

# DISEÑO DE UN MODELO DE NEGOCIO PARA UNA CENTRAL TERMICA DE BIOMASA EN LA SELVA AMAZONICA

**Proyecto Fin de Máster 2014**

Andrés González Alvarenga  
Daniel Bueno Coronado  
Manuel Uribe González

**Master Executive en Energías Renovables On Line 2014**



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, No comercial, Compartir igual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

## Resumen Ejecutivo

El presente trabajo tiene por finalidad efectuar una evaluación del mercado eléctrico peruano en cuanto a las posibilidades de poner en servicio una central eléctrica que utilice cultivos forestales como fuente primaria de energía, estimado los precios de venta que permitan un retorno adecuado.

Se encontró que las recientes políticas públicas en Perú muestran una confluencia en materia de introducción de energías renovables y recuperación de zonas deforestadas, lo que configura un escenario apropiado para impulsar un proyecto como el que proponemos. No obstante, a pesar que en estado peruano ha efectuado tres subastas para adquirir por 20 años energía proveniente de fuentes renovables no convencionales, no ha tenido éxito en materia de adquisición de energía proveniente de biomasa. Más aún se ha encontrado que no existe en Perú experiencia práctica, ni estudios, en materia de aprovechamiento de recursos forestales para producción de electricidad.

Se determinó que en la localidad de Pucallpa, Ucayali, en la amazonía peruana, existen las condiciones apropiadas para llevar adelante un proyecto forestal para aprovechamiento energético, pues cuenta con acceso a vías de comunicación terrestre y aérea, a la vez que la red eléctrica nacional discurre en medio de las zonas deforestadas.

El aprovechamiento energético se ha visto por conveniente efectuarlo con un sistema de turbinas a vapor alimentado con la quema directa de biomasa forestal de eucalipto de 24 meses de edad, que según estudios realizados en Brasil ha demostrado ser lo más eficiente.

A partir del análisis económico se determinó como adecuado implementar una planta de 15 MW de capacidad instalada, procurando un factor de planta elevado de 87% con la finalidad de reducir costos. El proyecto debiera involucrar a los tenedores de tierras con la finalidad de evitar la adquisición innecesaria de terrenos que incrementaría significativamente el precio de venta. Asimismo, es necesario buscar ingresos por venta de CO2 evitado.

En estas condiciones se ha determinado un precio de equilibrio de 135,6 US\$/MWh como suficiente para su sostenibilidad con un contrato de compra de energía anual de 114,165 GWh/año, por 20 años, asegurado a través de la participación en las subastas que convoca el estado peruano.

## Índice

1	Introducción.....	8
1.1	Contexto ambiental y energético en Perú .....	8
1.1.1	Contexto Ambiental .....	8
1.1.2	Contexto Energético .....	10
1.2	Electricidad a partir de Biomasa Forestal.....	14
1.2.1	Ventajas y desventajas de la Biomasa Forestal .....	14
1.2.2	Posibilidades de negocio y Desafíos .....	18
2	Objetivo del Proyecto .....	19
3	Marco Legal.....	20
3.1	Legislación Nacional .....	20
3.1.1	Autoridades y entidades involucradas .....	20
3.2	Legislación Regional.....	25
3.2.1	Autoridades y entidades involucradas .....	25
3.2.2	Promoción de Inversiones .....	25
3.2.3	Aspectos Tributarios .....	26
4	Emplazamiento y Selección del Sistema Productivo .....	27
4.1	Emplazamiento.....	27
4.1.1	Terrenos disponibles .....	27

4.1.2	Acceso a facilidades esenciales .....	28
4.1.3	Climatología .....	29
4.1.4	Suelo .....	31
4.2	Selección de especie forestal .....	33
4.2.1	Elección del Género .....	33
4.2.2	Elección del Sistema de Plantación .....	36
4.3	Selección de Tecnología de Producción Eléctrica .....	38
4.3.1	Tecnologías de Conversión de la Biomasa .....	38
4.3.2	Turbinas de vapor .....	39
5	Costos Estimados de implementación .....	42
5.1	Costos de la Biomasa .....	42
5.1.1	Requerimientos de Biomasa .....	42
5.1.2	Fases del aprovechamiento de la Biomasa .....	43
5.1.3	Costes estimados por cada fase de aprovechamiento .....	45
5.1.4	Costes estimados terreno y habilitación de infraestructura .....	46
5.2	Costos de Generación y Transmisión Eléctricas .....	47
5.2.1	Costo de Inversión en la central eléctrica .....	47
5.2.2	Costo de Inversión de conexión a la red eléctrica .....	47
5.2.3	Costos de Operación y Mantenimiento .....	47

5.2.4	Costos de Gestión y de participación en el mercado eléctrico.....	48
5.3	Costo Medio Ponderado de la deuda (WACC) .....	48
6	Ingresos Estimados .....	49
6.1	Venta de energía eléctrica.....	49
6.2	Venta de emisiones evitadas .....	49
7	Análisis Económico .....	51
7.1	Sensibilidad al Tamaño de Planta .....	51
7.2	Sensibilidad a las Horas de Operación .....	52
7.3	Sensibilidad al precio del CO2.....	54
7.4	Otros Indicadores .....	55
8	Conclusiones .....	56
9	Bibliografía .....	58

## Abreviaturas y Siglas

APP	Asociación Público Privada
COES	Comité de Operación Económica del SEIN
CO2	Dióxido de Carbono
DL1002	Decreto Legislativo N° 1002, Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.
DL1012	Decreto Legislativo N° 1012, Decreto Legislativo que aprueba la ley marco de asociaciones público - privadas para la generación de empleo productivo y dicta normas para la agilización de los procesos de promoción de la inversión privada.
EPA	Enviromental Protection Agency, de los Estados Unidos de América.
GORU	Gobierno Regional de Ucayali
ha ó Ha	Hectárea
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
km	kilómetro
LCE	Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctrica.
Ley N° 28832	Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica.

Ley N° 29763	Ley forestal y de fauna silvestre.
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MINAM	Ministerio del Ambiente
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
msnm	Metros sobre el nivel del mar
MW	Megavatio o Megawatt
NERC	National Energy Reliability Council
Osinermin	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía
Osinfor	Organismo supervisor
PPA	Contrato de compra de electricidad (Power Purchase Agreement).
RER	Recursos Energéticos Renovables
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
USD ó US\$	Dólares de los Estados Unidos de América
Ton	Tonelada métrica

## 1 Introducción

### 1.1 Contexto ambiental y energético en Perú

La República del Perú se ubica en la zona centro-occidental de Sudamérica, limita con Ecuador y Colombia al norte, Brasil al este, y Bolivia y Chile al sureste. Su superficie abarca 1 285 216,20 km<sup>2</sup> y cuenta con una línea costera de 3 080 km. Su geografía es muy variada, que incluye zonas desérticas, la cordillera de los andes y bosques amazónicos, y se encuentra entre los 15 países de mayor diversidad biológica del mundo.

El INEI estima que su población al año 2014 es de 30 814 175 habitantes, cuyo 28% se concentra en la ciudad de Lima, capital de Perú. El PBI per cápita es del orden de 6 500 USD por habitante, lo que lo califica como un país de ingresos medios.

El país cuenta con un gobierno central y veinticinco gobiernos regionales, cada uno de estos últimos con algunas facultades delegadas en cuanto a otorgamiento de concesiones y autorizaciones en materia de servicios públicos y promoción de inversiones.

#### 1.1.1 Contexto Ambiental

En materia ambiental, se ha establecido en Perú el denominado Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental, con la finalidad de dar atención a lo dispuesto por la Política Nacional del Ambiente que ha establecido el MINAM.

Sobre el particular, entre los objetivos específicos de la Política Nacional del Ambiente, se halla la conservación y aprovechamiento sostenible del patrimonio natural del país, con eficiencia, equidad y bienestar social, priorizando la gestión integral de los recursos naturales.

Al respecto, se busca como uno de sus objetivos la utilización sostenible y la participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven del uso comercial y puesta en valor de los recursos genéticos nativos y naturalizados.

De este modo se establece, entre los lineamientos de política, la promoción de la agroforestería, articulando cadenas productivas con una activa participación de las poblaciones locales, para lo cual se debe impulsar el diseño e implementación de instrumentos económicos y financieros por servicios

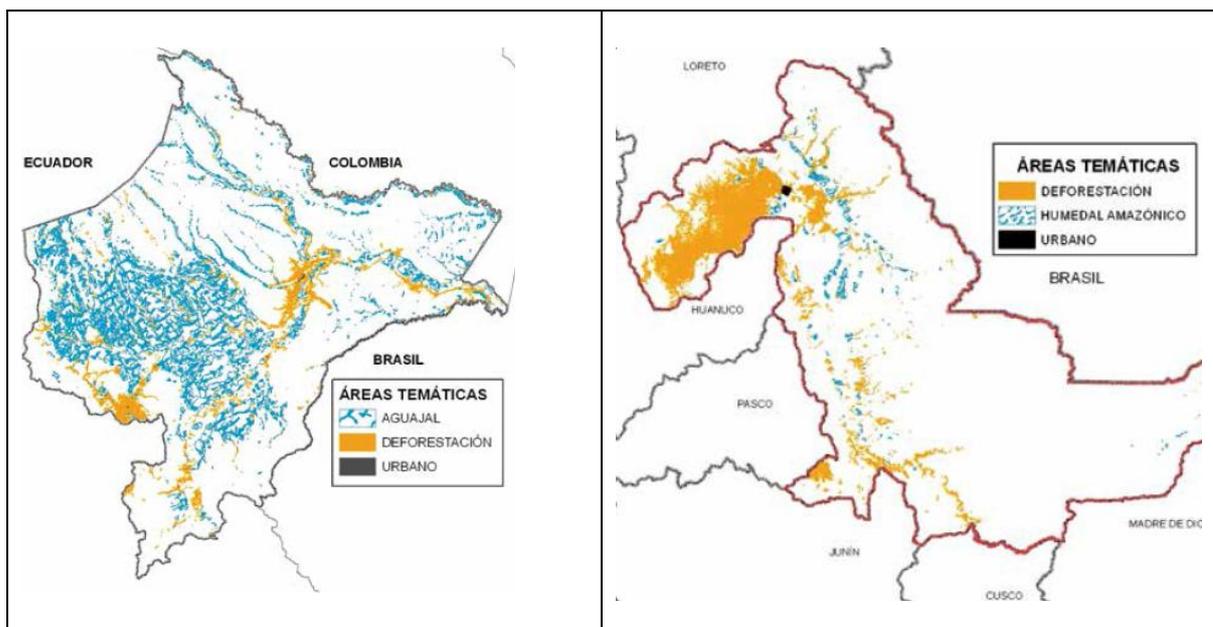
ambientales. En particular se busca promover la inversión en energías renovables y el desarrollo de proyectos forestales, como una oportunidad de sustitución de petróleo y gas, y de reducción de emisiones de Carbono, mitigando así los efectos del cambio climático.

Igualmente, se establece que se debe impulsar la reforestación de las áreas degradadas con especies nativas maderables, aquellas que tienen mayor potencial de brindar servicios ambientales y otras con potencial económico que contribuyan al desarrollo, promoviendo la inversión pública y privada.

Cabe señalar que de acuerdo con la “Evaluación de áreas deforestadas y humedales en los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios al año 2011” (Osinfor, 2013) aproximadamente el 2,5% de la Amazonía ha sido objeto de deforestación; es decir 14 160,12 km<sup>2</sup> (equivalente a casi la mitad de la extensión de Bélgica), lo que representa una oportunidad importante para poner en práctica actividades de reforestación que sean parte de la cadena de valor de la producción energética en base de biomasa.

El Gráfico 1 muestra en anaranjado las zonas deforestadas en las regiones de Loreto y Ucayali.

**Gráfico 1. Áreas deforestadas en la Amazonía**



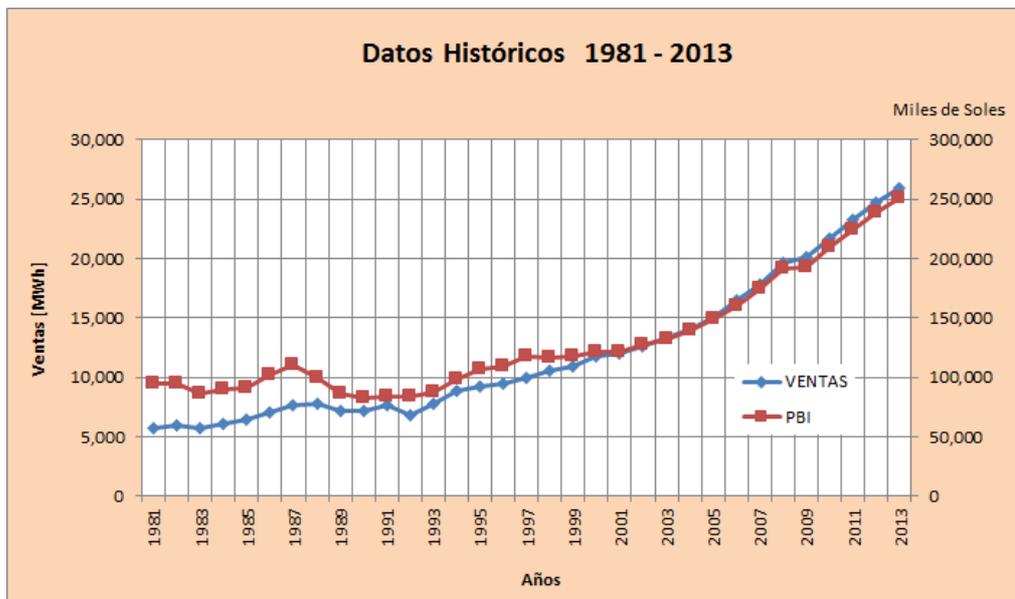
Fuente: Osinfor

Cabe aclarar que las zonas en azul del Gráfico 1 tratan de humedales donde crece una palmera conocida como “aguajal”, pero que para efectos de nuestro trabajo no reviste interés alguno, ni afecta el análisis a efectuar. Igualmente, es importante notar, a partir del mismo gráfico, que en la Amazonía las áreas urbanas son prácticamente inexistentes.

### 1.1.2 Contexto Energético

Perú cuenta con un único Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, SEIN, que se extiende a lo largo de su territorio mediante líneas de transmisión de 500 kV, 220 kV y 138 kV para atender una máxima demanda estimada por Osinergmin en 5 575 MW para el año 2014, y que en el periodo 2000-2011 experimentó una tasa de crecimiento promedio anual de 6%, como consecuencia de la expansión económica iniciada en la última década del Siglo XX, y que se ha mantenido hasta el año 2013. Es de señalar que la demanda de electricidad se halla altamente correlacionada con el crecimiento económico, tal como lo muestra el Gráfico 2, donde se muestra la evolución histórica tanto del Producto Bruto Interno (PBI), como de las ventas de electricidad a usuario final. En ese sentido, Perú representa un mercado en expansión para la generación eléctrica.

