

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN**



**“DETERMINACIÓN DEL TURNO DE ROTACIÓN
ECONÓMICAMENTE ÓPTIMO PARA EL CASO DE LA
BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita*) EN LA REGIÓN
CUSCO - PERÚ”**

PRESENTADO POR

NICOLÁS POSTIGO PASSANO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

ECONOMISTA

Lima - Perú

2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor, el profesor Carlos Orihuela.

Al señor propietario de la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C Hans Laurentz por las facilidades brindadas para obtener los datos e información para el desarrollo de la presente tesis.

A mis padres y a mis hermanos, por su cariño y apoyo incondicional.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina.

A todas aquellas personas que me brindaron su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura.....	5
1. Marco teórico.....	5
1.1. Economía forestal.....	5
2. Descripción de la especie	9
2.1. Edad de cosecha (turno).....	10
2.2. Usos.....	10
2.3. Comercialización y precio	10
3. Antecedentes de estimación de TREO de diferentes especies.....	11
III. Materiales y Métodos.....	14
1. Hipótesis.....	14
1.1. Hipótesis general.....	14
1.2. Hipótesis específica.....	14
2. Descripción del área de estudio.....	14
2.1. Ubicación y datos generales.....	14
2.2. Información de la plantación.....	16
2.3. Clima	16
2.4. Suelo	16
3. Diseño de la investigación	17
4. Fuente de información.....	17
5. Análisis y tratamiento de la información recopilada	18
6. Tratamiento de las variables	18
6.1. Calculo de los volúmenes comerciales	18
6.2. Calculo de los modelos matemáticos de crecimiento forestal	19
6.3. Calculo del óptimo económico.....	20
IV. Resultados y discusión	23
1. Calculo de los volúmenes comerciales con corteza.....	23
2. Calculo de las formas funcionales de crecimiento forestal	24
2.1. Función polinomio cuadrático.....	24
2.2. Función Schumacher	25
2.3. Chapman-Richard	26
3. Calculo del optimo económico (TREO).....	29
V. Conclusiones	32
VI. Recomendaciones	33
VII. Referencias bibliográficas	34
VIII. Anexos	39

Índice de tablas

	Página
Tabla 1:	TREO del romerillo blanco según tasa de descuento en Ecuador 11
Tabla 2:	TREO del <i>Pinuspseudostrobus</i> según función de crecimiento en México 11
Tabla 3:	TREO del <i>Pinusduranguensis</i> según función de crecimiento en México 12
Tabla 4:	TREO de las especies <i>Tectona grandis</i> , <i>Nectandra kunthiana</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> y <i>Schizolobium parahyba</i> en Satipo 12
Tabla 5:	TREO del <i>Eucalyptus globulis Labill</i> según rodal en Huancayo 12
Tabla 6:	TREO según la tasa de descuento para el <i>Eucalyptus Saligna</i> en Colombia..... 13
Tabla 7:	Características del suelo de la plantación forestal de bolaina blanca en Pilcopata..... 17
Tabla 8:	Tasa de Interés activa anual promedio del sistema financiero peruano (2012)..... 21
Tabla 9:	Volúmenes promedio por edad de la bolaina blanca en Pilcopata..... 23
Tabla 10:	Estimaciones estadísticas del polinomio de segundo grado para el volumen comercial de bolaina blanca en Pilcopata..... 25
Tabla 11:	Estimaciones estadísticas Schumacher para el volumen comercial de bolaina blanca en Pilcopata 26
Tabla 12:	Análisis de sensibilidad del parámetro “ α_1 ” para la función Chapman-Richard..... 27
Tabla 13:	Comparación histórica del volumen comercial con corteza de plantación de bolaina blanca en la ciudad de Satipo con la función Schumacher 28
Tabla 14:	Comparación histórica del volumen comercial con corteza de otra plantación de bolaina blanca en la provincia de Puerto Inca con la función Schumacher 28
Tabla 15:	Precios de la tablilla de la bolaina blanca (2013-2016) 31

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Turnos óptimos según los criterios biológico, técnico y económico	6
Figura 2: Representación del TREO según tasa de descuento de una especie forestal.....	8
Figura 3: Mapa de localización de la plantación forestal de bolaina blanca en Pilcopata.....	15
Figura 4: Curva de acumulación de volumen comercial con corteza del polinomio de segundo grado para un árbol en la plantación de bolaina blanca en Pilcopata.....	25
Figura 5: Curva de acumulación de volumen comercial con corteza de Schumacher para un árbol en la plantación de Pilcopata de bolaina blanca	26
Figura 6: Curva del TREO según la tasa de descuento de la bolaina blanca en Pilcopata.....	29
Figura 7: Curva de beneficio neto según el tiempo para un árbol de bolaina blanca en Pilcopata.....	30

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Variables dasométricas de la plantación de bolaina en Pilcopata (2013-2017)	39
Anexo 2 Volúmenes comerciales con corteza de la plantación de bolaina blanca en Pilcopata (m ³)	41
Anexo 3 Estimación de la función matemática polinomio de segundo grado para la bolaina blanca en Pilcopata	43
Anexo 4 Estimación de la función matemática schumacher para la bolaina blanca en Pilcopata	43
Anexo 5 TREO de la bolania blanca en Pilcopata según la tasa de descuento.....	44
Anexo 6 Variación del beneficio neto de un árbol de bolaina blanca en Pilcopata según el tiempo	45

RESUMEN

Este estudio busca determinar el Turno de Rotación Económicamente Optimo (TREO) de la especie *Guazuma crinita* (“bolaina blanca”) para el caso de una plantación forestal en Cusco, Perú. Para ello, se estimó el crecimiento de los volúmenes comerciales con corteza de esta especie, encontrándose que la forma funcional Schumacher se ajustó mejor a los datos disponibles. Con esta información, y mediante el modelo económico Fisher-Hotelling, se determinó un TREO aproximado de 8 años a una tasa de descuento de 10.8%. Este resultado es menor en comparación al turno de esta empresa y los turnos de rotación empíricos utilizados en la explotación forestal de esta especie en el Perú. Así, este resultado puede ser aplicado como un soporte técnico importante para la elaboración de proyectos forestales, y al mismo tiempo, constituirse como un modelo apropiado de aprovechamiento para lograr la adecuada toma de decisiones.

Palabras claves: bolaina blanca, Turno de rotación, modelo Fisher-Hotelling.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú tiene 68 millones de hectáreas con bosques naturales (53% de su territorio), y ocupa el décimo primer lugar en el mundo con este tipo de superficie, y el segundo lugar en América Latina después de Brasil (SERFOR, 2017).

El sector forestal en el Perú involucra una importante porción del territorio nacional, sin embargo, contribuye solamente con el 1,1% del PBI (1700 millones de dólares al 2010), y recibe solo el 0,01% de la inversión extranjera directa (Climate Investment Funds, 2013).

En los últimos años, emerge una voluntad política del Gobierno central, apoyada por el sector privado, para apostar al sector forestal como uno de los nuevos motores de la economía en la lucha contra la pobreza, la deforestación y el cambio climático (Guariguata, 2017).

Es así, que el Gobierno reconoce que las plantaciones forestales son una extraordinaria oportunidad de negocio generadora de empleo, que además permite cumplir con la recuperación de áreas degradadas. Esto ha conllevado a impulsar una serie de regulaciones y programas, prestando especial atención a plantaciones forestales en tierras privadas, pero también en concesiones otorgadas (Guariguata, 2017).

Guarigata (2017), estima en base al Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras del Perú, que existen 13 millones de hectáreas disponibles para desarrollar plantaciones forestales, descontando en la Sierra las áreas de altitudes mayores a 3800 msnm y las de cobertura de bosque natural en Selva Baja y Alta.

Actualmente las especies más significativas para las plantaciones forestales son las especies exóticas; pino (*Pinus radiata*) y eucalipto (*Eucalyptus sp*) y las especies nativas; capirona (*Calycophyllum spruceanum*), pashaco (*Schizolobium amazonicum*), cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), bolaina (*Guazuma crinita*), marupa (*Simarouba amara*) y topa (*Ochroma pyramidale*) (Muñoz, 2014).

Según SERFOR (2016), la gran mayoría de la madera proveniente de plantaciones forestales corresponde a las especies exóticas pino (*Pinus radiata*) y eucalipto (*Eucalyptus sp*). En lo que respecta a la especie bolaina blanca, se ha registrado que el 15% de madera cosechada en el año 2013 (84 000 m³) provenían de plantaciones forestales manejadas empresarialmente (UNIQUE, 2015).

Esta especie ha tomado importancia y reconocimiento como especie forestal, debido a que es de rápido crecimiento, tiene un buen desempeño en plantaciones forestales y agroforestales, crece bien en una amplia variedad de climas y cuenta con la aceptación del mercado nacional (Campbell Global, 2017).

El IIAP (2009), señaló a la bolaina blanca como una especie apropiada para plantaciones además de los programas de reforestación de áreas degradadas con problemas de erosión y pérdida de nutrientes, debido a sus características de especie forestal heliófita, por su rápido crecimiento y por la gran demanda en el mercado nacional.

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta en la planificación de las plantaciones forestales, es el “turno” de rotación, definido como el periodo entre la instalación de la plantación hasta el corte final.

Guariguata et al. (2017) indican que para la elección del turno son necesarias proyecciones sobre el crecimiento de la masa forestal. Para realizar estas proyecciones existen una amplia gama de funciones matemáticas que pueden ser utilizadas para ajustar datos de crecimiento, la mayoría son modelos no lineales en los parámetros.

Uno de las más usadas en el marco forestal es la forma funcional Schumacher, la cual representa la forma sigmoidea característica del crecimiento de un árbol forestal además de ser relativamente sencilla en su aplicación (Cancino. 2006, Fontes et al, 2003. FAO. 1981, Amacher et al. 2009, Klaus et al. 2007).

Según Diaz (1997), la elección del turno óptimo de rotación puede definirse según varios criterios; i) criterio biológico, en el que se alcanza la máxima producción (utilizando conceptos habituales en la teoría de la producción, sería el máximo técnico), ii) criterio técnico, en cual corresponde a la máxima productividad media de la masa forestal (mientras que en teoría de la producción se conoce como óptimo técnico), y iii) criterio económico, llamado Turno de Rotación Económicamente Optimo (TREO), el cual se

define como el turno en donde la masa forestal maximiza el valor actual neto (VAN) de los beneficios futuros que la plantación generaría.

La teoría económica forestal demuestra que el TREO es menor en comparación a los turnos con criterio técnico y biológico. Esto se justifica por la presencia de la tasa de descuento¹, la cual está asociada a la mayor impaciencia del agente económico por el dinero en el tiempo. Dado que las plantaciones forestales son constituidas por empresas *eventualmente* maximizadoras de beneficios, es de esperar que utilicen el TREO, lo que les garantizaría el mayor bienestar privado.

A pesar de su importancia, el sector forestal peruano no aplica explícita o formalmente el TREO para las plantaciones de bolaina blanca (UNIQUE, 2015). La pregunta es entonces: ¿el turno de rotación actualmente aplicado por el sector forestal asociado a la plantación de bolaina blanca es equivalente al TREO teórico? Si fuere así, entonces este sector estaría aplicando la condición de eficiencia económica. En otras palabras, maximizando su VAN.

Sin embargo, Putzel et al. (2013) señala que es práctica generalizada extraer la bolaina blanca desde los 11-12 años hasta edades indeterminadas lo cual depende de las necesidades económicas imprevistas y factores ajenos a criterios económicos racionales. Por ejemplo la empresa Forestal Guadalupe S.A.C señala que aplica un turno de 13-15 años para la extracción de la misma especie (Empresa Forestal Guadalupe, 2016).

Esto sugiere que este sector podría utilizar un turno diferente al TREO. Por este motivo, el **objetivo principal** de este estudio es determinar el Turno de Rotación Económicamente Óptimo (TREO) para la plantación de bolaina blanca de propiedad de la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C localizada en el valle de Pilcopata, la cual fue la única que ofreció información biológica y económica para evaluar si este sector está siguiendo el criterio de eficiencia económica. Dado que la plantación de esta empresa posee condiciones similares a otras plantaciones de la misma especie a nivel nacional, es de esperar que los resultados de este estudio sean representativos del sector en análisis.

Para este objetivo, se determinaron los siguientes **objetivos específicos**:

¹ Debe recordarse que todo flujo monetario en el tiempo debe ser descontado. En otras palabras, requiere la aplicación de una tasa de descuento apropiada para su sumatoria.

