

Madre de Dios Capital de la Biodiversidad
UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE

INFORME DE INVESTIGACIÓN



“Resistividad eléctrica de 105 especies forestales peruanas en función del contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible, Madre de Dios – Perú”

INVESTIGADOR PRINCIPAL:

Dr. Ing. Emer Ronald Rosales Solórzano

CO-INVESTIGADOR(ES):

Est. Elaine Zuluaga Limachi

Madre de Dios - Perú

2019

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la resistividad eléctrica de 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible. El método aplicado fue no paramétrico del nivel no experimental, investigación del tipo aplicado cuantitativo y correlacional. La resistividad eléctrica de las maderas peruanas analizadas tuvo una relación inversa al contenido de humedad equilibrio de la madera, variando de $0,2440 \cdot 10^8 \Omega \text{ m}$ a $0,1301 \cdot 10^{11} \Omega \text{ m}$. La estimación de la resistividad por direcciones de corte de la madera fue en base a la resistividad volumétrica. Y se ordenó las maderas por especies forestales en grupos como: A (topa), B (pashaco), C (tornillo), D (pumaquiro) y E (shihuahuaco) que permitieron clasificar correctamente para su uso adecuado y en forma sostenible.

Palabras clave: madera, resistividad eléctrica, humedad, Madre de Dios.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the electrical resistivity of 105 Peruvian forest species based on the equilibrium moisture content of wood to promote its sustainable use. The applied method was nonparametric of the non-experimental level, investigation of the applied quantitative and correlational type. The electrical resistivity of the analyzed Peruvian woods had an inverse relationship to the equilibrium moisture content of the wood, varying from $0.2440 \cdot 10^8 \Omega \text{ m}$ to $0.1301 \cdot 10^{11} \Omega \text{ m}$. And the woods were ordered by forest species in groups such as: A (topa), B (pashaco), C (screw), D (pumaquiro) and E (shihuahuaco) that allowed to classify correctly for its proper use and in a sustainable way.

Keywords: wood, electrical resistivity, humidity, Madre de Dios.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	2
ÍNDICE DE CONTENIDO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.1. Situación problemática	7
1.2. Formulación del problema	8
1.2.1. Problema general.....	8
1.2.2. Problemas específicos	8
1.3. Justificación e importancia.....	8
1.4. Objetivos de la investigación	9
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
2. HIPÓTESIS Y VARIABLES	10
2.1. Hipótesis.....	10
2.1.1. Hipótesis general	10
2.1.2. Hipótesis específicas.....	10
2.2. Variables de la investigación.....	11
2.2.1. Identificación de variables e indicadores	11
2.2.2. Operacionalización de variables	11
3. MARCO TEÓRICO	12
3.1. Bases teóricas.....	12
3.2. Marco conceptual.....	15
3.2.1. Conductividad eléctrica de la madera.....	15
3.2.2. Resistencia eléctrica de la madera.....	15
3.2.3. Resistividad de la madera	15
3.2.4. Contenido de humedad equilibrio (CHE).....	16
3.2.5. Punto de saturación de la fibra (PSF).....	16
3.2.6. Uso sostenible de la madera.....	16
3.3. Antecedentes de la investigación	16
4. METODOLOGÍA.....	19
4.1. Tipo de estudio	19

4.2. Diseño de la investigación	19
4.3. Delimitación espacial y temporal	19
4.4. Población y muestra	19
4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
4.5.1. Métodos y técnicas	20
4.5.2. Instrumentos	24
4.5.3. Procesamientos de datos	25
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1. Pruebas de hipótesis general	26
5.2. Presentación de resultados	27
6. CONCLUSIONES	35
7. RECOMENDACIONES	36
8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	37
ANEXOS	39
Instrumentos	40
Matriz de coherencia	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables, dimensión, indicadores y medida.

Tabla 2. Valores de resistencia de la madera para diferentes contenidos de humedad.

Tabla 3. Resistencia óhmica de algunas maderas según la dirección respecto a las fibras.

Tabla 4. Estudios de la densidad básica de la madera de 105 especies forestales peruanas.

Tabla 5. Rangos de clasificación de las maderas según niveles de humedad relacionadas con la densidad básica para promover su uso sostenible.

Tabla 6. Análisis de varianza de variabilidad de la resistividad eléctrica de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera.

Tabla 7. Variabilidad de la resistividad eléctrica (r) de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera.

