura, todas las especies seleccionadas tienen una utilidad dentro del sistema. Todas, salvo la guayaba, han sido ampliamente utilizadas en sistemas VAC en países tropicales de Asia [9, 17, 20]. Se puede manejar también una huerta casera cuya única función sea para consumo dentro de la finca, donde predominen especies de hortalizas como acelgas, apio, albaca, espinaca, lechuga y perejil. Esta ocuparía un área de 400 m², según lo indicado por Capistrano-Doren y Luna [17]. Es recomendable que la huerta esté junto a la casa para ser abonada con los residuos orgánicos de esta.

Así mismo, tanto la configuración del estanque en forma de cadena trófica y las especies de peces tilapia y carpa están respaldadas por estos autores [9, 17, 20], mientras que el guppy fue seleccionado por ser propio de América del Sur [21], por su utilidad en la limpieza del estanque, y por la necesidad de alimento para peces más grandes. Además, los mismos autores recomiendan un segundo estanque, más pequeño, para la maduración de los primeros peces.

3) Distribución de las actividades productivas

Con el fin de delimitar las áreas dedicadas a cada una de las actividades seleccionadas, y dar una visión más completa de las situaciones descritas, su distribución se muestra en el mapa presentado en la figura 8.

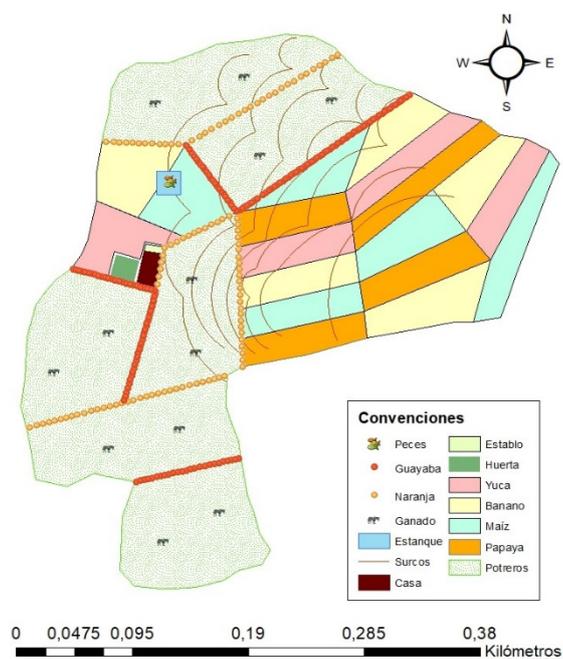


Figura 8.

Mapa de distribución de las actividades productivas para el Sistema VAC
elaboración propia

La configuración escogida es de tipo policultivo, ya que, al hacer siembras conjuntas, estas “pueden ‘complementarse’ entre sí y hacer un mejor uso combinado de los recursos que por sí solas. [...] la complementación minimiza el traslape de nichos entre las especies asociadas y, de tal forma, disminuye al mínimo la competencia por recursos” [40]. Además, sería beneficioso rotar los cultivos. Por otro lado, los potreros del ganado se encuentran divididos por cercas vivas, con el fin de mitigar las problemáticas ambientales propias de la ganadería

tradicional, con un sistema que combine ganado con pastos y diferentes vegetales como árboles y arbustos, tal como lo mencionan Chará et al [41].

4) Cálculo de la demanda de agua para todas las actividades productivas, según la cantidad de individuos o el área utilizada

Para determinar la demanda de agua de las actividades productivas, se tiene en cuenta la densidad por hectárea y el consumo de agua que requiere cada especie, así como el área destinada a cada actividad en la distribución del mapa. Si bien el sistema de policultivo tiende a mejorar el rendimiento y a un mejor aprovechamiento de los recursos, el cálculo se llevó a cabo considerando cada especie por separado, de manera que se demuestre que, en el peor de los casos, la demanda puede cubrirse con la cantidad de recurso con la que se cuenta, la cual se relaciona en la tabla 5. Es importante recordar que el agua recogida en el estanque corresponde apenas al 35% del agua lluvia que cae únicamente sobre el área de captación (la escorrentía); sin embargo, en la tabla se menciona la totalidad de recurso disponible.

