

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

### CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

1. **TÍTULO:** Sostenibilidad del sistema silvopastoril *con Alnus nepalensis* D. Don en asocio con *Brachiaria decumbens* Stapf en la parroquia Peñaherrera, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura
2. **AUTOR:** Liniker Arturo Ocampo Zambrano
3. **DIRECTOR:** Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.
4. **COMITÉ LÉCTOR:** Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.  
Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, MSc.  
Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, MSc.
5. **AÑO:** 2018
6. **LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN:** Sector El Cristal, parroquia Peñaherrera, cantón Santa Ana de Cotacachi, provincia de Imbabura.
7. **BENEFICIARIOS:** Ganaderos de la zona de Intag e instituciones públicas y privadas que fomentan y financian planes de desarrollo pecuario

## HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR



**APELLIDOS:** Ocampo Zambrano

**NOMBRES:** Liniker Arturo

**C. CIUDADANIA:** 31491998-4

**TELÉFONO CELULAR:** 0990514458

**CORREO ELECTRÓNICO:** [linikerocampo@gmail.com](mailto:linikerocampo@gmail.com)

**DIRECCIÓN:** Imbabura – Ibarra – Caranqui– Shirys y las Huacas

**AÑO:** 2018

## REGISTRO BIBIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA - UTN

**Fecha:** 02 de agosto del 2018

Liniker Arturo Ocampo Zambrano: **SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA SILVOPASTORIL CON *Alnus nepalensis* D. Don EN ASOCIO CON *Brachiaria decumbens* Stapf EN LA PARROQUIA PEÑAHERRERA, CANTÓN COTACACHI, PROVINCIA DE IMBABURA** /Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 02 de agosto del 2018. 83 páginas.

**DIRECTOR:** Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar la sostenibilidad del sistema silvopastoril con *Alnus nepalensis* D. Don en asocio con *Brachiaria decumbens* Stapf en la parroquia Peñaherrera, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. Entre los objetivos específicos se encuentran: Caracterizar el componente forestal y pasto del sistema silvopastoril, Analizar los impactos ambientales a nivel de suelo, biodiversidad y contenido de carbono en el sistema silvopastoril, Determinar la rentabilidad financiera del sistema silvopastoril.

**Fecha:** 02 de agosto del 2018

.....  
Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

**Director de trabajo de titulación**

.....  
Liniker Arturo Ocampo Zambrano

**Autor**

# **Sostenibilidad del sistema silvopastoril con *Alnus nepalensis* D. Don en asocio con *Brachiaria decumbens* Stapf en la parroquia Peñaherrera, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura**

Autor: Liniker Arturo Ocampo Zambrano

Director del trabajo de titulación: Ing. Mario José Añazco Romero, PhD.

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales

Carrera de Ingeniería Forestal

Universidad Técnica del Norte

Ibarra – Ecuador

laocampo@utn.edu.ec

Teléfono: 0990514458

## **RESUMEN**

El surgimiento de la revolución verde y los problemas asociados al cambio climático son dos de los principales factores determinantes para que se genere la insostenibilidad en los sistemas ganaderos tradicionales. La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar la sostenibilidad del sistema silvopastoril con *Alnus nepalensis* D. Don en asocio con *Brachiaria decumbens* Stapf. El estudio se realizó en el sector el Cristal, parroquia Peñaherrera, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. La metodología consistió en la realización de un censo forestal a los diez años de establecimiento del sistema, donde se tomaron mediciones de diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (Ht) y diámetro de copa para determinar el volumen total, incremento medio anual (IMA) y cobertura de copa del sistema, seguido de un análisis bromatológico y de suelo; el nivel de biodiversidad (aves) se calculó utilizando el Índice de Shannon; el contenido de carbono se obtuvo mediante el análisis de la biomasa viva; y para el análisis financiero se definieron los indicadores, valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio costo (B/C) y valor esperado de la tierra (VET), con base a la información proporcionada por el propietario. El crecimiento de los árboles en lo referente a volumen total fue de 156,56 m<sup>3</sup>/ha, cobertura de copa de 5222,36 m<sup>2</sup>, IMA de 15,65 m<sup>3</sup>/ha. En cuanto al análisis bromatológico y de suelo, el sistema silvopastoril (SSP) presentó valores superiores. Respecto a la biodiversidad, contenido de carbono y rentabilidad financiera el SSP fue superior al sistema tradicional. Se concluye que el sistema silvopastoril es social, económico y ambientalmente sostenible.

