



VALORACIÓN ECONÓMICA DE PLANTACIONES DE BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* Mart.) EN UCAYALI, PERÚ

Jorge Manuel REVILLA-CHÁVEZ^{1*}, Edinson Eduardo LÓPEZ-GALAN², Antony
Cristhian GONZALES-ALVARADO³, Rubén Dario MANTURANO PEREZ³, Lyanna
Hellen SÁENZ-RAMÍREZ¹, Hector GUERRA-AREVALO⁴, Krystel Clarissa ROJAS
MEGO¹, Jorge Arturo MORI-VÁSQUEZ³

¹ Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP, Dirección Regional de
Ucayali, Carretera Federico Basadre Km. 12,400, Yarinacocha, Coronel Portillo, Ucayali,
Perú.

² Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. Avenida Centenario KM. 4.00 - Sede
Principal Pucallpa, Coronel Portillo, Ucayali.

³ Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,
Carretera Federico Basadre Km. 6,600, CP. 25001, Ucayali, Perú.

⁴ Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP, Dirección Regional de San
Martín, Jr. Belen Torres de Tello 135, Tarapoto, San Martín, Perú.

* Correo electrónico: jrevilla@iiap.gob.pe

RESUMEN

Entre los años 2001 al 2006, se evaluaron plantaciones demostrativas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en tres sectores de la cuenca del río Aguaytía que tenían como uso anterior un cultivo de yuca, purma de 3 años y cultivo de maíz en los sectores 1, 2 y 3 respectivamente. Utilizando modelos de predicción de volumen y biomasa en función a la edad de la plantación se determinó la viabilidad técnica-económica de plantaciones a los seis años de edad en un escenario de venta de tablillas, tucos y cantoneras (bienes) y captura de CO_{2eq} (servicios) actualizados al año 2022 con una TEA del 22%. Tuviron un valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y relación beneficio/costo (B/C), de S/. 8408,67; 60,9% y 1,58 para el sector 3; S/. 967,23; 26,5% y 1,07 para el sector 2 y S/. -7 945,28; 0,0% y 0,14 para el sector 1, los mismos que estuvieron influenciado principalmente por ingresos ge-

nerados por la venta de tablillas de madera y la venta de flujos positivos de servicios de captura de carbono, los mismos que resultaron del establecimiento de plantaciones en suelos donde el uso anterior fue un cultivo anual. Por lo que las plantaciones del sector 3 y 2 fueron técnica-económicamente viables, mientras que las plantaciones del sector 1 no lo fueron.

PALABRAS CLAVE: Viabilidad técnico-económica, secuestro de carbono, Amazonía

ECONOMIC EVALUATION OF PLANTATIONS OF BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* Mart.) IN UCAYALI, PERU

ABSTRACT

Between 2001 and 2006, demonstrative plantations of bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) were evaluated in three sectors of the Aguaytía river basin that had as previous use cassava crop, 3-year purma and corn crop in sectors 1, 2 and 3 respectively. Using predictive models of volume and biomass in function of the plantation age, we determined the technical-economic viability of plantations in a six-years-old scenario of sale of slats, tucos and cantoneras (goods) and capture of CO_{2eq} (services) updated to the year 2022 with an annual effective rate of return of 22%. They had a net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and benefit/cost ratio (B/C) of S/. 8 408,67; 60,9% and 1,58 for sector 3; S/. 967,23; 26,5% and 1,07 for sector 2; and S/. -7 945,28; 0,0% and 0,14 for sector 1, which were mainly influenced by income generated by the sale of wood chips and the sale of positive flows of carbon sequestration services resulting from the establishment of plantations in soils where the previous use was an annual crop. Thus, the plantation in sectors 3 and 2 were technically and economically viable, while the plantations in sector 1 were not.

KEYWORDS: technical-economic feasibility, carbon sequestration, Amazon

INTRODUCCIÓN

El importante aprovechamiento de la bolaina blanca, *Guazuma crinita*, en el departamento de Ucayali, la ha convertido en la especie forestal emblemática para los programas de reforestación y por su rápido crecimiento (Soudre, 2006); mientras que entre los años 2004 y 2019 la producción de madera rolliza de esta especie se incrementó de 23110 m³ a 70054 m³ respectivamente, resultado de la alta demanda en el mercado (SERFOR, 2004; SERFOR, 2019), lo que ocasionó su extracción indiscriminada de las poblaciones naturales.

Una de las zonas que sufrió la extracción descontrolada de la especie es la cuenca del río Aguaytía, que tiene características especiales para la ocurrencia de poblaciones naturales de la especie, donde además existen pequeñas plantaciones de bolaina de entre 0,5 a 2,0 ha asociadas a actividades agrícolas, como el cultivo de plátano, yuca, entre otros.

Teniendo en cuenta que la viabilidad técnico-económica de la especie se presenta en un contexto de venta de bienes y servicios, el sistema de producción de bolaina, aprovecha los bienes provenientes de los árboles a medida que estos alcanzan diámetro comercial, de donde se obtienen "tucos" de 2,5 m de largo, a precios que varían en función a su diámetro (S/. 5 a 10 c/u) y productos más elaborados como tablillas de madera con dimensiones de 3/4"x4"x8', que tienen rendimientos por tuco de 39,93% al 42,60% (CNF, 2001), el cual se puede obtener por aserrío en la misma plantación por un servicio de S/. 25-28 el ciento (Soudre, 2006). Del proceso de aserrío se obtienen además sub productos como cantoneras cuyos precios difieren por localidades que son utilizadas para cercos a un precio de S/. 7 por cien unidades, por lo que una troza o tuco puede producir entre 1 a 4 cantoneras (CODESU, 2000; Filomeno, 2006;

Velarde, 2007).