- Estimar los volúmenes comerciales con corteza de la especie forestal bolaina blanca en la plantación ubicada en el valle de Pilcopata de la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C.
- Evaluar la forma funcional más apropiada del volumen comercial con corteza de la especie forestal bolaina blanca en la plantación ubicada en el valle de Pilcopata de la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C.

El resultado de este estudio propone contribuir con su determinación, ante la falta de estudios de TREO sobre la bolaina blanca (Campbell Global, 2017), constituyendo un aporte a la literatura vinculada al aprovechamiento de esta especie en el Perú, por ser una empresa representativa de este sector, la cual está compuesta básicamente por empresas privadas y comunidades nativas (Guariguata et al. 2017), por tanto su determinación será una herramienta que busque el eventual objetivo de estas, es decir, la maximización de los beneficios netos. Asimismo, permitirá ser aplicado como un soporte técnico importante para la elaboración de proyectos forestales, y al mismo tiempo, constituirse como un modelo apropiado de aprovechamiento para lograr la adecuada toma de decisiones.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo del presente capítulo se revisa el concepto de economía forestal y la descripción de la especie en estudio. Adicionalmente, se pondrá en consideración diversos antecedentes relacionados a la determinación del TREO.

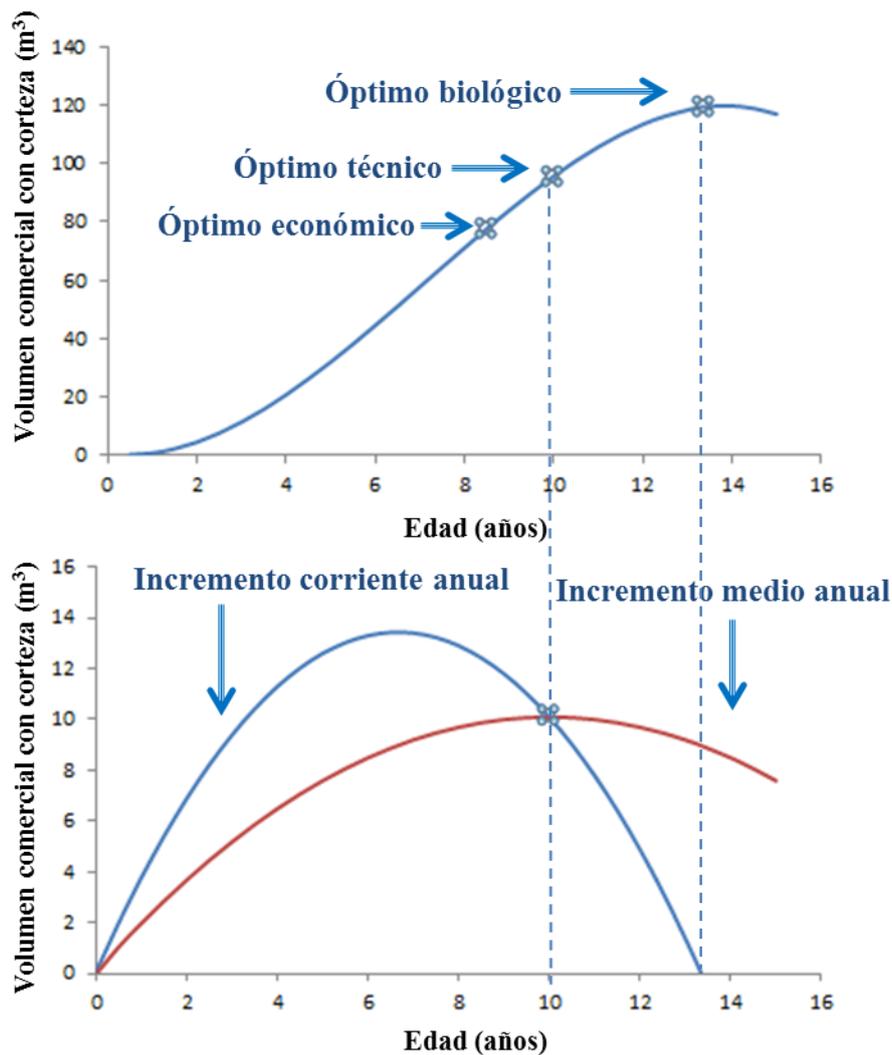
1.1.ECONOMÍA FORESTAL

El artículo 3 de la ley No 26821 de la Constitución Política del Perú para el aprovechamiento de los recursos naturales, considera recursos naturales a todo componente de la naturaleza, susceptible de ser aprovechado por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades y que tenga un valor actual o potencial en el mercado. Una rama de la economía dedicada a su estudio es la economía forestal, la cual menciona a los bosques como una forma particular de acumulación de capital, en este caso, capital físico natural.

Teitenberg (2009) señala que su gestión se puede tomar por la explotación especializada en un único recurso como la madera, o se pueden diversificar los productos y/o actividades como, por ejemplo, las recreacionales, servicios ambientales, secuestro de dióxido de carbono o la preservación del ecosistema.

En el caso que la producción de la plantación estuviera dedicada únicamente a la producción de madera se debe considerar un turno de rotación, el cual ha tenido diferentes enfoques en torno a cuál debería ser el turno óptimo como se muestra a continuación:

Figura 1: Turnos óptimos según los criterios biológico, técnico y económico



Elaboración: propia

Díaz (1997), señala que el *óptimo biológico* corresponde a la vida de la masa o aquél en el que se alcanza la máxima producción, así mismo SGARH (1985) coincide que el turno expresa la duración máxima natural de vida de una especie en un sitio determinado además agrega que la especie mantenga un vigor satisfactorio de crecimiento y de reproducción. Utilizando conceptos de la teoría de la producción, sería el máximo técnico.

El *óptimo técnico* corresponde a la máxima productividad media de la masa forestal. En un paralelo a la teoría de la producción, este punto se conoce como el óptimo técnico. Esta condición se desprende de un proceso de optimización del volumen comercial medio (Contreras, 2011).

$$\max_t \frac{V(t)}{t} \quad (1)$$

Donde, V es el volumen comercial con corteza del árbol que depende de t (tiempo).

La condición de primer orden para la maximización del V(t), se presenta a continuación:

$$\frac{dV(t)/t}{dt} = \frac{V'(t) \cdot t - V(t)}{t^2} = 0 \quad (2)$$

despejando, se llega a la relación necesaria:

$$V'(t) = \frac{V(t)}{t} \quad (3)$$

El *óptimo económico* visto desde el modelo Fisher-Hotelling, consiste en definir el turno óptimo desde la perspectiva económica como aquel para el cual el Valor Actual Neto (VAN) de los beneficios netos descontados alcanza un máximo (Romero, 1997). Esto equivale a un TREO.

De esta forma el modelo Fisher-Hotelling consiste en maximizar el VAN, con respecto al tiempo como la expresión (4) indica, la cual considera una representación de un privado que empieza con una tierra en la cual planta árboles y posee una tecnología para homogenizar el crecimiento. El dueño de esta plantación tiene el conocimiento del precio de la madera constante y la tasa de descuento, y el escoge maximizar el beneficio neto del turno (Amacher et al, 2009). Hay que acotar que existen variantes para definir el VAN, las cuales incluyen criterios como costos ambientales, impuestos, captura de carbono, entre otros, los cuales no serán abordados en este estudio.

$$\max_t \text{VAN}(t) = p \cdot V(t)e^{-rt} - C \quad (4)$$

Dónde VAN es el valor actual neto, p es el precio de la madera asumido como constante, t es el tiempo, V es el volumen comercial con corteza del árbol en función del tiempo "t", r es la tasa de descuento y C son los costos de plantado o gastos de inversión

Para llegar a la condición de eficiencia económica, se debe encontrar el momento donde el VAN sea el máximo, cuya elección depende de la variable tiempo. La condición de primer orden para la maximización del valor actual neto se presenta a continuación:

$$\frac{dVAN(t)}{dt} = pe^{-rt}V'(t) + pe^{-rt}V(t)(-r) = 0 \quad (5)$$

Despejando, se llega a la relación necesaria del modelo Fisher-Hotelling:

$$V'(t) = V(t)r \quad (6)$$

Donde $V'(t)$ es el ingreso del producto marginal de alargar la rotación un año más y $V(t).r$ representa el costo de oportunidad de hacerlo. Esto indica que si $V'(t) > V(t).r$, el criterio sugiere no cortar. Por el contrario, si $V'(t) < V(t).r$, el criterio sugiere cortar, mientras que, si el crecimiento maderero relativo iguala la tasa de descuento, entonces resulta el punto donde el VAN presenta su mayor valor.

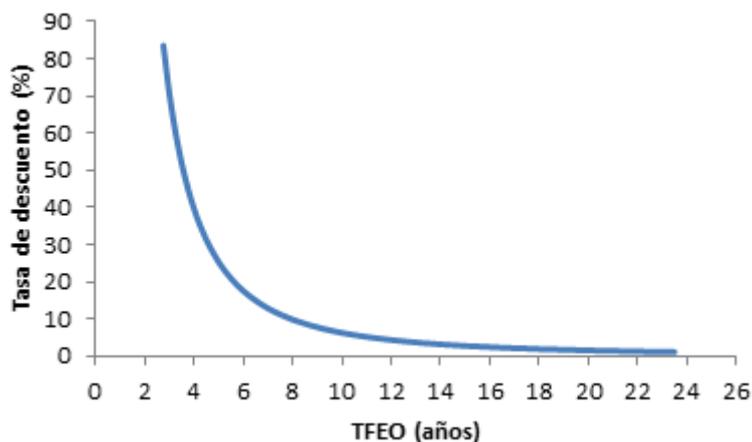
Para fines de análisis se reordenará la expresión (7):

$$\frac{V'(t)}{V(t)} = r \quad (7)$$

Esta expresión equivale a la condición de eficiencia económica. El nivel de t que se desprende de esta condición es el TREO. En la figura 2 se muestra la relación inversamente proporcional entre la tasa de descuento y el TREO que la teoría indica.

Figura 2:

Figura 3: Representación del TREO según tasa de descuento de una especie forestal



Fuente: Elaboración propia

Este método considera una serie de supuestos como la existencia de un mercado perfecto de dinero, gastos de mantenimiento y explotación iguales a cero, tasa de interés igual a la tasa de descuento, precios futuros tanto para de la madera producida como de los insumos

utilizados, constantes² y conocidos. Para un nivel de insumos, los rendimientos madereros son constantes y el suelo se puede comprar, vender y arrendar en un mercado perfecto (Romero, 1997).

Queda claro que el objetivo de una empresa en el rubro forestal sería maximizar su beneficio por la venta de madera a través de la elección del turno de rotación, con esto se deduce que la empresa debería utilizar el TREO por ser el turno que tiene como criterio maximizar el beneficio del propietario.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

La bolaina blanca o simplemente bolaina, también conocida como atadijo en algunas zonas del país, pertenece a la familia de las Sterculiaceae (Becerra, 2016).

Reynel et al. (2003) la describen como un árbol de 25 cm - 28 cm de diámetro y 15 m - 30 m de altura total, con fuste cilíndrico, la ramificación en el tercer tercio y la base del fuste recta.

La distribución de esta especie es muy amplia desde Centroamérica a la región Amazónica, hasta el sur de Brasil y Bolivia, mayormente hasta los 1 500 msnm (Laura, 2017).

En cuanto a su productividad Revilla (2015), indica que a los 6 años de plantación, un árbol de bolaina puede alcanzar volúmenes comerciales de entre 0,58 m³ y 0,35 m³ Soudre et al. (2007) señalan que, en Ucayali, la bolaina blanca de 6 años puede alcanzar un volumen comercial por árbol alrededor de 0,33 m³. Becerra (2016), encontró que el volumen comercial promedio a los 6 años en Tingo María fue de 0.42 m³.

Laura (2018), realizó un estudio en las plantaciones comerciales de bolaina blanca (Guazuma crinita), pertenecientes a la empresa Reforestadora Amazónica S.A. en la provincia de Puerto Inca (Huánuco), usando variables dasométricas las cuales se trabajaron con la fórmula de Guerra (2008), encontrando un volumen comercial promedio con corteza de 0,159 m³ a los 5 años. Lo mismo se realizó para las variables recogidas por Manturano (2007) en Pucallpa, determinando que el volumen comercial promedio con corteza fue de 2.61 m³ a la edad de 5,3 años.