**Gráfico 2. Evolución del PBI y Ventas de Electricidad en Perú**

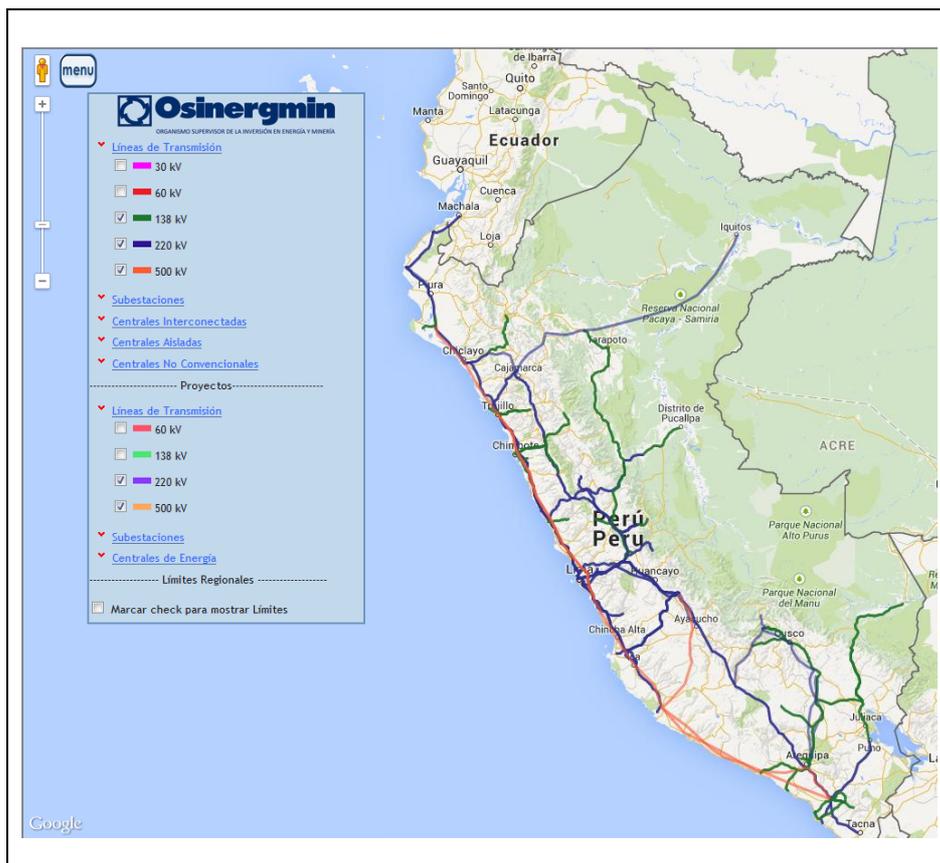


Fuente: Osinergmin.

El Gráfico 3, muestra la red eléctrica existente y proyectada para los próximos cuatro años. Debe notarse que existen planes para integrar al SEIN las localidades ubicadas en la Amazonia, lo que permitirá oportunidades de producir electricidad con los recursos existentes en dicho espacio territorial y ofrecerlos al mercado eléctrico nacional, el cual como se ha señalado previamente viene creciendo sostenidamente.

De acuerdo con las estadísticas del COES, durante el año 2013 la demanda de energía eléctrica en el SEIN fue atendida en un 51,8% con hidroelectricidad, 43% con producción a gas natural, 2,1% con carbón, 0,6% con petróleo y 2,5% con producción proveniente de recursos energéticos renovables (eólico, fotovoltaico y biomasa).

**Gráfico 3. Sistema de Transmisión del SEIN**



Fuente: Osinergmin

Asimismo, conforme señala el estudio de Actualización del Plan de Transmisión 2015 - 2024 realizado por el COES, para la próxima década en materia de requerimientos de energía eléctrica se espera una tasa anual de crecimiento medio de 5,2%.

Respecto de esta perspectiva de crecimiento, de acuerdo con la Política Energética 2010-2040 del MINEM, los aspectos que definen la que se espera se logre en cuanto a su cobertura, son los siguientes:

1. Diversificación de fuentes energéticas.
2. Uso de fuentes renovables de energía.
3. Priorización de la hidroelectricidad como base para la generación eléctrica nacional.
4. Suficiencia en el abastecimiento.
5. Uso de los recursos energéticos disponibles en las regiones del país.
6. Producir mínimo impacto ambiental.
7. Reducir emisiones de carbono.
8. Uso eficiente del gas natural en generación eléctrica.
9. Integración con sistemas eléctricos de otros países.
10. Minimizar la concentración del mercado eléctrico.
11. Contar con mayor eficiencia en la producción.

El estudio “Elaboración de la Nueva Matriz Energética Sostenible y Evaluación Ambiental Estratégica, como Instrumentos de Planificación” (MEF, 2012), preparado para el MINEM, concluyó que, para lograr satisfactoriamente la política energética establecida en materia de electricidad, al 2040 se debería contar con una participación de las energías renovables no convencionales de 21%, considerando las metas en nueva capacidad de generación eléctrica.

**Tabla 1. Evolución por tecnología recomendada para el SEIN**

Tecnología	Nueva Capacidad en MW		
	2011-2020	2021 - 2030	2031 - 2040
Hidros	3 684	2 475	524
Térmicos	700	2 270	5 000
Eólicos	592	300	450
Solares	140	140	80
Geotérmico	-	1 010	490
Biomasa	282	240	100
<b>Total</b>	<b>5 398</b>	<b>6 435</b>	<b>6 644</b>

Fuente: MINEM

No obstante estas recomendaciones, a la fecha aún no se ha modificado la meta establecida en el año 2008 en el DL1002, de 5% de participación de energía producida con recursos renovables no convencionales (biomasa, eólico, solar, geotérmico y mareomotriz) respecto de la demanda total de energía del SEIN. Sin embargo, es de esperar que la misma por el momento se mantenga, conforme se desprende del Plan Energético Nacional 2014- 2025 (MINEM, 2014).

El mecanismo de promoción adoptado para este propósito son subastas para adquirir energía por 20 años a precio firme, cuyos requerimientos y resultados se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Subastas por energías renovables en Perú**

Subasta	Requerido	Adjudicado
2009	Biomasa: 813 GWh/año Eólica: 320 GWh/año Solar: 181 GWh/año	Biomasa: 155 GWh/año Eólica: 571 GWh/año Solar: 173 GWh/año
2011	Biomasa: 828 GWh/año Eólica: 429 GWh/año Solar: 43 GWh/año	Biomasa: 14 GWh/año Eólica: 416 GWh/año Solar: 43 GWh/año
2013	Biomasa: 320 GWh/año	Biomasa: 0 GWh/año

Fuente: Osinergmin

Como puede observarse, sistemáticamente los requerimientos de generación con base de biomasa han quedado sin ser cubiertos, debiendo notarse que las centrales adjudicadas a la fecha se basan sólo en dos fuentes de biomasa, residuos de la caña de azúcar de ingenios azucareros (127 GWh/año) y gases de rellenos sanitarios (42 GWh/año), no habiéndose presentado aún proyectos de aprovechamiento de biomasa forestal.

Por lo anterior, creemos que existe un espacio entre 320 GWh/año y 814 GWh/año<sup>1</sup> desatendido que representa una oportunidad para el desarrollo de proyectos que se sustenten en biomasa forestal, que además representa como valor agregado la posibilidad de servir de un medio para articular una cadena productiva que genere beneficios a la localidad en que se ubique el proyecto, atendiendo de este modo tanto a lograr los objetivos de la Política Energética como de la Política Nacional del Ambiente del Perú.

## 1.2 Electricidad a partir de Biomasa Forestal

### 1.2.1 Ventajas y desventajas de la Biomasa Forestal

La definición de biomasa es la utilización de materia orgánica aprovechable para la obtención de energía. Por su amplia definición la biomasa abarca un amplio conjunto de materias orgánicas que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza. Este abanico de posibilidades conlleva una serie de ventajas y desventajas según la biomasa utilizada, pero en rasgos generales la gran ventaja es la nula emisión de CO<sub>2</sub>, ya que el carbono emitido fue antes asimilado (fotosíntesis) para la formación de esa materia orgánica (excluyendo las emisiones en los actos indirectos como recolección o transporte).

La primera división que podríamos realizar en la biomasa sería el método de obtención, podríamos clasificar biomasa obtenida de residuos o biomasa obtenida a través de cultivos. Lo primero nos da la ventaja de revalorizar un residuo, ya que obtendríamos valor al poner en el mercado un desecho y reduciríamos los gastos de tratamiento que conllevaría el tratamiento de estos. Pero este método es un arma de doble filo ya que lo que en principio es una ventaja, revalorizar un desecho, es un

---

<sup>1</sup> Obtenido a partir del requerimiento del año 2011 descontando lo adjudicado, y equivalente aproximadamente a entre 50MW y 130MW, considerando un factor de planta de 70%.

inconveniente al ligar el suministro de nuestra biomasa a una actividad económica que puede verse afectada por vaivenes económicos o cualquier acto ajeno.

Como ejemplo de esto citar el caso en Mayo del 2009 del huracán Klaus en Francia, este huracán tumbo una gran cantidad de árboles que conllevaron que el mercado francés se llenara de madera, bajando el precio de madera español a casi la mitad en el mercado (el pino marítimo se pagaba a 63€ la tonelada en destino, con la catástrofe se pagó a 33€) por ello las explotaciones forestales navarras se paralizaron (no se cubrían costes) y sin actividad no había restos forestales que alimentara la demanda de biomasa.

Otro inconveniente de los residuos seria la dispersión de la materia algo que encarece la recolección de esta.

La segunda división seria obtener la propia biomasa en cultivos, en principio, es importante tener en cuenta que podríamos dividir a los cultivos energéticos en cultivos herbáceos y cultivos leñosos; siendo la problemática de los primeros la baja calidad de la biomasa obtenida, pues posee bajos valores de poder calorífico y altos niveles de cenizas en su combustión lo que encarece las labores de mantenimiento de las centrales eléctricas. Además, menor productividad por hectárea y mayores problemas ambientales, ya que en líneas generales las extracciones de nutrientes edáficos son más elevadas, así como ejemplo en cuanto al consumo hídrico, se requiere de 1 000 litros de agua por kg de materia seca en el maíz versus 306 litros por kg de materia seca en el caso del eucalipto, tal como se muestra en el Gráfico 4 siguiente tomado de la publicación “La Gestión Forestal Sostenible y el Eucalipto”, del Grupo Empresarial Energía & Celulosa (ENCE).

## Gráfico 4. Consumo de Agua



Fuente: ENCE

Por esta razón, nuestro proyecto se ha orientado a los cultivos leñosos, siendo que la producción de electricidad mediante biomasa forestal presenta tres grandes ventajas que la hacen única respecto a las otras energías renovables;

- 1. Disminución del efecto invernadero y el cambio climático:** Cuando se utiliza la energía almacenada en la biomasa se emiten gases efecto invernadero, en particular dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Pero esa cantidad de CO<sub>2</sub> es inferior a la consumida en la producción de la biomasa a través de la fotosíntesis. Esto se debe a que la raíz (que acumula una parte del carbono producido por la planta) tenderá a continuar en el suelo, al igual que restos de follaje que se descompondrán y se fijarán al suelo.

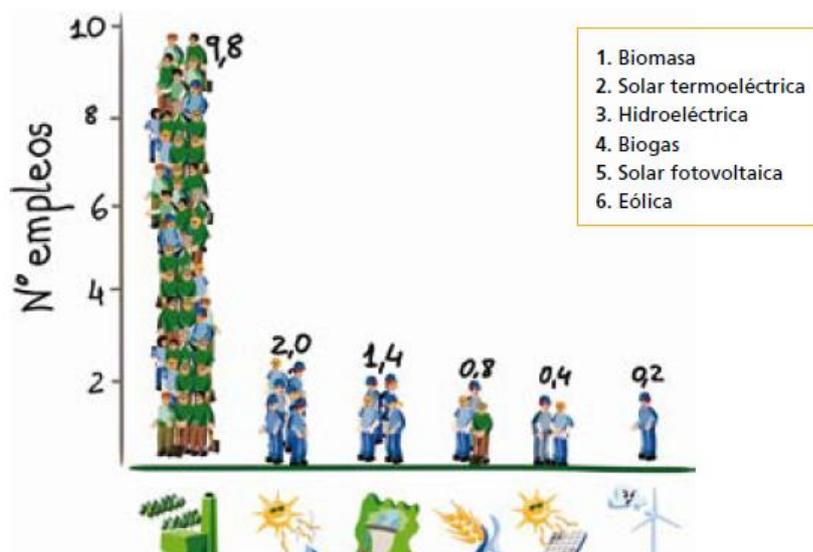
No obstante, en vista que para la producción, y aprovechamiento como combustible de la biomasa, se utiliza maquinaria que generalmente usa combustibles fósiles, de acuerdo con el estudio “Carbon and energy balances for a range of biofuel options” (M.A. Elsayed et al, 2003), elaborado para el caso del Reino Unido, se determinó que la producción de electricidad basada en biomasa igualmente libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera pero en cantidades considerablemente menores que los combustibles fósiles.

Por ello, si la biomasa se utiliza en la producción de energía, esto supone que se evite el uso de los combustibles fósiles para dicho fin, y en consecuencia se evita la emisión del Carbono contenido en dichos combustibles.

2. **Promoción del desarrollo rural, de la creación de empleo y de la economía local/regional:** Es la fuente renovable que más empleo genera por unidad de energía producida y su cultivo permite la creación de riqueza y cohesión social, principalmente en el medio rural, proporcionando una alternativa al empleo agrícola.

Así por ejemplo, en el caso europeo, de acuerdo con la publicación “El valor de la biomasa Forestal” (ENCE), por cada MW instalado basado en biomasa se generan el equivalente de 9,8 empleos, valor muy superior al de cualquier otra fuente renovable de energía; tal como lo muestra el Gráfico 5 siguiente.

**Gráfico 5. Empleo por MW y tipo de energía**



Fuente: ENCE

3. **Fuente renovable gestionable:** Es una fuente energética cuyo nivel de producción no depende en el momento de que haya o no viento, sol o agua fluyente; sino que dado que se puede almacenar, permite planificar la producción y lograr factores de uso de planta elevados. Por ello esta fuente energética no tiene el principal defecto de falta de garantía de suministro que otras fuentes renovables sí exhiben. Además como comentábamos anteriormente con el cultivo se puede garantizar razonablemente el suministro, siempre que tengamos en cuenta las condiciones edafoclimáticas.