Las plantaciones de bolaina blanca, además puede producir servicios ambientales que por lo general no son valorizados e incorporados en las cuentas en los proyectos de reforestación en la Amazonía, como es el caso del servicio de captura de carbono que se cuantifica en función a la biomasa que contiene el sistema, la misma que se convierte a una tasa de 3,667 moles CO₂ por 1 mol C (CO_{2eq}) (Concha *et al.*, 2007), para ser negociada en los mercados de carbono; servicio considerado estratégico para la mitigación del cambio climático, por lo que se estimó que los árboles de bolaina blanca pueden tener una biomasa aérea de 68,48 kg a los ocho años de edad, lo que resulta en 113 kg CO_{2eq} en el mismo árbol (Samaniego, 2009).

Para determinación de la viabilidad económica se toman como estrategias la valorización de costos e ingreso de la producción de bienes y servicios, por lo que para esto los indicadores económicos, son utilizados en la determinación de la viabilidad económica de las plantaciones forestales, teniendo como principal producto la comercialización de madera, por lo que la producción de tablillas de bolaina blanca en bosques inundables de la cuenca media de río Aguaytía, en un ciclo de seis años a distanciamientos de 5x5 m, tuvo un valor actual neto (VAN) de S/. 1 056; tasa interna de retorno (TIR): 43,87% y relación beneficio/costo (B/C): 1,02; a una tasa interés de 22,5% anual (IIAP, 2009).

Mientras que CIFOR (1998), determinó que la venta de tucos en carretera, así como en aserradero como producto principal, son rentables con un VAN de S/. 328 y S/. 2320 y una B/C de 1,3 y 2,32 respectivamente.

Las plantaciones forestales también puede ofrecer bonos de carbono, por lo que en un mercado de negociación de bonos de carbono, el Perú estableció el precio del bono de carbono en

US\$7,17 tCO_{2eq} (MEF, 2021; Norberto, 2005); sin embargo los costos de captura de carbono para un proyecto forestal de 300ha que desarrollan actividades de plantación, manejo, corta, registro y monitoreo de US\$ 2,08-2,26/tCO₂ (Chidiak *et al.*, 2006); por lo que los ingresos promedio por venta de bonos que se reciben en los años en que se certifica, generan una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 4,4% sin CO₂ y de 6,7% con CO₂, por lo que mejora el TIR en 2,3%. (Neuenschwander, 2005).

Por lo que el presente estudio busca determinar la viabilidad técnico-económica de las plantaciones de *Guazuma crinita* Mart. en la cuenca del río Aguaytía en un escenario de comercialización de bienes y servicios, para promover plantaciones sostenibles, utilizando los mercados de bonos de carbono como ingreso adicional para mejorar los indicadores económicos de la plantación para financiar mecanismos de desarrollo limpio en la Amazonía peruana.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en parcelas experimentales ubicadas en el lado occidental de la selva baja pertenecientes a la cuenca del río Aguaytía, provincia de Padre Abad, región Ucayali. El sector de estudio presenta paisaje ondulado y elevación de 300 m en la parte más alta y 180 m en la parte baja, temperatura promedio de 26 °C, y precipitaciones de 1400 mm en la parte baja a 2500 mm en la parte alta (Ugarte & Domínguez, 2010; IIAP, 2003).

Las parcelas, se ubicaron diferencialmente en tres sectores, en función a su ubicación en la cuenca; sector 1: cuenca baja entre las zonas de Pucallpa, Campo Verde y Nueva Requena; sector 2: cuenca media a Neshuya-Curimaná; y

sector 3: cuenta alta Von Humboldt-San Alejandro (Figura 1); en suelos de terrazas, predominantemente ácidos y de baja fertilidad natural, mientras, del mismo modo las precipitaciones varían directamente de 1400 mm en la parte baja a 2500 mm en la parte alta (IIAP, 2003).

SELECCIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE PARCELAS EXPERIMENTALES

Se evaluaron tres parcelas por cada sector, evaluando un total de nueve parcelas con un área de 0,25 ha. Al año cero cada parcela tuvo 400 árboles con un distanciamiento de 2,5x2,5 m. En el año tres se realizó un raleo al 50%, en las parcelas de los sectores 2 y 3 quedando ambas parcelas parcela con 200 individuos aproximadamente. Debido a los comportamientos deficientes de los árboles de las repeticiones del Sector 1, estas no fueron raleadas al año 3. Se realizó una evaluación por año desde el año cero al año 4.

METODOLOGÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Para determinar el valor de plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) en la cuenca del río Aguaytía, se aplicó la metodología desarrollada por Revilla-Chávez (2015), la cual consistió en:

1. Evaluación de crecimiento de plantaciones de demostrativas de bolaina blanca. En esta etapa se evaluaron el diámetro a la altura de la base (dab), diámetro a la altura del pecho (dap), altura total del árbol (ht) y altura comercial (hc).
2. Se aplicaron las ecuaciones alométricas a todos los individuos para determinar el volumen comercial y biomasa total por árbol del año uno al año cuatro:
 - a. Ecuación de volumen comercial a partir del dab ($V_{c_{dab}}$) para parcelas hasta de cuatro

años de edad (Revilla *et al.*, 2021):

$$Vc_{dab} = 0,00007589 * dab^{2,582} \quad (r^2=0,93)$$

Donde:

Vc_{dab} = Volumen comercial de madera; dab = diámetro a la altura de la base

b. Ecuaciones alométricas para determinar la biomasa total a partir del dab para árboles de uno hasta los cuatro años de edad (Revilla-Chávez *et al.*, 2021):

$$Bmt_{dab} = 0,05997 * dab^{2,46052} \quad (r^2=0,9397)$$

Donde:

Bmt_{dab} = Biomasa total del árbol en función a dab; dab = Diámetro a la altura de la base del árbol; 0,05997 = Constante de expansión; 2,5027 = Constante de expansión

3. Utilizando el programa estadístico R del cual se aplicó el modelo de predicción no lineal de Bertalanffy (1938), aplicada para determinar la biomasa y volumen de madera en bosques tropicales en función a la edad de la plantación, proyectando el volumen comercial y biomasa total al año seis mediante el siguiente modelo:

$$Y = a * (1 - \exp(-b * Edad))^3 \quad (\text{Zeide, 1993})$$

Dónde:

Y = Bmt o Vc; a y b = Factor de expansión; Edad=Edad plantación.