Según un estudio sobre sistemas de abrevadero en ganadería, una vaca lechera puede consumir entre 38 y 110 litros de agua por día (L/d) [42]. Esto incluye el riego de pastos, cuyo crecimiento se permitirá naturalmente, sin sembrarlo, ya que el centro de la alimentación serán los frutales y vegetales, con las especificaciones mencionadas.

Respecto a los frutales, las plantas de naranja deben sembrarse con entre 5 a 6 metros de espacio entre sí, para un total de 208 plantas por hectárea; requiere 1046 mm de agua al año [25]. El árbol de guayaba, en espacios de 3×3 ms, ocupando 622 plantas una manzana, y requiere entre 60 y 120 litros de agua diarios para potencializar el cultivo [43]. El número de plantas de banano a sembrar puede variar de 1.100 a 1.850 por hectárea, y “requiere un suministro mensual de agua durante todo el año de aproximadamente 1.200 a 1.300 m³/ha” [44]. La papaya requiere un espaciamiento de 2×2 m cada una, por lo que

se pueden sembrar entre 1.500 y 3.000 plantas; no tiene estimado su riego, pues se sostiene con las precipitaciones que se presenten durante su vida útil [33].

Por otro lado, la yuca puede ocupar entre 10.000 y 15.625 plantas por hectárea [35]; la información sobre los requerimientos hídricos es escasa, y depende del clima y el suelo. El cultivo de maíz potencializado se encuentra entre 70.000 y 80.000 plantas por hectárea; requiere entre 5 y 7 mm de agua por día [36]. El riego de la huerta casera se debe realizar en la tarde cuando la temperatura haya bajado. En los 400 m² destinados para este fin, se pueden ubicar unas 60 plantas. El requerimiento de agua en el mes de mayor demanda es de 0,44 L/planta/ día [45]. El consumo total de agua del sistema se puede observar en la tabla 6.

5) Resultados del análisis oferta/demanda de agua lluvia

Es importante hacer un balance de la oferta de agua generada por el área de captación, el tipo de suelo y la demanda de agua requerida para todo el sistema proyectado.

Criterios	Actividad	Ganadería		Agricultura				Piscicultura			
	Especie	Criolla (cebú)	Guayaba	Naranja	Banano	Papaya	Yuca	Maíz	Guppy	Tilapia	Carpa
Sociales	Conocida (sí/no)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Alta demanda para consumo (sí/no)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
	Cómoda para cosechar (sí/no)	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	Sí	Sí
Económicos	Cosecha	Diario	5 a 6 meses después de poda [22]	Mayo a julio Octubre a febrero [25]	Durante todo el año [28]	Noviembre a febrero [33]	8 a 10 meses [34]	110-115 días [36]	n/a	Continua después de 8 meses [40]	Continua después de 3 meses [17]
	Rendimiento	6 L/día	9,9 t/ha [23]	19,8 t/ha [25]	23,98 t/ha [29]	28,2 t/ha [33]	11,5 tm/ha [35]	1,55 tm/ha [37]	n/a	Máx. 20 Tm/ha/ciclo [40]	0,9 t/ha [17]
	Facilidad de comercialización (sí/no)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	n/a	Sí	Sí
	Poco uso de maquinaria o equipos (sí/no)	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Endémica (sí/no)	Sí	Sí (trópico americano) [23]	No (sur de Asia, cultivo en todo el mundo) [26, 27]	No (Asia meridional) [30]	Sí (trópico americano) [33]	Sí (trópico americano) [33]	Sí (trópico americano) [36]	Sí (Sudamérica) [38]	No (África, habita en el trópico) [40]	No (Asia) [17]
Ecológicos	Utilidad en el sistema	Estiércol (fertilizar cultivos y estanque)	Cerca viva Consumo ganado	Cerca viva Consumo humano	Tallo para consumo ganado Venta de la fruta	Consumo ganado	Venta Consumo humano Hoja para consumo de peces	Consumo ganado Venta	Limpieza del estanque Alimento peces Venta	Cadena trófica Venta	Cadena trófica Venta
	Temperatura	Se adapta	20 °C (Se adapta) [24]	Poca resistencia al frío (se adapta)	>20 °C [31]	22-28 °C [33]	25-29 °C [34]	8-39 °C [37]	Propia del trópico [39]	28-32 °C [40]	22-32 °C [17]

Tabla 4.