No obstante, también es importante para efectos del proyecto tomar en cuenta las siguientes desventajas:

1. Fuertes economías de escala en las tecnologías de aprovechamiento, de modo que la eficiencia aumenta con el tamaño de la planta de generación eléctrica.
2. La conservación de la estructura y fertilidad del suelo forestal puede limitar la cantidad de biomasa forestal extraída de una determinada zona; asimismo, para una explotación sostenible de este recurso, tan sólo una fracción de esta producción es extraíble, debiéndose dejar sobre el suelo partes como pequeñas ramas y hojas, que contienen la mayor parte de los nutrientes, lo que sirve, además de para conservar la fertilidad del suelo, para reducir su erosión, así como para mejorar la calidad de la biomasa obtenida al disminuir su contenido en cenizas y nitrógeno, fracciones que se encuentran en mayor proporción en las hojas y partes verdes de los vegetales.
3. Restricciones para el uso de maquinaria mayor vinculadas a la fragilidad del terreno y a la pendiente del mismo. Así por ejemplo los bulldozer y los mulcher trabajan con una pendiente máxima que va de 25% a 30%; en tanto las excavadoras con oruga puede operar en pendientes de hasta 50%<sup>2</sup>. Siendo que ha mayor pendiente, mayor costo.

### 1.2.2 Posibilidades de negocio y Desafíos

Tal como se ha explicado, reiteradamente, desde que la puesta en marcha de las subastas por energías renovables en Perú, existe una demanda insatisfecha por producción de energía en base de biomasa, a la vez que de acuerdo con las recomendaciones efectuadas al MINEM para dar cumplimiento a su política energética, la demanda por producción en base de biomasa se mantendrá durante los próximos 15 años. Esto configura una oportunidad para promover el primer proyecto de cultivos energéticos forestales, no obstante que como se desarrolla más adelante los costos de producción eléctrica pueden resultar superiores a los precios transados al 2020 en el mercado eléctrico peruano.

---

<sup>2</sup> “Establecimiento de Plantaciones Forestales - Eucalyptus sp”. Instituto Forestal de Chile.

## 2 Objetivo del Proyecto

El objetivo de este proyecto consiste en poner en servicio en la localidad de Pucallpa (ubicada en la Amazonía peruana) una central termoeléctrica que utilice biomasa forestal y que concilie los tres pilares de desarrollo sostenible: económico, social y ambiental.

A la hora de realizar el estudio se tendrán en cuenta todos los siguientes factores:

- Factores legislativos: Todas las leyes que influyen en la instalación de nuestra central termoeléctrica a nivel nacional y regional, así como los agentes reguladores más relevantes con los que tendríamos que mantener el contacto en el caso de proponer y ejecutar el proyecto.
- Recurso forestal: El factor más importante del estudio, ya que es el más relevante al determinar que éste sea o no viable. Considera la selección de la especie más apropiada para el proyecto.
- Aspecto económico: Incluye el análisis de costes del proyecto así como el estudio de viabilidad y del mercado actual a la hora de contribuir con el desarrollo de las energías renovables.

## 3 Marco Legal

### 3.1 Legislación Nacional

#### 3.1.1 Autoridades y entidades involucradas

De acuerdo con la legislación vigente en materia eléctrica y forestal, se cuenta con los siguientes agentes reguladores con los que se tendría que mantener el contacto en el caso de proponer y ejecutar el proyecto:

- i) MINEM, es la autoridad pública del sector energía y se encarga de definir la política sectorial del estado en esta materia, otorga concesiones y autorizaciones para generación eléctrica en el territorio nacional con plazo indefinido, cuando se trata de proyectos de más de 20 MW. Asimismo, emite las reglamentaciones necesarias para la aplicación de la legislación sectorial y define los requerimientos de energías renovables a ser subastados, así como aprueba las bases iniciales de la subasta.
- ii) OSINERGMIN, es el ente público encargado de fijar las tarifas aplicables al servicio de electricidad (incluidas las primas por generación eléctrica renovable), conduce los procesos de subasta por generación eléctrica de origen renovable y supervisa el cumplimiento de los compromisos derivados de estas subastas.
- iii) COES, es un ente privado con funciones públicas, encargado de la operación del sistema eléctrico y de la administración del mercado de corto plazo. Todo generador a base de energías renovables debe estar integrado al COES y cumplir con sus procedimientos operativos y comerciales.

#### 2.1.1. Mercado Eléctrico

Perú cuenta con un mercado de electricidad que se sustenta en costos marginales de corto plazo y el denominado Precio Básico de Potencia, según lo establecen la LCE y la Ley N° 238832, aplicables por igual a la generación de electricidad convencional y no convencional. Los costos marginales<sup>3</sup> son

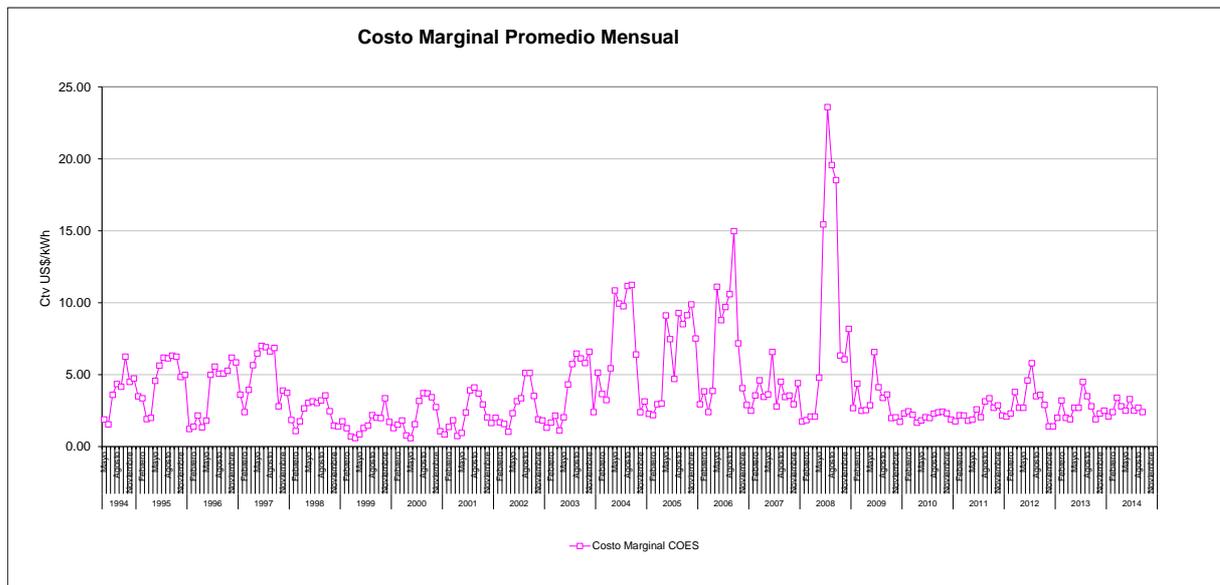
---

<sup>3</sup> De acuerdo a ley, definidos como el costo de producir una unidad adicional de electricidad.

determinados por el COES como una consecuencia del despacho económico que éste coordina<sup>4</sup>. El Precio Básico de Potencia se obtiene como el costo de inversión y costos fijos de operación y mantenimiento por unidad de capacidad firme de una turbina a gas que opera utilizando petróleo Diesel 2<sup>5</sup> multiplicado por un factor que reconoce la reserva de potencia que en el largo plazo Osinergmin considera necesaria para el sistema en su conjunto.

Los Gráficos 6 y 7 muestran la evolución del Precio Básico de Potencia y los costos marginales promedio mensuales en el SEIN, expresados en Dólares Americanos corrientes.

**Gráfico 6. Costos Marginales Perú**

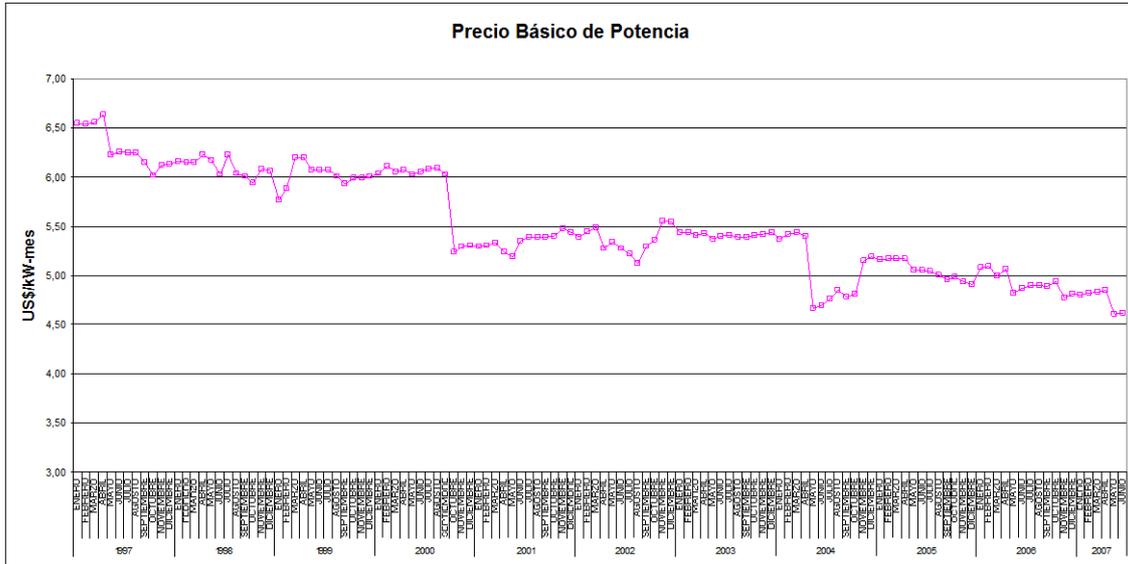


Fuente: Osinergmin

<sup>4</sup> El modelo de mercado eléctrico mayorista corresponde al de Power Pool. Es decir además de los costos marginales de energía existen pagos colaterales que reconocen los costos de arranque, operación en mínima carga, operación por compensación reactiva, etc.; a diferencia de un Power Exchange en el cual no existen pagos colaterales debido a que los precios de energía son ofertas que internalizan además de los costos marginales de operación, los valores esperados de los costos antes mencionados.

<sup>5</sup> El costo operativo es pagado en el Mercado de Corto Plazo cuando la unidad es llamada por el COES a producir energía.

**Gráfico 7. Precio Básico de Potencia Perú**



Fuente: Osinergmin

El Decreto Legislativo N° 1002 complementa la LCE y la Ley N° 28832, introduciendo algunos beneficios para efectos de lograr la penetración en la matriz energética del sistema eléctrico de generación en base de recursos energéticos no convencionales (eólico, solar, mareomotriz, biomasa, etc.), y de este modo cumplir con las metas de política energética reflejadas en el Plan de desarrollo de energías renovables que el MINEM debe aprobar.

El mecanismo adoptado para promover que se alcancen dichas metas son las subastas de suministro basadas en generación con RER, en las cuales se le garantiza al generador RER el ingreso anual que este requiera en la subasta, siempre y cuando cumpla con la entrega física de la energía anual que ofertó en la subasta.

Asimismo, a diferencia de las tecnologías convencionales, en el caso de las RER, el COES no decide su despacho, sino que está obligado a permitir toda la inyección proveniente de estas fuentes, salvo en el caso que las mismas pongan en riesgo la seguridad del sistema.

La forma como se garantiza el pago del ingreso anual es mediante el pago de la energía y potencia entregada en el mercado de corto plazo complementado con transferencias directamente

recaudadas de los usuarios finales de electricidad mediante un cargo que se adiciona al peaje del sistema de transmisión eléctrica, denominado “Prima”<sup>6</sup>.

Salvo lo descrito en los párrafos precedentes, los generadores RER tienen los mismos derechos y obligaciones que el resto de generadores que operan en el Mercado de Corto Plazo.

De este modo, de conformidad con el DL 1002, su reglamentación y las bases de las subastas, el régimen de remuneración aplicable a la generación RER se resume en lo siguiente:

- La energía producida por el generador RER tiene prioridad de entrega por sobre las tecnologías convencionales en el mercado de corto plazo, considerándose que la misma tiene un valor de cero para efectos del despacho económico que efectúa el COES.
- El generador RER se compromete a entregar al mercado de corto plazo al menos la energía que ofertó (Energía Adjudicada).
- Al generador RER se le asegura un ingreso garantizado igual al producto de la tarifa de su oferta (Tarifa de Adjudicación) por su Energía Adjudicada.
- La Energía Adjudicada se contabiliza como la suma de las inyecciones netas de energía que se efectúan en un año calendario que inicia el 01 de mayo, e iguales a la diferencia entre la generación efectiva menos la energía que el generador RER haya comprometido en PPAs con terceros (usuarios finales de electricidad u otros generadores). Cuando las inyecciones netas de energía en un año sean menores a la Energía Adjudicada, la Tarifa de Adjudicación será reducida en proporción al incumplimiento de entrega de energía.
- Se establecerá una Prima sólo en el caso que lo recaudado por ventas de energía (hasta por la Energía Adjudicada) y por potencia en el mercado de corto plazo sea menor que el ingreso garantizado.

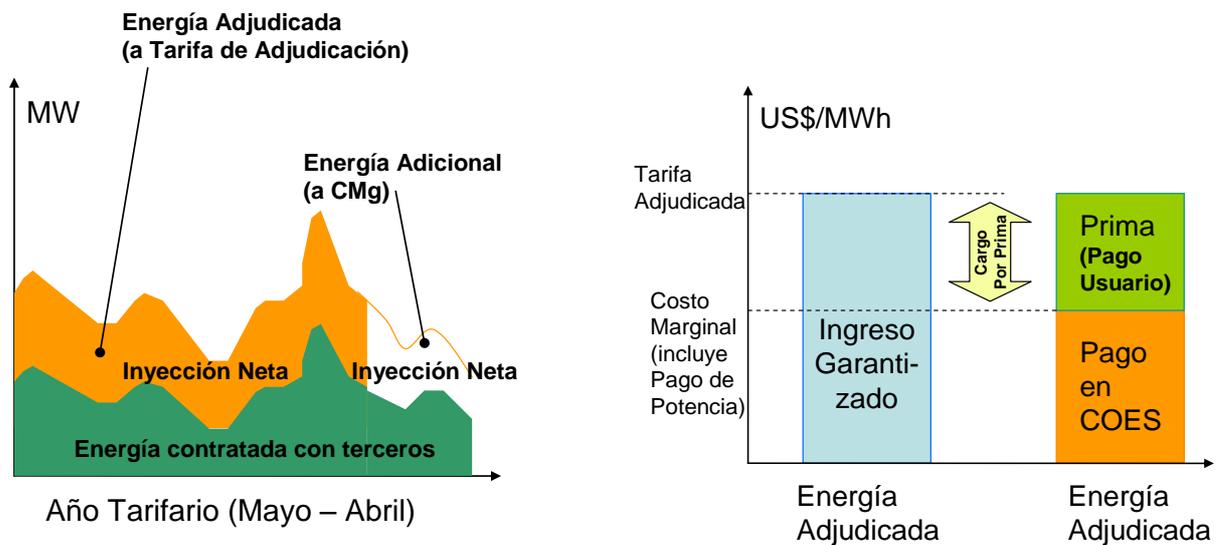
---

<sup>6</sup> Es de aclarar que las subastas no son una condición para autorizar la inversión en generación RER, la misma que puede efectuarse libremente en cuyo caso deberá prever sus ingresos sin contemplar la denominada Prima.

