UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

PROPUESTA DE UN SISTEMA AGROFORESTAL EN LA FINCA EL MIRADOR MEDIANTE EL USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA PROVINCIA PASTAZA

AUTOR(ES):

Pedro Alejandro Bejarano Chimbo

María Fernánda Silva Cayambe

DOCENTE - TUTOR:

Msc. De Decker Katharina Elisabeth

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

Propuesta de un sistema agroforestal en la finca El Mirador mediante el uso de Sistema de Información Geográfica en la provincia Pastaza

Pedro Alejandro Bejarano Chimbo[1]
for2017011@uea.edu.ec

María Fernánda Silva Cayambe[1]
for2017080@uea.edu.ec

De Decker Katharina Elisabeth, M.Sc[2]
mdedecker@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra
Carrera de Ingeniería Forestal (1)

Resumen

Esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de proponer un sistema agroforestal mediante el uso de Sistemas de Información Geográficas (SIG) para la finca El Mirador con la finalidad de mejorar la situación económica, ecológica y social de las personas. El lugar de estudio se localiza en la comunidad "Los Vencedores" en el km 33 vía a Puyo-Macas, con Coordenadas: 1°41'09"S 77°50'23"W, perteneciente a la parroquia Simón Bolívar, cantón Pastaza, provincia de Pastaza. Se analizó la situación actual del área de estudio mediante el uso de GPS e imágenes satelitales, se determinó el área disponible para la implementación de un sistema agroforestal y se elaboró una propuesta para un sistema agroforestal en la finca mediante el uso de SIG. La finca El Mirador cuenta con un área total de 49,2 hectáreas con diferentes actividades agropecuarias. El mayor uso de suelo pertenece a pasto con un total de 31 hectáreas. Por su topografía irregular, la finca está dividido en tres partes con diferentes densidades de árboles. Se propuso un sistema silvopastoril para la zona de seis hectáreas con presencia de pasto Marandú (*Brachiaria brizantha*), para la zona de 11 hectáreas con poca densidad de árboles, se diseñó un sistema agroforestal con la utilización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) y las especies forestales Cedro (*Cedrela odorata*) y Laurel (*Cordia Alliodora*). Para la zona de 14 hectáreas en estado de deforestación., se propuso una plantación de tipo no comercial con 12 especies forestales con el fin de generar una restauración del área deforestada.

Palabras Clave*:* sistemas agroforestales, restauración, Sistema de Información Geográfica

Abstract

This research was carried out with the objective of proposing an agroforestry system through the use of Geographic Information Systems (GIS) for the El Mirador farm in order to improve the economic, ecological and social situation of the people. The study site is located in the "Los Vencedores" community at km 33 on the road to Puyo-Macas, with coordinates: 1°41'09"S 77°50'23"W, belonging to the Simón Bolívar parish, Pastaza canton, Pastaza province. The current situation of the study area was analyzed through the use of GPS and satellite images, the area available for the implementation of an agroforestry system was determined, and a proposal for an agroforestry system on the farm was developed through the use of GIS. The El Mirador farm has a total area of 49.2 hectares with different agricultural activities. The largest use of land belongs to pasture with a total of 31 hectares. Due to its irregular topography, the farm is divided into three parts with different trees densities. A silvopastoral system was proposed for the area of six hectares with the presence of Marandú grass (*Brachiaria brizantha*), for the area of 11 hectares with low density of trees, an agroforestry system was designed with the use of cocoa cultivation (*Theobroma cacao*) and the forest species Cedro (*Cedrela odorata*) and Laurel (*Cordia Alliodora*). For the area of 14 hectares in a state of deforestation, a non-commercial plantation with 12 forest species was proposed in order to generate a restoration of the deforested area.

Keywords: agroforestry systems, restoration, Geographic Information System

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador ha tenido un grado de deforestación muy alto dentro de la región tropical, cada año se pierden 66 mil hectáreas. Como consecuencia de la pérdida de los bosques, la riqueza florística se va reduciendo y la demanda de madera va en aumento. El aprovechamiento forestal legal es elevado, en el periodo de 2007-2009 se incrementó en un 30% de volumen de madera aprobado (Jadán, Günte, Torres, & Selesi, 2015).

El promedio de deforestación anual en la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) entre los años de 2000 y 2008 fue de 16.430 ha/año (Ministerio del Ambiente, 2012).

Aunque la RAE presenta un alto grado de deforestación, debido al cambio de uso de suelo para la agricultura y actividades extractivitas (petróleo y minería), sus suelos tienen una alta rentabilidad para la implementación de sistemas agro-productivos

Una alternativa de monocultivos tanto agropecuarios como forestales son los sistemas agroforestales (SAF). A finales de los años 90, se reconoce la importancia de los SAF, los cuales brindan varias ventajas sobre el monocultivo y dan una respuesta a la demanda de una agricultura multifuncional y que provee servicios ambientales (Lincango, 2016).

Durante varios años, los SAF en la Amazonia han tenido muchos cambios favorables, los cuales pueden ayudar en la estabilidad de la agricultura sostenible en esta región (Lincango, 2016). Otro beneficio del manejo sustentable del recurso bosque es la conservación de las reservas de carbono mediante actividades que incentiven la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD) (Francesconi & Montagnini,2014).