Especies seleccionadas en las diferentes actividades productivas de la finca elaboración propia.

Criterios	Actividad	Ganadería		Agricultura				Piscicultura			
Ecológicos	Precipitación promedio anual	n/a	1500 mm (se adapta) [24]	Alta [26]	1200-2000 mm [31]	1500-3000 mm [33]	750-2000 mm [34]	500-700 mm [36]	n/a	n/a	n/a
	Altura	Se adapta	1200-1800 m s. n. m. [24]	<1300 m s. n. m. [27]	0-1000 m s. n. m. [32]	0-1600 m. s. n. m. [33]	0-1800 m. s. n. m. [35]	0-1000 m s. n. m. [36]	n/a	n/a	n/a
	Topografía	n/a	Plana a ondulada [24]	Todos los tipos [26]	Plana (o poca inclinación) [31]	Plana [33]	Todo tipo (se adapta) [35]	Todo tipo (se adapta) [36]	n/a	n/a	n/a
	Tipo de suelo	n/a	De franco arenoso a franco arcilloso [24]	Permeable (pocas arcillas) [26]	Varios tipos de franco [31]	Franco [33]	Franco [34]	Franco [36]	n/a	n/a	n/a

Tabla 4.

Especies seleccionadas en las diferentes actividades productivas de la finca elaboración propia.

Mes	Precipitación promedio (mm = L/m ²)	Área de la finca (m ²)	Precipitación promedio en la finca (L)
Enero	80,06	111.312,94	8.911.649
Febrero	105,88		11.786.296
Marzo	139,87		15.569.113
Abril	142,69		15.882.839
Mayo	124,52		13.860.549
Junio	60,74		6.761.486
Julio	44,84		4.991.211
Agosto	38,32		4.265.396
Septiembre	63,67		7.086.924
Octubre	155,21		17.276.900
Noviembre	186,56		20.766.617
Diciembre	113,30		12.612.262
Total anual	1,255,7		139.771.241
Promedio mensual	104,64		11.647.603,40

Tabla 5.

Disponibilidad total de aguas lluvias en la finca elaboración propia.

Actividad	Especie	Total de individuos	Área ocupada (ha)	Consumo de agua por individuo o por hectárea (L/mes)	Total consumo de agua al mes
Ganadería	Vaca criolla (cebú)	12	6,11	3.300	39.600
Agricultura	Guayaba	171	-	5,79	989,71
	Naranja	113	-	50.288,46	5.682.596,15
	Banano	2.000	1,38	1.300.000	1.794.000
	Papaya	2.200	1,09	-	-
	Yuca	10.300	1,03	-	-
	Maíz	100.000	1,37	2.100.000	2.877.000
Huerto	Hortalizas	60	0,04	13,2	792
Estanque	Ver tabla 7	Ver tabla 7	0,04		600.000
Total			11,06		10.994.977,86

Tabla 6

Demanda de agua del Sistema VAC con todas sus actividades en la finca*

*En el caso de las cercas vivas (guayaba y naranja), la demanda de agua se calculó por planta, mientras que las demás se calcularon por área ocupada.

Los peces no se tuvieron en cuenta en el cálculo puesto que se asume contarán con, al menos, la cantidad mínima del mes de agosto, todos los meses. elaboración propia.

Según los resultados del análisis, la demanda total de agua es 10.994.977,86 litros mensuales, es decir, el 94% de la disponibilidad mensual promedio (11.647.603,40 L/mes). Esto representa un pequeño margen, y se demuestra que, en el mes de menor precipitación, no será suficiente la oferta para cubrir la demanda. Por tanto, se propone instalar un sistema de riego por bombeo desde pozos profundos o recolectar en embalses los excesos de agua, para utilizarla en las temporadas de estiaje. Se espera también que el trazado de surcos para riego de vertiente a ladera, además de servir para sembrar en ellos, permita maximizar la infiltración y contribuya a la recarga del manto freático [7]. En ese sentido, el sistema VAC contribuye a suplir la alta demanda de agua en agricultura que, como se puede ver en la tabla 6, y como se ha reportado anteriormente, es la actividad de mayor consumo de agua [46].

Los cultivos del sistema suelen ocupar un área entre 1.000 y 5.000 m² [9]. En el caso de Nanche, esta área es casi 10 veces mayor, pues asciende a 48.700 m², y debe considerarse que los espacios disponibles para este tipo de sistemas en Asia por lo general son también mucho menores.