4. Basado en el modelo de Bertalanffy (1938), se desarrollaron ecuaciones locales (mn) para predecir la biomasa total de la plantación del primer al sexto año de edad:

$$Bmt_{(2)} = 0,05997 * dab^{2,46052} \quad (\text{Revilla-Chávez et al., 2021}) \quad (mb_1, \text{ de 1 a 4 años})$$

$$Bmt-r2 = 78,81255 * (1 - \exp(-0,16716 * Edad))^3 \quad (mb_2, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Bmt-r3 = 78,81255 * (1 - \exp(-0,26693 * Edad))^3 \quad (mb_3, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Bmt-r4 = 78,81255 * (1 - \exp(-0,2508 * Edad))^3 \quad (mb_4, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Bmt-r7 = 78,81255 * (1 - \exp(-0,382456 * Edad))^3 \quad (mb_5, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Bmt-r8 = 78,81255 * (1 - \exp(-0,442218 * Edad))^3 \quad (mb_6, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Bmt-r10 = 78,81255 * (1 - \exp(-0,44195 * Edad))^3 \quad (mb_7, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Bmt-r11 = 78,81255 * (1 - \exp(-0,36403 * Edad))^3 \quad (mb_8, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Bmt-r12 = 78,81255 * (1 - \exp(-0,435465 * Edad))^3 \quad (mb_9, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Bmt-r13 = 78,81255 * (1 - \exp(-0,427315 * Edad))^3 \quad (mb_{10}, \text{ de 5 a 6 años})$$

5. Ecuaciones de predicción de volumen comercial a los seis años de edad:

$$Vc_{dab} = 0,00007589 * dab^{2,582} \quad (\text{Revilla et al., 2021}) \quad (mv_1, \text{ de 1 a 4 años})$$

$$Vc-r2 = 168,5595 * (1 - \exp(-0,18487 * Edad))^3 \quad (mv_2, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Vc-r3 = 168,5595 * (1 - \exp(-0,31683 * Edad))^3 \quad (mv_3, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Vc-r4 = 168,5595 * (1 - \exp(-0,29102 * Edad))^3 \quad (mv_4, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Vc-r7 = 174,01519 * (1 - \exp(-0,384567 * Edad))^3 \quad (mv_5, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Vc-r8 = 174,01519 * (1 - \exp(-0,44682 * Edad))^3 \quad (mv_6, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Vc-r10 = 174,01519 * (1 - \exp(-0,44727 * Edad))^3 \quad (mv_7, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Vc-r11 = 174,01519 * (1 - \exp(-0,36611 * Edad))^3 \quad (mv_8, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Vc-r12 = 174,01519 * (1 - \exp(-0,4399 * Edad))^3 \quad (mv_9, \text{ de 5 a 6 años})$$

$$Vc-r13 = 174,01519 * (1 - \exp(-0,431512 * Edad))^3 \quad (mv_{10}, \text{ de 5 a 6 años})$$

6. Para la cuantificación de bienes como tablillas, tucos, cantoneras y carbono se tomaron como referencia los estudios siguientes:

- Rendimiento de la madera en tablillas: 39,93% y 42,60% (CNF, 2001).

- Relación entre altura total y altura comer-

cial: Soudre (2006) indica que la altura comercial (hc) aprovechable es el 65,94% de la altura total del (ht).

- Parámetro de producción de tapas por tuco: 2 tapas por tuco (Filomeno, 2006)

- La biomasa total obtenida de las parcelas demostrativas en toneladas por hectárea se aplica los siguientes factores:

- Factor de carbono contenido en la biomasa: 0,45 referido por *Arevalo et al.* (2003).
- Factor de expansión de C en CO₂: 3,667-moles CO₂ por 1mol C. (*Concha et al.*, 2007)
- Stock de biomasa del sistema de uso anterior del suelo en parcelas de estudio (Tabla 1)