Los sistemas agroforestales (SAF) incluyen la presencia de especies arbóreas perennes y cultivos agrícolas en una misma área de terreno. La agroforestería involucra algunos métodos sostenibles de bajos insumos que ayudan a minimizar las alteraciones en los suelos, un buen reciclaje de nutrientes, conservación del agua, diversificación de la producción, entre muchos otros (Parra, Rojas, & Arrieta, 2020).

Los SAF son una alternativa para el desarrollo de los productores en armonía con el ambiente, ayudando a mitigar el cambio climático y conservación de la biodiversidad, al mismo tiempo incrementan los ingresos económicos con los cuales el productor puede satisfacer sus necesidades (Francesconi &Montagnini,2014).

Esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de proponer un sistema agroforestal mediante el uso de Sistemas de Información Geográficas (SIG) para la finca El Mirador con la finalidad de mejorar la situación económica, ecológica y social de las personas.

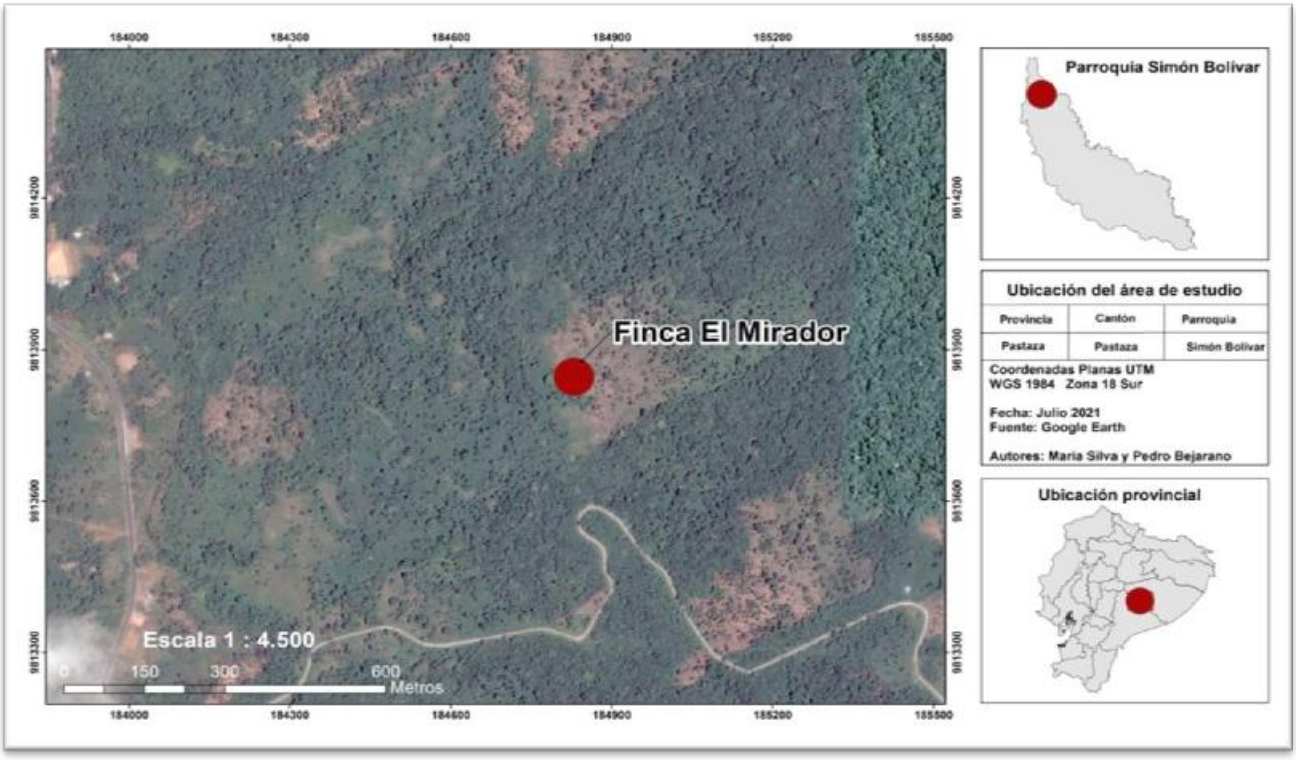
Como objetivos específicos se plantearon los siguientes: Analizar la situación actual del área de estudio y determinar el área disponible para la implementación de un sistema agroforestal y elaborar una propuesta para un sistema agroforestal en la finca El Mirador mediante el uso de SIG.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1. Localización

El lugar donde se propone la implementación de sistemas agroforestales mediante un SIG se localiza en la comunidad “Los Vencedores” en el km 33 vía a Puyo-Macas, con Coordenadas: 1°41'09"S 77°50'23"W, perteneciente a la parroquia Simón Bolívar, cantón Pastaza, provincia de Pastaza **(Figura 1)**.

Figura 1. Localización del área de estudio



Elaborador por: Silva & Bejarano,2021

El clima en este sector es tropical, existen precipitaciones durante todo el año, incluso el mes más seco tiene mucha lluvia, la precipitación anual es de 3164 mm, la temperatura media anual en Pastaza se encuentra a 24,4 °C. Además, el viento en condiciones normales es de $3m^3/s$ equivale a 12 Km/h. El suelo es Inceptisol, ácidos, de baja fertilidad y altos contenidos de hierro (Fe) (Santi, 2019).