² Una variante del modelo permite precios variables.

2.1.EDAD DE COSECHA (TURNO)

Wightman et al. (2006), indican que en las zonas aluviales (a lo largo de los ríos) y con un mantenimiento muy diligente, la bolaina puede llegar a turnos técnicos de rotación de 6 años. Sin embargo, con un mantenimiento menos intensivo, el turno de rotación estaría alrededor de los 10 años. Guerra et al. (2008) señalan que la bolaina es una especie forestal nativa de crecimiento rápido, que es cosechada desde los 8 años.

Putzel et al. (2013), determinaron que en zonas aluviales, luego de la explotación agropecuaria, la bolaina crece rápidamente, de manera que se puede aprovechar para la manufactura de postes, después de 2 años; y como madera aserrada si el diámetro es el adecuado (15-20 cm de DAP), señalando como turno técnico recomendado para los cortes después de 11-12 años. La Empresa Forestal Guadalupe (2016), planea usar un turno de 13-15 años.

2.2.USOS

Leguía et al. (2010) señalan que la madera de bolaina tiene diversos usos de acuerdo a su edad, excepto estructurales pues no es de alta densidad.

OIMT et al. (1996), señala que la madera es utilizada en embalajes, molduras, puertas sólidas, cajonería rústica y fina (exportación agroindustrial), muebles, madera aserrada, juguetería, construcción de viviendas rurales, carpintería en general, laminado, paletas de chupete, palos de fósforo, fabricación de mondadientes, palitos de fósforo y aptitud en pulpa para papel.

2.3.COMERCIALIZACIÓN Y PRECIO

Revilla (2015) señala que en la Amazonía peruana la venta de las trozas, localmente llamado “tucó” (tronco de 2,50 m de largo), se realiza a precios de entre 1-6 PEN/troza.

Putzel et al, (2013) indican que en las regiones de Ucayali y Huánuco, los agricultores suelen vender trozas de bolaina blanca con 2.5 m de altura y un aproximado de 20 cm de diámetro a un valor de 3 PEN/troza. En la ciudad de Tingo María región Huánuco el precio de venta por troza también tiene un valor de 3 PEN/troza (Becerra, 2016).

Becerra (2016) indica que 21,28 m³ de volumen comercial con corteza equivalen a 1785 trozas de bolaina blanca que términos prácticos significa una relación de 0.0119 m³/troza.

3. ANTECEDENTES DE ESTIMACIÓN DE TREO DE DIFERENTES ESPECIES

Bonilla (2014), estudió la especie forestal “romerillo blanco” (*Retrophyllum rospigliosii*) en el bosque de la reserva Numbala (provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador); para lo cual utilizó 3 funciones de crecimientos del volumen comercial con corteza, Polinomio de segundo grado, Schumacher y Chapman-Richards para obtener los valores que determinan el TREO, utilizando el método Fisher-Hotelling. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: TREO del romerillo blanco según tasa de descuento en Ecuador

Forma funcional	Tasa de descuento (%)			
	0.33	0.53	0.75	1
Polinomio de segundo grado	303 años	193 años	134 años	
Schumacher	304 años	193 años	134 años	101 años
Chapman-Richard	303 años	193 años	134 años	

Fuente: Elaborado con base en Bonilla 2014.

El autor consideró la forma funcional Schumacher como la más conveniente por presentar apropiada significancia estadística, concluyendo que la extracción de madera usando el método Fisher-Hotelling con una tasa de descuento de 1%, era de 101 años.

Valdovinos et al. (2006) utilizaron en México las mismas 3 funciones para las especies forestales *Pinuspseudostrobus* y *Pinusduranguensis*: Polinomio de segundo grado, Schumacher y Chapman-Richard, con el objetivo de determinar óptimos económicos forestales con una tasa de descuento de 8%, según se muestra en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2: TREO del *Pinuspseudostrobus* según función de crecimiento en México

Función	TREO (años)
Polinomio de segundo grado	24,6
Schumacher	27
Chapman-Richard	28

Fuente: Elaborado con base en Valdovinos et al. 2006.

Tabla 3: TREO del *Pinusduranguensis* según función de crecimiento en México

Función	TREO (años)
Polinomio de segundo grado	48,7
Schumacher	42,5
Chapman-Richard	55

Fuente: Elaborado con base en Valdovinos et al. 2006.

Aunque el estudio no indica cuál de estas tres funciones de crecimiento se ajustó mejor el autor concluyó que los turnos económicos resultaron bajos, pero estos no llegan a ser muy cortos o contraproducentes social y ambientalmente.

Fernández et al. (2007) determinaron el TREO con una tasa del 12% de las especies *Tectona grandis* (Teca), *Nectandra kunthiana* (Moena), *Swietenia macrophylla* (Caoba) y *Schizolobium parahyba* (Pino chuncho) en la provincia de Satipo, Perú. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 4: TREO de las especies *Tectona grandis*, *Nectandra kunthiana*, *Swietenia macrophylla* y *Schizolobium parahyba* en Satipo

	TREO
<i>Tectona grandis</i>	30
<i>Nectandra kunthiana</i>	14
<i>Swietenia macrophylla</i>	46
<i>Schizolobium parahyba</i>	17

Fuente: Elaborado con base en Fernández et al. 2007.

Para el desarrollo de los turnos encontrados en este estudio fue necesario contrastar modelos de crecimiento exponencial y sigmoïdal, siendo este ultimo el seleccionado por poseer un R-cuadrado mas alto.

Cárdenas (1971), estudió la especie forestal *Eucalyptus globulis Labill* en el valle del Mantaro en la sierra central del Perú. Los resultados obtenidos con un 10% de tasa de descuento se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5: TREO del *Eucalyptus globulis Labill* según rodal en Huancayo

Rodales	Rodal N°2	Rodal N°13	Rodal N°17
TREO	14 años	20 años	22 años

Fuente: Elaborado con base en Cárdenas 1971.

Restrepo et al. (2010), realizó un estudio usando el método de Fisher-Hotelling en la región del oriente Antioquia (Colombia), de donde se tomaron datos suministrados por la reforestadora Doña María para analizar la relación entre el turno y la tasa de descuento. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6: TREO según la tasa de descuento para el *Eucalyptus Saligna* en Colombia

Tasa de descuento (%)	TREO (años)
1	22
2	16
3	13
4	11
6	9
8	8
10	7
13	6
19	5
34	4

Fuente: Elaborado con base en Restrepo et al. 2010.

Las investigaciones mencionadas, aportan y fortalecen la presente investigación, considerándose como antecedentes de solidas aplicaciones prácticas, que indican que estas 3 funciones matemáticas pueden ser usadas para predecir funciones de crecimiento tanto para árboles de rápido y lento crecimiento, así como también para determinar profesionalmente TREO, por lo que puede hacerse extensiva su aplicación hacia la bolaina blanca.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. HIPÓTESIS

1.1.HIPÓTESIS GENERAL

- El TREO de la bolaina blanca ubicada en Pilcopata es diferente al turno de rotación empírico que la empresa Forestal Guadalupe S.A.C planea utilizar para esta especie.

1.2.HIPÓTESIS ESPECIFICA

- Los volúmenes comerciales con corteza estimados en la plantación forestal de bolaina blanca en Pilcopata serán similares a otras plantaciones de la misma especie a nivel nacional.
- La forma funcional Schumacher se ajustará mejor al crecimiento del volumen comercial con corteza de la bolaina en Pilcopata.

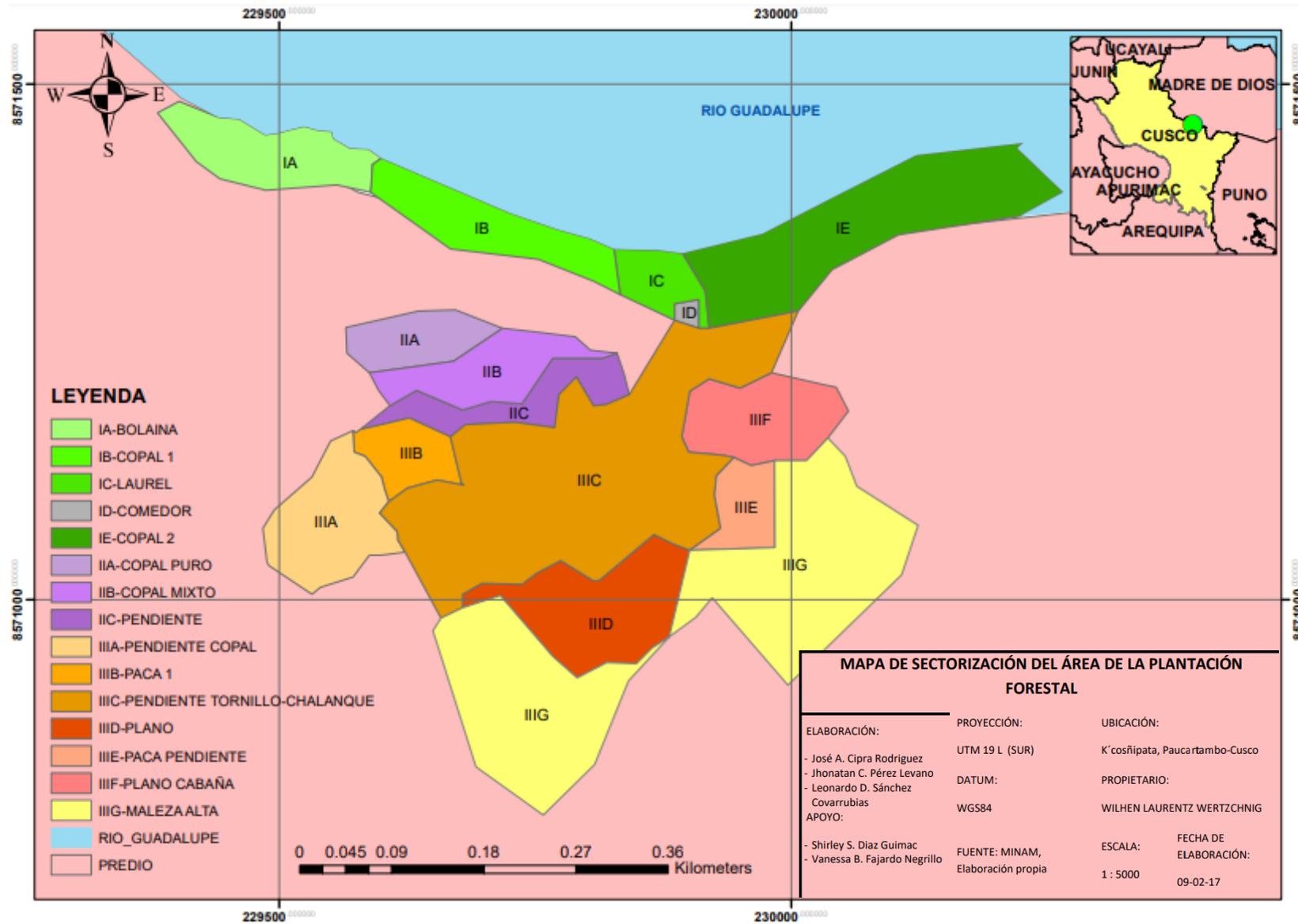
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. UBICACIÓN Y DATOS GENERALES

La plantación forestal de bolaina blanca estudiada es propiedad de la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C ubicada en el valle de Pilcopata, distrito de Kcosñipata, provincia de Paucartambo (Ver Figura 2).

Geográficamente se encuentra a 12° 54' 39'' latitud y 71° 29' 34'' longitud, entre los 600 – 700 msnm.

Figura 4: Mapa de localización de la plantación forestal de bolaina blanca en Pilcopata



Elaboración: Tomado de Empresa Forestal Guadalupe S.A.C 2017.

2.2. INFORMACIÓN DE LA PLANTACIÓN DE BOLAINA BLANCA

En el año 2008 la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C inició la reforestación de su fundo utilizando la especie introducida “Cedro rosado de la India” (*Acrocarúnaus fraxinifolius*), la cual necesita de suelos profundos de fácil drenaje y acidez neutra a moderada, suelos que no posee la zona reforestada por lo que la plantación fracasó luego del tercer año (Empresa Forestal Guadalupe S.A.C, 2011).