Tabla 8. Resistividad eléctrica longitudinal (r_l), tangencial (r_t) y radial (r_r) de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera.

Tabla 9. Clasificación de resistividad eléctrica de 105 maderas según contenido de humedad equilibrio para promover su uso sostenible.

Tabla 11. Las ecuaciones matemáticas para estimar la resistividad eléctrica.

Tabla 12. Matriz de coherencia.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de la resistencia eléctrica versus humedad de la madera.

Figura 2. Resistividad eléctrica versus contenido de humedad equilibrio.

Figura 3. Resistividad eléctrica longitudinal (r_l), tangencial (r_t) y radial (r_r) versus contenido de humedad equilibrio de la madera.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta lo que según nuestro conocimiento sería un primer estudio acerca de las variaciones que se producen en la resistividad eléctrica de la madera de especies forestales en el país, frente a alteraciones en sus condiciones de humedad. Para ello se utilizó un instrumento matemático que permite estimar corrientes eléctricas, con lo cual se puede calcular la resistividad con una buena precisión.

Es destacable resaltar a Hasselblatt que realizó investigaciones “sobre la relación entre resistencia eléctrica y el grado de humedad correspondiente en la madera, hallando para el abedul que el dominio higroscópico, el logaritmo de la resistencia óhmica es proporcional al contenido húmedo de agua”.

Asimismo Stamm investigó muy a fondo “la notable influencia que ejerce el agua en la resistencia eléctrica de la madera, comprobando que todas las demás circunstancias como la especie, densidad y forma de la madera, son despreciables comparadas con ella”.

La manera más habitual de medir el contenido de humedad de la madera es haciendo uso de sus propiedades eléctricas. Por ello, el método más empleado se basa en la relación inversa existente entre contenido de humedad y resistencia eléctrica. El método consiste en introducir dos electrodos en la madera y mediante el uso de un higrómetro permiten medir el contenido de humedad basándose en su resistencia eléctrica.

1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

En unos estudios “la madera tiene propiedades y características ingenieriles que la convierten en un material de excelente calidad, es adecuada para la elaboración de una amplia gama de productos y artículos a escala industrial” (Vignote y Jiménez, 1996).

Fernández (1989) manifiesta que “el estudio del comportamiento de la madera como elemento pasivo de un circuito eléctrico resulta muy interesante por permitir su consideración como cuerpo aislante, moderadamente conductor o bien como conductor”. “Es un hecho admitido que la madera se comporta en general como cuerpo aislante, pero frente a esta creencia más o menos universal se deben matizar algunos aspectos, analizando los factores que inciden especialmente en ese comportamiento”. “Así a lo largo del presente siglo numerosos científicos de todo el mundo han estudiado este tema, permitiendo relacionar la conductividad o resistividad de la madera con factores invidentes en ella, como humedad, temperatura, contenido de sales, etc”. Asimismo indica que “del estudio de la conductividad de la madera, se derivan las posibilidades que puede ofrecer en aplicaciones de diversa índole, que tenga que ver con la electricidad”. “El saber hasta qué punto y en qué condiciones la madera se comporta como aislante, delimita su ámbito de utilización”. “Por otra parte, sobre el estudio de resistividad, que presenta la madera con respecto a la humedad, se apoya en el principio de funcionamiento de los xilohigrómetros”. “Conocida la curva de evolución de la resistividad y la humedad, bastará medir resistividades para poder conocer humedades”.

Sin embargo, cuando se estudian, determinan y aplican o usan las propiedades eléctricas de las maderas, pocas importancias le toman al contenido de humedad equilibrio (CHE). Es decir, “los valores de los contenidos de humedad de las maderas, simplemente se determinan y reportan, pero no se interpreta su significado ni implicaciones que tendrán en los procesos de transformación y

acondicionamiento, como son el secado, la preservación y el uso de esas maderas en la fabricación de diferentes productos terminados” (Rosales, 2015).

En ese entender la formulación del problema en forma concreta a manera de pregunta se formula en el numeral que sigue:

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

Considerando los párrafos del numeral anterior la formulación del problema fue:

¿Cuánto será la resistividad eléctrica de las 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible en Madre de Dios y el Perú?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se determinará la resistividad eléctrica y variabilidad de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera?.
- ¿Cómo se estimará la resistividad eléctrica de 105 especies forestales por dirección de corte longitudinal, tangencial y radial de la madera?.
- ¿Cómo se clasificará la resistividad eléctrica de 105 especies forestales por grupos según el contenido de humedad equilibrio de la madera para su uso sostenible?.