- Para efectos de la primera determinación de la Prima, la Energía Adjudicada será igual a la alícuota del periodo comprendido desde el inicio del Plazo de Vigencia hasta el fin del respectivo Periodo Tarifario (el cual comprende desde el 01 de mayo hasta el 30 de abril).
- La Tarifa de Adjudicación se actualiza con frecuencia anual el 01 de mayo de cada año.
- Toda la energía generada en exceso de la Energía Adjudicada se vende al mercado de corto plazo directamente y se constituye en ingresos adicionales al ingreso garantizado. Similarmente ocurre con los ingresos por servicios complementarios<sup>7</sup>.

Todo lo descrito se resume en el Gráfico 8 para mejor entendimiento.

**Gráfico 8. Modelo retributivo generación RER**



Fuente: Osinergmin.

<sup>7</sup> P.e. regulación de frecuencia, tensión, etc.

Cabe señalar, que el precio de la electricidad a nivel de generación en Perú para el mediano plazo (10 años) se halla próximo a 60 US\$/MWh, conforme se desprende de los resultados observados en las contrataciones efectuadas entre los años 2009 y el 2012 mediante subastas destinadas al Servicio Público de Electricidad<sup>8</sup>.

## 3.2 Legislación Regional

### 3.2.1 Autoridades y entidades involucradas

De acuerdo con la Ley N° 29763, el Gobierno Regional es la autoridad regional forestal en su jurisdicción y otorga concesiones forestales en tierras de dominio público. Asimismo, otorga permisos de aprovechamiento forestal en predios privados<sup>9</sup>.

Cabe indicar que la mencionada ley señala que no son plantaciones forestales los cultivos agroindustriales ni los cultivos energéticos, no obstante al no haberse aprobado aún el reglamentado la ley, no está claramente definido qué tipo de cultivos se consideran en estas categorías.

Igualmente, conforme a la Resolución Ministerial N° 525-2012-MEM/DM cuando se trata de centrales de generación eléctrica de hasta 20 MW y de líneas de transmisión de alcance regional, el Gobierno Regional es el ente competente para entregar las concesiones y autorizaciones correspondientes, lo que incluye la aprobación de los estudios de impacto ambiental que se correspondan.

### 3.2.2 Promoción de Inversiones

De acuerdo con la Ley General de Descentralización, los gobiernos regionales deben promover y ejecutar las inversiones públicas de ámbito regional en proyectos de infraestructura vial, energética, de comunicaciones y de servicios básicos de ámbito regional, con estrategias de

---

<sup>8</sup> Actas de adjudicación de PROCESOS DE LICITACIÓN PÚBLICA DE LARGO PLAZO - LEY N° 28832, disponibles en <http://www2.osinerg.gob.pe/Concursos/LicitacionPublica/LineamientosGenerales.htm>

<sup>9</sup> Según el Artículo 11° de la Ley N° 29763.

sostenibilidad, competitividad, oportunidades de inversión privada, dinamizar mercados y rentabilizar actividades.

Complementariamente, el DL1012 establece que a nivel regional el organismo competente para promover inversiones es el Gobierno Regional, a través de su Consejo Regional, el cual deberá determinar los proyectos de infraestructura o de servicios públicos que recomienda ejecutar mediante APPs autosostenibles o cofinanciados con recursos públicos, convocando para ello al capital privado siempre que ello resulte más beneficioso que su ejecución directa por parte del Estado.

### **3.2.3 Aspectos Tributarios**

De acuerdo con la Ley de promoción de la Inversión en la Amazonía Ley 27037. La Región de la Amazonía goza de beneficios tributarios otorgados para la comercialización de ciertos productos y prestación de servicios dentro de dicha región. Así, en relación al Impuesto a la Renta gozan de una tasa preferencial de 10%, exoneración del IVA, recuperación anticipada del IVA, entre otros.

Entre las actividades beneficiadas por este régimen se hallan la producción agrícola, la extracción forestal, la transformación forestal, procesamiento y transformación, etc. Los requisitos para acceder a estos beneficios son los siguientes:

- Su domicilio fiscal está en la Amazonía y deberá coincidir con su Sede Central (lugar donde tenga su administración y lleve su contabilidad)
- Si es persona jurídica debe estar inscrita en las Oficinas Registrales de la Amazonia
- Debe encontrarse el 70 % de sus activos fijos en la Amazonía
- Su producción no debe estar fuera de la Amazonía. Este requisito no es de aplicación a las empresas de comercialización.

## 4 Emplazamiento y Selección del Sistema Productivo

Hemos tomado como conveniente ubicar el proyecto en la Región Ucayali, pues presenta áreas deforestadas tan amplias como las de la Región Loreto, pero a diferencia de ésta última, sí se halla integrada a la red eléctrica del país (SEIN) a través de una línea de transmisión en 138 kV y una carretera que brinda acceso terrestre.

Asimismo, si bien la Región Madre de Dios también está integrada al SEIN, cuenta con una demanda eléctrica mucho menor que la de Ucayali.

El departamento de Ucayali está ubicado en la parte centro oriental del Perú, en la región Selva, entre los 7°20'23" y 11°27'35" de latitud sur y los 70°29'46" y 75°58'08" de longitud oeste, y ocupa una superficie que representa el 8,0% del total del Perú (102 410,55 Km<sup>2</sup>).

Morfológicamente en la región Ucayali se distinguen tres pisos: Ceja de Selva, Selva Alta y Selva Baja, cada una con características peculiares. La capital de la región Ucayali es la ciudad de Pucallpa, ubicada a 154 msnm y que se halla conectada al resto del país mediante vías terrestre, fluvial y aérea.

### 4.1 Emplazamiento

#### 4.1.1 Terrenos disponibles

Los terrenos que se espera sean parte de nuestro proyecto son aquellos necesarios tanto para efectos de la construcción de la central eléctrica como para la producción de la biomasa a ser utilizada como fuente energética. Estos terrenos deben ser aquellos que han sido objeto de deforestación, pues nuestro proyecto busca recuperar estas áreas para la producción de electricidad a partir de bosques manejados.

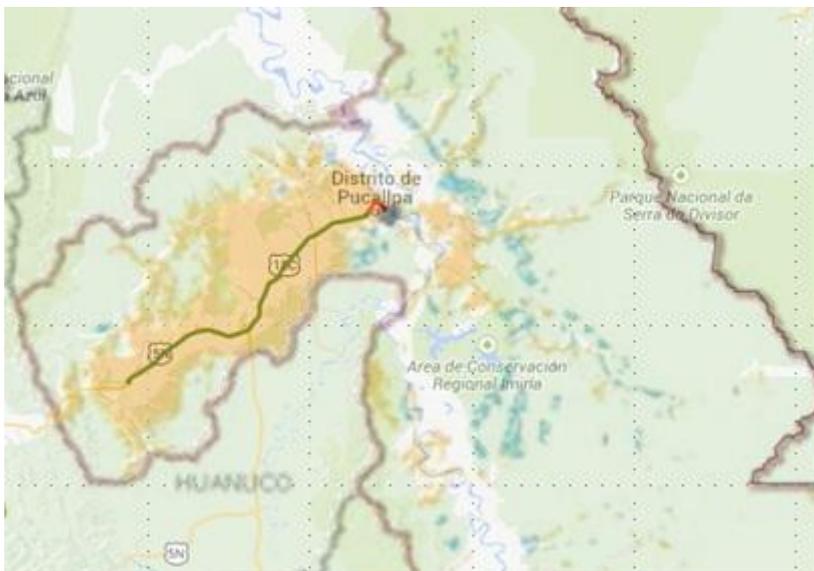
Al respecto, estos son en principio aquellos mostrados en color anaranjado en el Gráfico 1 de este trabajo, y que se distribuyen alrededor de la carretera Federico Basadre, que une a la ciudad de Pucallpa con el resto del país.

#### 4.1.2 Acceso a facilidades esenciales

Con la finalidad de reducir costos durante las etapas de construcción y operación del proyecto, es indispensable que el mismo se ubique en las proximidades de medios de transporte terrestre y aéreo que permitan el desplazamiento de los equipos y personal necesarios para el proyecto. Asimismo, es recomendable la proximidad a las redes eléctricas de media, alta o de muy alta tensión, a las cuales se pueda conectar directamente el proyecto y en la medida de lo posible implique que la entrega de la energía se distribuya localmente con la finalidad de evitar pagos innecesarios asociados al uso de sistemas de transmisión de terceros.

Al respecto, el Gráfico 9 muestra la superposición de los terrenos deforestados con las carreteras y la red eléctrica de alta y muy alta tensión existentes (líneas gruesas en verde y rojo) para definir las áreas de interés del proyecto. Al respecto, es de notar que ambas infraestructuras corren paralelas y a su alrededor se encuentran las áreas deforestadas (área amarilla).

#### Gráfico 9. Área con acceso a facilidades esenciales

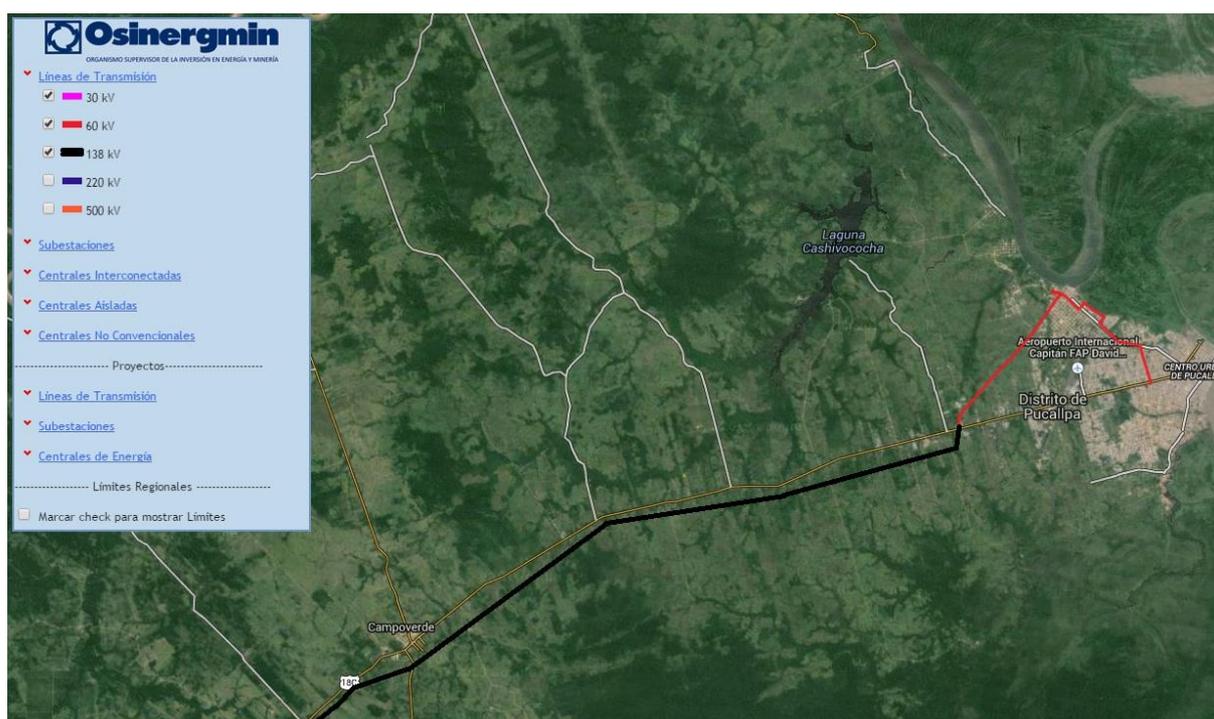


Fuentes: Osinfor y Osinergmin

Complementariamente, el Gráfico 10 muestra un acercamiento del área deforestada comprendida entre los mayores centros poblados de la zona; a saber, la ciudad de Pucallpa y el poblado de Campo Verde, distantes entre sí aproximadamente 36 km. Ello en vista que la idea es ubicar el

proyecto lo más cerca de la red de 60 kV con la finalidad de reducir los costos de conexión eléctrica.

### Gráfico 10. Área de interés para el proyecto



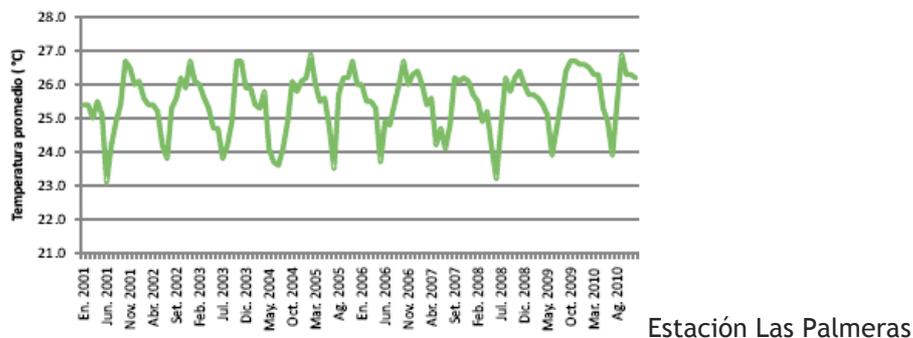
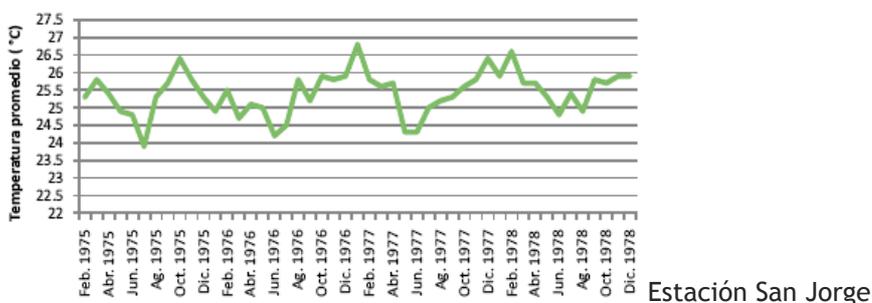
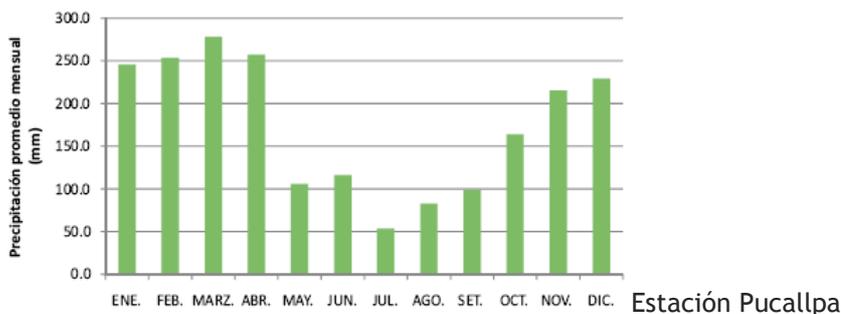
Fuente: Osinergmin

#### 4.1.3 Climatología

De acuerdo con el estudio “Vulnerabilidad y Riesgos de la Región Ucayali” (USAID PERÚ et al, 2012), el clima en la Región Ucayali es característico de un bosque húmedo tropical (cálido), existiendo muy poca variación entre las temperaturas del día y la noche; las lluvias son abundantes, siendo mayores en las zonas de selva alta (de 600 msnm a 3 500 msnm).