2.2. Tipo de investigación

Se realizó una investigación descriptiva debido a que se describieron las propiedades y las características importantes de la finca EL Mirador, de la cual existe poca información bibliográfica sobre el tema y pocos estudios empíricos realizados.

2.3. Método de investigación

Para cumplir el primer objetivo **"Analizar la situación actual del área de estudio mediante el uso de GPS e imágenes satelitales***":*

Para analizar la situación actual del área de estudio se tomaron cuatro puntos, un punto en cada esquina del terreno, con la ayuda del GPS Essential (Huerta & Noguera, (2005). Esta aplicación es la herramienta de GPS más completa para un sistema Android y permite navegar, administrar puntos, pistas, rutas, la misma que se descarga en la Play Store. Para la toma de los puntos se utilizó la función de Waypoint. Posteriormente se exportaron las coordenadas obtenidas con el GPS al correo electrónico, las mimas fueron desplegadas en Google Earth. Seguidamente se descargó una imagen satelital actualizada de Sentinel 2 (en la página https://earthexplorer.usgs.gov/), para luego interpretarla con el programa de ArcGIS en el cual se clasificaron los usos actuales que se le está dando al área con respecto a infraestructura, cultivos, ganadería, pasto y bosque.

Para cumplir el segundo objetivo ***"Determinar el área disponible para la implementación de un sistema agroforestal".***

Para determinar el área disponible para la implementación de un sistema agroforestal, primero se dibujó un polígono (tipo shapefile) de la finca en el programa de ArcGIS en donde posteriormente se cortó el polígono con la ayuda de la herramienta *Cut Polygon Tool* según el uso que se identificó. Seguidamente se calculó el área de cada uso con la opción *Calculate Geometry* dentro de la tabla de atributos del shapefile con los diferentes usos identificados.

Para cumplir el tercer objetivo ***"Elaborar una propuesta para un sistema agroforestal en la finca El Mirador mediante el uso de SIG":***

Para desarrollar una propuesta de un sistema agroforestal en la Finca "El Mirador" mediante el uso de SIG, se realizó revisión bibliográfica acerca del ecosistema presente en el área de estudio para poder conocer las especies forestales y frutales idóneas que pueden ser utilizadas en la propuesta del SAF. También se consultó opciones de sistemas agroforestales de tipo silvopastoril debido que anteriormente en el lugar se trabajaba con ganadería y cultivos agrícolas, por lo cual se quiere seguir trabajando con esos componentes, pero de una manera más sostenible. Para esta propuesta se requieren especies

forestales de servicio que fijen de nitrógeno atmosférico, mejoren las condiciones de vida del suelo y sirvan como alimento a la avifauna y para el aprovechamiento de madera, también se utilizaron cultivos agrícolas anuales y pastos para la alimentación del ganado.

Por último, se utilizó la herramienta de *Create Fishnet* para conocer la cantidad de árboles por implementar en el área.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Situación actual del área de estudio

La finca El Mirador, en la comunidad Los Vencedores en la parroquia Simón Bolívar, provincia Pastaza, cuenta con un área total de 49,2 hectáreas (**Figura 2**), de las cuales una hectárea corresponde al uso de infraestructura, como una casa y vías de acceso. Esta área se encuentra al oeste de la finca conjuntamente a la carretera Puyo – Macas. Las siguientes cuatro hectáreas corresponden a diferentes actividades agropecuarias como cultivos de plátano, yuca, papachina, caña, pitahaya y maíz, así como crianza de peces y chanchos. Según Fiallos (2018) las actividades agropecuarias en la provincia de Pastaza ocupan el 27,42% del total de las principales actividades económicas de la provincia, los finqueros implementan diversos tipos de cultivos en asociación con actividades pecuarias y especies forestales. Estas actividades sirven para el abastecimiento de la alimentación de la familia y animales, pero también para la venta.

El mayor uso de suelo pertenece a pasto para la ganadería con un total de 31 hectáreas de las cuales se evidencian dos partes (6 y 11 hectáreas) con menor densidad de árboles, esto es debido a la extracción excesiva de madera en el transcurso del tiempo para la construcción de casas, la venta de madera y otros usos. La parte central (14 hectáreas) posee mayor presencia de árboles por su difícil acceso y así impedir el aprovechamiento de la madera por lo cual la intervención ha sido menos intensiva. Entre las especies remanentes de la parte intervenida se encuentran especie nativas de la zona como **Canelo blanco** (*Nectandra laurel),* **Amarrillo** (*Terminalia amazonia),* **Guaba** *(Inga edulis), Chunco* (*Cedrelinga cateniformis*), **Sangre de Gallina** (*Otoba parvifolia*), **Pambil** (*Iriartea deltoide),* **Piton** *(Grias neuberthii),* **Quili** *(Wettinia maynensis),* **Chinku** *(Socratea exorrhiza),* **Tucuta** (*Guarea kunthiana*). Galeas, R., & Guevara, J. E. (2012). menciona a dichas especies en el ecosistema Bosque Siempreverde Piemontano del Norte

de la Cordillera Oriental de los Andes en la provincia de Pastaza.