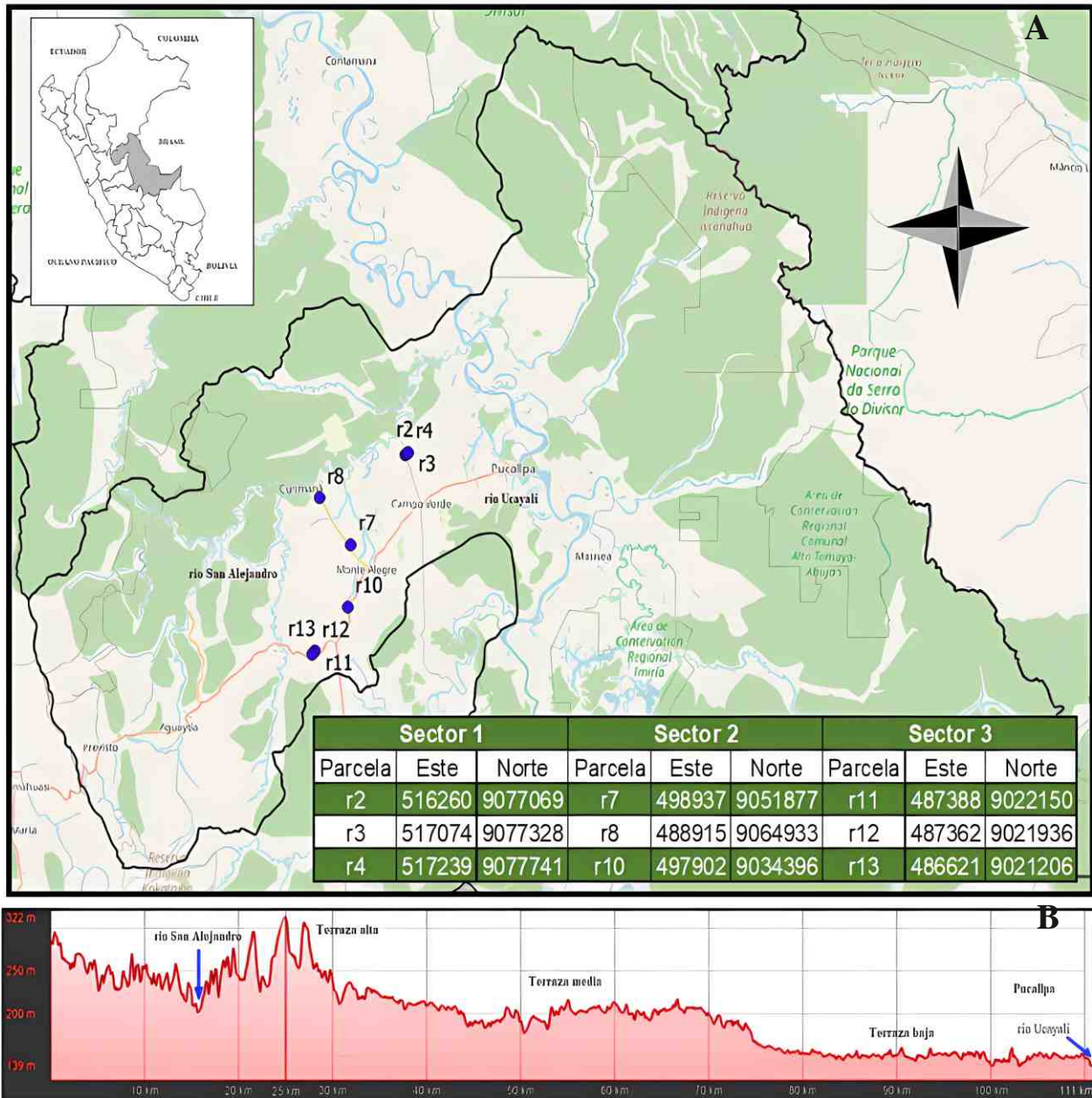


Figura 1. A) Ubicación geográfica de las parcelas en coordenadas UTM (Zona 18, hemisferio Sur). Fisiografía del área de estudio

Tabla 1. Biomasa, carbono y CO₂ en sistemas de uso anterior del suelo en las parcelas de estudio. Fuente: Arevalo et al., 2003

Sector	Parcela	Uso anterior	C LibxCambioUso	CO ₂ LibxCambioUso	Biomasa (t/ha)
Sector 1	r2	Cultivo de Yuca	3,43	10,01	84,64
	r3	Cultivo de Yuca	3,43	10,01	84,64
	r4	Cultivo de Yuca	3,43	10,01	84,64
Sector 2	r7	Purma 3 años	20,93	76,75	90,76
	r8	Purma 3 años	20,93	76,75	90,76
	r10	Purma 3 años	20,93	76,75	90,76
Sector 3	r11	Cultivo de Maíz	7,86	28,71	68,96
	r12	Cultivo de Maíz	7,86	28,71	68,96
	r13	Cultivo de Maíz	7,86	28,71	68,96

7. Cálculo de ingresos por la venta de bienes y servicios (abril 2022)

-Cantidad de tablillas por hectárea por el precio de tablillas (S/. 2,4/tablilla en Sector 1; S/.2.6/tablilla en Sector 1 y 2) mediante la siguiente fórmula:

$$ITab_6 = \sum_1^n Tab \times S/. 2,6$$

Donde:

ITab₆ = Ingresos por la venta de tablillas al año seis.
Tab₆ = Número de tablillas de madera por hectárea (tab/ha)
2,6 = Precio por tablilla en chacra (abril del 2022).

- Cantidad de tucos de madera por hectárea por el precio de tucos de madera (S./ 5,44 por tuco), aplicando la siguiente fórmula:

$$ITucos_3 = \sum_1^n N^{\circ}Tucos_3 \times 5,44$$

Donde:

ITucos₃ = Ingresos por la venta de tucos de madera de raleo
NTucos₃ = Cantidad de tucos madera por hectárea (t/ha)
5,44 = Precio por tuco promedio (abril 2022)

- Cantidad de tapas de madera por hectárea por el precio de tapas de madera (S/. 0,47/tapa en Sector 1; S/. 0,74/tapa Sector 2 y 3):

$$ITapas_6 = \sum_1^n N^{\circ}Tapas \times Pt$$

Donde:

ITapas₆ = Ingresos por venta de tapas al año seis
Tapas₆ = Número de tapas al año seis
Pt = Precio por tapa por sector

-Cantidad de dióxido de carbono neto por hectárea por el precio de dióxido de carbono de US\$7,17 tCO_{2eq} (MEF, 2021)

$$ICO_2 = \left(\left(CO_{2eq} \left(\frac{t}{ha} \right) - F \right) \times US\$7,17 \right)$$

Donde:

ICO₂ = Ingresos por la venta de CO₂ al año seis.
F = Variable de fugas y uso anterior
CO_{2eq} = CO₂ captura en un ciclo de seis años
US\$7,17 = Precio de venta de t/C establecido por el MEF (2021)

Teniendo la estimación de los ingresos generados por productos de la plantación se aplica la siguiente fórmula:

Ingresos (I) = tablillas+ tucos+ tapas+ bonos temporales de CO_{2eq}

8. Cálculo de egresos para bienes y servicios

- Asistencia Técnica (AT): (S/ ha⁻¹)
- Mantenimiento y control de incendios (MI): (S/ ha⁻¹)
- Control de Plagas (CP): (S/ ha⁻¹)
- Poda (POD): (S/ ha⁻¹)
- Raleo (RA): (S/ ha⁻¹)
- Fertilización (FER): (S/ ha⁻¹)
- Aserrío de tucos a tablillas (ASE) (S/.39,00/cien tablillas en Sector 1; S/.42,00/cien tablillas en Sector 2 y 3 (abril del 2022) (S/ ha⁻¹)
- Aprovechamiento final (AF): (S/ ha⁻¹)
- Instalación de la plantación (INS): (S/ ha⁻¹)
- Gastos administrativos (ADM): (S/ ha⁻¹)
- Tasa de descuento de 22,5%.
- Almacenamiento de una tonelada de carbono (ECO_{2eq}) (US\$2,26/tCO₂ (Chidiak *et al.*, (2006): (S/ ha⁻¹)
- Costo de oportunidad (S/ ha⁻¹) de servicio ambiental del stock de carbono (CO₂) en función al uso anterior (tabla 1)