Posteriormente se empezó a trabajar con especies nativas como la Hualaja (*Zanthoxylum juniperinum*), Laurel (*Nectandra cateniformis*), Aguano (*Cedrelinga cateniformis*), Copal (*Protium sp*) y Bolaina (*Guazuma crinita*), especie que fue seleccionada para el estudio por las razones antes mencionadas (Empresa Forestal Guadalupe S.A.C, 2011).

Actualmente, el fundo cuenta con 40 hectáreas certificadas por SERFOR, de las cuales una hectárea fue instalada con la especie bolaina blanca. Esta plantación está ubicada a la orilla del río como se indica en la Figura 2.

Dentro de las actividades previas a la instalación se realizó la instalación de viveros para la producción de plántones los cuales fueron instalados en la ciudad de Pilcopata y dentro del fundo.

Los plántones fueron colocados a una separación de 3 x 3 metros.

Referente al mantenimiento, el primer mantenimiento profundo, fue referente a la limpieza alrededor de cada planta, seguido de la evaluación del crecimiento, de la mortandad, la poda de plantas y aplicación de herbicidas entre las líneas de árboles.

2.3. CLIMA

El clima en la localidad de Pilcopata tiene dos estaciones muy marcadas una con abundantes lluvias en el periodo entre diciembre y abril y otra con lluvias escasas en el periodo de mayo a noviembre, una temperatura mínima promedio de 15 °C y una máxima de 32 ° (Cedar Lake Ventures).

2.4. SUELO

La zona de la plantación presenta suelo de textura franco arenosa, cubierto con hojarasca, sin erosión y de pendiente llana (0-15%) (Empresa Forestal Guadalupe S.A.C, 2017).

La Tabla 7 muestra las diferencias identificadas entre el suelo superficial y el profundo, a pesar de contar ambos con un solo estrato y un mismo pH (Empresa Forestal Guadalupe S.A.C, 2017).

Tabla 7: Características del suelo de la plantación forestal de bolaina blanca en Pilcopata

	Superficial	Profundo
Erosión	sin erosión	
Pendiente	suelos con pendientes de 0-15 grados	
Cantidad de estratos	1	1
pH	6	6
Materia orgánica	Mediana cantidad	Poca cantidad
Textura	Franco Arenoso	Arenoso

Elaboración: Adaptado de Empresa Forestal Guadalupe S.A.C 2017.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Por contener información de origen biológico y económico, la presente investigación es de tipo explicativa-no experimental por recabar información biológica para determinar funciones de crecimiento y analítica-longitudinal puesto que trata de incorporar variables económicas en función del tiempo y variables biológicas relativas a la plantación.

Desde una perspectiva económica las plantaciones forestales constituyen una forma de acumulación de capital físico natural para el caso de la madera. Por lo que en este estudio se calcularán los volúmenes comerciales de cada árbol inventariado en su respectivo periodo, para luego evaluar la dinámica de acumulación de la biomasa usando formas funcionales, es decir: Polinomio de segundo grado, Schumacher y Chapman-Richard.

Posteriormente, se buscará determinar el TREO mediante, el modelo Fisher-Hotelling.

4. FUENTE DE INFORMACIÓN

La información forestal y económica recopilada referente a la bolaina blanca la brindo la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C.

Se requirió coordinar salidas al campo para actualizar y corroborar los datos brindados siendo necesario la inspección de la plantación; donde se procedió a la identificación de la plantación de bolaina blanca y los arboles inventariados por la empresa para realizar su

respectiva actualización de las edades (t años), diámetro a la altura del pecho (cm) y la altura comercial (HC en m).

Las tasas de descuento corresponden a la tasa de descuento ambiental, social y privada, de las cuales las dos primeras fueron obtenidas del MEF (2018) y la última de SBS (2018).

5. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

Los datos levantados y recopilados fueron procesados en el *software Excel 2010*, así como la información del inventario forestal, fue ordenada y revisada, luego se procedió a clasificarla por cada árbol, con respecto a sus respectivas alturas comerciales (HC) y diámetros a la altura del pecho (DAP) para cada año.

Una vez revisada, acondicionada y ordenada la información, se procedió a su tratamiento.

Los datos recopilados se adjuntan en el Anexo 1.

6. TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES

Con el objetivo de determinar el TREO y responder a las hipótesis del estudio, es necesario sistematizar las respectivas variables, mediante los siguientes cálculos y tratamiento:

6.1. CALCULO DE LOS VOLÚMENES COMERCIALES

El cálculo del volumen comercial con corteza se llevó a cabo con la fórmula señalada por Guerra et al. (2008) quienes realizaron un estudio para estimar el volumen comercial con corteza de un árbol en pie de la bolaina blanca relacionándola con el DAP y la HC en Ucayali, Perú. El estudio concluyó que la ecuación logaritmo del modelo Schumacher presentó el mejor ajuste estadístico. Dada la ausencia de más información, este resultado puede ser utilizado como referencial en el presente estudio.

$$\ln(V) = -0.49 + 1.8 \ln(\text{DAP}) + 0.839 \ln(\text{HC}) \quad (8)$$

Dónde:

V: volumen comercial con corteza (m³)

DAP: diámetro a la altura del pecho (m)

HC: altura comercial (m)

Este cálculo permite encontrar los volúmenes comerciales mediante las variables altura comercial (HC en metros) y diámetro a la altura del pecho (DAP en metros).

Con estos resultados se responderá a la primera hipótesis específica.

6.2. CALCULO DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE CRECIMIENTO FORESTAL

Las formas funcionales de crecimiento forestal explican como la bio-masa forestal de madera se acumula en el tiempo. Estas dependen de las variables biológicas (edad del árbol y el volumen comercial con corteza).

Para su determinación fue necesario ordenar los datos según requiere el programa econométrico Eviews 9, con el que se empleará el método *Panel Least Squares* para los modelos matemáticos siguientes:

Polinomio de segundo grado: también conocida como función cuadrática, es una forma funcional con la siguiente forma:

$$V(t) = a + bt + ct^2 \quad (9)$$

Siendo:

V: volumen comercial con corteza

t: tiempo

a: Constante ($a > 0$)

b: Parámetro ($b > 0$)

c: Parámetro ($b < 0$)

Donde el parámetro “b” explica el crecimiento marginal constante del volumen comercial con corteza y el parámetro “c” el crecimiento marginal variable del volumen comercial con corteza.

Schumacher: esta forma funcional ha sido ampliamente utilizado desde que fue presentado en (Schumacher, 1939), considerado como una nueva curva de crecimiento biológico, expresión que tiene la siguiente forma:

$$V(t) = \beta_0 e^{-\beta_1 \frac{1}{t}} \quad (10)$$

Siendo:

V: volumen comercial con corteza

t: tiempo

β_0 : Constante ($\beta_0 > 0$)

β_1 : Parámetro ($\beta_1 > 0$)

Donde “ β_0 ” es el mayor valor que la función podría tomar y “ β_1 ” explica su acumulación.

Chapman-Richard: esta forma funcional viene siendo usado para curvas de crecimiento como los temas forestales (Richards, 1959), esta expresión tiene la forma:

$$V(t) = \alpha_0 (1 - e^{-\alpha_1 t})^{\alpha_2} \quad (11)$$

Siendo:

V: volumen comercial con corteza

t: tiempo

α_0 : Constante ($\alpha_0 > 0$)

α_1 : Parámetro ($\alpha_1 > 0$)

α_2 : Parámetro ($\alpha_2 > 0$)

Donde “ α_0 ” es el mayor valor que la función podría tomar, “ α_1 ” explica su acumulación y “ α_2 ” es un factor de corrección que modifica el crecimiento.

Para la elección de la mejor forma funcional, se tendrá en consideración los criterios Akaike y Schwarz más bajos, coeficientes asociados a la variable regresora significativos, un R^2 alto y que los parámetros tengan los signos correspondientes.

Con estos resultados se responderá a la segunda hipótesis específica.

6.3. CALCULO DEL ÓPTIMO ECONÓMICO

El cálculo del óptimo económico (TREO) se realizó con los datos biológicos y económicos

Por el lado biológico se consideró las formas funcionales polinomio de segundo grado, Schumacher y Chapman-Richards, por último, se prosigue a optimizar según el modelo Fisher-Hotelling con la función que mejor se ajustó al crecimiento de la bolaina blanca.

Por el lado económico se consideró la tasa de descuento cuya elección es una decisión importante, en la medida que una alta tasa de descuento reduce a cero el valor presente de beneficios y costos que ocurren en muchos años más en el futuro, en otras palabras, se utiliza para expresar el valor monetario de esos flujos en moneda de un periodo determinado (Estrada, 2016).

Para la elección de esta variable se tomó en cuenta las tres diferentes tasas de descuento para el periodo de inicio de la plantación:

a. Tasa ambiental de descuento:

Para proyectos de servicios ambientales de reducción o mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero la Tasa de Descuento es 4% (MEF, 2012).

b. Tasa social de descuento:

La tasa social de descuento representa el costo en que incurre la sociedad cuando el sector público extrae recursos de la economía para financiar sus proyectos. La Tasa Social de Descuento General es equivalente a 10% (MEF, 2012).

c. Tasa privada de descuento

Díaz (s.f) considera que la tasa privada de descuento está en función al costo de oportunidad del dinero o al riesgo inherente del proyecto, asimismo, si una empresa o un individuo va a invertir un cierto capital en un proyecto forestal, tendrá que utilizar la tasa de descuento a la que puede obtener financiación ese agente económico.

Esta última tasa sería la tasa de interés activa promedio del sistema financiero peruano según la Tabla 8 tiene un valor de 10.8%.

Tabla 8: Tasa de Interés activa anual promedio del sistema financiero peruano (2012)

Tasa Anual %	
Corporativos	4
Grandes Empresas	6
Medianas Empresas	9
Pequeñas Empresas	15
Micro Empresas	20
Promedio	10.8

Fuente: Elaboración con base en SBS 2018.

Para el caso de este estudio se utilizará la tasa de 10.8%, esta tasa promedio que ofrece el sector financiero peruano manifiesta el costo del financiamiento que la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C incurrió en el año 2012 al instalar la plantación.

Con las premisas antes mencionadas se pasó a calcular el óptimo económico considerando la expresión (7), la cual se realizó en el programa Excel 2010 con la herramienta “buscar objetivo”, de este modo se puede responder a la hipótesis general.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos para la presente investigación, según los cálculos señalados y descritos en el acápite Tratamiento de las Variables.

1. CALCULO DE LOS VOLÚMENES COMERCIALES CON CORTEZA

La Tabla 9, presenta los Volúmenes Comerciales con corteza históricos de la plantación forestal de bolaina blanca de 5 años de la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C, los resultados fueron calculados mediante la fórmula de Guerra et al. (2008) de acuerdo a las alturas comerciales y diámetros a la altura del pecho de cada árbol.

Tabla 9: Volúmenes promedio por edad de la bolaina blanca en Pilcopata

Edad de los arboles (años)	Volumen comercial promedio con corteza (m ³)
1	0.0016
2	0.0248
3	0.0757
4	0.1365
5	0.3481

Elaboración: Propia

La totalidad de los datos se adjunta en el Anexo 2.

Con este resultado se acepta la primera hipótesis específica, puesto que volúmenes comerciales con corteza de la plantación de bolaina blanca estimados son semejantes a estudios pasados en el Perú, como se muestran a continuación.

Revilla (2015), indica que a los 6 años de instalada la plantación, un árbol de bolaina puede alcanzar volúmenes comerciales de entre 0,58 m³ y 0,35 m³.

Asimismo Soudre et al. (2007) señalan que, en Ucayali, la bolaina blanca de 6 años puede alcanzar un volumen comercial por árbol alrededor de 0,33 m³.

Becerra (2016), encontró que el volumen comercial promedio a los 6 años en Tingo María fue de 0.42 m^3 .

Laura (2018), realizó un estudio en las plantaciones comerciales de bolaina blanca (Guazuma crinita), pertenecientes a la empresa Reforestadora Amazónica S.A en la provincia de Puerto Inca (Huánuco), usando variables dasométricas las cuales se trabajaron con la fórmula de Guerra (2008), encontrando un volumen comercial promedio con corteza de $0,159 \text{ m}^3$ a los 5 años. Lo mismo se realizó para las variables recogidas por Manturano (2007) en Pucallpa, determinando que el volumen comercial promedio con corteza fue de 0.261 m^3 a la edad de 5,3 años.