Y la última parte de 14 hectáreas, la parte más lejana de la carretera, está ocupado con bosque secundario con muy poca intervención. En este bosque se encuentran especies dominantes de árboles como: **Canelo blanco** (*Nectandra laurel)*, **Amarrillo** (*Terminalia amazonia),* **Guaba** *(Inga edulis), Chunco* (*Cedrelinga cateniformis*), **Sangre de Gallina** (*Otoba parvifolia*), **Pambil** (*Iriartea deltoide),* **Piton** *(Grias neuberthii),* **Quili** *(Wettinia maynensis),* **Chinku** *(Socratea exorrhiza),* **Tucuta** (*Guarea kunthiana*).

Figura 2. Usos de suelo de la finca El Mirador



Elaborado por: (Silva & Bejarano, 2022)

3.2 Propuestas de implementación de diferentes SAFs

En la zona con presencia de pasto Marandú (*Brachiaria brizantha),* se implementaría un sistema silvopastoril con Leucaena (*Leucaena leucocephala),* en Ecuador también conocido como peladera, liliaque, huaje o guaje (**Figura 3**).

Figura 3: Ejemplo del sistema silvopastoril con Leucaena



Fuente: (Valarezo, 2012).

3.2.1 Descripción de Leucaena (*Leucaena leucocephala*)

Es un árbol o arbusto caducifolio de hasta 12 m de altura y 25 cm de diámetro, su copa es redondeada y un poco rala, su tronco es usualmente torcido y se bifurca a diferentes alturas. Su raíz es profunda por lo que penetra las capas del suelo y aprovecha el agua y nutrientes (Canabio, 2016).

La implementación de la *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles ayuda a la fijación de nitrógeno en el suelo, altas tasas de fijación del nitrógeno atmosférico (100-600 kg N/ha/año); genera una cobertura de hojarasca, esta planta produce un excelente abono verde; controla la erosión; ayuda a drenar tierras inundable, las raíces extendidas desintegraran las capas de subsuelo impermeables lo que mejora la penetración de agua y disminuye la lixiviación de la superficie; mejora la fertilidad del suelo, entre otros muchos más (Canabio, 2016). Cabe recalcar que también traería consigo beneficios económicos minimizando costos en alimentación del ganado al productor, ya que se podría utilizar sus hojas como forraje, porque contienen un alto valor nutricional, debido a su gran contenido de proteínas, fibra y antioxidantes. Esto ayuda a una digestión más fácil y rápida de los alimentos en los animales y una elevada actividad para evitar el envejecimiento celular, disminuyendo el riesgo de presentar enfermedades cardiovasculares o neurodegenerativas (Patiño Güiza, S. V.2020).

Se propondrá un marco de plantación de 16m x 16m con la especie forestal Leucaena

obteniendo 39 plantas por hectárea, los cuales serán sembradas de manera aleatoria porque se busca cubrir la mayor parte del área y mantener las especies existentes.

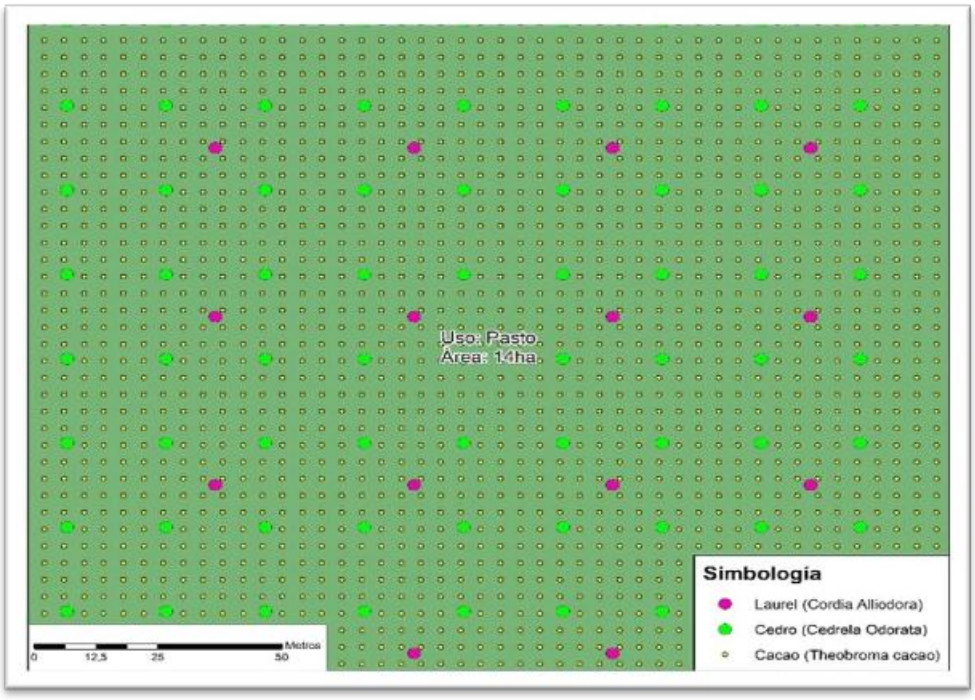
3.3 Propuesta para la zona de pasto de 14 hectáreas

Para esta zona se propone un diseño de una plantación agroforestal con Cedro (*Cedrela odorata*), Cacao (*Theobroma cacao*) y Laurel (*Cordia Alliodora*).