El cálculo de egresos se obtiene aplicando la siguiente formula: Egresos (E) =

$$AT+MI+CP+POD+RA+FER+ASE+AF+INS+ADM+ECO_{2eq}$$

9. Indicadores de rentabilidad.

- Flujo de caja, se obtuvo el flujo de caja promedio por sector, el cual está compuesto todos los ingresos y egresos incurridos en el período de la plantación registrados anualmente:

$$\text{Flujo de Caja} = \text{Ingresos (I)} - \text{Egresos (E)}$$

- Valor actual Neto (VAN), se calcula de los flujos anuales promedios por sector se operan los saldos con la fórmula del Valor Actual Neto (VAN), aplicando una tasa de descuento de 22,5%:

$$VAN = \sum_{T=1}^N \frac{Vt}{(1+k)^t} - I_o$$

Donde:

Vt = Flujos de caja en cada periodo t.

I_o = Desembolso inicial de la inversión.

n = Número de períodos considerado.

K = Interés

- Tasa interna de Retorno (TIR), se calcula por la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1}^N VPI_i = \sum_{i=1}^N VPC_i$$

Donde:

VPI = Tasa de interés de ingresos en el iguala la ecuación a 0

VPCi = Tasa de interés de los costos en el iguala la ecuación a 0

- Relación Beneficio Costo (B/C), la relación beneficio costo se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$B/C = \frac{VAN I}{VAN E}$$

Donde:

B/C = Relación Beneficio Costo.

VAN I = Valor actualizado de los ingresos

VAN E = Valor actualizado de los egresos

Parámetros para acepta la viabilidad el proyecto debe cumplir los siguientes parámetros: VAN>0; B/C > 1; TIR > Tasa de interés impuesto (22,50%)

RESULTADOS

INGRESOS Y EGRESOS

Los resultados de la valoración económica de plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crini-*

ta Mart.) en Ucayali, para la comercialización de bienes (tucos, tapas y tablillas de madera) y servicios (captura de CO_{2eq}), se presentan en la Tabla 2.

Así mismo en la Figura 2, se presenta el valor porcentual de los egresos e ingresos por rubro para el manejo y aprovechamiento de una plantación de *Guazuma crinita*.

Tabla 2. Ingresos y egresos de plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en Ucayali, Perú

Actividad	Sector 1 (S/)	Sector 2 (S/)	Sector 3 (S/)
INGRESOS (S/)	2 307,57	44 869,02	60 607,30
Ingresos/Tucos	391,89	15 581,09	14 688,46
Ingresos/Tablilla	-	31 953,01	31 231,04
Ingresos/Tapas	-	5 530,12	5 885,36
Ingresos/CO _{2eq}	1 915,69	8 195,21	8 802,45
EGRESOS (S/)	13 207,27	30 688,69	30 346,88
Instalación	4 617,40	4 617,40	4 617,40
Fertilización	2 123,88	2 123,88	2 123,88
Mantenimiento e incendios	3 300,00	3 500,00	3 500,00
Gastos administrativos	1 200,66	2 789,88	2 758,81
Asistencia Técnica	351,33	527,00	527,00
Raleo	878,80	878,80	878,80
Control de Plagas	236,00	236,00	236,00
Costo de captura carbono	268,20	1 184,67	1 203,82
Poda	231,00	231,00	231,00
Procesamiento Tablillas	-	5 161,64	5 045,01
Aprovechamiento	-	9 438,43	9 225,17

Considerando la plantación de *Guazuma crinita* Mart., como proveedora de servicios de captura de CO_{2eq}, estas han demostrado tener flujos de captura y fuga de carbono diferenciados, los que resultan en flujos positivos que podrían ser negociables en el mercado de bonos de carbono, por la diferencia entre el stock de carbono acumulado en el sistema de uso anterior y las capturas por el desarrollo de la plantación (Figura 3).

INDICADORES DE RENTABILIDAD

Teniendo en cuenta los indicadores de rentabilidad de plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) de seis años de edad, para comercialización de bienes y servicios se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Indicadores de Rentabilidad por sectores en plantaciones demostrativas de bolaina blanca en un ciclo de 6 años a una tasa de descuento de 22,5%

Indicador	Sector 1	Sector 2	Sector 3
TASA	22,5%	22,5%	22,5%
VAN	-7 945,28	967,23	8 408,67
TIR	0,0%	26,5%	60,9%
B/C	0,14	1,07	1,58