En el caso de la zona de interés seleccionada, ubicada en las proximidades de la ciudad de Pucallpa en la provincia de Coronel Portillo, se trata de selva baja y se presentan los valores multianuales de temperatura media mensual y precipitación total mensual en dos estaciones de medición del SENAMHI, cuyas mediciones se complementan en el tiempo conforme muestra el Gráfico 11.

**Gráfico 11. Registros de precipitaciones y temperatura**



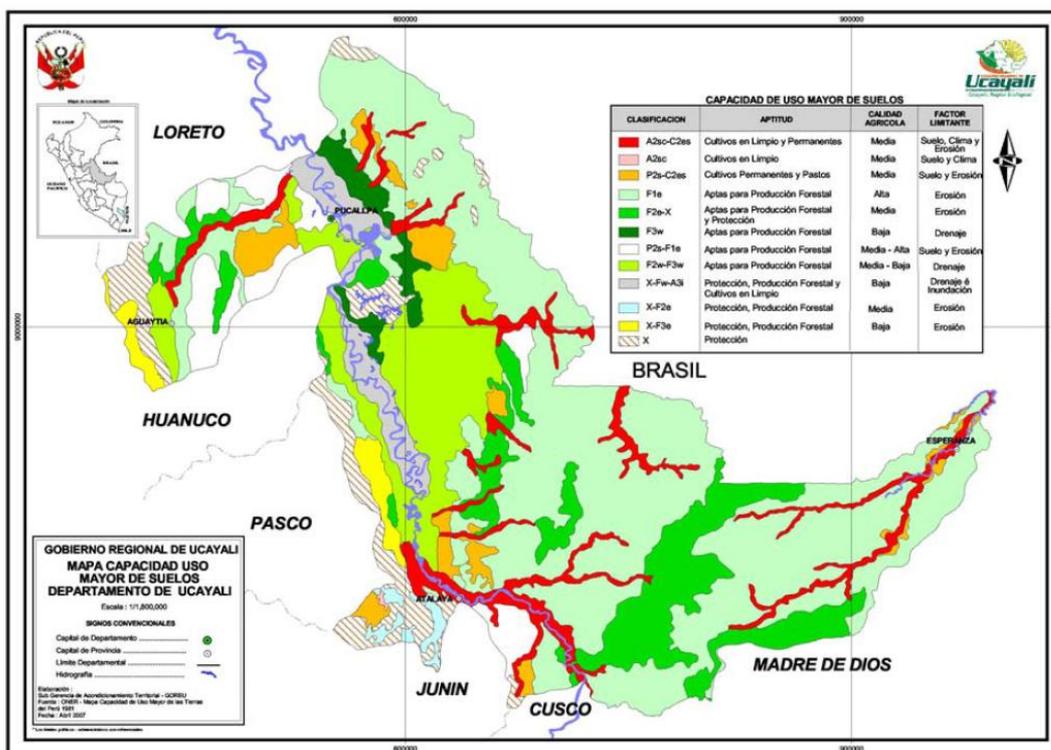
Fuente: USAID PERU et al, 2013.

La humedad relativa de aire no presenta variación importante con un promedio anual de 77,1% y la velocidad promedio de los vientos es de 1,4 m/s con dirección predominante de Norte a Sur. Los meses de mayor humedad son: Febrero, Marzo, Abril y octubre, con el 82%, los de menor humedad son junio, agosto y setiembre, con 74%; sin embargo, en estos meses se presentan neblinas bajas durante las noches y en las madrugadas (Sales, 2006).

**4.1.4 Suelo**

De acuerdo con el “Plan Regional de Desarrollo de Capacidades de Ucayali 2010-2012” (GORU, 2009), los suelos en dicha región son mayormente de origen aluvial, formados por acumulaciones de arcillas, limos, arenas y conglomerados. El clima cálido húmedo, la vegetación boscosa y la variación del relieve, entre otros factores, se indica, han dado lugar a suelos o tierras poco profundas, erosionables y con variada calidad para uso agroforestal.

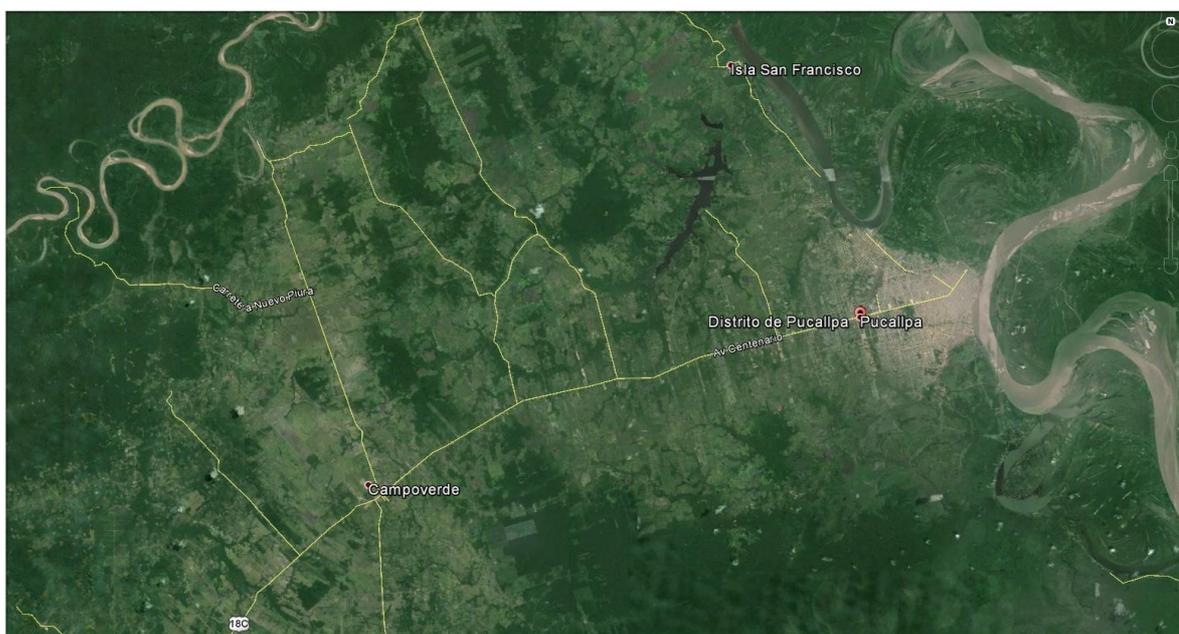
**Gráfico 12. Capacidad de uso mayor de suelos**



Fuente: GORU.

El Gráfico 12 muestra la capacidad de uso mayor de suelos y confirma el área seleccionada, en las cercanías de la ciudad de Pucallpa, como adecuada para fines forestales.

**Gráfico 13. Vista satelital de zona de interés y su mapa de pendientes**



Fuente: Google Earth

De este modo, conforme puede apreciarse del Gráfico 13, el terreno en la zona de interés para el proyecto presenta pendientes por debajo del 30%, tal como muestra la escala de grises ubicada a la izquierda de la imagen. Dichas pendientes se han estimado con el programa Global Mapper y a partir de la base de datos de Google Earth. Como puede apreciarse esto permitiría, sin mayor problema, la recolección mecanizada de la biomasa. El área de zona de interés es de 40 000 Ha.

## 4.2 Selección de especie forestal

### 4.2.1 Elección del Género

La elección del cultivo energético es fundamental para el proyecto y para garantizar la sostenibilidad del mismo en materia social, económica y ambiental.

Para la elección de especie se ha tomado en cuenta lo siguiente;

- La especie debe adaptarse a las condiciones edafoclimáticas del lugar, buscando siempre que los requerimientos sean los mínimos posibles con la finalidad de aumentar su productividad.
- Buscar una alta productividad con bajos costes de explotación, es decir que no requieran excesivos tratamientos.
- Que el cultivo tenga un balance energético positivo, es decir, que no se invierta en ellos más energía de la que se produce.
- Que sean especies que resistan bien ante condiciones adversas, tales como olas de frío, insolaciones, plagas, enfermedades, etc.

Dentro de los cultivos leñosos, utilizadas con fines energéticos, tenemos principalmente los géneros eucaliptus, populus o salix. Estas especies son de crecimiento muy rápido, que además cuentan con una base genética muy amplia, ciclos de mejora breves, facilidad para la reproducción vegetativa y capacidad para el rebrote. Existen otros cultivos leñosos como la robinia pero los datos

experimentales y la experiencia no son tan buenos como los tres géneros mencionados, por lo que no se tomará en cuenta.

En los requerimientos ambientales la comparativa de las tres especies determina mejores rendimientos el eucalipto como género por las siguientes razones:

- Los cultivos energéticos de eucalipto poseen mayor producción anual por hectárea que el resto de cultivos por ello que el resto de cultivos. Ello es debido a que el eucalipto tiene una mayor tasa de crecimiento y a que su madera posee una mayor densidad, aspectos que le permiten acumular más carbono por unidad de volumen. Estudios de ENCE determinan una media de fijación de 0,136 t CO<sub>2</sub>/año/pie un 10% aproximadamente más elevado que la asimilación del genero Populus. Además los bosques decrecen su tasa de fijación con la edad, por lo tanto los cultivos de eucaliptos producen más oxígeno que los bosques maduros.
- La vegetación consume parte de la lluvia, gran parte se pierde por evaporación e infiltración. Las tres especies mencionadas son frondosas de crecimiento rápido y alta productividad por lo que necesitan más agua que otras de crecimiento más lento. Con todo el eucalipto es la especie más eficiente con el consumo de agua, como ejemplo el agua infiltrada (o lixiviada) en los cultivos es de 162mm mientras que en las choperas la infiltración se reduce en un 30%. Este dato unido a la mayor productividad del eucalipto demuestra una mayor producción de biomasa con menor contenido de agua gastada
- Menor desecación y preservación frente a la erosión del suelo. Las raíces del eucalipto (a pesar de mala fama) son superficiales alcanzado simplemente 0,5m de profundidad, en cambio en el género Populus la profundidad máxima puede llegar a 2,9m.
- Uso más eficiente del agua. La evapotranspiración del eucalipto es de 450mm/año, en el género salix este dato se dobla.
- Menor degradación del suelo, el eucalipto no aporta sustancias toxicas para el suelo; sino que por el contrario, tanto si los residuos se trituran e incorporan al suelo (proceso biológico natural), como si se extrae su mayor parte, los restos que quedan generan compuestos químicos que actúan como nutrientes y que, por ejemplo, presentan mejor relación de ácidos que el pino.

- Menor extracción de nutrientes. El eucalipto solo extrae 4,8 kg/ha/año de nitrógeno, en cambio, en los populus este requerimiento se eleva a 12,1kg/ha/año; finalmente, en el caso de los salix se eleva a 51kg/ha/año. La extracción de Nitrógeno, que es el principal limitante del crecimiento vegetal, es un factor muy limitante de los suelos y produce una degradación de los suelos, por ello en los cultivos de salix la fertilización es casi imprescindible (con el encarecimiento que conlleva) en los suelos tropicales, ya que por norma son suelos menos fértiles que los europeos. En la extracción de Fósforo el eucalipto simplemente consume 1,3kg/ha/año mientras que el género Populus requiere de 5kg/ha/año y el salix de 9kg/ha/año. Y por último en cuanto al Potasio, extracción para el eucalipto de 6 kg/ha/año, 18,5kg/ha/año para el Populus y 21,6kg/ha/año para el género salix<sup>10</sup>.

En el plano económico el parámetro que buscaremos será la reducción de costos. Esto se conseguirá con un mayor rendimiento de producción de biomasa y un menor gasto en tratamientos culturales. Al respecto, el sistema silvicultor de tratamiento de monte bajo es idéntico para las tres especies (eucaliptus, populus o salix) es muy similar en la introducción, apeo y recolección, por ello dichos aspectos no se han tomado en cuenta. En cambio, el gasto de tratamientos culturales se reduce exclusivamente en la fertilización, pues es nulo para el género eucaliptus o Populus, mientras que para el género salix bajo estas condiciones edáficas, para garantizar una adecuada sostenibilidad ambiental, la fertilización es indispensable. Por ello el primero en descartarse sería el salix.

La última diferencia en materia de costos, sería la productividad a nivel de biomasa. Así los mejores datos registrados en choperas en condiciones edafoclimáticas similares a la zona son basándonos en los mejores clones 38 t materia seca/ha en cambio en el caso del eucalipto de 59 Tn materia seca/ha. Por esta razón, debido a las ventajas económicas que supone, el eucalipto resulta ser también la mejor opción.

Finalmente, en materia de impacto social, no existe diferencia entre los tres cultivos, ya que la silvicultura aplicada a cualquiera de ellas es idéntica, por lo que se tendrán los mismos requerimientos de mano de obra (creación de empleo)

---

<sup>10</sup> “El valor de la biomasa Forestal” (ENCE).

Por todo ello el género elegido de la especie forestal para nuestro proyecto será el eucalipto.

Esta conclusión, resulta concordante con el estudio de la Agencia Internacional de la Energía “Short Rotation Eucalypt Plantations for Energy in Brazil”, que resume la experiencia en Brasil en materia de cultivos forestales destinados a producción eléctrica; siendo el Eucalipto la elección más apropiada. Así por ejemplo, que en dicho país también se ha estudiado el pino para producción eléctrica, pero se ha concluido como señala el estudio “Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de Pinus taeda L. com diferentes idades” (Brand et al) que se requiere de corte a los 3 años y que su poder calorífico resulta menor que el determinado para el eucalipto por Müller<sup>11</sup>.

#### 4.2.2 Elección del Sistema de Plantación

En el Perú no existe experiencia en materia de gestión de plantaciones de eucalipto destinadas como cultivos energéticos, sino principalmente para efectos de su uso en la industria papelera y para producción de tablonés y carbón; en cuyo caso los tiempos de poda superan los siete años, en vista que lo que se busca es contar con masa forestal de un diámetro mínimo adecuado para dichas industrias. Un resumen detallado se encuentra en el documento “Estudio de prefactibilidad para la producción y comercialización de papel a partir de eucalipto” (Alexander Fernández, PUCP, 2012), en el cual conforme muestra el Gráfico 14 el Eucalipto principalmente se cultiva en la sierra y solo existe experiencia mínima en la selva de la región de Madre de Dios; en general con rendimientos bajos de incremento medio anual de 7 a 10 m<sup>3</sup>/ha, y generalmente con separaciones entre filas de árboles de entre 3m y 5m.