## ABSTRACT

With the green revolution and the problems associated with climate change as two of the main determinants for the generation of unsustainability in traditional livestock systems. The main objective of the present research was to determine the sustainability of the silvopastoral system with *Alnus nepalensis* D. Don together with *Brachiaria decumbens* Stapf. The study was carried out in the Cristal sector, in the Peñaherrera parish, in Cotacachi canton, in the province of Imbabura. The methodology consisted in the realization of a forest census after ten years of establishment of the system, where measurements of diameter at chest height (DCH), total height (Ht) and crown cover diameter were taken to determine the total volume, mean annual increment (MAI) and crown cover area coverage of the system, followed by a bromatological and soil analysis; the level of biodiversity (birds) was calculated using the Shannon Index; the carbon content was obtained by analysing the living biomass; and for the financial analysis indicators were defined, net present value (NPV), internal rate of return (IRR), cost benefit ratio (B / C) and land expectation value (LEV), based on information provided by the owner. The growth of trees in terms of total volume was 156.56 m<sup>3</sup>/ha, crown coverage of 5222.36 m<sup>2</sup>, MAI of 15.65 m<sup>3</sup>/ha. Regarding the bromatological and soil analysis, the silvopastoral system (SSP) presented higher values. Regarding biodiversity, carbon content and financial profitability, the SSP was superior to the traditional system. It is concluded that the silvopastoral system is socially, economically and environmentally sustainable.

## **INTRODUCCIÓN**

La crisis de la producción ganadera en el mundo básicamente es producto de dos grandes factores: la revolución verde y el cambio climático; la primera propició el uso de tecnologías, basadas en la utilización intensiva de agroquímicos y combustibles fósiles. El segundo se origina por la emisión de varios gases de efecto invernadero, siendo los principales por su larga duración: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) liberados a la atmósfera por la combustión de energía fósil, quema de bosques y algunas prácticas agropecuarias, tales como, cultivos de arroz, descomposición de la materia orgánica y actividades ganaderas productoras de metano. (Ibárcena y Scheelje, 2003).

Con el propósito de contrarrestar los efectos de la revolución verde y el cambio climático, en Ecuador y varias partes del mundo se han establecido sistemas silvopastoriles, debido a que cumplen funciones sociales, económicas y ambientales, tales como: diversificación de la producción en una sola área, recuperación de la inversión y obtención de ingresos en menor tiempo, captura de CO<sub>2</sub>, aceleración del ciclaje de nutrientes, conservación del recurso hídrico, diseminación de las semillas, creación de

microclima y aumento de la biodiversidad (Mendieta y Rocha, 2007).

La seguridad alimentaria de los habitantes de la zona de Intag depende de la agricultura y ganadería; con la finalidad de mejorar la producción agropecuaria han establecido sistemas silvopastoriles, pero al no haber el seguimiento técnico, evaluación y manejo de estos, no poseen suficiente información que permita determinar si estos han sido o serán sostenibles en el tiempo (Añazco, com. pers. 28 de marzo del 2017).

Lo antes mencionado motivó a realizar el presente estudio enfocado en un análisis de sostenibilidad del sistema silvopastoril a fin de obtener información para los ganaderos del sector y las instituciones públicas y privadas que fomentan y financian planes de desarrollo pecuario.

## **METODOLOGÍA**

El estudio se realizó en la zona de Intag ubicada a 63 km del cantón Cotacachi y 104 km del cantón Ibarra, provincia de Imbabura.

El área de la investigación para la toma de datos fue de 13 273,2 m<sup>2</sup> que correspondió a la suma del sistema silvopastoril de 6622,6 m<sup>2</sup> y la del monocultivo de 6650 m<sup>2</sup>.