Se utilizarían especies como el Cacao asociado con Cedro (*Cedrela odorata*) y Laurel (*Cordia Alliodora*) teniendo en cuenta que las ultimas especies ofrecerían una sombra para el cultivo del Cacao. Además, brindarían mayores posibilidades de poder satisfacer las necesidades de madera, leña o ingresos por la venta. Por otra parte, se obtendrían frutas para el consumo familiar y para la venta en el comercio local. Estas tres especies tienen gran importancia en los sistemas agroforestales por el bienestar aportado al cultivo, además de su excelente desarrollo y sus usos maderables. Estas especies tienen en común que ayudan a mejorar la fertilidad del suelo, al control de la erosión, dan cobertura al suelo con su hojarasca, y existen otros beneficios más (Sánchez, López, Cordoba, & Gallardo , 2018).

Se propondría un marco de plantación 20m x 20m para la especie de Cedro, obteniendo así 250 plantas por hectárea, el Cacao sería sembrado a un distanciamiento de 4m x 4m, aquí se obtendrían 625 plantas por hectárea y por último un marco de plantación de 40m x 40m con la especie de Laurel, donde se obtendrán 125 plantas por hectárea. El diseño de este sistema agroforestal sería de dos filas de Cacao seguido con una fila de Cedro y se alternaría con Laurel (**Figura 4**).

Figura 4: Diseño del Sistema Agroforestal



Elaborado por: (Silva & Bejarano,2022)

3.4 Propuesta para la zona pasto de 11 hectáreas

Para esta zona, la propuesta busca una restauración del habitad natural sin fines comerciales, por lo cual no se escogerían especies comerciales, sino especies propias de la zona, la cuales se adaptarían de mejor manera al ecosistema.

Para desarrollar el diseño de la restauración, se deben definir el número de plantas a implementar por hectárea, el ordenamiento y espaciamiento que tendrían en el sitio a reforestar dependiendo de la productividad del lugar y del objetivo de la plantación a generar. La densidad de plantas por hectáreas más comúnmente utilizadas va entre 400 pl./ha. a 1.600 pl./ha (Ulloa & Rosero, 2019).

Se tomarían en cuenta un total de 12 especies entre ellos forestales, palmas y frutales. Se seleccionarían especies nativas del lugar por su mejor adaptabilidad, además de que servirían como habitad para los diversos tipos animales de la zona y ayudarían a la recuperación del área deforestada. Las especies forestales serían sembradas a un distanciamiento de 5m x 5m dando un total de 400 plantas por hectárea, la finalidad del

marco de plantación es cubrir la mayor parte de la zona deforestada. **Especies forestales:** Chuncho *(Cedrelinga cateniformis);* Sangre de gallina *(Otoba parvifolia);* Jacaranda *(Jacaranda copaia);* Roble *(Terminalia amazonia*); Laurel *(Nectandra laurel);* Copal *(Dacryodes peruviana);* Carate *(Vismia baccifera);* Pitón, Sacha Mango *(Grias neuberthii).* **Palmas:** Pambil (*Iriartea deltoidea)*; Chonta (*Wettinia maynensis);* Rallador, Zancona, Bobón, Mulato, Chinku, Puna, Shikita Yura, Tepa *(Socratea exorrhiza).* **Frutales:** Guaba *(Inga sp);* Maní de árbol *(Caryodendron orinocense).*

Las especies forestales ayudarían a mantener la estructura del suelo, además aumentarían la captura de CO_2 atmosférico, a su vez serían el habitad para diferentes tipos de animales silvestres, también servirán como cobertura vegetal y producción de hojarasca, lo cual evitaría que se genere una erosión hídrica del suelo debido a las constantes precipitaciones en el área. Las especies frutales y palmeras brindarían una gran diversidad de alimentos para los seres humanos y animales, lo cual ayudaría a que la fauna silvestre vuelva a las zonas reforestadas (Caicedo, 2020).

4. CONCLUSIONES

Se analizó la situación actual de la fina "El Mirador" mediante la interpretación de imágenes satelitales con la ayuda del programa ArcGIS, dando como resultado una extensión territorial de 49,2 hectáreas, de las cuales una hectárea pertenece a infraestructura, cuatro hectáreas a cultivos, seis hectáreas con presencia de pasto, 14 hectáreas con poca densidad de árboles, 11 hectáreas en estado de deforestación y 14 hectáreas de bosque secundario.

Se determinó el área disponible para la implementación de un sistema agroforestal de acuerdo con el potencial productivo que tienen cada una de las zonas, se eligieron 3 zonas las cuales son: la zona de seis hectáreas con presencia de pasto Marandú (*Brachiaria brizantha*); la zona de 11 hectáreas con poca densidad de árboles y la zona de 14 hectáreas en estado de deforestación.