1.3. Justificación e importancia

Uno de los principales productos de la industria forestal peruana es la madera de las especies forestales del trópico, el mismo que es un potencial producto comparado con otros materiales. Se justifica básicamente porque tiene una creciente importancia para nuestra economía y uso de la sociedad,

principalmente en el campo de la construcción, soporte de redes eléctricas y de las exportaciones. Debido a esto se torna interesante el estudio por especies forestales comerciales del trópico referido a sus propiedades físicas, en particular de su resistencia eléctrica y comportamiento eléctrico.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Determinar la resistividad eléctrica de 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la resistividad eléctrica y variabilidad de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera.
- Estimar la resistividad eléctrica de 105 especies forestales por dirección de corte longitudinal, tangencial y radial de la madera.
- Clasificar la resistividad eléctrica de 105 especies forestales por grupos según el contenido de humedad equilibrio de la madera para su uso sostenible.

2. HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Hipótesis

2.1.1. Hipótesis general

- Ha: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible es diferente.
- Ha: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible es igual.

2.1.2. Hipótesis específicas

- Ha: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera es variable.
Ha: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera es igual.
- Ha: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales por dirección de corte longitudinal, tangencial y radial de la madera es desigual.
Ho: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales por dirección de corte longitudinal, tangencial y radial de la madera es igual.
- Ha: La clasificación de resistividad eléctrica de 105 especies forestales por grupos en función del contenido humedad equilibrio de la madera determina su uso sostenible.
Ho: La clasificación de resistividad eléctrica de 105 especies forestales por grupos en función del contenido humedad equilibrio de la madera no determina su uso sostenible.

2.2. Variables de la investigación

2.2.1. Identificación de variables e indicadores

Variable independiente:

- Contenido de humedad equilibrio de la madera

Variable dependiente:

- Resistividad eléctrica de la madera
- Resistividad longitudinal de la madera
- Resistividad tangencial de la madera
- Resistividad radial de la madera

2.2.2. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables, dimensión, indicadores y medida.

Variables		Dimensión	Indicadores	Medida
Variable independiente (X)	Contenido de humedad equilibrio de la madera	Humedad de la madera.	Especies forestales con estudios tecnológicos, Higrómetro.	%
Variable dependiente (Y)	Resistividad eléctrica de la madera. Resistividad eléctrica de la madera. Resistividad longitudinal de la madera. Resistividad tangencial de la madera. Resistividad radial de la madera.	Conductividad y resistencia eléctrica de la madera.	Ecuaciones para estimar parámetro.	MΩxm ó Ωm

Fuente. Elaboración propia.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Bases teóricas

El “comportamiento de la madera como elemento pasivo de un circuito eléctrico, resulta muy interesante por permitir su consideración como cuerpo aislante, moderadamente conductor o bien como conductor”. “Es un hecho admitido que la madera se comporta en general como cuerpo aislante, pero frente a esta creencia más o menos universal se deben matizar algunos aspectos, analizando los factores que inciden especialmente en ese comportamiento”. Es así que del “estudio de la conductividad de la madera, se derivan las posibilidades que puede ofrecer en aplicaciones de diversa índole, que tenga que ver con la electricidad”. “El saber hasta qué punto y en qué condiciones la madera se comporta como aislante, delimita su ámbito de utilización” (Fernández, 1989). “La resistencia que al paso de la corriente ofrece un receptor, se puede sintetizar de acuerdo” a Kollmann (1959) y Fernández (1989) en la fórmula:

$$R = r l / s$$

Donde:

- R: Resistencia eléctrica (ohmios)
- r : Resistividad del material (ohmios * cm u ohmios * m)
- S: Sección del elemento resistor (cm² o m²)
- l : Longitud del elemento resistor (cm² o m²).