## Caracterización de los componentes forestal y pasto del sistema silvopastoril

Se realizó a través de un censo forestal de los árboles plantados en las fajas, analizando las características que presenten los fustes, para posterior medir los diámetros a la altura del pecho (1,30 m) y las alturas. Además, se tomó en cuenta los parámetros de calidad de fuste; con estos datos se calculó el volumen utilizando la siguiente fórmula:

$$Vol = \frac{DAP^2 \times \pi}{4} \times ht \times f$$

**Donde:**

**Vol.** = Volumen de madera en m<sup>3</sup>

**DAP** = Diámetro a la altura del pecho en m

**$\pi$**  = Constante matemático es igual a 3,1416

**Ht** = Altura total en metros

**f** = Factor de forma es igual a 0,7

### b) Cobertura de copa

Primero se determinó el diámetro de copa a través de la medición de extremo a extremo las ramas que sobresalieron (en forma de cruz) y consecuentemente se realizó el promedio de las dos dimensiones obtenidas.

Con los datos adquiridos del diámetro de copa de cada árbol se calculó el área de copa por individuo, las cuales fueron obtenidos por la siguiente fórmula:

$$A. c = \frac{\pi(D^2)}{4}$$

**Donde:**

**A.c** = Área de copa

**D** = Diámetro de copa

**$\pi$**  = 3,1416

### c) Incremento medio anual en volumen

Se consideraron los registros evaluados en la presente investigación, desde el año 0 hasta el año 10. Se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$IMA = \frac{Y}{t_0}$$

**Donde:**

**IMA** = Incremento medio anual

**t<sub>0</sub>** = Edad a partir del tiempo

**Y** = Dimensión de la variable considerada

#### **d) Análisis bromatológico**

Para la presente investigación se utilizó la metodología de Cuasquer (2017) con modificaciones, que consistió en:

En la toma de las sub-muestras se utilizó un cuadrado de madera de 50 cm x 50 cm (2500 cm<sup>2</sup>) y para la obtención de la muestra compuesta se lo realizó cortando el pasto a ras del suelo, seguido de la mezcla del material recolectado bajo la copa y fuera de la misma. En el monocultivo se lo realizó al azar.

Las muestras se empaquetaron y etiquetaron en fundas zipper que fueron enviadas al laboratorio de AGROCALIDAD en la ciudad de Quito para sus respectivos análisis.

#### **Análisis de los impactos ambientales a nivel de suelo, biodiversidad y contenido de carbono en el sistema silvopastoril**

##### **a) Suelo**

Para las tomas de muestras se utilizó la metodología de Cuasquer (2017) con modificaciones consistió en:

En el sistema silvopastoril se tomaron dos muestras compuestas, en la faja 1 y 4, fuera y bajo la copa del árbol respectivamente. Por

otra parte, en el monocultivo para la obtención de la muestra compuesta, el material fue recolectado en el mismo sitio donde se consiguió las muestras de pasto. Esto se lo realizó con un cuadrado de madera de 50 cm x 50 cm (2500 cm<sup>2</sup>), recolectando un kilogramo de suelo a una profundidad de 20 cm.

Las muestras se empaquetaron, etiquetaron y separaron en fundas zipper que se enviaron al laboratorio de AGROCALIDAD en la ciudad de Quito para el respectivo análisis de las propiedades que a continuación se indican:

##### **Químicas**

- pH
- Contenido de materia orgánica
- Macronutrientes (N, P, K)
- Micronutrientes (Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn)

##### **Físicas**

- Se determinó el nivel de compactación a través de: los análisis de textura y densidad aparente
- Contenido de humedad

##### **b) Biodiversidad**

Para el análisis de macrofauna (aves) se utilizó la metodología de Nuñez (2008) con algunas modificaciones, que consistió en:



Se recaudó información de la avifauna proporcionada por el propietario de los sistemas, la cual fue verificada cuando se realizó la visita de campo mediante el uso de binoculares, desde las 6:00 hasta las 18:00, un día en cada sitio, la identificación de los individuos fue a nivel de género y finalmente se utilizó el Índice de Shannon para determinar cuál sitio es el más diverso en este componente.

### c) Contenido de carbono

Se lo realizó mediante la conversión de biomasa viva a carbono según el IPCC, que corresponde al 45 % de la misma.