Otro punto que vale la pena resaltar es que, con el sistema propuesto, se estaría aprovechando casi la totalidad del área de la finca. Los espacios no especificados en la tabla 6, como la casa y el establo, corresponden a aproximadamente 0,054 ha, para un total de 11,11 ha ocupadas, de 11,13 ha totales.

Finalmente, respecto a la piscicultura, según el tamaño de los peces, el estanque se llenará en un 70% con carpa, 25% con tilapia y 5% con guppy. La carpa común tiene una densidad de 2.400 peces/ha [17], la tilapia en general ronda los 10.000 peces/ha [47], y el cultivo de guppy varía mucho de acuerdo con el interés sobre la especie; en este caso, tomaremos una densidad de 0,125 peces/L [48]. La cantidad seleccionada de peces se puede observar en la tabla 7.

Los peces de la especie Carpa y Tilapia se comprarían adultos, en las cantidades especificadas. Sin embargo, debido a la cantidad necesaria de guppies, se comprarían 39 hembras y 13 machos maduros, para lograr una proporción hembra-macho de 3:1, y que se reproduzcan a su tasa normal de aproximadamente 100 huevos cada 28 días [49], con el fin de lograr la cantidad requerida para servir como alimento para los peces más grandes. Dado que esta especie es ornamental y, por lo tanto, tiene un alto valor comercial, una vez que

sean suficientes para cumplir con su objetivo de limpiar el tanque y alimentar a los depredadores, podrán ser vendidos.

Especie	Área total (ha)	Área superficial ocupada por especie (ha)	Volumen total (L)	Volumen ocupado por especie (L)	Total de individuos (aproximado)
Carpa	0,04	0,028	600.000	420.000	70
Tilapia		0,01		150.000	100
Guppy		0,002		30.000	3.750

Tabla 7.

Cantidad de individuos por especie para piscicultura*
elaboración propia.

III. ARREGLO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA APLICACIÓN DEL SISTEMA VAC

A) Propuesta de arreglo técnico

El cronograma propuesto, plasmado en la tabla 8, se construyó con base en las consideraciones que se exponen a continuación.

Diferentes autores presentan ciertas pautas para llevar a cabo exitosamente un sistema VAC, basadas en la experiencia, así: el embalse deberá drenarse después del final de la cosecha, normalmente en la temporada seca, ya que el fondo del embalse debe mantenerse seco de 1 a 3 semanas, después de las cuales debe ser limpiado, encalado, abonado y llenado con agua para repoblación [9]. Por tanto, es conveniente también llevarla a cabo la excavación inicial y la preparación de los diferentes cultivos en este mes. Dentro del embalse, deben asegurarse algunas características: la temperatura debe mantenerse entre 22 y 32 °C, 3 ppm de oxígeno y un pH de entre 6,6 y 8,3 [17]. Por lo tanto, probablemente sea necesario comprar kits portátiles para corroborar estas condiciones mensualmente o un multiparámetro para realizar un monitoreo constante. El limo del embalse deberá removerse cada 3 o 4 días para usarlo como fertilizante [9]. Además, el lodo que se extraiga anualmente se utilizará como abono para los frutales [17].

Tres meses después de llenar de nuevo de agua el embalse, se debe pescar semanalmente utilizando pequeñas redes, reabasteciendo y cosechando continuamente. Los residuos domésticos orgánicos se llevarán diariamente; y el estiércol de los animales será aplicado dos veces al mes, en una tasa de 0,05 a 0,15 kg/m² [9]. Una parte del estiércol del ganado debería ser utilizada para abonar los cultivos. Los árboles deben ser abonados una o dos veces al año; para los demás cultivos, dependerá de sus necesidades.

En este punto, resulta de gran importancia la experiencia del administrador de la finca. La mayoría de las especies seleccionadas ya se han cultivado anteriormente en la zona e incluso dentro de la misma finca, por lo que en el espacio recomendado para “cosecha cultivos” se puede cultivar, pero el momento exacto será elección del administrador, basado en su conocimiento y observación de la madurez y rendimiento de cada cultivo. La primera y única excavación del estanque se debería llevar a cabo en febrero, para dar inicio al ciclo completo.