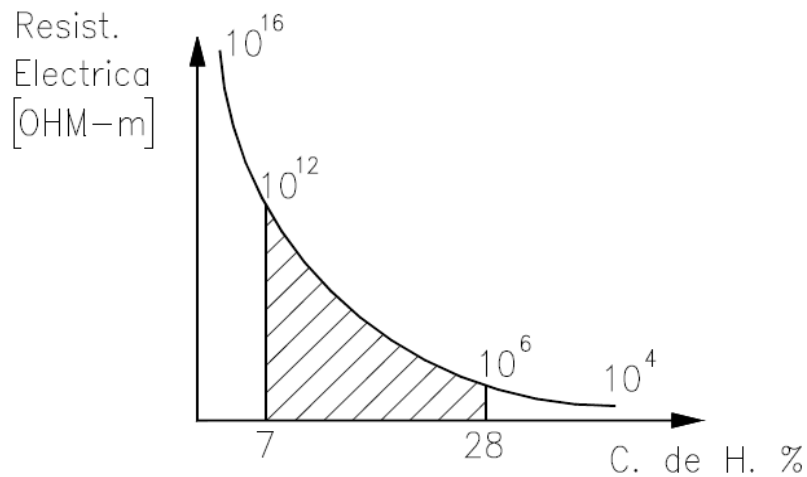
La “resistividad se designa por la letra ere minúscula (r) y se mide en ohmios por metro ($\Omega \cdot m$ o $\Omega \cdot cm$)”.

$$r = RS / l$$

Donde:

- R es la resistencia en ohms,
- S la sección transversal en cm²
- l la longitud en cm

La “humedad de la madera es el factor que más influye en su resistividad” (Fernández, 1989). Por ello la “resistencia eléctrica de la madera aumenta a medida que disminuye el contenido de humedad” (Durant y Tuset, 1989).



Fuente: Fuente. Durant y Tuset (1989).

Figura 1. Comportamiento de la resistencia eléctrica versus humedad de la madera.

Stamm en 1929 “llega a la relación entre resistividad y grado de humedad” siguiente:

Para humedades < al PSF

$$\text{Log } r = c^{-ah} \quad \text{o} \quad r = D e^{-bh}$$

Siendo:

D, a, b y c constantes

Rosales (2014) reconfirma a “Nausser él mismo que confirma los trabajos de Stamm validada sin grandes errores, en intervalos de humedad comprendido entre 8 -18 % y en 1938 concreta los coeficientes expresando la relación”.

$$r = 1,78 \times 10^{13} e^{-0,736 h}$$

Por otra parte, sobre el “estudio de resistividad, que presenta la madera con respecto a la humedad, se apoya el principio de funcionamiento de los xilohigrómetros”. “Conocida la curva de evolución de la resistividad y la humedad, bastará medir resistividades para poder conocer humedades” (Fernández, 1989).

También indican que para “un cierto grado de humedad la resistencia eléctrica depende de la especie, dirección de la fibra y de su densidad”. Es “cuatro veces mayor en el sentido longitudinal que en el sentido transversal (radial y tangencial), y aumenta su resistencia con la densidad de la madera” (Durant y Tuset, 1989).

Tabla 2. Valores de resistencia de la madera para diferentes contenidos de humedad.

Humedad %	Resistividad Megaohms x m
7	22000
10	600
15	40
25	0,5

Fuente: Durant y Tuset (1989).

En “estado anhidro y a temperatura ambiente la resistencia eléctrica es de aproximadamente, 1016 Ohms-metro decreciendo a 104 Ohms-metro cuando la madera está en estado verde” (CORMA, 2017).

La madera “por la peculiaridad de su estructura no presenta las mismas propiedades en sus direcciones clásicas: longitudinal, radial y tangencial”. “Ya en 1915 Hiruma sacó esta conclusión que fue ratificada en 1927 por Stamm al afirmar que la resistividad en la dirección tangencial viene a ser el doble que en la dirección longitudinal y por otra parte, la resistividad en la dirección radial es aproximadamente un 10 % inferior que la dirección tangencial” (Fernández, 1989; Kollmann, 1959 y Rosales, 2014).

$$r_t = 2 r_l$$

$$r_r = r_t - 10\% r_t$$

r_t : resistividad tangencial

r_r : resistividad radial

r_l : resistividad longitudinal

Tabla 3. Resistencia óhmica de algunas maderas según la dirección respecto a las fibras.

Maderas	Humedad %	Resistividad (M Ω x cm)		
		Longitudinal	Transversal	
			Radial	Tangencial
<i>Thuja plicata</i> D. Don (cedro rojo)	14	9	22	24
<i>Picea sitchensis</i> Carr. (picea plateada)	15,7	10	18	20
<i>Pseudotsuga taxifolia</i> Britt. (pino oregón)	15,3	11	21	23

Fuente: Fernández, 1989 y Kollmann, 1959.

3.2. Marco conceptual

3.2.1. Conductividad eléctrica de la madera

La “conductividad eléctrica es la capacidad que tiene un material para conducir la corriente eléctrica, en física se define como el inverso de la resistencia de un circuito eléctrico” (Álvarez, 2013).