### Rentabilidad financiera del sistema silvopastoril

Para el análisis de los indicadores financieros Valor Actualizado Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Relación Beneficio Costo (B/C) y Valor Esperado de la Tierra (VET) se desarrolló un flujo de costos e ingresos, los cuales se realizaron con base a costos fijos y variables, además se hizo un análisis del ingreso que se obtuvo por la venta de ganado y de madera; en el monocultivo se aplicó la misma metodología excepto el análisis de ingreso de la madera.

Para los cálculos se consideró un periodo

de tiempo de 10 años comprendido entre el momento de establecimiento del sistema hasta la fecha; se utilizó la tasa de descuento del 12 % (Banco Central, 2017) que corresponde a un promedio de las tasas vigentes del sistema financiero nacional público y privado.

Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

#### a) Valor actualizado neto (VAN)

Se calculó con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum \frac{(B_t - C_t)}{(1 + r)^t}$$

Donde:

- B** = Beneficios en el año t
- C** = Costo en el año t
- r** = tasa de descuento aplicada

#### b) Tasa interna de retorno (TIR)

Se calculó con la siguiente ecuación:

$$TIR = \sum \frac{B_t - C_t}{(1 + p)^t}$$

Donde:

- B** = Beneficios alcanzados en el año t  
**C** = Los costos incurridos en el año t  
**p** = La tasa interna de retorno aplicada

**c) Relación beneficio costo (B / C)**

Se calculó con la siguiente ecuación:

$$B/C = \frac{Tbe}{Tcd}$$

**Donde:**

- B/C** = Relación beneficio costo  
**Tbe** = Total beneficios encontrados  
**Tcd** = Total costos descontados

**d) Valor esperado de la tierra VET**

Se calculó con la siguiente ecuación:

$$VET = VAN * \frac{(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

**Donde:**

- i** = Tasa de actualización  
**n** = Número de años

**RESULTADOS**

A la edad de 10 el volumen total para el área estudiada (48 árboles en 6622.66 m<sup>2</sup>) fue de 103,68 m<sup>3</sup>, llegándose a determinar

156,56 m<sup>3</sup>/ha y un IMA de 15,65 m<sup>3</sup>/ha. La calidad del fuste fue de: 93,33 % de árboles con calificación A, 4,44 % árboles con calificación B y 2,22 % árboles con calificación C, correspondientes a la nomenclatura de rectos, desviados y bifurcados.

En cada una de las fajas las coberturas de copas fueron los siguientes: 937,55 m<sup>2</sup> en la primera, 1208,32 m<sup>2</sup> en la segunda, 2088,94 m<sup>2</sup> en la tercera y 987,55 m<sup>2</sup> en la cuarta, siendo el valor total de 5222,36 m<sup>2</sup> (78 %).

Realizado el análisis bromatológico, en el sistema silvopastoril los parámetros humedad, proteína y cenizas, fueron superiores a diferencia de los demás componentes que demostraron inferioridad (tabla 1), es preciso señalar que estos resultados son atribuidos a la presencia de los árboles que generan sombra, incorporan biomasa y fijan nitrógeno.

**Tabla 1**

*Resultados análisis bromatológico*

Parámetros	Unidad	SSP	Monocultivo
Humedad	%	80,41	77,72
Materia seca	%	19,59	22,28
Proteína	%	9,00	8,07
Grasa	%	1,43	1,48
Cenizas	%	13,85	12,59
Fibra	%	30,38	31,65
ENN	%	45,34	46,21

Analizados los parámetros de las propiedades químicas del suelo, en el sistema silvopastoril se evidencia valores superiores al monocultivo, producto del establecimiento de los árboles, tal como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Resultados propiedades químicas*

Parámetros químicos	Unidad	SSP bajo sombra	SSP fuera de sombra
pH	---	6,22	6,31
Materia O	%	6,53	3,39
Nitrógeno	%	0,33	0,17
Fósforo	mg/kg	5,00	4,80
Potasio	cmol/kg	0,78	0,34
Calcio	cmol/kg	5,88	4,02
Magnesio	cmol/kg	1,08	0,83
Hierro	mg/kg	329,1	334,80
Manganeso	mg/kg	12,93	7,44
Cobre	mg/kg	10,79	5,35
Zinc	mg/kg	<1,60	<1,60