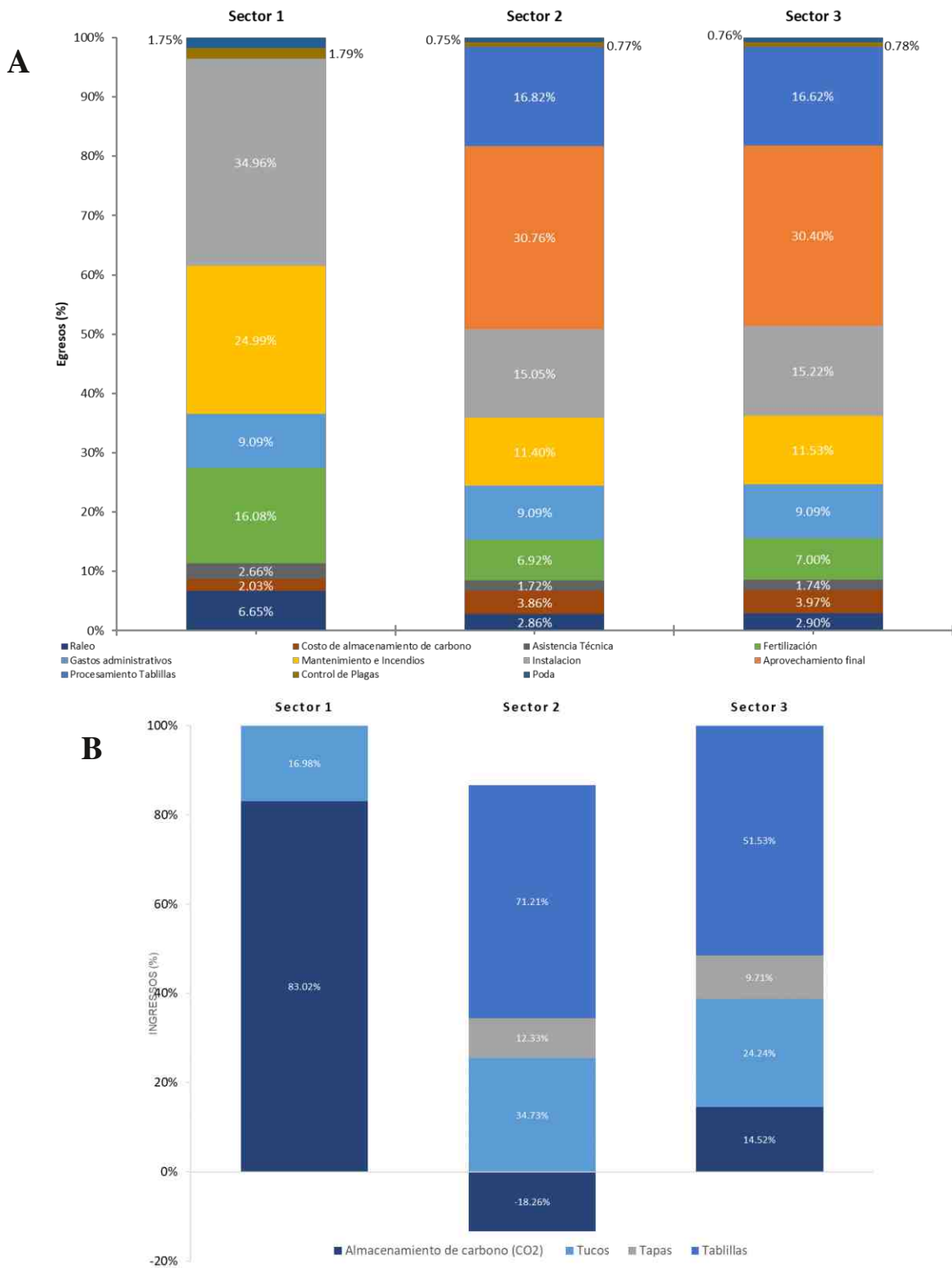


Figura 2. Egresos e ingresos promedio de plantaciones experimentales de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) de seis años de edad para la producción de bienes y servicios para los sectores 1, 2 y 3 en porcentaje (%); A. Egresos sector 1, sector 2, sector 3; B. Ingresos Sector 1; Sector 2, Sector 3.