2. CALCULO DE LAS FORMAS FUNCIONALES DE CRECIMIENTO FORESTAL

Para el cálculo de las formas funcionales de crecimiento forestal se utilizaron las variables volúmenes comerciales con corteza y edades de árboles de la especie en estudio a través del *software* econométrico *Eviews 9*, aplicando el tratamiento *Panel Least Squares*.

El resultado de esta sección concluye que la función Schumacher es la función que mejor explica el crecimiento del volumen comercial con corteza de la bolaina blanca, aceptando la segunda hipótesis específica. Los resultados de cada forma funcional se explican a continuación.

2.1. FUNCIÓN POLINOMIO DE SEGUNDO GRADO

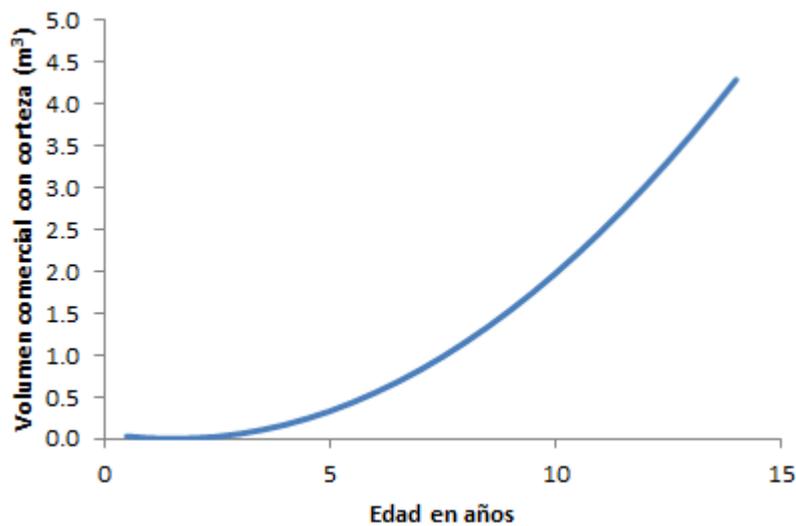
La Tabla 10, muestra los parámetros encontrados con el tratamiento econométrico, aunque estos sean estadísticamente significativos a un nivel de significancia del 5% (p-value menores a 0.05) los valores de los parámetros no presentan los signos especificados en el capítulo materiales y métodos, esto porque el parámetro “c” es mayor a cero, lo cual genera crecimientos cada vez mayores con tendencia al infinito (ver Figura 4), contradiciendo la lógica del crecimiento de los árboles y sobrestimando su crecimiento.

Tabla 10: Estimaciones estadísticas del polinomio de segundo grado para el volumen comercial de bolaina blanca en Pilcopata

Forma funcional	Valores de los parámetros	P-value	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajustado
$V(t) = a - b * t + c * t^2$	a=0.069355	0.0000	0.84	0.84
	b=-0.08533	0.0000		
	c=0.027634	0.0000		

Elaboración: propia

Figura 5: Curva de acumulación de volumen comercial con corteza del polinomio de segundo grado para un árbol en la plantación de bolaina blanca en Pilcopata



Elaboración: propia

2.2. FUNCIÓN SCHUMACHER

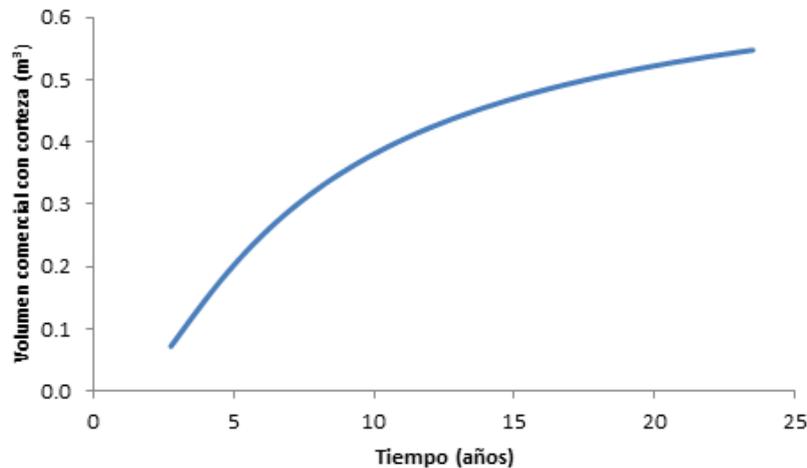
La función Schumacher fue la que mejor explica el crecimiento del volumen comercial con corteza de la bolaina blanca, su elección se basa en la forma sigmoidea que muestra (Figura 5), por presentar parámetros significativos a un nivel de significancia de 5%, además de poseer R-squared y Adjusted R-squared altos (Tabla 11) y ser la única función que logro explicar el crecimiento de la bolaina blanca.

Tabla 11: Estimaciones estadísticas Schumacher para el volumen comercial de bolaina blanca en Pilcopata

Forma funcional	Valores de los parámetros	P-value de los parámetros	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajustado
$V(t) = \beta_0 e^{-\beta_1 \frac{1}{t}}$	$\beta_0=0.71617$ $\beta_1=6.315864$	0.0000 0.0000	0.93	0.93

Elaboración: propia

Figura 6: Curva de acumulación de volumen comercial con corteza de Schumacher para un árbol en la plantación de Pilcopata de bolaina blanca



Elaboración: propia

2.3. CHAPMAN-RICHARD

La función Chapman-Richard presentó problemas en su aplicación.

El primer problema fue corregir la restricción que el parámetro “ α_1 ” presenta ($\alpha_1 > 0$), la solución fue asignar valores iniciales aleatorios mayores a cero a los parámetros debido a que si este parámetro fuera menor a cero significaría operar una raíz par a un número negativo.

Solucionado esto, el modelo aun presenta problemas para su determinación por lo que se prosiguió a realizar un análisis de sensibilidad del parámetro “ α_1 ” con respecto a R-square y Adjusted R-squared para determinar esta dificultad.

Los resultados se presentan en la Tabla 12, estos concluyen que a manera que el parámetro “ α_1 ” tiende a cero el R-square y el Adjusted R-squared de la regresión

aumentan, por consecuencia de esto se asume que el valor de esta variable es cero lo que elimina la variable edad (única variable explicativa) invalidando el modelo.

Tabla 12: Análisis de sensibilidad del parámetro “ α_1 ” para la función Chapman-Richard

Valor de “ α_1 ”	R-square	Adjusted R-squared
10	0.405437	0.404031
5	0.835773	0.410769
1	0.812337	0.811894
0.5	0.835773	0.835385
0.1	0.848680	0.848322
0.05	0.849786	0.849431
0.01	0.850590	0.850237
0.005	0.850686	0.850333
0.001	0.850762	0.850409

Elaboración: propia

De esta sección se concluye que la función Schumacher es la que mejor se ajusta al crecimiento de volumen comercial con corteza de la bolaina blanca y de una manera precisa, como se observa en los siguientes estudios.

Manturano (2007), reportó variables dasométricas para diferentes edades las cuales pueden ser comparadas con la función Schumacher encontrada con la fórmula de Guerra (2008) (Tabla 13). Para ello se necesita la altura comercial de un árbol de bolaina blanca la cual corresponde al 65,94% de su altura total (Revilla, 2015). El mismo tratamiento se dio a las variables estudiadas por Laura (2018), en la provincia de Puerto Inca para una plantación de 5 años (Tabla 14).

Tabla 13: Comparación histórica del volumen comercial con corteza de plantación de bolaina blanca en la ciudad de Satipo con la función Schumacher

Años	DAP (m)	altura total (m)	altura comercial (m)	Volumen comercial con corteza (m ³)	Volumen comercial con corteza proyectada con la función Schumacher (m ³)
1.3	0.095	8.3	5.5	0.037	0.006
2.3	0.132	11.8	7.8	0.090	0.046
3.3	0.168	13.5	8.9	0.155	0.106
4.3	0.188	16.4	10.8	0.223	0.165
5.3	0.200	17.3	11.4	0.261	0.218
6.3	0.200	17.5	11.6	0.263	0.263
7.3	0.207	18.5	12.2	0.294	0.301
8.3	0.242	21.3	14.1	0.438	0.335
10	0.272	24.0	15.9	0.597	0.381

Elaboración: Elaborado con base en Maturano 2007.

Tabla 14: Comparación histórica del volumen comercial con corteza de otra plantación de bolaina blanca en la provincia de Puerto Inca con la función Schumacher

Años	DAP (m)	altura total (m)	altura comercial (m)	Volumen comercial con corteza (m ³)	Volumen comercial con corteza proyectada con la función Schumacher (m ³)
1	0.053	4.5	3.0	0.008	0.001
2	0.087	8.1	5.3	0.031	0.030
3	0.122	13.5	8.9	0.087	0.087
4	0.136	15.0	9.9	0.115	0.148
5	0.151	17.6	11.6	0.159	0.203

Elaboración: Elaborado con base en Laura 2018.

Las Tablas 13 y 14 muestran la comparación entre los volúmenes comerciales con corteza que el modelo Schumacher pronostica, y los volúmenes comerciales con corteza en otras plantaciones de bolaina blanca, se aprecia que hasta el octavo año la función Schumacher logra pronosticar con certeza el crecimiento de la bolaina blanca, luego de ella tiende a subestimar su crecimiento en comparación a otras plantaciones. Esto puede deberse a la escasa información de la variable tiempo utilizada en la regresión.

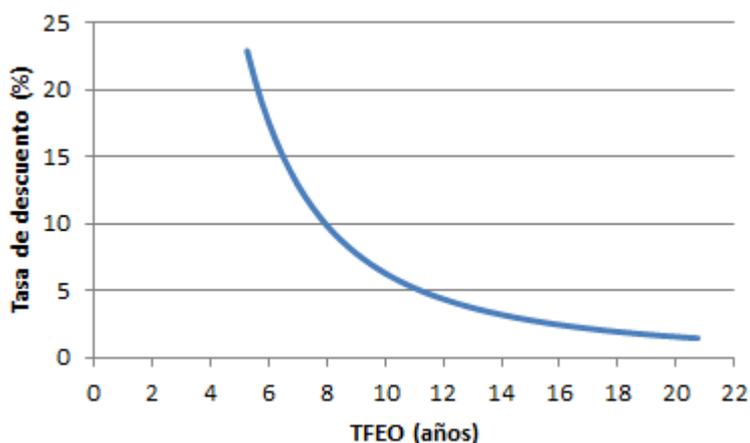
3. CALCULO DEL OPTIMO ECONÓMICO (TREO)

El TREO se calculó usando la forma funcional Schumacher, el *software Excel 2010*, y la tasa de descuento privada considerada para esta ocasión como la tasa promedio del sistema financiero peruano. Con estas premisas, se procedió a determinar el TREO, obteniendo los siguientes resultados.

En el anexo 5 se aprecia los TREO determinados según las tasas de descuento ambiental, social y privada para el caso de la bolaina blanca en Pilcopata son de 12.57, 7.95, y 7.63 años respectivamente.

Esta variación de la tasa de descuento y el TREO según la función Schumacher se aprecia en la Figura 6 donde están inversamente relacionados, mientras se aumenta la tasa de descuento para una plantación forestal, TREO será cada vez menor, acorde a la teoría.

Figura 7: Curva del TREO según la tasa de descuento de la bolaina blanca en Pilcopata



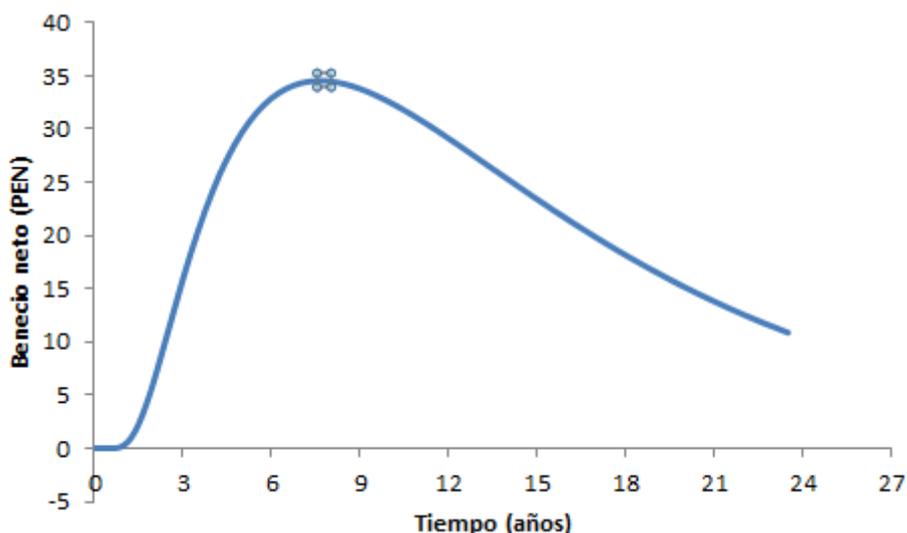
Fuente: Elaboración propia

Para el caso particular de este estudio se utilizará la tasa de descuento privada del 10.8% como se explicó con anterioridad, lo cual determina un TREO de 7.63 años. Con este resultado se acepta la hipótesis general.