La implementación de un Sistema VAC es relativamente sencilla, y se ha demostrado que estos sistemas pueden generar un rendimiento de alrededor de 1 ton/ha/año, lo que en este caso corresponde a aproximadamente 11000 kg/año. Si se compara con la situación actual de 2200 kg/año, el rendimiento sería 5 veces mayor, trayendo considerables beneficios sociales y económicos a la finca.

Mientras en una hectárea los sistemas VAC llegan a producir 2.000 kg/ha/año; los sistemas actuales, que ocupan el 34,33% del territorio colombiano, alcanzan apenas los 210 kg/ha/año, es decir, 1790 kg/ha/año menos por unidad de área en productividad de alimentos. Teniendo en cuenta su potencial de productividad, el propósito es conocer estos sistemas en la práctica en futuras fases y obtener experiencia en su operatividad, así como utilizar especies propias del país para comprender el sistema y optimizarlas para poderlas replicar a lo largo y ancho del territorio.

Mes	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre							
Actividades	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Última cosecha del año estanque																																																				
Drenaje (excavación) estanque																																																				
Llenado y repoblación estanque																																																				
Cosecha normal estanque																																																				
Fertilización estanque																																																				
Limpieza manual estanque																																																				
Mediciones estanque																																																				
Siembra huerto (hortalizas)																																																				
Cosecha huerto																																																				
Siembra frutales (cerdas vivas)																																																				
Abono frutales																																																				
Siembra demás cultivos																																																				
Abono demás cultivos																																																				
Cosecha cultivos																																																				
Cría de ganado																																																				

Tabla 8.
Propuesta de cronograma para el sistema VAC.
elaboración propia.

B) Propuesta de arreglo económico

El presupuesto de la tabla 9 corresponde al inicio del sistema desde cero. Sin embargo, el administrador de cualquier finca que quiera implementar el sistema puede hacer uso de los recursos que ya tenga a mano: terreno preparado, ganado, mano de obra. Por otro lado, la excavación, la preparación inicial del terreno, los equipos de medición de parámetros, el ganado y los materiales para cercado probablemente sean una inversión única o a largo plazo.

De este modo, para lograr hasta quintuplicar el rendimiento actual en la finca, se necesita una inversión de aproximadamente 60.000.000 COP (iniciando desde cero). Sería interesante, además, estimar el periodo de retorno de la inversión en un futuro estudio.

Concepto	Costo individual		Cantidad		Costo
Diseño del sistema VAC	1.200.000	\$/profesional/mes	2	profesional/mes	\$14.400.000
Excavación estanque	120.000	\$/h	10	h	\$1.200.000
Kit de prueba de oxígeno disuelto	400.000	\$/kit	1	kit	\$400.000
Equipo de medición de parámetros	200.000	\$/equipo	1	equipo	\$200.000
Preparación del terreno de cultivo	80.000	\$/h	45	h	\$3.600.000
Guayaba	3.000	\$/planta	171	planta	\$513.000
Naranja	3.000	\$/planta	113	planta	\$339.000
Banano	2.000	\$/planta	2.000	planta	\$4.000.000
Papaya	3.800	\$/sobre	1	sobre	\$3.800
Yuca	115	\$/cangre	10.300	cangre	\$1.184.500
Maíz	4.4000	\$/bolsa	34	bolsa	\$1.496.000
Carpa	150	\$/alevino	70	alevino	\$10.500
Tilapia	120	\$/alevino	100	alevino	\$12.000
Guppy	2.500	\$/alevino	52	alevino	\$130.000
Insumos para la huerta	20.000	\$/sobre	1	sobre	\$20.000
Ganado	1.800.000	\$/vaca	12	vaca	\$21.600.000
Puntillas	5.000	\$/kilo	10	kilo	\$50.000
Martillo	15.000	\$/unidad	1	unidad	\$15.000
Polisombra	140.000	\$/rollo	18	rollo	\$2.520.000
Malla	70.000	\$/rollo	26	rollo	\$1.820.000
Mano de obra	30.000	\$/p/día	201	p/día	\$6.030.000
Total					\$59.543.800

Tabla 9.

Presupuesto para iniciar la implementación del sistema VAC.

elaboración propia.