---

<sup>11</sup> Tesis de Doctorado “Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG”, Universidade Federal de Viçosa, año 2005.

**Gráfico 14. Mapa de plantaciones de eucalipto**



Fuente: Fernández, 2012.

Por esta razón, no es posible tomar experiencia nacional para nuestro proyecto, más aún es de comentar que de la revisión de la base de datos de estudios del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, cuya misión es generar e incorporar conocimientos, tecnologías innovadoras y el saber ancestral, al servicio de las sociedades y de los ecosistemas amazónicos, no se ha encontrado trabajos relacionados con el cultivo de eucalipto en la región amazónica con fines energéticos.

No obstante ello, existe en Brasil una amplia experiencia en materia de investigación en cuanto al uso de eucalipto para fines energéticos, y nuestro proyecto hará uso de dichos resultados.

Al respecto, el trabajo se tomará en cuenta los resultados del trabajo experimental de Müller, relacionado con el sistema de plantación en región amazónica semiárida a húmeda, en el cual se estudiaron los rendimientos para separaciones entre árboles de 0,5m a 3m (con distancias constantes entre filas de árboles de 3m), monitoreando el crecimiento cada seis meses hasta los 24 meses de edad, utilizando para ello clones de un híbrido de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus*

camaldulensis. Müller concluye que como resultado de la presión competitiva por los recursos disponibles, para inducir a un mayor rendimiento en menor tiempo de crecimiento, es recomendable que los árboles se hallen lo más próximo posibles; habiendo obtenido, por ejemplo que, para un sistema de plantación con separaciones de 0,5 m entre árboles, al cabo de 24 meses la cantidad de biomasa seca producida en una misma área y con un mismo tratamiento cultural poco más que dobla aquella que se obtendría con separaciones entre árboles de 3m. Al respecto Müller señala que este resultado replica aquellos obtenidos de estudios similares realizados desde la década de 1970.

Por esta razón, el sistema de plantación será el de 0,5m x 3m, lo que además redundará en un requerimiento menor de terreno para cultivo de eucalipto, estimándose que aproximadamente se tendrán 6 666 árboles por Hectárea. Ello, tomando como referencia los resultados de Müller, implica la disponibilidad de 42 Ton de biomasa seca por hectárea cultivada luego de 24 meses de efectuada la plantación. Asimismo, se considerará un ciclo de vida de cada planta de hasta cuatro rebrotes, con lo cual luego de quinta cosecha se requerirá de la siembra de nuevos árboles.

### 4.3 Selección de Tecnología de Producción Eléctrica

#### 4.3.1 Tecnologías de Conversión de la Biomasa

Las tecnologías que permiten la conversión de la biomasa forestal para producción de energía eléctrica se pueden segmentar en dos grandes grupos, conforme indica el Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies (EPA, 2007):

- **Sistemas de fuego directo:** la biomasa es quemada en un caldero que genera calor para producir vapor a alta presión, el cual es utilizado para impulsar una turbina de vapor que mueve el generador eléctrico; siendo que en algunas aplicaciones parte del vapor es extraído a media presión y temperatura para su uso en procesos de calefacción, secado o enfriamiento. Los sistemas más utilizados son los de lecho fijo y de lecho fluidizado; estos últimos, en caso de estar diseñados para operar a alta presión, pueden alimentar una turbina a gas como etapa previa a la etapa de producción de vapor. Cabe señalar que la eficiencia típica de las calderas es de 80% considerando poder calorífico superior.
- **Tecnologías de gasificación:** operan calentando la biomasa en un ambiente pobre en oxígeno que rompe la biomasa sólida liberando gas inflamable de bajo o medio poder calorífico,

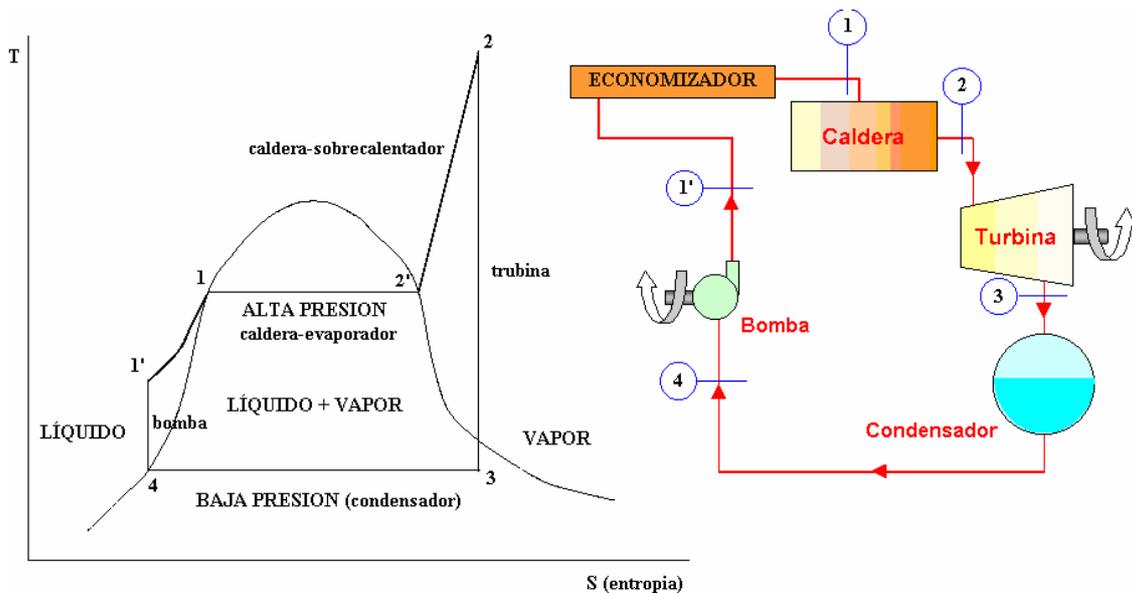
denominado “gas de síntesis”, el cual se filtra y limpia antes de ser quemado en una turbina a gas o en motores de combustión, o inclusive puede alimentar celdas de combustible. Al igual que los sistemas de fuego directo, pueden ser de lecho fijo o de lecho fluidizado, produciendo estos últimos un gas de síntesis de mayor poder calorífico.

No obstante que la gasificación permitiría hacer uso de procesos térmicos de mayor eficiencia que el Ciclo Rankine utilizado en los sistemas a vapor (con lo que puede reducir eventualmente los costos de producción de electricidad en base de biomasa sólida suponiendo que el menor costo de biomasa compensa el mayor gasto en inversión), el informe “Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview” (IRENA, 2013) destaca que dichas tecnologías están en fase inicial de despliegue aún, con proyectos piloto y con una fuerte necesidad de mayor inversión en investigación y desarrollo. Por esta razón, se ha optado por los sistemas de fuego directo, por tratarse de una tecnología madura y comprobada que se sustenta en el uso de vapor para generación eléctrica cuya tecnología básica tiene más de 100 años en uso, lo que permite altos niveles de disponibilidad y confiabilidad.

#### **4.3.2 Turbinas de vapor**

Las turbinas a vapor sustentan su funcionamiento en el Ciclo Rankine (Gráfico 15), mediante el cual aprovechan el vapor a alta presión que es producido en una caldera para generar su movimiento rotatorio, transfiriéndose de este modo parte de la energía térmica contenida en el vapor (con la consecuente pérdida de presión a la salida de la turbina). El gas saliente pasa luego hacia un condensador donde el vapor cambia de fase a líquido, el cual es movido por una bomba para ser devuelto al circuito de la caldera donde cambia de fase a vapor de alta presión e inicia el ciclo nuevamente.

**Gráfico 15. Ciclo Rankine**



Las turbinas a vapor pueden ser de diferentes tipos; así i) las turbinas de condensación son las que se utilizan en aplicaciones exclusivas de producción de potencia, y se caracterizan por entregar a la salida de la turbina una mezcla de vapor y agua, ii) las turbinas de extracción tiene aperturas que permiten la extracción de parte del vapor para ser utilizado en otros procesos diferentes a la producción de potencia, y iii) las turbinas de contra presión sirven como reductores de presión del vapor para su uso directo en algún proceso, no condensando el vapor a la salida de la turbina, sino al final de proceso usuario del vapor a baja presión.

Para efectos de nuestro proyecto se utilizará una turbina de condensación, en vista que la finalidad es la mayor posibilidad de producción de electricidad, no estando previsto hacer uso del vapor generado para algún proceso adicional.

Al respecto, dado que el presente documento trata de un análisis que podría ser considerado de prefactibilidad, no se considerará algún modelo de turbina de fabricante en particular para evaluar

el rendimiento de la central eléctrica, sino que se considerará el valor típico de 20% de energía eléctrica por unidad de energía calórica entregada durante la combustión<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> EPA estima un rendimiento de 18,6% para plantas de entre 15 MW a 25 MW eléctricos.

## 5 Costos Estimados de implementación

### 5.1 Costos de la Biomasa

#### 5.1.1 Requerimientos de Biomasa

Un elemento básico para determinar los costos de producción de la central es la cantidad de energía que se espera esta produzca durante el año, para ello se considera que la misma operará maximizando la producción con la finalidad de reducir los costos de producción unitarios asociados al costo fijo.

Para ello, se considera que el factor de disponibilidad (availability factor) de una central eléctrica que utiliza leña según el “2013 Generating Unit Statisticak Brochure - Units Reporting Events” (NERC) es de 86,89%, lo que resulta que es de esperar una producción máxima de 7 611 MWh/año por cada 1 MW eléctrico instalado.

Esta cantidad de electricidad requiere, para una eficiencia de 20%, una energía térmica de 38 055 MWh/año que debe provenir de la combustión de la biomasa.

Si se toma en cuenta que el Poder Calorífico Superior del eucalipto de 24 meses, según estima Müller, es de 4 493,67 kCal/kg o 18 801,5 J/kg, se requiere de 173 Ha/MW-año<sup>13</sup>, lo que para poder mantener un sistema de suministro permanente implica un terreno distribuido en dos parcelas (de modo que se pueda cosechar cada una de ellas anualmente); así se determina que por cada 1 MW de capacidad eléctrica instalada se requerirá de 346 Ha/año de terreno destinadas al cultivo de eucalipto.

Cabe precisar que el número de parcelas se ha derivado de considerar las recomendaciones contenidas en los “Apuntes de Silvicultura” (Serrada), con un sistema de aprovechamiento no intermitente.

---

<sup>13</sup> Esto resulta del hecho que para el sistema de plantación adoptado se espera un rendimiento de 42 Ton/Ha, y de considerar que 860 420,05 Calorías equivalen a 1 kWh.

### 5.1.2 Fases del aprovechamiento de la Biomasa

#### Preparación de la tierra

Trata de los trabajos a realizar previo a la plantación para favorecer el buen crecimiento de los árboles. Están encaminados a favorecer el arraigo y crecimiento inicial de los eucaliptos, en vista que estos competirán con otras plantas por los recursos disponibles para su crecimiento. Así, para evitar la competencia con hierbas, zarzas, o cualquier otro arbusto, es primordial eliminarlos mediante el desbroce del terreno, así como la remoción de la tierra para permitir la fácil instalación de las raíces del eucalipto.

Tanto el desbroce como la remoción del terreno, puede efectuarse ya sea manual o mecanizadamente; siendo que de acuerdo con el documento, en el caso mecanizado el límite es resultado de la pendiente del terreno y la fragilidad del suelo. En el caso de nuestro proyecto, dado que las pendientes no superan el 20% se prevé el uso de maquinaria subcontratada, como excavadores con oruga, tractores picadores y tractores agrícolas.

#### Abonado

La finalidad principal del abonado o fertilización es ayudar a acelerar el crecimiento del eucalipto durante los dos primeros años, reforzando tanto su parte aérea como radicular, de modo que ello implique un menor tiempo de cosecha (reducción de la edad de corta) o más madera al final del turno, lo que mejora la economía del proyecto. Generalmente, la fertilización se realiza al momento de la plantación o cuando más entre 2 o 3 semanas después de esta. Si bien, esta labor podría ser mecanizada, la práctica en la zona objeto del proyecto es que se efectúe de modo manual dados los bajos costos de la mano de obra. Cabe señalar que se considera la posibilidad que hasta el 10% de las cepas plantadas por hectárea puedan ser sustituidas debido a su muerte prematura.

#### Tratamientos culturales

Los cultivos forestales no necesitan tratamientos culturales ya que no se busca una madera de calidad por lo que los nudos en la madera son indiferentes, por ello no se realizan podas. Solo habría que considerar posibles tratamientos fitosanitarios si nos encontramos con algún problema pero la experiencia brasileña no muestra problemas de plagas frecuentes.

### **Apeo y reunión**

El apeo se realiza mecánicamente con retroexcavadora con un cabezal bracket, las cortas son a hecho y los turnos para fines energéticos son de dos años (24 meses), siendo tramo único. El cabezal bracket, de fabricación sueca, corta (con cizalla) y va acumulando (con un gancho) unos 10 árboles y va realizando montones, reuniéndolos para su posterior saca (no estamos en un bosque, sino en una plantación) y transporte.

### **Secado**

El secado normalmente en España se realiza en campo, pero en nuestra ubicación los periodos sin lluvia son muy cortos y la lluvia abundante en el periodo de corta por ello el astillado y secado se dará en pilas en campas, posiblemente cubiertas, en la planta térmica donde existiría un almacenamiento de biomasa astillada y secándose suficiente para alimentar la planta unas semanas. Mientras se traslada a planta la biomasa permanecería en montones en el campo en forma de haces de troncos y ramas

### **Saca**

Se realiza con autocargador con enfardadora, la grúa carga los montones, los sitúa en la enfardadora, la cual realiza fardos de 500 kilos. A posteriori el autocargador transporta y acumula los fardos en el cargadero.

### **Transporte**

Lo realizan camiones subcontratados, que transportan los fardos desde el cargadero hasta la planta, la carga suele ser de 17 Ton en cada camión. El recorrido será corto ya que los cultivos serán concéntricos a la planta; de este modo se concentrará el astillado en planta.

### **Astillado**

El astillado de troncos y ramas de árboles constituye un proceso que actúa físicamente sobre la biomasa, reduciendo el tamaño del material y, con ello, el volumen que ocupa. En una primera etapa se reduce el tamaño de los residuos leñosos, obteniendo astillas con un tamaño máximo de partícula que posibilita el manejo y almacenaje, de los residuos de una forma técnicamente viable.

El equipo de astillado puede ser fijo o semifijo. El equipo se encontrará en fábrica, ya que este requiere un lugar amplio considerando los volúmenes de la cosecha.

#### **Extracción de tocones**

La extracción de los tocones se realiza una vez que se ha aprovechado la cepa unos cinco cortes. Se considera esta cifra porque es el tiempo en el que es rentable el recepe. Las operaciones se realizarán mecánicamente utilizando un Bulldozer o retroexcavadora, y a su culminación, el terreno se nivelará para que quede liso y uniforme para una nueva plantación.