Se propuso un sistema agroforestal para cada una de las zonas seleccionadas en la finca "El Mirador" mediante el uso de SIG. El primer SAF que se propuso es para la zona de seis hectáreas con presencia de pasto Marandú (*Brachiaria brizantha*), se diseñó un sistema silvopastoril con la utilización de la especie forestal Leucaena (*Leucaena leucocephala),* por ser una buena alternativa para implementar en los arreglos agroforestales y silvopastoriles, ya que se evidenció los beneficios económicos y ambientales que trae consigo su uso. El segundo SAF propuesto es para la zona de 11 hectáreas con poca densidad de árboles, se diseñó un sistema agroforestal con la utilización del cultivo de Cacao (*Theobroma cacao*) y las especies forestales Cedro (*Cedrela odorata*) y Laurel (*Cordia Alliodora*). Para la zona de 14 hectáreas en estado de deforestación., se propuso una plantación de tipo no comercial con 12 especies forestales con el fin de generar una restauración del área deforestada**:** Chuncho *(Cedrelinga cateniformis);* Sangre de gallina *(Otoba parvifolia);* Jacaranda *(Jacaranda copaia);* Roble *(Terminalia amazonia*); Laurel *(Nectandra laurel);* Copal *(Dacryodes peruviana);* Carate *(Vismia baccifera);* Pitón, Sacha Mango *(Grias neuberthii).* Pambil (*Iriartea deltoidea)*; Chonta (*Wettinia maynensis);* Rallador, Zancona, Bobón, Mulato, Chinku, Puna, Shikita Yura, Tepa *(Socratea exorrhiza),* Guaba *(Inga sp);* Maní de árbol *(Caryodendron orinocense).*

5. REFERENCIAS

Beer, J., Harvey, C. A., Ibrahim, M. A., Harmand, J. M., Somarriba, E., & Jiménez Otárola, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. Agroforestería en las Américas Volumen 10, números 37-38 (2003), páginas 80-87.

Caicedo, C. (2020). Agroforestería: Una alternativa de agricultura sostenible en la Amazonía ecuatoriana. Ecuador es calidad, 7(1).

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Canabio,2016. Obtenidode:http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/36-melia2m.pdf.

De Miguel González, R., de Lázaro, M. L., Gil, J. V., Sánchez, I. B., & Moreno, C. G. (2016). Atlas digital escolar: aprender Geografía con ArcGIS Online. In La investigación e innovación en la enseñanza de la Geografía (pp. 925-936). Servicio de Publicaciones.

Díaz Salvador, S. (2010). Diseño y desarrollo de una aplicación en ArcGIS del modelo de propagación COST 231.

Emilio, P. F. (2009). Sistemas agroforestales. Chiapas, SOCLA.

Farrell, J. G., & Altieri, M. A. (1997). Sistemas agroforestales. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. La Habana Cuba: Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo.

Fiallos Proaño, Leonardo David. (2018). Evaluación social, económica y productiva de las familias beneficiarias del proyecto “Granjas Integrales”, ejecutado por el Gobierno Autónomo Descentralizado parroquial de Fátima, cantón Pastaza. (Tesis de grado. Ingeniero Zootecnista). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.

Francesconi, W., & Montagnini, F. (2014). Biodiversidad y conservación de bosques: funciones potenciales de los sistemas agroforestales. Actas, CD. XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, El dorado Misiones, Argentina, 15-17.

García-Meléndez, Eduardo. (2006). Análisis visual de imágenes. Área de Geodinámico Externa.

Galeas, R., & Guevara, J. E. (2012). Ministerio del Ambiente del Ecuador. En Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (págs. 93-95). QUITO.

GOV, G. (2014). Información oficial del Gobierno de los Estados Unidos relativa al Sistema de Posicionamiento Global y temas afines.

Huanca Aspi, N. Analisis multitemporal de cambio de uso de la tierra a partir de la interpretación de imagenes satelitales (Doctoral dissertation).

Huerta, E., Mangiaterra, A., & Noguera, G. (2005). GPS Posicionamiento satelital. Rosario: UNR Editora-Universidad Nacional de Rosario.

Jadán, O., Günter, S., Torres, B., & Selesi, D. (2015). Riqueza y potencial maderable en sistemas agroforestales tradicionales como alternativa al uso del bosque nativo, Amazonia del Ecuador. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 12(28), 13-22.

Letham, L. (2001). GPS fácil. Uso del sistema de posicionamiento global (Vol. 67). Editorial Paidotribo.

Lincango, B. (2016). Prácticas Agroforestales y Estrategias Agroecológicas de Adaptación al Cambio Climático en la comunidad Arutam, Pastaza–Ecuador (Doctoral dissertation).

López A., V., Espíndola, F., Calles, J. y Ulloa, J. 2013. Atlas "Amazonía Ecuatoriana Bajo Presión". EcoCiencia. Quito-Ecuador.

Ministerio Del Ambiente Del Ecuador. (2012). Línea base de deforestación del Ecuador continental.

Parra, A. S., Rojas, B. A., & Arrieta, N. V. (2020). Análisis textural en la regulación de funciones ecosistémicas en sistemas agroforestales de un oxisol de Piedemonte Llanero en época seca, Colombia. Scielo.

Patiño Güiza, S. V. (2020). El uso de la leucaena *(leucaena leucocephala*) y sus beneficios ambientales y económicos por su implementación en sistemas agroforestales y silvopastoriles en Colombia.

Seguel, D. C. (2005). El Mundo Según Google. Google Earth y la Creación del Dispositivo Geosemántico Global. Revista AAInteligencia.

Sánchez, M. A., Fernández, A. A., Illera, P., & Ponferrada, L. (1999). Los sistemas de información geográfica en la gestión forestal. In TELEDETECCIÓN. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España (pp. 96-99).