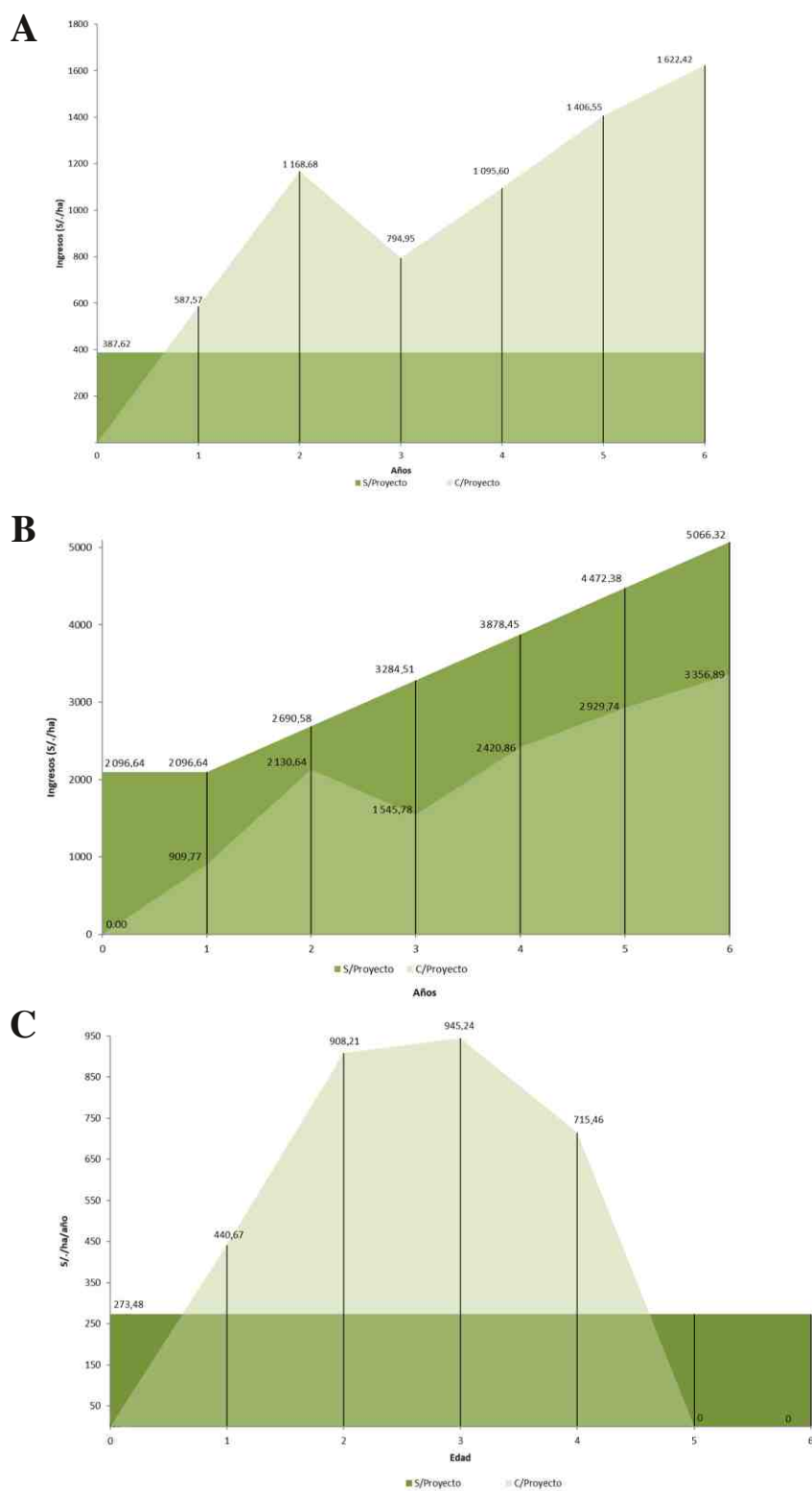


Figura 3. Flujos promedio de carbono negociable (S) en plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) de seis años de edad (C/Proyecto), considerando uso anterior (sin proyecto); A. Flujo de carbono del sector 1; B. Flujo de carbono del sector 2; C. Flujo de carbono del sector 3.

DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos, se pudo observar que los mayores ingresos de las plantaciones de *Guazuma crinita* Mart., se obtuvieron de la comercialización de bienes (tablillas, tucos, tapas), influenciados por la apreciación de ellos en el mercado local, regional y nacional, lo cual es determinante en la viabilidad económica de plantaciones cuando está ausente un mercado que incorpora mecanismos de desarrollo limpio (MDL). En un escenario de mercado de MDL las plantaciones del sector 2 y sector 3 resultaron viables y mientras que las plantaciones del sector 1, no lo fueron al no alcanzar su ciclo de cosecha; con estos resultados, los ingresos son comparables con lo reportado por el IIAP (2009), determinando mayores ingresos en una plantación de bolaina en la cuenca del río Aguaytía, por la venta de tablillas, y venta tucos al cuarto año por raleo de mejora, para el mismo ciclo de corta. Por lo mismo, los egresos promedio calculado por sector, son mayores en el Sector 2, seguido por el Sector 3 y finalmente el Sector 1 (Tabla 2), los que son superiores a los obtenidos por el IIAP (2009), debido a la inclusión de costos adicionales por fertilización y gestión por venta de bonos de carbono en las cuentas del proyecto.

Los ingresos esperados por la captura de carbono en el área de plantación, obtuvieron ingresos aquellas que lograron flujos de carbono positivos, como del Sector 3 y Sector 1 al ser establecidas en un área donde el uso anterior fue un monocultivo de maíz y yuca (Tabla 1) que mantenían un stock anual $28,71\text{CO}_{2\text{eq}}$ y $10,01\text{CO}_{2\text{eq}}$ respectivamente (Figuras 3A, 3C); mientras que del Sector 2, tuvieron flujos negativos generaron fugas (Figura 3B), al ser establecidas en un área donde el uso anterior fue una purma de 3 años, que al año 0 contaban $90,76\text{tC}_{\text{eq}}$ secuestrado (Arevalo *et al.*, 2003), lo que

significa que de mantenerse, este podría haber obtenido ingresos potenciales de S/ 2096,64 al año 0, incrementándose al año seis a S/ 5066,32 por incremento natural de su biomasa y consecuentemente de carbono, monto de ingresos que es superior a la captura de la plantación establecida con proyecto (Figura 3B).

Basado en los resultados presentados en la Figura 2, se puede observar que el servicio de captura de carbono determina la rentabilidad de la plantación en un mercado con MDL, que incluye la comercialización de tablillas, tucos, tapas (bienes) y la captura de carbono (servicios ambientales); tal como ocurre para el caso de las plantaciones del sector 2, que tuvieron mayores ingresos por la venta de bienes con S/ 53064,22, sin embargo, este no fue un proyecto eficiente en la gestión de servicios ambientales con S/ -8 195,21, lo que demuestra que existieron fugas de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ en el sistema, resultando en indicadores económicos desfavorables para un proyecto MDL resultando en ingresos S/ 44869,02; por el contrario, las plantaciones del sector 3, que a pesar de haber obtenido menores ingresos por la venta de bienes con S/ 51804,85, en comparación a las plantaciones del sector 2; estas podrían obtener ingresos por los flujos positivos de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, lo que generarían ingresos por la suma de S/ 8802,45, lo que sumado podrían obtener mayores ingresos con S/ 60 607,30, resultando en indicadores económicos positivos para un proyecto MDL; estos resultados guardan relación con lo referido por Neuenschwander (2006), quien señala que la selección de la especie, la rotación y el calidad del sitio son determinantes para el incremento del secuestro de carbono; este último a su vez determina la rentabilidad de un proyecto MDL, pues incorpora en el flujo de caja un servicios adicional que aprecia la rentabilidad, el cual puede pasar de una TIR de 7,70% (sin proyecto MDL), a un 8,50% (con proyecto MDL), esto con-

siderando el precio de bonos de carbono de US\$ 2,5 tCO₂; sin embargo Neuenschwander (2005), también sostiene que los ingresos promedio por venta de bonos, generan una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 4,4% sin CO_{2eq} y de 6,7% con CO_{2eq}, por lo que mejora el TIR en 2,3%, con lo que se demuestra que la incorporación de servicios ambientales en el flujo de caja de un proyecto de reforestación, resulta beneficioso en la generación de proyectos MDL; muy por el contrario la inadecuada selección del sitio, no solo puede anular la posibilidad de negociar bonos de carbono, sino a su vez generar sobre costos en detrimento de la sostenibilidad, como se puede observar en las plantaciones del sector 2, por lo que se requeriría que el proyecto adquiriera bonos de carbono para compensar las fugas generadas por la deforestación, tal como lo refieren los principios de aceptabilidad de un proyecto MDL, el cual busca generar adicionalidad a partir de la línea base, lo que demuestra la reducción de emisiones de CO_{2eq}, lo que resulta crítico en el momento que se realiza el cambio de uso del suelo (Norberto, 2005). Del mismo modo las plantaciones del sector 1, obtuvieron indicadores de rentabilidad desfavorables por no alcanzar el ciclo del proyecto, debido a una mala selección agrologica del sitio, cuyo resultado coincide con lo referido por Neuenschwander (2006).