#### **Eliminación de residuos**

No se prevé ningún tipo de eliminación de residuos al ser un aprovechamiento de biomasa, toda vez que no se retirará la corteza ni las ramas, pues se aprovechará el árbol entero. Los únicos residuos que podrían quedar en el terreno tras el desembosque es la hojarasca como resultado del secado de la madera al aire libre. Este tipo de residuos mejora la calidad edáfica de la parcela, conforme lo demuestran estudios como el de Müller, que concluye que el contenido de nutrientes del material diferente de la madera y la corteza del árbol, supone aproximadamente 20% de todos los nutrientes presentes en el árbol; razón por la cual no tiene sentido su eliminación pues reduce las necesidades de fertilización y con ella los costos asociados.

#### **5.1.3 Costes estimados por cada fase de aprovechamiento**

Para la definición de los costos por Hectárea se ha tomado en cuenta los estimados de Müller para espaciamiento de 3,0 m x 0,5 m. Para ello los costos del año 2005 se ajustan por la inflación brasilera acumulada de 60% y se expresan en US\$ con una tasa de cambio actual de 2,7 R\$/US\$.

**Tabla 3. Costos de producción de biomasa**

Ítem	Estimados Müller (R\$/Ha)	Ajustado al 2014 (US\$/Ha)
<b>Preparación del terreno:</b>	<b>191,15</b>	<b>113,27</b>
Arado	60	35,56
Nivelado	30	17,78
Deshierbe	101,15	59,94
<b>Plantación:</b>	<b>880,93</b>	<b>522,03</b>
Plantones (+10% para replantío)	733,33	434,57
Transporte de plantones	1,50	0,89
Alineamiento y estaqueo	4,49	2,66
Poceo y siembra	141,61	83,92
<b>Fertilización:</b>	<b>820,16</b>	<b>486,02</b>
Abono NPK (150 gr/planta)	590	349,63
Calcaéreo	210	124,44
Fertilización	20,16	11,95
<b>Cosecha (Apeo, desembosque y transporte)</b>	<b>781,51</b>	<b>463,12</b>
<b>Mantenimiento:</b>	<b>223,23</b>	<b>132,28</b>
Mantenimiento	147,26	87,27
Insecticida para hormigas	41,60	24,65
Combate de hormigas	25,05	14,84
Correctivo	9,32	5,52

#### 5.1.4 Costes estimados terreno y habilitación de infraestructura

Actualmente, el precio de venta del terreno en la zona de interés para el proyecto es de aproximadamente 1 US\$/m<sup>2</sup>, lo que equivale a 10 000 US\$/ha.

Asimismo, la preparación de caminos y cerco perimétrico se estima tomando los datos de Müller en 156,08 US\$/ha.

## 5.2 Costos de Generación y Transmisión Eléctricas

### 5.2.1 Costo de Inversión en la central eléctrica

De acuerdo con EPA Heat and Power Partnership, el costo de la central de generación eléctrica, incluido el sistema de manejo y suministro de biomasa de entrada a la central, pero sin la conexión eléctrica, se estimó para el año 2007 en aproximadamente 1 900 US\$/kW. Dicho valor hemos considerado conveniente corregirlo considerando la variación del índice de variación de precios de “bienes terminados descontados alimentos y energía”, WPSSOP3500, publicado por el Bureau of Labor and Statistics de los Estados Unidos de América. Así, al año 2014 la inversión unitaria equivaldría a 2 217 US\$/kW.

Los gastos de transporte marítimo y seguros desde Estados Unidos, aranceles y desaduanaje, así como flete hasta el lugar de instalación de la central se estiman en un 5% del valor FOB, por lo que se considerará 2 328 US\$/kW instalado.

### 5.2.2 Costo de Inversión de conexión a la red eléctrica

La conexión se efectuaría considerando una subestación elevadora de 10kV/60kV que de acuerdo con los módulos estándar de Osinergmin se estima en US\$ 450 000 sin IVA para una capacidad de 15 MVA.

La línea de transmisión en 60 kV se estima con un costo de 110 000 US\$/km sin IVA, para zona de selva de acuerdo con lo estudios de Osinergmin. Se considera una longitud estimada de 10 km.

### 5.2.3 Costos de Operación y Mantenimiento

Se considera los valores estimados por EPA, según los cuales los costos anuales de operación y mantenimiento de la central eléctrica se estiman en un 5% del valor de la inversión en la misma, que considera consumibles, sueldos y salarios. En este caso 116,4 US\$/kW eléctrico instalado.

Estos costos incluyen el personal necesario

En cuanto a los costos anuales de operación mantenimiento de la línea y subestación, se estiman equivalente a 4% según Osinergmin para activos en zona de selva.

#### **5.2.4 Costos de Gestión y de participación en el mercado eléctrico**

Se deberá asumir el aporte por regulación, el cual está normado como el 1% de la facturación que por venta de energía efectúe la central conforme lo dispone la legislación sectorial.

### **5.3 Costo Medio Ponderado de la deuda (WACC)**

De acuerdo con los estudios realizados por Osinergmin para el mercado eléctrico peruano (Macroconsult, 2010) el WACC aplicable al sector es de 12%, antes de impuestos, considerando una estructura típica de endeudamiento del 50% del valor de la inversión.

## 6 Ingresos Estimados

### 6.1 Venta de energía eléctrica

Conforme se ha señalado, los ingresos del proyecto provendrán de la venta de su producción al SEIN, para lo cual se evaluará diferentes alternativas de precio de venta.

### 6.2 Venta de emisiones evitadas

De acuerdo con el informe “State and Trends of Carbon Pricing” (Ecofys, 2014), preparado para el Banco Mundial, el precio del CO2 en aquellos espacios en los cuales existe un mercado para este producto, tiene por media el valor de 12 US\$/Ton; siendo el caso que dicho valor viene sufriendo importantes variaciones como puede observarse en el Gráfico 16 que muestra la cotización mensual de la tonelada de CO2 en Europa, expresado en Euros, que a enero de 2015 equivale aproximadamente a 8,30 US\$/Ton (7,22 €/Ton), habiendo en algún momento caído inclusive a 2,50 €/Ton.

**Gráfico 15. Precio del CO2**



Fuente: <http://www.investing.com/commodities/carbon-emissions>.

En vista que el proyecto evita la emisión de CO2 proveniente de centrales de generación que utiliza combustibles fósiles, y que en particular en la localidad de Pucallpa los grupos existentes y previstos

a instalarse son motores de combustión interna que utilizan fuelóleo. Al respecto, de acuerdo con los “Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)” de la Generalitat de Catalunya, se estima que para el gasoil o Diesel 2 las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalen a 2,79 Ton CO<sub>2</sub> por cada Ton de gasoil, lo que aplicado al consumo del generador eléctrico equivale a 0,6244 Ton CO<sub>2</sub>/MWh que serían evitados por nuestro proyecto y cuya venta supondrían un ingreso para el mismo.

## 7 Análisis Económico

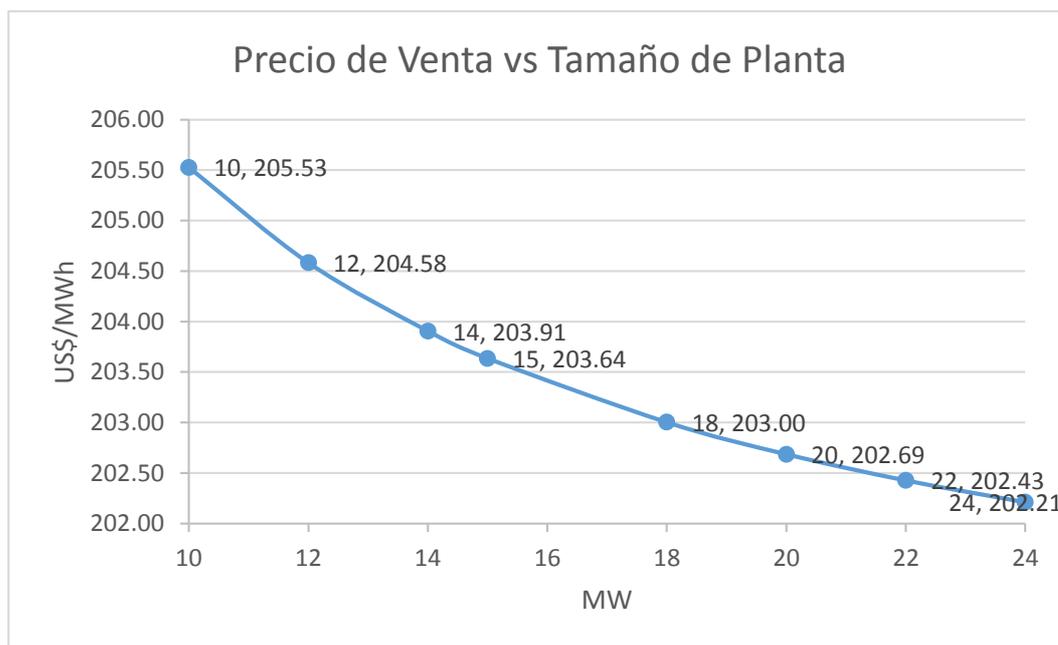
Para efectos del análisis económico se consideró una vida útil de 20 años, la depreciación de los activos a una tasa de 10% anual y una estructura de 50% de capital propio. Asimismo, se supone un costo de la deuda a tomar de 10%, con un WACC de 12% conforme a lo que requiere el mercado peruano para proyectos de generación eléctrica. Se considera asimismo que el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> es de 8,3 US\$/Ton.

### 7.1 Sensibilidad al Tamaño de Planta

En vista que en el sistema peruano la promoción de renovables se da a partir de concursos públicos en los cuales los desarrolladores ofertan sus precios de equilibrio, se procede a evaluar cuales serían dichos precios considerando tamaños de planta de 10 MW a 24 MW con un máximo factor de utilización (86,89%).

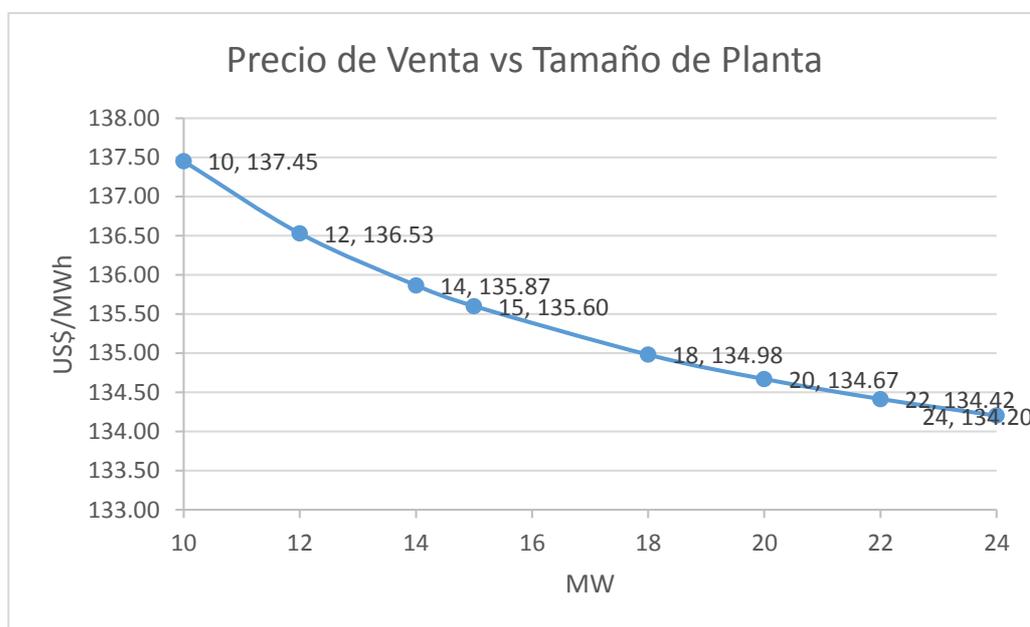
Los resultados se muestran en el Gráfico 16, en el cual se observa que la elasticidad del precio respecto del tamaño de planta se reduce de 2% a 1,4% en promedio a partir de los 15 MW. Cabe señalar que la figura muestra por cada tamaño de planta evaluado el par (MW, Precio de venta).

**Gráfico 16. Precio de Venta con WACC 12% antes de impuestos**



Los resultados del Gráfico 16 se consideran que forma parte de los costos del proyecto la adquisición de los terrenos para la producción forestal, no obstante es posible optar por la alternativa de no adquirirlos y en su lugar establecer una cooperativa con los tenedores actuales de tierras haciéndolos partícipes de la sociedad desarrolladora. En este caso, los precios disminuyen significativamente, tal como muestra la Figura 17 en un 33% respecto del caso previo.

**Gráfico 17. Precio de Venta con WACC 12% antes de impuestos**



De igual modo, es de notar que a partir de los 15 MW la elasticidad del precio al tamaño de planta se reduce de 3% a 2%, razón por la cual dicho tamaño resulta en el más conveniente como valor de compromiso.

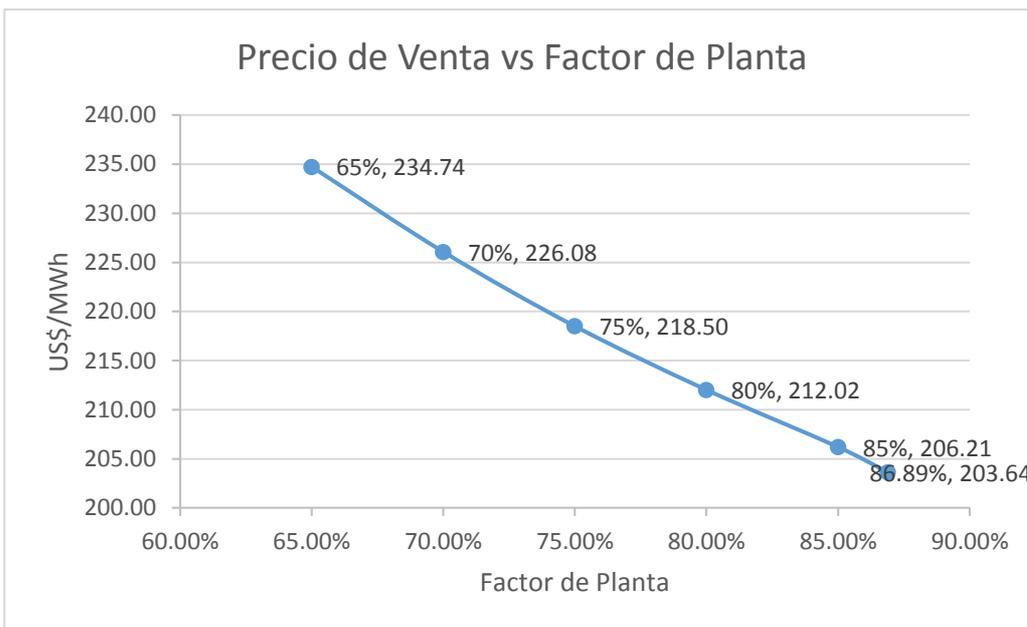
## 7.2 Sensibilidad a las Horas de Operación

Visto que un tamaño de planta de 15 MW resulta adecuado para efectos de nuestro proyecto, se procedió a evaluar el efecto que el factor de planta ejerce en el valor del precio que mantiene un WACC de 12% antes de impuestos.