Santi Toscano, S. A. (2019). Aplicación de la normativa vigente y mecanismos participativos utilizados para la actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial, PDOT, de la parroquia Rural Pomona, cantón y provincia de Pastaza, en el año 2016 (Master's thesis, PUCE-Quito).

Sánchez, A., López, S., Cordoba, V., & Gallardo , F. (2018). *Productividad potencial del SAF cacao asociado con árboles forestales.* Iberoam. bioecon. cambio clim.

Ulloa, L. A., & Rosero, y. V. (2019). Propuesta de diseño para la reforestación con especies nativas en la micro cuenca del río pasurco, comunidad murialdo, parroquia fátima, cantón y provincia de Pastaza. Universidad Estatal Amazónica, 110.

Valarezo, J. J. M. (2012). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción sostenible de bovinos en la Amazonía sur ecuatoriana. CEDAMAZ, 2(1).

ANEXOS

Anexo1: Marco Teórico

1. GPS

El sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de satélites de navegación que permite determinar la posición las 24 horas del día, en cualquier lugar del globo y en cualquier condición climatológica (Letham, L. 2001)

El GPS se compone de tres elementos: los satélites en órbita alrededor de la Tierra, las estaciones terrestres de seguimiento y control, y los receptores del GPS propiedad de los usuarios. Desde el espacio, los satélites del GPS transmiten señales que reciben e identifican los receptores del GPS; ellos, a su vez, proporcionan por separado sus coordenadas tridimensionales de latitud, longitud y altitud, así como la hora local precisa (GOV, G. 2014).

2. Google Earth

El programa "Google Earth" presenta un salto revolucionario al entendimiento de las interfaces tradicionales. Se plantea que esta herramienta desarrollada y presentada al mundo tiene la capacidad de cambiar la forma en que las personas interactuar con el Internet, desde un espacio de interface basada en una Web GeoSemántica basada en la visualidad y cercanía físico-virtual del interoperador. Esta herramienta ayuda a observar al planeta tierra en tiempo real desde un ángulo es tridimensional (dimensión geoespacial) gracias a la utilización de dispositivos ópticos satelitales, y además es en su potencia informativa va aumentado constantemente debido a múltiples cubiertas (overlays) de información cualitativa y cuantitativa sobre las propiedades físicas general y por tanto cualidades humanas del lugar, especialmente en ámbitos urbanos (Seguel, D. C. 2005).

3. Imágenes satelitales

Una imagen satelital es una información obtenida por un satélite artificial, que muestra el estado actual de un territorio, una ciudad, un país o un cuerpo celeste, o cualquier espectro de onda electromagnética, se usa para la observación de la tierra y tiempos meteorológicos para determinan los fenómenos de tiempo. Las imágenes satelitales son muy recientes y surgieron durante el siglo XX. La Administración Nacional de Aeronáutica

y el Espacio (NASA, según sus siglas en inglés) toma muchas imágenes de la tierra, la Luna, el espacio y toda esta información ha sido publicada al mundo entero. E n los inicios del siglo XXI fueron aún más fáciles la utilización de imágenes satelitales gracias a la utilización de los softwares como bases de datos específicamente diseñadas para ese uso (Huanca Aspi, N.)

4. Interpretación de imágenes satelitales

La interpretación está basada en la habilidad que poseen los seres humanos para relacionar colores tonos, y patrones que aparecen en una imagen. Este tipo de interpretación se lleva a cabo mediante la superposición en la imagen de un papel apropiado que puede ser transparente o semitransparente sobre el cual se dibujan y delimitan los elementos y áreas de interés para la interpretación de los componentes de vegetación, usos del suelo, geomorfológicas, litológicas. Posteriormente la interpretación resultante se puede digitalizar. También es posible generar la interpretación en el propio monitor del ordenador delimitando las áreas y elementos de interés mediante digitalización en pantalla. Muchas aplicaciones consideran un sinnúmero de características básicas tales como: tono, color, textura, forma, tamaño, patrón, sombras, localización, visión estereoscópica, aspectos temporales con las cuales se pueden interpretar de mejor manera las imágenes satelitales aspectos temporales con las cuales se pueden interpretar de mejor manera las imágenes satelitales (García-Meléndez, Eduardo.2006)

5. Sistema de Información Geográfica

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema de información compuesta por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación. El investigador consigue examinar el territorio a través de diferentes capas temáticas (red hidrográfica, infraestructura, el suelo y sus usos, carreteras, ferrocarriles, distribución de equipos y servicios), todo en dependencia de los objetivos de la investigación. La mayor ventaja de los SIG es que logran enlazar las diferentes capas entre sí, lo que otorga a estos sistemas una espectacular capacidad de análisis y con eso crea mapas procedentes que pueden mostrar situaciones reales o escenarios hipotéticos de gran conveniencia (Sánchez, M. A., Fernández, A. A., Illera, P., & Ponferrada, L. 1999).

6. ArcGIS

ArcGIS es un sistema completo que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Este sistema fue creado en 1963 por Roger Tomlinson y está conformado por 4 componentes: ArcMap, ArcCatalog, ArcScene y ArcAdministrador (Díaz Salvador, S. 2010).