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Mundial para la Agroforestería-ICRAF, por proveer la información y logística necesaria para el desarrollo del presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arevalo, L; Alegre, J; Palm, C. 2003. *Manual determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú*. Ministerio de Agricultura. 24pp.
- Chidiak, M., Moreyra A.; Greco C. 2006. *Captura de Carbono y Desarrollo Forestal Sustentable en la Patagonia Argentina: Sinergias y Desafíos*. CENIT-CEPAL-UDESA. LC/BUE/R.255. Buenos Aires, Argentina. 136pp.
- Center for International Forestry Research (CIFOR), 1998. *Curso Taller sobre metodologías de investigación en bosques secundarios. Memoria*. CIFOR/CATIE. Lima, Perú. 40pp.
- Cámara Nacional Forestal (CNF). 2001. *Precios de la madera en Pucallpa*. Boletín de Información comercial forestal (Perú), MADEPYMES, MADEBOSQUE AEMRU, Pucallpa, Perú. 8pp.
- Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU). 2000. *Informe de Análisis de la cadena agroindustrial de productos amazónicos*. Proyecto de Desarrollo de Agroempresas Rurales. 66pp
- Concha, J; Alegre, J; Pocomucha, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* l. en el departamento de San Martín, Perú. *Revista Ecología Aplicada*, 6(1,2): 75. DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v6i1-2.343>
- Filomeno, L. 2006. *Estudio de rendimiento de madera de bolaina blanca en tablillas en aserraderos de la ciudad de Pucallpa*. FONDEBOSQUE. Ucayali, Perú. 5pp.
- Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), 2003. *Propuesta de ZEE de la Cuenca del Río Aguaytía*. Programa de Ordenamiento Ambiental, Pucallpa - Perú.

- 125pp.
Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). 2009. *Evaluación Económica de Parcelas de Regeneración Natural y Plantaciones de Bolaina Blanca Guazuma Crinita, en el Departamento de Ucayali*. Avances Económicos N° 11. Iquitos-Perú. 54pp.
- Neuenschwander, A, 2006. *Recomendaciones para la Evaluación de Proyectos de Forestación en el MDL: Análisis de Caso Forestación de Pequeñas Propiedades en la Décima Región de Chile*. Congreso Internacional MDL en la actividad forestal. Valdivia. 32pp.
- Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). 2021. *Nota técnica para el uso del precio social del carbono en la evaluación social de proyectos de inversión*. Dirección General de Programación Multianual de Inversiones – DGPMI, Lima, Perú, 35pp.
- Norberto, C. 2005. *El Protocolo de Kioto y el MDL: Nuevas posibilidades de inversión para el sector forestal*. Proyecto Forestal de Desarrollo (SAGPyA/BIRF). Buenos Aires, Argentina. 25pp.
- Samaniego, D. 2009. *Estimación de la cantidad de carbono capturado por Guazuma crinita en una plantación de 8 años en Ucayali*. Tesis de pre-grado Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales, Lima, Perú. 142pp.
- Soudre, M, 2006. *Transferencia tecnológica de plantaciones y manejo de bosques aluviales en Ucayali*. Informe final del Programa de Ecosistemas Terrestres. IIAP, Pucallpa, Perú. 70pp
- Revilla, J; Abanto-Rodríguez, C; Guerra, W; García, D; Guerra, H; Domínguez, G; Carmo, I.L.G. 2021. Modelos alométricos para estimar el volumen de madera de *Guazuma crinita* en plantaciones forestales. *Revista Scientia Agropecuaria*, 12(1), 25-31. DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.003>
- Revilla-Chávez, J.M.; López, E.E.; Guerra, W.F.; García, D.G.; Rojas, K.C.; Domínguez, G.; Abanto-Rodríguez, C. 2021. Modelos alométricos de biomasa de árboles de *Guazuma crinita* Mart en plantaciones forestales de Ucayali, Perú. *Revista Scientia Agropecuaria*, 12(4), 579-587. DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.062>
- Revilla-Chávez, J. M; 2015. *Viabilidad económica de plantaciones demostrativas de bolaina blanca (Guazuma crinita Mart.) en la cuenca del río Aguaytía Ucayali-Perú*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. 144pp.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). 2019. *Anuario Forestal y de Fauna Silvestre*. Ministerio de Agricultura y Riego, Perú. 116pp.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), 2004. *Anuario Forestal y de Fauna Silvestre*. Ministerio de Agricultura y Riego, Perú. 178 pp.
- Ugarte, L; Domínguez, G. 2010. Índice de sitio (is) de *Calycophyllum spruceanum* Benth. en relación con la altura dominante del rodal en ensayos de plantación en la cuenca del Aguaytía, Ucayali, Perú. *Ecología Aplicada*, 9(2): 101. DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v9i1-2.400>
- Velarde, S, 2007. *Análisis situacional de los aserraderos de disco dedicados a la transformación de la madera de Guazuma crinita Mart. (bolaina blanca) en las localidades de Pucallpa, Nueva Requena y Curimana*. UNU, Pucallpa-Perú, 50pp.
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, 10(2): 181–213.
- Zeide, B. 1993, *Analysis of Growth Equations*.

Forest Science, 39 (3): 594-616. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestsscience/39.3.594>

Recibido: 10 de mayo de 2022 **Aceptado para publicación:** 20 de diciembre de 2022