Fernández (2008) menciona que la “conductividad es el estudio del comportamiento de la madera como elemento pasivo de un circuito eléctrico”.

3.2.2. Resistencia eléctrica de la madera

La “resistencia eléctrica es la capacidad que tiene la madera de evitar el flujo u oponerse al paso de la conducir la corriente eléctrica” (Álvarez, 2013).

3.2.3. Resistividad de la madera

La resistividad (r), “es la resistencia eléctrica específica o resistividad de volumen de cada madera para oponerse al paso de una corriente eléctrica” (Durant y Tuset, 1989).

3.2.4. Contenido de humedad equilibrio (CHE)

Rosales (2018) ratifica que “el contenido de humedad que alcanza la madera cuando está expuesta a condiciones ambientales constantes durante un tiempo adecuado”.

3.2.5. Punto de saturación de la fibra (PSF)

Rosales (2018) ratifica que es “el contenido de humedad de la madera en donde sus fibras contienen toda el agua higroscópica pero nada de agua libre, cuya principal característica es que cuando se presenta la pérdida del agua higroscópica también se presenta contracción y pérdida de peso”.

3.2.6. Uso sostenible de la madera

Rosales (2018) ratifica que “el uso sostenible, es utilizar los recursos naturales de una manera racional, que conlleve a un crecimiento económico (principalmente es lo que quieren los explotadores de los recursos), político y social”.

3.3. Antecedentes de la investigación

Correa, Pimentel y Vignolo (2005) manifiestan que “observan una fuerte dependencia del valor de la conductividad con la humedad. Sin embargo, para establecer una dependencia funcional entre ambas se hace necesario cuantificar la humedad de la muestra”. “Se sabe que en un sólido la conductividad eléctrica depende tanto del número de portadores como de la velocidad promedio de éstos”. “El aumento de la conductividad con la humedad observado en este trabajo, puede deberse a ambos factores. Por un lado el agua (potable) contiene un gran número elementos, como sales minerales, cloro, fluor y otros”. “Estos se incorporarían a la muestra, lo que podría, eventualmente, aumentar el número de portadores”. “Por otro lado existe también la posibilidad que tanto la molécula de agua como las sales y los otros elementos presentes en el agua potable, se unan químicamente a las moléculas de madera, formando complejos que, de algún modo, favorecen el

transporte de los portadores, es decir aumenta la velocidad media de éstos, lo cual también contribuye al aumento de la conductividad”. “Sería entonces conveniente utilizar agua destilada y desionizada”.

Durant y Tuset (1989) manifiestan que la “madera es considerada como aislante de la corriente eléctrica dependiendo tal característica de los factores en orden de prioridad como el contenido de humedad, sustancias electrolíticas en su interior y dirección del gramo”. Asimismo indican que el “CH de la madera, es el factor más importante en relación con la resistencia que ofrece al paso de una corriente eléctrica”. “El valor de la resistencia es directamente proporcional al CH dentro de los límites de 5 a 30%”. “Por encima de 30% el valor de la resistencia varía muy poco con el incremento de la humedad”. Por otro lado mencionan que, “en cuanto al peso específico opoente, la resistencia eléctrica varía en razón inversa, siendo mayor en el sentido transversal que en el longitudinal”. “La madera es un excelente aislador eléctrico, perdiendo esta cualidad con el aumento de la humedad, siendo altamente conductora con el aumento de humedad por sobre el punto de saturación de la fibra (PSF)”.

Kollmann (1959) manifiesta que la “madera en estado bien seco es un aislante excelente”. “Pero la resistencia óhmica desciende bruscamente al aumentar la proporción de agua, y en la madera saturada llega asintóticamente hasta alcanzar casi la conductividad normal del agua”. Hasselblatt “realizó investigaciones sobre la relación entre resistencia eléctrica y el grado de humedad correspondiente en la madera, hallando para el abedul que el dominio higroscópico, el logaritmo de la resistencia óhmica es proporcional al contenido de húmedo de agua”. “La influencia de la humedad disminuye muy rápidamente más allá del punto de saturación de las fibras, pues mientras que la conductividad aumenta un millón de veces, aproximadamente, cuando la proporción de humedad pasa de 0 al 30 %, o sea desde el estado anhidro hasta el intervalo de saturación de las fibras, en cambio aumenta en unas 5 veces solamente cuando crece el contenido de agua desde este intervalo hasta la saturación total de la madera”. Por ello se “deduce que la conductividad esta en estrecha relación con la superficie interna de la madera”. “Asimismo indica que Stamm investigó muy a fondo la notable influencia que ejerce el agua en la resistencia eléctrica de la madera, comprobando que todas

las demás circunstancias como la especie, densidad y forma de la madera, son despreciables comparadas con ella". "Es cierto que estas tienen, en sí, una influencia bien apreciable en la resistencia óhmica, pero sus variaciones son del mismo o inferior orden de magnitud que la variación de las maderas en su textura.