Para el análisis de este resultado se tomará como ejemplo el comportamiento de la venta de un árbol en forma de trozas de acuerdo con la conversión de volumen comercial con corteza a número de trozas citada por Becerra (2016) y con un precio por troza de S/3 citada por Putzel et al. (2013) y Becerra (2016) y la tasa de descuento elegida (10.8%).

Este análisis se aprecia gráficamente en la figura 7 donde el máximo beneficio (TREO) ocurre aproximadamente a los 8 años.

Figura 8: Curva de beneficio neto según el tiempo para un árbol de bolaina blanca en Pilcopata



Fuente: Elaboración propia

Estos resultados satisfacen en gran medida los supuestos del modelo Fisher-Hotelling. Por un lado, si bien el costo de tala y transporte de la madera es significativo, algunas empresas trasladan este costo al comprador de la producción forestal. Este ha sido el caso de la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C. Otros costos operativos suelen ser muy pequeños en relación a los ingresos de la empresa y la inversión inicial ya que una plantación de bolaina blanca no requiere de un cuidado significativo (Putzel et al, 2013).

Otro supuesto es que el precio real futuro se mantiene constante. Para este análisis se considerará el precio de las tablillas de la bolaina blanca, obtenidos de la cartilla de precios de productos y servicios forestales debido a que esta especie no cuenta con data histórica de los precios por metro cubico de madera rolliza (volumen comercial con corteza) por el emergente mercado que posee.

Es así como el CNF (2013) indica que para el año 2013 el precio por tablilla de 3/4" x 4" x 8' de bolaina blanca fue de S/2.8, así mismo el precio en el año 2016 para el mismo producto fue de S/ 3 (CNF, 2016). Este aumento del precio no es significativo, debido a que al ser ajustado a la inflación la variación del precio real sería nula (Tabla

15). Si se incluyera el criterio de precios variables en el análisis los TREO incrementarían de acuerdo a la tasa de incremento del precio.

Tabla 15: Precios de la tablilla de la bolaina blanca (2013-2016)

Año	Inflación promedio anual (%)	Precio real del 2013 por tablilla de la bolaina	Precio nominal por tablilla de la bolaina blanca
2013	2.8	2.80	2.80
2014	3.2	2.88	-
2015	3.59	2.97	-
2016	3.6	3.00	3.00

Fuente: Elaborado con base en BCRP 2018.

A pesar que no todos los supuestos del modelo se ajustan de forma perfecta, el resultado va en línea con los turnos técnicos³ encontrados en la literatura, los cuales van desde los 6 a 12 años.

Por ejemplo, Wightman et al. (2006), indican un turno de 6 años con un mantenimiento muy diligente y otro de 10 años con un mantenimiento menos intensivo. Guerra et al. (2008), señalan un turno técnico mayor a los 8 años, lo cual podría ser un TREO si se considera una tasa de descuento de 10%, como la tasa social de descuento en el Perú.

Putzel et al. (2013), determinaron como turno técnico recomendado 11-12 años. Este resultado sería equivalente a una TREO si se usa una tasa de descuento similar a 5%, similar a la tasa ambiental de descuento lo cual va en línea con el resultado de esta tesis.

De esta forma, el TREO de este estudio encaja con turnos similares obtenidos en la literatura. Presumiblemente, esto debe a un proceso continuo de aprendizaje en el manejo forestal en donde los dueños de plantaciones de bolaina blanca ya incorporen *tácitamente* criterios económicos basados en su experiencia en el mercado, y no necesariamente en base a modelos económicos formales.

Finalmente, el turno de rotación empírico de la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C es 13-15 años (Empresa Forestal Guadalupe, 2016) mientras que el TREO obtenido es 8 años aproximadamente. Esto sugiere que la empresa podría reducir su turno de rotación para maximizar beneficios netos, asumiendo que otros factores (vinculados al modelo utilizado) permanecen constantes.

³ A la fecha no se encuentran estudios de TREO de la bolaina blanca (Campbell Global, 2017).

V. CONCLUSIONES

- 1) Los resultados de este estudio sugieren que se acepta la hipótesis planteada, es decir, el TREO resulto diferente al turno de rotación aplicado por la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C. acorde a la tasa de descuento del 10.8% para la plantación de bolaina blanca.
- 2) Los volúmenes comerciales con corteza estimados para la plantación de bolaina blanca propiedad de la Empresa Forestal Guadalupe S.A.C fueron similares a otras plantaciones de la misma especie en el Perú reportadas en la bibliografía revisada, se concluye entonces que el trabajo realizado se puede extrapolar a este sector.
- 3) La función Schumacher fue la función que mejor explicó el comportamiento del crecimiento del volumen comercial con corteza de la bolina blanca, esta permite conocer el crecimiento de la bolaina blanca de manera acertada al corto plazo, pero es de sospechar que subestimaría el crecimiento de la especie al largo plazo, esto debido a no presentar mayores datos de edad. A pesar de ello, esta función puede ser utilizada como herramienta en la toma de decisiones por ser una especie de rápido crecimiento y de turnos cortos.

VI. RECOMENDACIONES

- Aumentar la cantidad de información referente al crecimiento o desagregarla, con lo que se lograría mejorar la función de crecimiento, lo que permitiría conseguir resultados más consistentes.
- Dado que la bolaina crece en zonas similares, los resultados de este estudio pueden ser extrapolados siempre y cuando la tasa de descuento sea similar a la utilizada en el resultado de este estudio.
- Considerando que el TREO de cada empresa forestal depende de una tasa de descuento particular, se sugiere optar por políticas forestales diferenciadas las cuales deban incorporar este indicador.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amacher, G; Ollikainen, M; Koskela, E. 2009. Economics of Forest Resources. Massachusetts Institute of Technology. Reino Unido.
- BCRP (Banco Central de Reserva del Perú). 2018. Inflación. Recuperado el 7 de Agosto de 2018, de <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales/inflacion>
- Becerra, A. 2016. Estudio técnico-económico de un sistema agroforestal mejorado de cacao (*Theobroma cacao*) y bolaina (*Guazuma critina*) en Tingo María. Tesis. Perú, UNALM.
- Bonilla, J. 2014. Modelo bio-económico forestal: tasa de descuento y rotación forestal en el caso del romerillo blanco en Ecuador. Tesis. Perú, UNALM.
- Cancino, J. 2006. Dendrometría básica. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales-Departamento de bosques y medioambiente. Chile.
- Campbell Global. 2017. Greenfield Bolaina Plantation Project in Peru. Prefeasibility Study. 8 feb. 2017. Lima.
- Cárdenas, H. 1971. Determinación del turno financiero de rodales coetáneos en *Eucalyptus glubulus* Labill, en la hacienda el Porvenir (Valle del Mantaro). Tesis. Perú, UNALM.
- Climate Investment Funds. 2013. Plan de inversión forestal Perú. Lima.
- CNF (Cámara Nacional Forestal). 2013. Cartilla de precios: productos y servicios forestales. Cámara Nacional Forestal, Perú.
- _____. 2016. Cartilla de precios: productos y servicios forestales. Cámara Nacional Forestal, Perú.
- Cedar Lake Ventures, Inc. Weather Spark. Clima promedio en Pilcopata. Recuperado el 7 de junio de 2018, de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/25916/Clima-promedio-en-Pillcopata-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Clouds>

- Contreras, O. 2011. Gestión Sostenible de Recursos Forestales desde el punto de vista del Control Óptimo. Tesis. Venezuela. Universidad central de Venezuela.
- Diaz, L. 1997. Turno forestal económicamente óptimo: Una revisión. Economía Agraria, n.º 180 (Mayo-Agosto 1997). Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias. España. Universidad Politécnica de Madrid.
- _____. s.f. Elección de la tasa de descuento en la gestión forestal, Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias. España. Universidad Politécnica de Madrid.
- Empresa Forestal Guadalupe S.A.C. 2011. Informe de consultoría desarrollado para la Empresa Forestal Guadalupe SAC. Perú.
- _____. 2016. Reforestacion en Kcosñipata-Manu-Cusco. Perú.
- _____. 2017. Informes de actividades en la plantación. Perú.
- Estrada, Z. 2016. Alternativas económicas para la Conservación de los bosques húmedos del Perú con énfasis en la región Ucayali, Tesis. México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. *vol.2 - predicción del rendimiento*. Italia.
- Fernández, A; Zevallos, P; Chuquicaja, C; Pérez, G. (2007). *Determinación preliminar del turno silvicultural y financiero de cuatro especies reforestadas en la provincia de Satipo*. Perú.
- Fontes, L; Tome, M; Thompson, F; Yomans, A; Sales Luis, J; Savill, P. 2003. Modelling dominant height growth of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in Portugal. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 76.
- Guariguata, MR; Arce, J; Ammour, T; Capella, JL. 2017. Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. Documento Ocasional 169. Bogor, Indonesia: CIFOR.

- Guerra, W; Soudre, M; Chota, M. 2008. Tabla de volumen comercial de bolaina blanca (Guazuma crinita Mart.) de las plantaciones experimentales de Alexander Von Humboldt, Ucayali, Perú. Folia Amazónica
- IIAP (Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana). 2009. Evaluación económica de parcelas de regeneración natural y plantaciones de bolaina blanca, Guazuma crinita, en el departamento de Ucayali. Iquitos: Avances Económicos N° 11.
- Laura, A. 2018. Evaluación dasométrica de plantaciones de Bolaina Blanca (Guazuma crinita) en la provincia de Puerto Inca, Huánuco. Tesis. Perú, UNALM.
- Leguía, E; Soudre, M; Rognitz, M. 2010. Predicción y evaluación del impacto del cambio climático sobre los sistemas agroforestales en la amazonía peruana y andina ecuatoriana. Perú.
- Manturano, GD. 2007. Contribución al conocimiento silvicultural de las especies forestales establecidas con fines de producción maderera en la provincia de Satipo. Tesis. Perú, UNALM.
- MEF (MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS). 2012. Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública Resolución Directoral N° 003-2011-EF/68.01 Anexo SNIP 10. Anexo modificado por la Resolución Directoral N° 003-2012-EF/63.01, publicada en el Diario Oficial “El Peruano” el 23 de mayo de 2012. Perú.
- Muñoz, F. 2014. Presente y futuro del sector forestal peruano: el caso de las concesiones y las plantaciones forestales (en línea). Lima, PE, DGFFS. 32 p. Consultado 5 jun. 2018. Disponible en <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Seminarios/2014/forestal/forestal2014-munoz.pdf>
- OIMT (Organización Internacional de las Maderas Tropicales); CNF (Camara Nacional Forestal); INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). 1996, Utilización Industrial de Nuevas Especies Forestales en el Perú. Cámara Nacional Forestal (CNF). Perú.
- Putzel, L; Cronkleton, P; Larson, A; Pinedo-Vásquez; M. Salazar; O. Sears, R. 2013. Producción y comercialización de bolaina (Guazuma crinita), una especie amazónica de rápido crecimiento. Perú: Boletín Brief no. 25. Perú.