En la actualidad ARCGIS es considerada no solo como una tecnología para elaborar mapas, sino que es también una infraestructura que posibilita la colaboración y el uso compartido de la información geográfica. Es así como ARCGIS ha ido evolucionando con el tiempo desde una única herramienta para el análisis y el procesamiento de datos espaciales a todo un conjunto de aplicaciones relacionadas entre sí con el fin de dar manejo y tratamiento a la información geográfica, siendo su característica más reseñable el ser un SIG diseñado para trabajar a nivel multiusuario (Díaz Salvador, S. 2010).

7. Sistemas agroforestales (SAF)

Concepto

Los sistemas agroforestales son sistemas sustentables en los cuales se manejan los cultivos con el uso adecuado de la tierra, esto pretende incrementar los rendimientos de manera constante, uniendo la producción de especies forestales (leñosas y no leñosas) con cultivos de labranza o de campo y/o animales de manera secuencial o simultánea en la misma unidad de terreno, implementando también prácticas culturales de las personas del lugar. El objetivo de muchos SAF es el de maximizar los efectos benéficos de las interrelaciones de las especies forestales con el cultivo o animales para adquirir un modelo productivo que se compara con lo que se obtiene de los mismos recursos disponibles en un monocultivo con condiciones sociales, económicas y ecológicas (Farrell, J. G., & Altieri, M. A. 1997).

Los SAF son siempre mencionados como una alternativa para solucionar los problemas de degradación del suelo y el agua, y como una solución a la escasez de alimentos, ingresos económicos, comida para los animales y materia prima para la construcción. Es muy conocido el potencial de algunos árboles para fijar nitrógeno con el fin de aumentar la fertilidad del suelo de las tierras con cultivos y pastos; muchos árboles resistentes a las

sequías son de vital importancia en las zonas áridas; el aporte de algunas especies forrajeras ricas en proteína sirve como alimento en la producción ganadera; y el gran potencial comercial que poseen muchas especies forestales nativas (Emilio, P. F. 2009).

a) Características de los SAF

A. Según Emilio, P. F. (2009) las características de los SAF son:

- Sustentabilidad: los SAF suelen maximizar o minimizar la producción y la productividad del suelo.
- Estructura: combina especies arbóreas, de cultivos y animales en el mismo tiempo y espacio del terreno de forma conjunta.
- Incremento en la productividad: al momento de haber sido mejoradas las relaciones entre los componentes del sistema agroforestal incorporado, la productividad de este será mucho mayor comparada con los sistemas tradicionales del uso del suelo.
- Adaptabilidad socioeconómica y cultural: los sistemas agroforestales son apropiados para un sinnúmero de predios y condiciones socioeconómicas, los SAF se adaptan a todas las realidades de los campesinos

b) Clasificación de los SAF

- **Sistemas agroforestales secuenciales**

En estos sistemas se da una relación cronología entre los cultivos agrícolas anuales y los productos forestales, en los cuales los cultivos agrícolas están simultáneamente con las especies forestales, hasta que el follaje de los árboles estén completamente desarrollado, la secuencia en el tiempo mantiene la competencia al mínimo, los árboles a implementarse en este sistema deberán crecer rápidamente en comparación con los cultivos, deberán tener la capacidad de reciclar nutrientes del suelo, fijar nitrógeno y tener raíces lo suficientemente largas para así disminuir las posibilidades de erosión y degradación del suelo, en esta categoría están presentes la agricultura migratoria y los sistemas Taungya (Emilio, P. F. 2009).

- **Sistemas agroforestales simultáneo**

En estos sistemas todos sus componentes están presentes en el mismo tiempo y espacio, lo cual ayuda a su identificación. En los sistemas simultáneos las especies forestales y los cultivos o animales se desarrollan juntos en una misma unidad de terreno, los árboles en estos sistemas por lo general compiten mucho por la luz, agua y nutrientes, los árboles en estos sistemas simultáneos no deben desarrollarse tan rápido, deben tener un dosel pequeño y raíces que puedan penetrar más profundo en el suelo, en esta categoría están presentes los árboles en asociación de cultivos perennes, árboles en asociación con cultivos anuales, huertos caseros mixtos, sistemas silvopastoriles, asociaciones de árboles con pasto, pastoreo en plantaciones forestales y frutales (Emilio, P. F. 2009).

c) Ventajas de los SAF

Los recursos naturales son utilizados de una manera más eficiente y las diferentes capas de vegetación procuran que la utilización de la radiación solar sea más eficiente, los diversos tipos de sistemas de radiculares a distintas profundidades ayudan a la aireación del suelo y a la disponibilidad de agua subterránea. Las especies agrícolas de corta duración aprovechan de la capa superficial enriquecida con materia orgánica, producto del reciclaje nutrientes de las hojas caídas de las copas de los árboles. La función de los árboles fijadores de nitrógeno es el proteger al suelo de la erosión y mantener la fertilidad del suelo. Las especies arbóreas contribuyen a mantener la cantidad y calidad del agua debido a que sus copas influyen en la intercepción de la lluvia y nubes y la retención del agua, ayudando a que el agua se infiltre de mejor manera en el suelo y se disminuya la escorrentía. Los SAF secuestran carbono y reducen las emisiones de gases de invernadero. La eficiencia ecológica ayuda aumentar la producción total por cada unidad de tierra (Beer, J., Harvey, C. A., Ibrahim, M. A., Harmand, J. M., Somarriba, E., & Jiménez Otárola, F. 2003)