IV. CONCLUSIONES

Por las características propias del terreno, el sistema es aplicable a la finca Nanche y a las demás fincas de la zona, considerando las similitudes climáticas y agroecológicas con otras regiones donde se ha aplicado este tipo de sistema. Su replicación puede revolucionar la forma de cosechar el campo a nivel regional e incluso nacional, y contribuir a la seguridad alimentaria. Diseños como este, basados en la economía del hogar, se han aplicado con éxito en regiones con condiciones similares a las de Colombia en pro del desarrollo rural. Por ello, se espera que el diseño sea fácil de entender y de aplicar para personas con experiencia en el sector, y que, además, se pueda utilizar terreno previamente adecuado para las actividades cotidianas y otras herramientas que, por tratarse de una finca productora, ya se tengan a disposición.

Con la implementación de este sistema, en la finca Nanche se utilizaría aproximadamente el 100% del área de la finca (11,13 ha), lo que haría que el sistema fuera muy efectivo. Por otra parte, los agronegocios innovadores están recibiendo en la actualidad múltiples ayudas por parte de instituciones y programas, lo cual representa una ventaja.

Este diseño mejora en gran medida la gestión del recurso hídrico. Además, al promover un sistema cerrado, con ciclado de nutrientes, también se aumenta la efectividad de los ecosistemas, a lo cual se suma la aplicación de policultivos rotativos que favorecen la diversidad. En este caso, cada especie incluida, vegetal o animal, tiene una función dentro del sistema.

Los sistemas VAC conllevan gran cantidad de beneficios que los hacen especialmente apropiados para el sector rural del país, pues pueden mitigar muchos de los efectos negativos de las actividades agropecuarias, tales como la generación de gases de efecto invernadero (al combinar el sistema con vegetales), la cantidad de agua que consume la agricultura y los conflictos en el uso de tierras (pues se tendrá más en cuenta la vocación del suelo), entre otros.

Los sistemas tradicionales son mucho menos productivos que un sistema VAC, por lo cual se está desperdiciando un potencial que puede hacer el campo más eficiente y, por tanto, representar un mayor valor para el país. Dado que hay una diferencia de 1.790 kg/ha/año, vale la pena profundizar en la práctica en futuras fases y obtener experiencia en su operatividad, así como utilizar especies propias para comprender el sistema, y optimizarlas para poder replicarlas en todo el país.

Al adquirir la experticia, será posible obtener varios arreglos técnicos que permitan ingresar este sistema de tipo VAC a los sistemas productivos existentes en el campo, de manera que se aumente la cantidad de alimentos producidos por hectárea al año y, por consiguiente, el flujo de caja. Asimismo, se podrán incorporar la ciencia de datos, sensores remotos y sistemas de inteligencia artificial para un correcto dimensionamiento y ubicación de los embalses, lo que a su vez permitirá obtener modelos basados en datos para entender la correlación entre variables, con el fin de comprenderlas y optimizarlas en futuras experiencias.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al espacio de aprendizaje del semillero de Hidrología Computacional de la Universidad El Bosque, por contribuir a la conceptualización y guiar en las herramientas informáticas analíticas necesarias para llevarlo a cabo. Así mismo, al señor P. Apolinar, administrador de la finca Nanche, por su asistencia técnica y logística, y por compartir su experiencia.

REFERENCIAS

- [1] Finagro, “En el campo están las oportunidades para Colombia”, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.finagro.com.co/noticias/en-el-campo-est%C3%A1n-las-oportunidades-para-colombia>.
- [2] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, “Colombia, un país con una diversidad de suelos ignorada y desperdiciada”, 2021. [En línea]. Disponible: <https://igac.gov.co/es/noticias/colombia-un-pais-con-una-diversidad-de-suelos-ignorada-y-desperdiciada>.
- [3] C. Z. Rodríguez, “Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos”. *Gest. Ambient.*, vol. 15, n.º 3, pp. 99-112, dic. 2012.
- [4] S. Siavosh, J. Rivera y M. Gómez, “Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia”, en *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*. Cali, Colombia, FAO-CIPAV, 2000, pp. 77-95.
- [5] J. Cabrera. *Calibración de modelos hidrológicos*. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil, 2012). Disponible: http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf.
- [6] N. Palacio Castañeda, “Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia”. *Gest. Ambient.*, vol. 13, n.º 2, pp. 25-39, ago. 2010.
- [7] E. Gras, *Cosecha de agua y tierra*. Tegucigalpa, Honduras: Carmina, 2010.
- [8] S. Shigetomi (Ed.), *The State and NGOs: Perspective from Asia*. Singapur: Institute of Southeast Asian Studies, 2002.