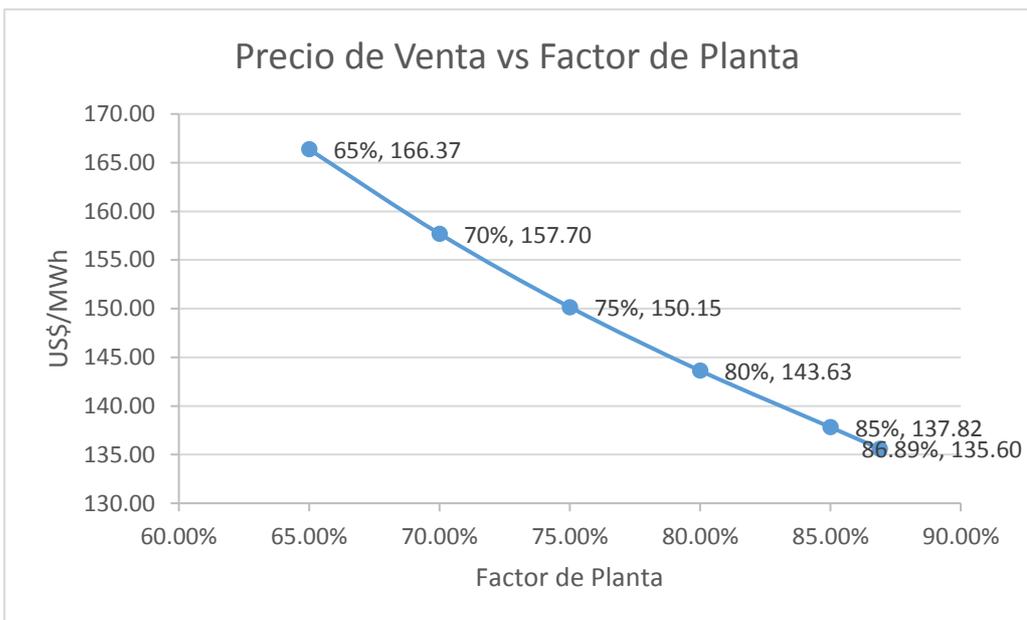
Al respecto, se evaluaron igualmente los casos, con y sin adquisición de terrenos para la actividad forestal. Obteniéndose conforme muestra el Gráfico 18 una elasticidad al factor de planta de 50% y 70%, respectivamente para los casos con compra y sin compra del terreno de uso forestal.

**Gráfico 18. Precio de Venta con WACC 12% antes de impuestos**

Caso con adquisición de terrenos



Caso sin adquisición de terrenos



En consecuencia, se concluye que para lograr un precio competitivo es necesario maximizar la producción eléctrica.

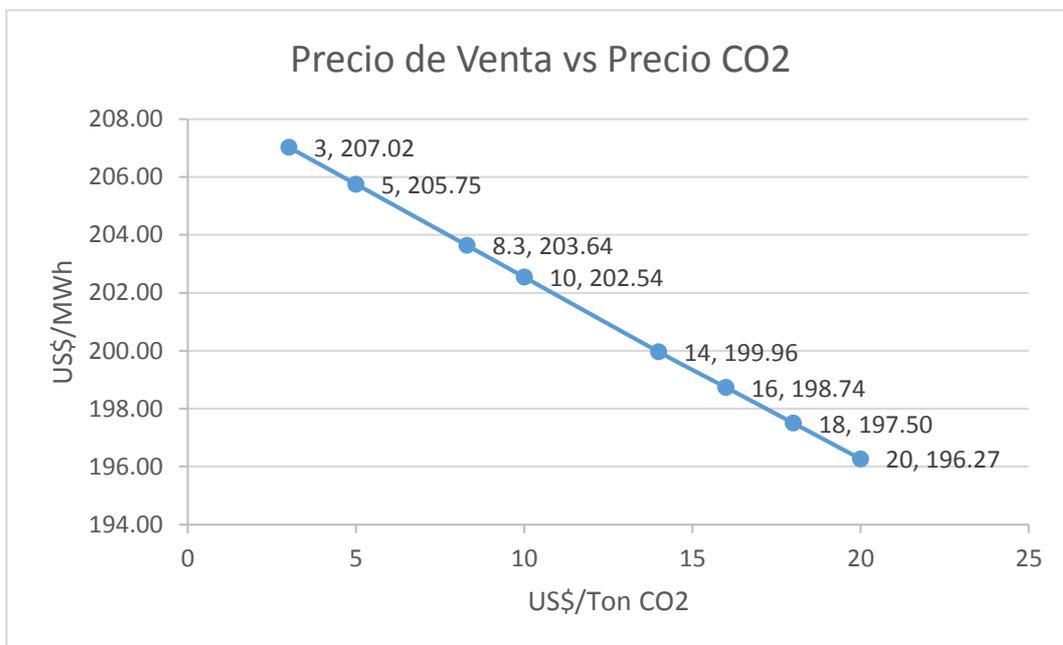
### 7.3 Sensibilidad al precio del CO2

Dado que el precio del CO2, como se ha mencionado, viene siendo objeto de modificaciones importantes durante los últimos años, se efectúa finalmente un análisis que su valor puede tener en una planta de 15 MW que opera con el máximo factor de planta esperable.

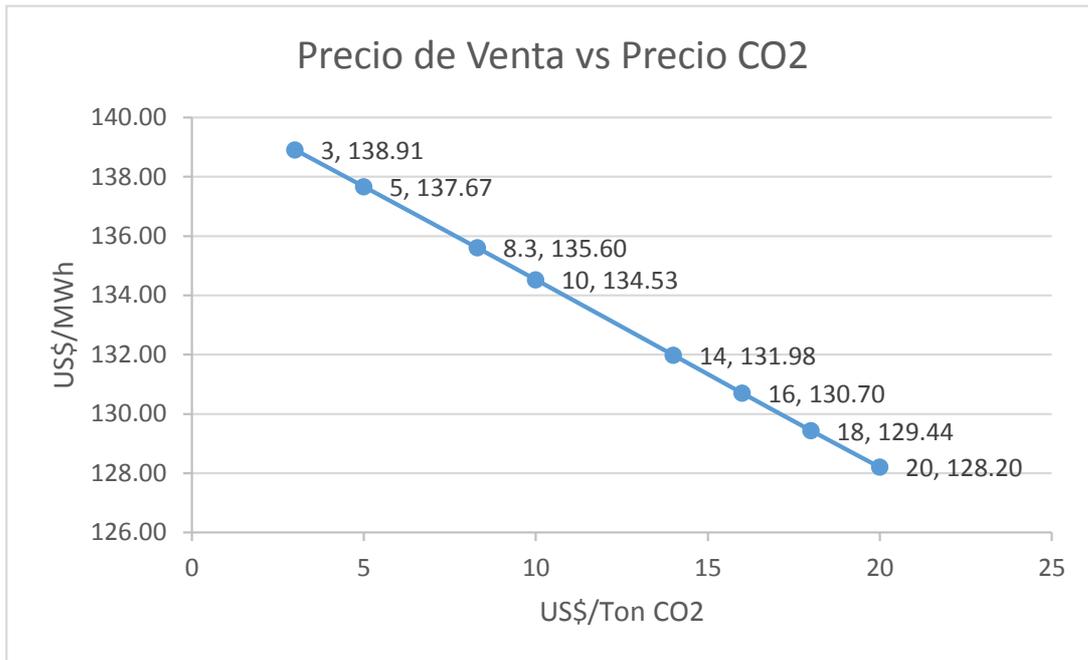
Se observa en el Gráfico 19 que el precio del CO2 debe ser tenido en cuenta para efectos de ajustar el precio de venta en caso durante la vida útil del proyecto el precio del CO2 se modifique, siendo el caso que la elasticidad media es de -4% para el caso de la adquisición de terrenos, y de -6% de no ser así.

**Gráfico 19. Precio de Venta con WACC 12% antes de impuestos**

Caso con adquisición de terrenos



Caso sin adquisición de terrenos



### 7.4 Otros Indicadores

En todos los casos analizados, cuando aplicado el precio de equilibrio (que ocasiona un VAN nulo) se obtuvo que el Pay Back de la inversión oscila entre 5 y 7 años. Asimismo, la TIR del accionista se ubicó entre 8% y 12% (dependiendo del caso), valores considerados muy razonables para efectos de inversión en el sector de generación eléctrica en Perú.

## 8 Conclusiones

Las recientes políticas públicas en Perú demuestran un interés por introducir en su matriz energética el uso de fuentes renovables de energía para producción de electricidad. Asimismo, existe interés por resolver problemas de deforestación en la región amazónica mediante el desarrollo de proyectos que generen cadenas de valor económicas.

Se han efectuado tres subastas por energías renovables en los años 2009, 2011 y 2013, sin éxito en materia de adquisición de energía proveniente de biomasa. En estas subastas se ofrece contratos de adquisición de energía a los precios que oferte cada postor.

Los proyectos de reforestación con fines energéticos se constituyen en una herramienta para atender las necesidades de la matriz energética, así como la recuperación de zonas deforestadas. Esto supone una oportunidad de negocio que se estima de entre 320 GWh/año y 814 GWh/año para la venta de electricidad proveniente de bosques manejados.

Se ha encontrado que en la localidad de Ucayali, en los territorios comprendidos entre la ciudad de Pucallpa y el poblado de Campo Verde, existen las condiciones apropiadas para llevar adelante este tipo de proyectos, pues se cuenta con acceso a vías de comunicación terrestres y aéreas, a la vez que la red eléctrica del SEIN discurre en medio de las zonas deforestadas, y con terrenos que no contienen pendientes que dificulten el trabajo mecanizado cuando necesario.

Dado que no existe experiencia en Perú en materia de producción de cultivos forestales energéticos, menos aún en la región amazónica, se ha tomado la amplia experiencia brasilera en el uso de cultivos de eucalipto de rápido crecimiento, considerando el uso de cultivos de 24 meses.

El aprovechamiento energético se ha visto por conveniente efectuarlo con un sistema de turbinas a vapor que aproveche la quema directa de la biomasa, ello debido a la fiabilidad que esta tecnología representa respecto de la de gasificación de biomasa. Para ello se considerado costos de implementación tomando como referencia el mercado norteamericano.

El análisis económico muestra la conveniencia de emprender una planta de 15 MW de capacidad instalada, procurando un factor de planta elevado de 87% con la finalidad de reducir costos. Asimismo, se observa la conveniencia de involucrar a los tenedores de tierras como parte del proyecto, con la finalidad de evitar la adquisición innecesaria de terrenos con la consecuente

reducción del precio de venta que garantice un retorno razonable conforme a los parámetros del mercado eléctrico peruano (WACC antes de impuestos de 12%). En este caso se recomienda un precio de 135,6 US\$/MWh producido por el proyecto. La producción esperada para venta sería de 114,165 GWh/año.

Además, es necesario prever en la fórmula de ajuste del precio de venta el impacto que la variación de los precios del CO2 ocasiona en la rentabilidad del proyecto; siendo recomendable aplicar una tasa de entre 4% y 6% a la variación del precio de venta de energía, respecto de la variación del precio del CO2.

En estas condiciones, el proyecto garantiza ser sostenible en términos económicos a través del precio de venta y su fórmula de ajuste; en términos sociales, al hacer partícipe de los beneficios económicos del mismo a los tenedores de tierras; y en términos ambientales, al evitar emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera al sustituir generación eléctrica basada en gasoil.

## 9 Bibliografía

- [1] Propuesta Definitiva de Actualización del Plan de Transmisión 2015 - 2024. COES, 2014.
- [2] Elaboración de la Nueva Matriz Energética Sostenible y Evaluación Ambiental Estratégica, como Instrumentos de Planificación. RG Consultores et al, 2012
- [3] Plan de Desarrollo Regional Concertado 2011 - 2021 del Departamento de Ucayali. GORU, 2011.
- [4] Plan Regional de Desarrollo de Capacidades de Ucayali 2010 -2012. GORU, 2010.
- [5] Vulnerabilidad y Riesgos, Región Ucayali. USAID et al, 2012.
- [6] Evolución de Indicadores del Mercado Eléctrico 1995 - 2011. MINEM, 2012.
- [7] Estudio para la Determinación de la Tasa de Actualización. Macroconsult, 2010.
- [8] Sustento de los Porcentajes para determinar el Costo Anual Estándar de Operación y Mantenimiento. Osinergmin, 2007.
- [9] Evaluación de Áreas Deforestadas y humedales en los Departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios al año 2011. Osinfor, 2013.
- [10] Plan de Inversión Forestal Perú. Climate Investment Funds, 2013.
- [11] Política Nacional del Ambiente. MINAM, 2009.
- [12] Apuntes de Selvicultura. Serrada, 2008.
- [13] Energía de la Biomasa. IDAE, 2007.
- [14] Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies. EPA, 2007.
- [15] 2013 Generating Unit Statisticak Brochure - Units Reporting Events. NERC, 2014.

- [16] Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, Departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro de Carbono. Sales Dávila, 2006.
- [17] Biomasa: Experiencias con biomasa agrícola y forestal para uso energético. IDAE, 2008.
- [18] Biomass for Power generation and CHP. IEA, 2007.
- [19] Estudio de prefactibilidad para la producción y comercialización de papel a partir de eucalipto. Fernández Egúsquiza, 2008.
- [20] Guía para inversionistas interesados en el sector forestal peruano. Finance Alliance for Sustainable Trade, 2012.
- [21] Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de Pinus taeda L. com diferentes idades. Revista Árvore. Martha Andreia Brand et al, 2004.
- [22] Short Rotation Eucalypt Plantations for Energy in Brazil. IEA Bioenergy, 2011.
- [23] Establecimiento de Plantaciones Forestales: Eucalyptus sp. INFOR.
- [24] Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba. Dias Müller, 2005.
- [25] Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview. IRENA, 2013.
- [26] Perú, Evaluación del Estado de Preparación de las Energías Renovables 2014. IRENA, 2014.
- [27] Investment Project in a Brazilian eucalyptus farm. Monteiro Sbampato. 2012.
- [28] Establecimiento de Plantaciones Forestales - Eucalyptus sp. Instituto Forestal de Chile.
- [29] La Gestión Forestal Sostenible y el Eucalipto. ENCE.
- [30] El valor de la biomasa Forestal. ENCE.
- [31] State and Trends of Carbon Pricing. Ecofys. 2014.