4. METODOLOGÍA

4.1. Tipo de estudio

Este trabajo es del tipo no experimental y de clase de investigación aplicada, según el objeto es una investigación para la planeación y prospectividad.

4.2. Diseño de la investigación

La investigación es de diseño descriptivo correlacional, cuantitativo.

4.3. Delimitación espacial y temporal

4.3.1. Delimitación espacial

País	:	Perú
Regiones	:	Selva alta y baja (trópico)
Departamento	:	Madre de Dios
Provincia	:	Tambopata
Distrito	:	Tambopata
Sector	:	Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

4.3.2. Delimitación temporal

El estudio tuvo una duración de 6 meses.

4.4. Población y muestra

4.4.1. Población

Existe una población de 307 especies diferentes registradas como producción de madera aserrada (MINAGRI – DGFFS, 2012 y Rosales, 2015). De

los cuales se tiene aproximadamente 200 especies con estudios tecnológicos completos (Acevedo y Valenzuela, 2013, Rosales, 2015 y Rosales, 2018).

4.4.2. Muestra

Considerando las 200 especies con estudios tecnológicos completos y teniendo en cuenta solo las especies estudiadas de la selva alta y baja (trópicos) con estudios físicos de la madera, utilizaremos las 105 especies propuestas por Rosales (2015) y Rosales, (2018). El mismo que la muestra representa más del 50 % de la población, superando al 10 % como mínimo que se necesita Córdova (1997). Justificando de esta forma lo requerido en el presente estudio (ver tabla 4).

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.5.1. Métodos y técnicas

Método

En el trabajo de investigación se aplicó el método no paramétrico del tipo correlacional cuantitativo ($p \rightarrow q$).

Técnicas

Las técnicas utilizadas para el trabajo el desarrollo de la investigación fueron en tres etapas:

Primera etapa. - Se recopiló información tecnológica hecha de tesis doctoral de Rosales (2015) en la Universidad Nacional Federico Villareal y libro de física de la madera Rosales (2018) presente en la biblioteca nacional del Perú (tabla 4).

Tabla 4. Estudios de la densidad básica de la madera de 105 especies forestales peruanas.

Especie	DB g/cm ³
<i>Albizzia sp.</i> (Pashaco)	0,45
<i>Amburana cearensis</i> (Ducke) A. C. Smith. (Ishpingo)	0,43