- Richards. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of experimental Botany* 10. Reino Unido
- Restrepo, C; Alviar, M. 2010. Tasa de descuento y rotación forestal: el caso del *Eucalyptus Saligna*. *Lecturas de Economía*. Colombia.
- Revilla, J. 2015. Determinar la viabilidad económica de plantaciones demostrativas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) proyectada al año seis en diferentes condiciones de sitio en la cuenca del Río Aguaytía, Ucayali – Perú. Tesis. Perú, UNALM.
- Reynel, C; Pennington, RT; Pennington, TD; Flores, C; Daza, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos. Lima, PE, ICRAF.
- Romero, C. 1997. *Economía de los recursos ambientales y naturales*, Alianza Economía, Madrid. España.
- SGARH (Secretaría General de Agricultura y Recursos Hidráulicos). (1985). Normas mínimas de calidad para la formulación de estudios dasonómicos en bosques. México.
- SBS (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP). 2018. Tasa de interés activa. Recuperado el 7 de Agosto de 2018, de Superintendencia de Banca, Seguros y AFP:
<http://www.sbs.gob.pe/app/pp/EstadisticasSAEEPPortal/Paginas/TasaInteresActivasMenu.aspx>
- Schumacher, F. 1939. A new growth curve and its application to timber-yield studies. *Journal of Forestry* 37. Estados Unidos
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). 2016. Perú Forestal en Números 2015.
- _____. 2017. Nuestros bosques en números.
- Soudre, M; Saldaña, W.; Fasabi, L.; Alegre, J. 2007. Transferencia tecnológica en plantaciones y manejo de bosques aluviales en Ucayali. Iquitos, PE, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Memoria Institucional 2016.
- Teitenberg, T; Lewis, L. 2009, “Environmental and Natural Resources Economics”, Ed. Pearson, 2da edición. Wesley, Reading, MA, USA.

- UNIQUE forestry and land use GmbH. 2015. Cadenas de valor en el sector forestal del Perú Informe diagnóstico y desarrollo estratégico. Informe de consultoría elaborado por UNIQUE por encargo del Instituto Global de Crecimiento Verde / Global Green Growth Institute (GGGI) y el Instituto Alemán de Desarrollo / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE) Freiburg. Junio de 2015.
- Valdovinos, V. R; Rentería, I; Valdivia, R; Romero, M. 2006. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE ÓPTIMOS FORESTALES. Universidad Autónoma de Chapingo. México
- Van Laar, A; Akça, A. 2007. *Forest Mensuration*. Países bajos.
- Wightman, K; Cornelius, J; Ugarte-Guerra, J. (2006). ¡Plantemos madera!: Manual sobre el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones maderables para productores de la Amazonía peruana. Perú: World Agroforestry Centre.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

VARIABLES DASOMÉTRICAS DE LA PLANTACIÓN DE BOLAINA EN PILCOPATA (2013-2017)

A	2013			2014			2015			2016			2017		
	C	HC	DAP	C	H	DAP	C	HC	DAP	C	HC	DAP	C	HC	DAP
1	7.56	1.63	0.02	14.90	3.30	0.05	24.80	5.00	0.08	35.00	7.50	0.11	70.00	8.50	0.22
2	7.65	1.68	0.02	17.80	3.40	0.06	23.50	5.20	0.07	31.10	8.00	0.10	62.00	9.00	0.20
3	7.52	1.68	0.02	15.70	3.60	0.05	25.40	5.20	0.08	32.00	8.00	0.10	60.00	9.50	0.19
4	7.76	1.71	0.02	18.80	3.60	0.06	24.40	5.30	0.08	31.10	8.50	0.10	65.50	10.00	0.21
5	7.52	1.72	0.02	17.50	3.70	0.06	24.80	5.40	0.08	29.00	8.50	0.09	65.50	10.50	0.21
6	7.65	1.73	0.02	18.80	3.70	0.06	26.80	5.40	0.09	32.00	8.00	0.10	73.00	10.50	0.23
7	7.65	1.73	0.02	19.60	3.70	0.06	25.10	5.60	0.08	31.00	8.00	0.10	72.00	11.00	0.23
8	7.65	1.76	0.02	17.40	4.00	0.06	27.90	6.40	0.09	33.93	8.50	0.11	79.00	11.00	0.25
9	7.71	1.77	0.02	19.50	4.00	0.06	27.30	6.60	0.09	32.99	8.50	0.11	46.00	11.00	0.15
10	7.71	1.77	0.02	17.80	4.00	0.06	27.90	6.60	0.09	37.07	8.50	0.12	82.00	11.00	0.26
11	7.76	1.78	0.02	19.30	4.00	0.06	26.80	6.60	0.09	33.93	9.00	0.11	48.00	11.50	0.15
12	7.76	1.80	0.02	17.40	4.10	0.06	28.20	7.10	0.09	39.00	9.50	0.12	94.00	11.50	0.30
13	7.76	1.83	0.02	19.30	4.10	0.06	33.30	7.20	0.11	40.00	9.50	0.13	72.00	11.50	0.23
14	7.93	1.87	0.03	19.60	4.50	0.06	34.60	7.20	0.11	41.00	10.00	0.13	66.00	11.50	0.21
15	7.82	1.87	0.02	19.30	4.60	0.06	25.40	7.20	0.08	31.10	10.00	0.10	75.00	11.50	0.24
16	7.77	1.87	0.02	20.20	4.60	0.06	25.40	7.30	0.08	31.10	10.00	0.10	56.00	11.50	0.18
17	7.88	1.93	0.03	19.30	4.70	0.06	34.00	7.40	0.11	38.96	10.00	0.12	70.50	11.50	0.22
18	7.93	1.99	0.03	21.30	4.80	0.07	35.70	7.40	0.11	43.98	10.00	0.14	55.00	11.50	0.18
19	8.00	2.00	0.03	20.40	4.90	0.06	37.10	7.40	0.12	44.00	10.00	0.14	88.00	11.50	0.28
20	7.93	2.00	0.03	21.70	4.90	0.07	37.10	7.40	0.12	45.00	10.00	0.14	70.00	12.00	0.22
21	7.94	2.00	0.03	22.10	4.90	0.07	38.30	7.40	0.12	43.50	10.00	0.14	91.00	12.00	0.29
22	7.92	2.02	0.03	24.30	4.90	0.08	40.10	7.90	0.13	46.50	10.00	0.15	66.00	12.00	0.21
23	7.93	2.02	0.03	25.70	5.00	0.08	38.10	8.10	0.12	44.50	10.00	0.14	72.00	12.00	0.23
24	7.93	2.02	0.03	22.40	5.10	0.07	37.90	8.10	0.12	44.00	10.00	0.14	60.00	12.50	0.19
25	7.98	2.07	0.03	26.10	5.20	0.08	40.10	8.10	0.13	48.50	10.50	0.15	90.00	12.50	0.29
26	7.94	2.07	0.03	25.00	5.60	0.08	40.90	8.10	0.13	46.50	10.50	0.15	92.00	12.50	0.29
27	8.06	2.08	0.03	27.10	5.60	0.09	38.10	8.10	0.12	46.00	10.50	0.15	68.00	12.50	0.22
28	8.06	2.11	0.03	24.30	5.60	0.08	41.00	8.10	0.13	45.50	10.50	0.14	82.00	12.50	0.26
29	8.13	2.16	0.03	29.50	5.70	0.09	40.90	8.10	0.13	50.50	11.00	0.16	60.00	12.50	0.19
30	8.05	2.16	0.03	25.00	5.80	0.08	42.20	8.10	0.13	48.50	11.00	0.15	67.00	12.50	0.21
31	8.12	2.22	0.03	26.10	6.00	0.08	40.40	8.20	0.13	49.50	11.00	0.16	75.00	12.50	0.24
32	8.14	2.22	0.03	29.10	6.00	0.09	41.20	8.40	0.13	46.50	11.00	0.15	54.00	13.00	0.17
33	8.12	2.23	0.03	27.10	6.10	0.09	40.40	8.40	0.13	46.50	11.50	0.15	60.00	13.00	0.19
34	8.32	2.24	0.03	28.40	6.30	0.09	42.40	8.40	0.13	48.50	10.50	0.15	61.00	13.00	0.19
35	8.17	2.24	0.03	29.50	6.30	0.09	41.60	8.60	0.13	49.50	11.50	0.16	90.00	13.00	0.29
36	8.17	2.29	0.03	29.50	6.60	0.09	39.50	8.60	0.13	50.00	12.00	0.16	69.50	13.50	0.22
37	8.39	2.37	0.03	31.70	6.60	0.10	42.20	8.60	0.13	50.00	12.00	0.16	60.50	13.50	0.19
38	8.38	2.37	0.03	31.70	6.60	0.10	42.30	8.90	0.13	50.50	12.00	0.16	85.50	13.50	0.27
39	8.45	2.37	0.03	29.50	6.60	0.09	42.00	9.00	0.13	48.50	12.00	0.15	65.50	13.50	0.21
40	8.47	2.38	0.03	30.70	6.60	0.10	42.30	9.00	0.13	51.00	12.00	0.16	62.00	13.50	0.20
41	8.43	2.38	0.03	30.30	6.60	0.10	42.20	9.10	0.13	49.50	12.00	0.16	62.50	13.50	0.20
42	8.47	2.38	0.03	30.70	6.60	0.10	42.20	9.10	0.13	51.00	13.00	0.16	87.00	13.50	0.28

Continua

ANEXO 1

VARIABLES DASOMÉTRICAS DE LA PLANTACIÓN DE BOLAINA EN PILCOPATA (2013-2017)

A	2013			2014			2015			2016			2017		
	C	HC	DAP	C	H	DAP	C	HC	DAP	C	HC	DAP	C	HC	DAP
43	8.43	2.40	0.03	30.70	6.70	0.10	42.30	9.20	0.13	51.50	13.00	0.16	83.00	13.50	0.26
44	8.38	2.40	0.03	31.70	6.70	0.10	42.30	9.20	0.13	50.00	13.00	0.16	85.00	14.50	0.27
45	8.62	3.42	0.03	28.52	6.51	0.09	38.25	9.26	0.12	48.48	13.50	0.15	71.91	14.50	0.23
46	8.63	3.18	0.03	26.52	5.36	0.08	40.45	8.90	0.13	49.90	12.50	0.16	79.65	13.86	0.25
47	9.27	3.61	0.03	27.72	5.67	0.09	40.35	7.69	0.13	45.00	11.29	0.14	71.47	12.14	0.23
48	9.56	3.29	0.03	28.52	6.70	0.09	41.25	9.30	0.13	49.77	11.72	0.16	79.74	13.64	0.25
49	8.23	3.12	0.03	23.82	6.64	0.08	39.54	9.40	0.13	45.00	12.07	0.14	78.25	14.01	0.25
50	9.54	2.35	0.03	27.32	6.50	0.09	41.36	9.50	0.13	47.64	11.68	0.15	76.99	13.63	0.25
51	8.69	2.24	0.03	26.62	5.59	0.08	41.42	7.91	0.13	50.14	11.71	0.16	77.58	14.18	0.25
52	8.36	3.06	0.03	26.72	5.22	0.09	41.88	9.33	0.13	48.68	12.47	0.15	74.99	13.66	0.24
53	9.26	2.34	0.03	25.12	5.48	0.08	41.63	9.38	0.13	48.00	13.00	0.15	76.01	12.02	0.24
54	8.15	3.61	0.03	24.02	5.93	0.08	36.13	7.95	0.12	48.18	11.65	0.15	78.73	12.23	0.25
55	9.63	3.13	0.03	24.22	5.93	0.08	36.21	8.21	0.12	47.78	11.71	0.15	75.91	12.53	0.24
56	9.35	2.95	0.03	25.42	5.50	0.08	35.52	9.42	0.11	51.00	12.50	0.16	76.41	13.66	0.24
57	8.52	3.32	0.03	24.32	6.00	0.08	42.27	8.40	0.13	48.00	12.70	0.15	75.92	14.29	0.24
58	9.32	3.01	0.03	25.52	6.54	0.08	38.38	8.78	0.12	47.00	11.95	0.15	77.28	14.57	0.25
59	9.24	2.04	0.03	27.22	5.77	0.09	36.06	7.91	0.11	45.00	11.64	0.14	77.17	13.85	0.25
60	9.08	2.59	0.03	27.52	5.64	0.09	40.56	8.21	0.13	49.00	11.00	0.16	74.88	13.55	0.24
61	8.49	2.39	0.03	25.92	5.79	0.08	35.64	8.79	0.11	47.99	11.64	0.15	72.78	12.62	0.23
62	8.93	3.17	0.03	24.82	5.35	0.08	40.54	9.54	0.13	50.01	12.59	0.16	76.53	12.89	0.24
63	7.99	2.42	0.03	26.42	6.81	0.08	37.43	9.00	0.12	47.63	12.20	0.15	79.61	13.03	0.25
64	9.01	2.28	0.03	25.42	5.72	0.08	36.83	8.34	0.12	45.73	12.00	0.15	73.25	12.43	0.23
65	9.48	2.55	0.03	28.52	6.39	0.09	36.14	8.33	0.12	49.77	12.00	0.16	72.39	14.63	0.23
66	7.17	1.03	0.02	23.12	3.73	0.07	37.45	6.97	0.12	45.00	10.60	0.14	62.31	9.85	0.20
67	7.69	1.19	0.02	23.02	3.56	0.07	41.91	6.74	0.13	48.00	10.00	0.15	65.00	9.34	0.21
68	7.55	1.79	0.02	20.32	5.08	0.06	40.78	7.47	0.13	47.00	11.20	0.15	66.93	11.15	0.21
69	7.90	1.51	0.03	22.72	4.26	0.07	35.94	6.86	0.11	40.00	11.30	0.13	66.81	11.19	0.21
70	7.86	1.75	0.03	19.32	3.86	0.06	41.36	6.47	0.13	50.00	9.60	0.16	68.10	10.35	0.22
71	7.66	1.20	0.02	22.42	4.95	0.07	36.57	7.00	0.12	43.00	10.80	0.14	67.42	11.59	0.21
72	7.52	1.77	0.02	22.52	4.45	0.07	41.44	6.92	0.13	51.00	11.50	0.16	66.73	10.17	0.21
73	7.31	1.39	0.02	22.72	4.46	0.07	38.93	7.48	0.12	44.00	12.00	0.14	69.00	11.71	0.22
74	7.25	1.11	0.02	19.02	3.79	0.06	37.55	7.16	0.12	43.00	9.13	0.14	69.79	10.84	0.22
75	7.71	1.72	0.02	20.62	3.98	0.07	39.62	6.77	0.13	46.00	9.13	0.15	62.45	10.99	0.20
76	7.52	1.04	0.02	18.92	4.54	0.06	38.79	7.00	0.12	44.00	9.50	0.14	70.56	9.10	0.22
77	7.31	1.18	0.02	18.72	4.39	0.06	40.68	7.14	0.13	46.00	9.44	0.15	70.71	10.86	0.23
78	7.67	1.24	0.02	19.12	4.51	0.06	40.67	6.55	0.13	46.00	7.81	0.15	65.37	10.13	0.21
79	7.48	1.73	0.02	22.72	4.79	0.07	38.33	6.99	0.12	45.00	8.50	0.14	66.31	11.26	0.21
80	7.69	1.85	0.02	22.92	3.59	0.07	41.64	6.15	0.13	47.00	8.22	0.15	61.89	11.65	0.20
81	7.37	1.25	0.02	21.62	5.04	0.07	39.52	7.35	0.13	45.00	9.97	0.14	65.36	10.07	0.21
82	7.15	1.73	0.02	23.42	4.25	0.07	39.77	7.28	0.13	47.00	10.02	0.15	66.48	11.71	0.21
83	7.33	1.44	0.02	20.12	4.85	0.06	38.97	7.41	0.12	46.00	8.02	0.15	64.19	11.85	0.20
84	7.88	1.56	0.03	21.22	5.10	0.07	38.13	7.21	0.12	45.00	9.50	0.14	69.32	11.32	0.22
85	7.90	1.38	0.03	19.92	4.13	0.06	41.97	7.12	0.13	49.00	9.67	0.16	65.76	9.34	0.21