- [9] L. T. Luu, *The VAC system in Northern Viet Nam, Integrated Agriculture-Aquaculture*. Roma: FAO, 2001.
- [10] D. H. K. Lee, “El clima y el desarrollo económico en los trópicos” México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1968.
- [11] Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial Río Guarinó. “Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la Cuenca del Río Guarinó”, 2016. [En línea]. Disponible: https://www.rtolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/guarino/diagnostico/8.4.6_Pendientes.pdf.
- [12] *Norma Técnica NS 085*, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2009. [En línea]. Disponible: https://kupdf.net/download/ns-085-dise-ntilde-o-alcantarillados_590e3bc5dc0d606d2f959ed6_pdf, 2009.
- [13] C. Olivera Sánchez, *Estado, prioridades y necesidades para el manejo sostenible del suelo en Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2015.
- [14] Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. *República Dominicana: Plan de Acción para el Desarrollo Regional de la Línea Noroeste*. Washington, DC, USA, 1977.
- [15] G. A. Buitrago, “Dimensionamiento de embalses para fincas en Colombia usando como herramienta los modelos de elevación digital”. *Rev. Tecnol.*, vol. 15, n.º 1), pp. 129-138, may. 2016.
- [16] C. E. Leal Torres y P. A. Pacheco Ennis, “Cálculo de costos de construcción e instalación de una piscicultura”, trabajo de especialización, Fac. Ing Univ. Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2019. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/11349/16214>
- [17] L. Capistrano-Doren y N. Luna, “Farmer-proven integrated agriculture-aquaculture: a technology information kit”. Silang, Filipinas: IIRR/ICLARM, 1992.
- [18] A. Jiménez. “El agua en la alimentación bovina”. [En línea]. Disponible: http://axonveterinaria.net/web_axoncomunicacion/criaysalud/7/cys_7_El_agua_en_la_alimentacion_bovina.pdf.
- [19] “Número de vacas por hectárea se duplica en fincas tecnificadas”, Fedegán, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.fedegan.org.co/noticias/numero-de-vacas-por-hectarea-se-duplica-en-fincas-tecnificadas>, 2020.
- [20] D. K. Nhan, L. T. Duong, N. V. Sanh y M. Verdegem, “Development of ‘VAC’ Integrated Farming Systems in the Mekong Delta. Vietnam—A View of a System and a Participatory Approach, en *Integrated agriculture farming systems in the Mekong Delta*,
- [21] “Conoce a los guppys, los peces a quienes les crece el cerebro ante la presencia de depredadores”, en *La Vanguardia*, 21 de julio, 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.lavanguardia.com/natural/20180721/444127272456/conoce-guppys-peces-quienes-les-crece-cerebro-presencia-depredadores.html>
- [22] M. Bernal, “La guayaba, reina de las frutas inicia cosecha en la Costa”. *El Universo*, 22 de mayo, 2004 [En línea]. Disponible: <https://www.eluniverso.com/2004/05/22/0001/71/D4B919B3691247D98B7CEF9D6BBC14D0.html#:~:text=El%20ciclo%20vegetativo%20de%20la,8%20meses%20desde%20la%20poda>.
- [23] “Guayaba: Evaluaciones Agropecuarias Municipales”, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, Colombia, 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.agronet.gov.co/Documents/Guayaba.pdf>.