<i>Aniba amazonica</i> Meiz (Moena amarilla)	0,56
<i>Apeiba membranacea</i> Spruce (Maquisapa ñaccha 1)	0,27
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl. (Peine de mono)	0,29
<i>Apuleia molaris</i> Spruce ex Bentham (Ana caspi)	0,70
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. (Pumaquiro)	0,67
<i>Aspidosperma</i> sp. (Quillabordon 1)	0,83
<i>Aspidosperma Vargasii</i> A. DC. (Quillabordon)	0,60
<i>Bombax paraense</i> Ducke (Punga)	0,39
<i>Brosimum aubletii</i> P. y E. (Tamamuri)	0,66
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Beg (Manchinga)	0,68
<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz (Congona)	0,68
<i>Brosimum paraense</i> (Palo sangre 1)	0,99
<i>Brosimum utile</i> (H.B.K.) Pitt. (Panguana)	0,49
<i>Calophyllum brasiliense</i> Camb. (Lagarto caspi)	0,51
<i>Calycophyllum spruceanum</i> Benth. (Capirona)	0,76
<i>Carapa guianensis</i> Aubl. (Andiroba)	0,54
<i>Cariniana domesticata</i> Mart. (Cachimbo)	0,59
<i>Caryocar coccineum</i> Pilg. (Almendro)	0,65
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turczaninow (Cedro virgen)	0,42
<i>Cedrela odorata</i> L. (Cedro)	0,42
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke Tornillo	0,45
<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr. (Lupuna blanca)	0,28
<i>Clarisia racemosa</i> R. y P. (Mashonaste)	0,59
<i>Copaifera officinalis</i> L. (Copaiba)	0,61
<i>Coumarouna odorata</i> Aubl. (Shihuahuaco)	0,87
<i>Couratari macrosperma</i> A. C. Schmidt (Papelillo caspi)	0,65
<i>Coussapoa</i> sp. (Ubilla)	0,33
<i>Crepidospermum goudotianum</i> (Palo bastón)	0,83
<i>Croton lechleri</i> Muell. Arg. (Sagre de grado)	0,40
<i>Croton rimbachii</i> Croizat. (Sangre de grado 1)	0,43
<i>Diploptropis martiusii</i> Bent in Mart. (Chontaquiro)	0,74
<i>Endlicheria williamsii</i> O. C. (Isma moena)	0,36
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori (Misa blanca)	0,72
<i>Ficus glabrata</i> H.B.K. (Oje rosado)	0,50
<i>Ficus</i> sp. (Oje renaco)	0,43
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng) Harms. (Palo ajo)	0,49
<i>Guarea kurthiana</i> Adr. Juss. (Requia)	0,60
<i>Guatteria hyposericeae</i> (Carahuasca)	0,46
<i>Guazuma crinita</i> C. Mart. (Bolaina blanca)	0,41
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. (Bolaina negra)	0,40
<i>Heisteria</i> sp. (Yutubanco)	0,71
<i>Hevea brasiliensis</i> (H.B.K.) Huelt (Shiringa)	0,53
<i>Hura crepitans</i> L. (Catahua amarilla)	0,41
<i>Hymenaea</i> sp. (Azucar huayo 1)	0,77

<i>Inga sp.</i> (Shimbillo)	0,67
<i>Iryanthera laevis</i> Margrak (Cumala colorada)	0,56
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. DOM (Achihua)	0,28
<i>Lucuma dolichophylla</i> Standley. (Quina quina)	0,74
<i>Malmea sp.</i> (Espintana)	0,40
<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev. (Quinilla)	0,87
<i>Manilkara sp.</i> (Balata)	0,67
<i>Matisia bicolor</i> Ducke (Machin sapote)	0,55
<i>Matisia cordata</i> Humb. Et Bonpl. (Zapote)	0,43
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissner) Taubert ex Mez. (Itahuba)	0,68
<i>Micranta spruceana</i> (Baillon) R. Schultes (Higuerilla)	0,40
<i>Myrcianthes fragans</i> (Sw) McVaugh (Capirona colorada)	0,95
<i>Myroxilon balsamun</i> Harms. (Estoraque)	0,78
<i>Nectandra sp.</i> (Moena negra)	0,42
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. Ex Lam) Urban (Topa)	0,13
<i>Ocotea costulata</i> (Casho moena)	0,53
<i>Ocotea sp.</i> (Roble corriente)	0,55
<i>Ormosia coccinea</i> Jacks. (Huayruro)	0,61
<i>Otaba parvifolia</i> (Aguanillo)	0,46
<i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke (Naranja podrido)	0,54
<i>Peltogyne sp.</i> (Palo violeta)	0,69
<i>Pithecellobium pedicellare</i> (Dc.) Bentham (Vilco colorado)	0,41
<i>Podocarpus sp.</i> (Romerillo macho)	0,41
<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don ex Lamb. (Diablo fuerte)	0,53
<i>Poulsenia armata</i> (Miguel) Standley (Yanchama)	0,44
<i>Pouteria sp.</i> (Caimito)	0,60
<i>Protium sp.</i> (Copal)	0,61
<i>Pseudolmedia laevigata</i> Trécul (Chimicua con pelo)	0,69
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) (Chimicua sin pelo)	0,63
<i>Pseudomedia laevis</i> (R y P) Macbr. (Chimicua)	0,71
<i>Ptecarpus sp.</i> (palo sangre amarillo)	0,68
<i>Ptecarpus sp.</i> (Palo sangre negro)	0,73
<i>Pterygota sp.</i> (Paujil ruro)	0,62
<i>Rheedia sp.</i> (Charichuelo)	0,60
<i>Sapium marmieri</i> Huber (Caucho masha)	0,40
<i>Schizolobium excelsum</i> Vogel (Pashaco 2)	0,40
<i>Sclerolobium sp.</i> (Ucshaquiro blanco)	0,39
<i>Seiba samauma</i> (Mart.) Schum. (Huimba)	0,57
<i>Sickingia tinctoria</i> (HBK) K. Schum. (Huacamayo caspi)	0,65
<i>Simarouba amara</i> Aubl. (Marupa)	0,36
<i>Sloanea sp.</i> (Cepanchina)	0,65
<i>Spondias mombin</i> L. Ubos	0,35
<i>Sterculia sp.</i> (Manchari caspi)	0,89
<i>Swietenia macrophylla</i> King (Caoba)	0,43