A: árbol; C: circunferencia (cm); HC (m); DAP (m)

Elaboración: Propia

ANEXO 2

VOLÚMENES COMERCIALES CON CORTEZA DE LA PLANTACIÓN DE BOLAINA BLANCA EN PILCOPATA (m³)

Árbol	2013	2014	2015	2016	2017
1	0.0011	0.0069	0.0245	0.0639	0.2473
2	0.0012	0.0097	0.0230	0.0546	0.2086
3	0.0011	0.0082	0.0264	0.0574	0.2057
4	0.0012	0.0113	0.0250	0.0574	0.2515
5	0.0012	0.0102	0.0261	0.0506	0.2620
6	0.0012	0.0115	0.0300	0.0574	0.3185
7	0.0012	0.0124	0.0275	0.0543	0.3230
8	0.0012	0.0107	0.0372	0.0672	0.3818
9	0.0013	0.0132	0.0367	0.0638	0.1442
10	0.0013	0.0112	0.0382	0.0788	0.4082
11	0.0013	0.0129	0.0355	0.0705	0.1616
12	0.0013	0.0110	0.0414	0.0947	0.5419
13	0.0013	0.0132	0.0565	0.0992	0.3353
14	0.0014	0.0147	0.0605	0.1082	0.2867
15	0.0013	0.0145	0.0347	0.0658	0.3609
16	0.0013	0.0158	0.0351	0.0658	0.2133
17	0.0014	0.0148	0.0600	0.0987	0.3228
18	0.0015	0.0180	0.0655	0.1228	0.2065
19	0.0015	0.0169	0.0702	0.1229	0.4812
20	0.0015	0.0189	0.0702	0.1280	0.3303
21	0.0015	0.0196	0.0744	0.1204	0.5297
22	0.0015	0.0232	0.0853	0.1357	0.2971
23	0.0015	0.0261	0.0795	0.1254	0.3475
24	0.0015	0.0207	0.0787	0.1229	0.2590
25	0.0015	0.0277	0.0871	0.1526	0.5374
26	0.0015	0.0273	0.0903	0.1414	0.5590
27	0.0016	0.0316	0.0795	0.1387	0.3244
28	0.0016	0.0260	0.0907	0.1360	0.4545
29	0.0016	0.0373	0.0903	0.1706	0.2590
30	0.0016	0.0281	0.0955	0.1586	0.3159
31	0.0017	0.0313	0.0892	0.1646	0.3870
32	0.0017	0.0380	0.0943	0.1471	0.2214
33	0.0017	0.0339	0.0911	0.1526	0.2677
34	0.0017	0.0379	0.0993	0.1526	0.2758
35	0.0017	0.0406	0.0979	0.1708	0.5553
36	0.0017	0.0422	0.0892	0.1803	0.3600
37	0.0019	0.0481	0.1004	0.1803	0.2804
38	0.0019	0.0481	0.1038	0.1835	0.5227
39	0.0019	0.0422	0.1035	0.1706	0.3235
40	0.0019	0.0454	0.1048	0.1868	0.2931
41	0.0019	0.0443	0.1053	0.1770	0.2973
42	0.0019	0.0454	0.1053	0.1998	0.5393

Continuación

ANEXO 2

VOLÚMENES COMERCIALES CON CORTEZA DE LA PLANTACIÓN DE BOLAINA BLANCA EN PILCOPATA (m³)

Árbol	Continuación				
	2013	2014	2015	2016	2017
43	0.0019	0.0459	0.1067	0.2033	0.4955
44	0.0019	0.0487	0.1067	0.1928	0.5491
45	0.0027	0.0393	0.0895	0.1882	0.4064
46	0.0025	0.0293	0.0958	0.1859	0.4704
47	0.0032	0.0333	0.0843	0.1417	0.3463
48	0.0031	0.0403	0.1030	0.1753	0.4650
49	0.0023	0.0289	0.0963	0.1498	0.4597
50	0.0023	0.0363	0.1053	0.1615	0.4363
51	0.0019	0.0306	0.0905	0.1775	0.4573
52	0.0023	0.0290	0.1061	0.1774	0.4169
53	0.0022	0.0271	0.1054	0.1791	0.3837
54	0.0025	0.0267	0.0711	0.1645	0.4147
55	0.0030	0.0271	0.0733	0.1627	0.3964
56	0.0027	0.0277	0.0795	0.1933	0.4312
57	0.0025	0.0276	0.0988	0.1757	0.4427
58	0.0027	0.0323	0.0861	0.1607	0.4645
59	0.0020	0.0327	0.0705	0.1453	0.4441
60	0.0023	0.0327	0.0899	0.1616	0.4130
61	0.0019	0.0300	0.0755	0.1632	0.3696
62	0.0027	0.0260	0.1019	0.1877	0.4119
63	0.0017	0.0356	0.0841	0.1675	0.4462
64	0.0020	0.0287	0.0766	0.1535	0.3692
65	0.0025	0.0387	0.0740	0.1788	0.4144
66	0.0007	0.0169	0.0679	0.1344	0.2270
67	0.0009	0.0161	0.0808	0.1437	0.2343
68	0.0012	0.0173	0.0839	0.1522	0.2865
69	0.0011	0.0183	0.0623	0.1147	0.2865
70	0.0013	0.0126	0.0763	0.1495	0.2777
71	0.0009	0.0203	0.0653	0.1258	0.2999
72	0.0012	0.0187	0.0810	0.1803	0.2638
73	0.0009	0.0190	0.0773	0.1432	0.3154
74	0.0008	0.0120	0.0698	0.1092	0.3017
75	0.0012	0.0145	0.0733	0.1233	0.2499
76	0.0008	0.0139	0.0726	0.1177	0.2657
77	0.0008	0.0132	0.0804	0.1268	0.3094
78	0.0009	0.0141	0.0748	0.1082	0.2534
79	0.0012	0.0202	0.0710	0.1117	0.2841
80	0.0013	0.0161	0.0740	0.1174	0.2582
81	0.0009	0.0193	0.0782	0.1276	0.2520
82	0.0011	0.0193	0.0785	0.1386	0.2949
83	0.0010	0.0164	0.0768	0.1106	0.2797
84	0.0012	0.0188	0.0722	0.1226	0.3091
85	0.0011	0.0141	0.0849	0.1450	0.2392

Elaboración: Propia

ANEXO 3

ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN MATEMÁTICA POLINOMIO DE SEGUNDO GRADO PARA LA BOLAINA BLANCA EN PILCOPATA

Dependent Variable: VOLUMEN
 Method: Panel Least Squares
 Date: 05/31/18 Time: 22:55
 Sample: 2013 2017
 Periods included: 5
 Cross-sections included: 85
 Total panel (balanced) observations: 425

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.069355	0.012519	5.540172	0.0000
EDAD	-0.085330	0.009540	-8.944449	0.0000
EDAD2	0.027634	0.001560	17.71461	0.0000
R-squared	0.839952	Mean dependent var		0.117339
Adjusted R-squared	0.839193	S.D. dependent var		0.134194
S.E. of regression	0.053813	Akaike info criterion		-2.999575
Sum squared resid	1.222038	Schwarz criterion		-2.970972
Log likelihood	640.4096	Hannan-Quinn criter.		-2.988275
F-statistic	1107.354	Durbin-Watson stat		1.198637
Prob(F-statistic)	0.000000			

Elaboración: Propia

ANEXO 4

ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN MATEMÁTICA SCHUMACHER PARA LA BOLAINA BLANCA EN PILCOPATA

Dependent Variable: VL
 Method: Panel Least Squares
 Date: 06/01/18 Time: 10:32
 Sample: 2013 2017
 Periods included: 5
 Cross-sections included: 85
 Total panel (balanced) observations: 425

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.333834	0.043877	-7.608425	0.0000
EDAD1	-6.315864	0.081098	-77.87982	0.0000
R-squared	0.934805	Mean dependent var		-3.218078
Adjusted R-squared	0.934651	S.D. dependent var		1.897503
S.E. of regression	0.485066	Akaike info criterion		1.395632
Sum squared resid	99.52734	Schwarz criterion		1.414701
Log likelihood	-294.5718	Hannan-Quinn criter.		1.403165
F-statistic	6065.266	Durbin-Watson stat		1.040350
Prob(F-statistic)	0.000000			

Elaboración: Propia

ANEXO 5

TREO DE LA BOLANIA BLANCA EN PILCOPATA SEGÚN LA TASA DE DESCUENTO

TREO (años)	Tasa de descuento (%)
5.62	20
5.92	18
6.49	15
6.97	13
7.58	11
7.95	10
8.38	9
8.89	8
9.50	7
10.26	6
11.24	5
12.57	4
14.51	3
17.77	2

Fuente: propia

ANEXO 6

VARIACIÓN DEL BENEFICIO NETO DE UN ÁRBOL DE BOLAINA BLANCA EN PILCOPATA SEGÚN EL TIEMPO

Edad (años)	Beneficio neto (PEN)
1	0.00
2	6.17
3	15.88
4	24.12
5	29.70
6	32.90
7	34.33
8	34.49
9	33.80
10	32.54
11	30.94
12	29.13
13	27.23
14	25.31
15	23.41
16	21.57
17	19.82

Fuente: Elaboración propia