En cuanto a las propiedades físicas del suelo en el sistema silvopastoril se registraron valores ligeramente superiores al monocultivo, como se indica en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Resultados propiedades físicas*

Parámetros físicos	Unidad	SSP bajo sombra	Monocultivo
Densidad A.	g/ml	1,22	1,21
Arena	%	52,00	50,00
Limo	%	34,00	26,00
Arcilla	%	14,00	24,00
Compactación	Nivel	Baja	Baja
Contenido de humedad	%	27,20	29,70
Clase textural	---	Franco arenoso	Franco arcilloso arenoso

De acuerdo con el análisis de biodiversidad, mediante el Índice de Shannon se determinaron los siguientes resultados: 0,85/1,00 para el sistema silvopastoril y de 0,75/1,00 para el monocultivo, la superioridad se atribuye a la presencia del forestal. Con respecto al contenido de carbono se obtuvo 23,56 t C ha<sup>-1</sup> en cuanto a la parte arbórea y 0,87 t C ha<sup>-1</sup> en lo que respecta al pasto en el sistema silvopastoril; en cuanto al área del monocultivo fue de 1,11 t C ha<sup>-1</sup>. Esto asevera que en conjunto el SSP posee mayor contenido de carbono debido a la presencia de los árboles, resultado favorable en caso de existir algún mercado.

Los resultados del análisis financiero en el sistema silvopastoril y monocultivo fueron: VAN de US \$ 24262,00 y US \$ 8333,00; tasa interna de retorno de 41 % y 38 %; Valor esperado de la tierra US \$ 35783,00 y US \$ 12290,00; Relación beneficio costo mostro un valor de US \$ 3,19 y US \$ 1,74 respectivamente. Es importante mencionar que la recuperación de la inversión en el sistema silvopastoril fue a los tres años y en el monocultivo a los cuatro años y 6 meses.

## CONCLUSIONES

El sistema silvopastoril resulto ser sostenible a diferencia del monocultivo que mostro algunas características de

insostenibilidad tales como: menores ingresos monetarios, baja presencia de aves y poca contribución nutricional en el pasto y suelo.

Los árboles ejercen impacto positivo en las propiedades físicas y químicas del suelo, a diferencia del monocultivo donde la mayoría de los valores fueron menores en cada uno de los elementos evaluados. En cuanto a biodiversidad y contenido de carbono, se registraron resultados superiores en el SSP.

La rentabilidad del sistema silvopastoril fue superior a diferencia del monocultivo, obteniendo valores que se triplican en VAN, VET, duplican en B/C y muestran leve superioridad en TIR y en tiempo de recuperación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Aguirre, H. (2012). *Taller de capacitación a líderes campesinos en técnicas de medición de carbono en sistemas agroforestales* (presentación). Perú

Banco Central del Ecuador. (2017). *Boletines de Indicadores Económicos*.

Coronel, M. (2000). *Como evaluar una inversión forestal, teoría y aplicación*. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

Cuasquer, C. (2017). *Evaluación del crecimiento de acacia (acacia melanoxylon r.br.) en asocio con tres variedades de pastos, en la Parroquia el Carmelo, provincia del Carchi* (tesis pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Chacón, I. (1995). *Edad óptima de cosecha. Una discusión en torno al valor presente neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR)*, Chile. Universidad de Talca. Volúmen 9

Ibárcena, E. y Scheelje, J. (2003). *El cambio climático principales causantes, consecuencias y compromiso de los países involucrados: xii Congreso Forestal Mundial*.

Imaña, J. y Encinas, O. (2008). *Epidometría forestal. Brasil: Universidad de Brasilia* Departamento de Ingeniería Forestal.

Mendieta, M. y Rocha, L. (2007). *Sistemas Agroforestales*. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.

Núñez, M. (2008). *Evaluación de comunidades de aves en bosques secundarios restaurados en potreros abandonados ubicados en la cuenca del Río Zapotal, Hojanca, Costa Rica*. (tesis posgrado). Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza, Hojanca.

Velasqu ez, R., Mora, J. (2008). *Cobertura arbórea y herbácea en pasturas naturalizadas en fincas en fincas ganaderas del Trópico Seco de Nicaragua*. Colombiana de Ciencias Pecuarias, 571-581. Páginas