- [24] *Manejo fitosanitario del cultivo de guayaba*. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario, 2012.
- [25] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, “El cultivo de la naranja Valencia (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) y su producción como respuesta a la aplicación de correctivos y fertilizantes y al efecto de la polinización dirigida con abeja *Apis mellifera*”. *Boletín mensual: Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria*, n.º 52, oct., 2016.
- [26] *Manejo fitosanitario del cultivo de cítricos*. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario, 2012.
- [27] “La cadena de cítricos en Colombia: una mirada global desde su estructura y dinámica 1991-2005”, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, Colombia, Documento de trabajo n.º 66, 2005.
- [28] “Todo sobre los bananos: lo que debería saber acerca de esta fruta tropical”, FAO, 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/447827/#:~:text=Los%20bananos%20se%20cultivan%20y,una%20amplia%20variedad%20de%20nutrientes>.
- [29] “Banano: Evaluaciones Agropecuarias Municipales”, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, Colombia, 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.agronet.gov.co/documents/banano.pdf>, 2014.
- [30] J. A. Erazo Salvador y K. M. Palacios Cordero, “Diseño de una propuesta de mejoramiento del proceso de despacho y distribución de la empresa Hasanrita SA dedicada a la producción de banano en la ciudad de Machala”, trabajo de grado, Fac. Cienc. Econ. y Admin., Univ. Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador, 2018.
- [31] R. Gonzabay, “Cultivo del banano en el Ecuador”. *Rev. Afese*, vol. 58, n.º 58, pp. 113-142, 2017.
- [32] “Ficha de Inteligencia: Banano tipo exportación”. Versión II. Finagro, Bogotá, Colombia, jun. 2018. [En línea]. Disponible: https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/ficha_banano_version_ii.pdf. 14 pp, 2018.
- [33] *El cultivo de la papaya en los Llanos Orientales de Colombia*. Corpoica, SENA, Asohofrucol, Bogotá, Colombia, Manual de Asistencia Técnica n.º 4), 1999.
- [34] *Manual del cultivo de yuca Manihot esculenta Crantz*. Instituto Nacional de Innovación Tecnológica y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, San José, Costa Rica, 2017.
- [35] J. Aristizábal y T. Sánchez, *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia, Boletín de Servicios Agrícolas n.º 163, 2007.
- [36] H. Deras Flores, *Guía técnica: el cultivo de maíz*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2020.
- [37] O. Cruz, *Manual para el cultivo del maíz en Honduras*. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Tegucigalpa, Honduras, 2013.
- [38] P. Devezé Murillo, J. L. Reta Mendiola y B. Sánchez Luna, “Cultivo de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae) en cuerpos de agua tropicales, Veracruz, México”. *Rev. Biol. Trop.*, vol. 52, n.º 4), pp. 951-958, dic. 2004.
- [39] Manual de Crianza: Tilapia. Nicovita, Guayaquil, Ecuador, 2017.
- [40] M. Liebman, “Sistemas de policultivos”, en M. A. Altieri, *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*, La Habana: CLADES. 1997, pp. 133-141.

- [41] J. Chará, E. Reyes, P. Peri, J. Otte, E. Arce, F. Schneider, *Silvopastoral Systems and their Contribution to Improved Resource Use and Sustainable Development Goals: Evidence from Latin America*. Cali, Colombia: FAO, CIPAV and Agri Benchmark, , 2019.
- [42] E. Duarte, “Uso del agua en establecimientos agropecuarios. Sistema de abrevadero. (Parte I): ¿Cuánta agua toma una vaca?” *Rev. Plan. Agropecu.*, n.º 140, pp. 38-43, 2011.
- [43] M. A. García, *Guía técnica del cultivo de la guayaba*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador, dic. 2010.
- [44] S. Torres, *Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira*. Proyecto Norte Emprendedor Swisscontact. Piura, Perú, 2012.
- [45] P. M. Gil, C. Barrera, D. Cea, S. Contreras, L. G. Díaz, A. Adell y E. R. Atwill, *Riego en hortalizas: tecnologías apropiadas para mejorar eficiencia de uso y calidad de agua para una producción sostenible e inocua*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. , 2018.
- [46] “Agricultura, el mayor consumidor de agua en el país”, en *Semana Sostenible*, mar. 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/agricultura-el-sector-que-mas-agua-demanda-en-el-pais/43450/>
- [47] M. A. Saavedra Martínez, *Manejo del cultivo de tilapia*. Managua, Nicaragua: Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA- UCA),, 2006.
- [48] Z. Coello, “Cuidados para peces guppy”. *Experto Animal*. [En línea]. Disponible: <https://www.expertoanimal.com/cuidados-para-peces-guppy-23206.html>, 2018.
- [49] J. D. Correa Montoya, “Ornamentales Bettupy”, trabajo de grado, Fac. Cienc. Admin. Agropecu., Corp. Univ. Lasallista, Caldas, Antioquia, Colombia, 2015