<i>Tabebuia billbergii</i> (Guayacan)	1,02
<i>Tabebuia capitata</i> (Bur y Sch) Sandw (Tahuarí1)	0,81
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson (Tahuarí)	0,92
<i>Terminalia amazonia</i> (J. F. Gmelin) Exell. (Yacushapana 1)	0,73
<i>Terminalia</i> sp. (Roble amarillo)	0,64
<i>Tethorichidium rubrivenium</i> (Col de monte)	0,46
<i>Tetragastris altíssima</i> (Aubl.) Swartz (Isigo)	0,65
<i>Tetragastris panamensis</i> O. Kuntze (Copal)	0,70
<i>Thopis</i> sp. (Shachavaca micuna)	0,44
<i>Trichilia</i> sp. (Uchumullaca)	0,69
<i>Virola albidiflora</i> (Cumala 1)	0,35
<i>Virola sebifera</i> Aubl. (Cumala blanca)	0,45
<i>Virola</i> sp. (Pucuna caspi)	0,64
<i>Vochysia</i> sp. (Quillosa)	0,30
<i>Zanthoxylum</i> sp. (Hualaja)	0,47

Fuente: Rosales, 2015 y Rosales, 2018.

Segunda etapa. - Se utilizó los valores de la densidad básica (DB) y contenido de humedad equilibrio (CHE) propuesto por Rosales (2015). Con ello se generó el modelo matemático para las 105 especies forestales tropicales. Luego se estimó la resistividad eléctrica de la dirección longitudinal de la madera en base a la ecuación de Rosales (2015), Rosales (2018) que considera el uso sostenible de la madera y formula de Stamm siguientes:

$$CHE = - 4,141 \ln (DB) + 9,8939 \quad (1)$$

DB: densidad básica de la madera (g/cm³ o kg/m³)

CHE: contenido humedad equilibrio de la madera (%)

$$r = 1,78 \times 10^{13} e^{-0,736 CHE} \quad (2)$$

e : épsilon (2,7183)

r : resistividad eléctrica de la madera (Ω•m o Ω•cm).

Para estimar la dirección de corte transversal en sus cortes tangencia y radial de la madera se utilizó ecuación propuesto por Hiruma y Stamm siguientes:

$$r_t = 2 r_l \quad (3)$$

$$r_r = r_t - 10\% r_t \quad (4)$$

$$r_v = r_l + r_t + r_r \quad (5)$$

r_t : resistividad tangencial ($\Omega \cdot m$ o $\Omega \cdot cm$).

r_r : resistividad radial ($\Omega \cdot m$ o $\Omega \cdot cm$).

r_l : resistividad longitudinal ($\Omega \cdot m$ o $\Omega \cdot cm$).

r_v : resistividad volumétrica ($\Omega \cdot m$ o $\Omega \cdot cm$).

Tercera etapa. - Se estableció grupos de especies maderables por contenido de humedad equilibrio propuesto por Rosales (2015) y Aróstegui (1982) para promover su uso sostenible de la forma más adecuada, es decir su utilización en base al contenido de humedad equilibrio de cada especie forestal (ver tabla 5).

Tabla 5. Rangos de clasificación de las maderas según niveles de humedad relacionadas con la densidad básica para promover su uso sostenible.

Clasificación por grupos de humedad		Contenido de humedad equilibrio CHE	DB ($g \cdot cm^{-3}$)
Grupo A	Muy baja (MB)	< 11,1	> 0,75
Grupo B	Baja (BA)	11,1 - 12	0,60 – 0,75
Grupo C	Media (ME)	12,01- 13,6	0,40 – 0,60
Grupo D	Alta (AL)	13,61 - 14,8	0,30 – 0,40
Grupo E	Muy alta (MA)	> 14,8	< 0,30

Fuente: Rosales (2015) y Rosales (2018).

Nota: DB: Densidad básica; CHL: Contenido de humedad libre; PSF: Punto de saturación de las fibras; CHE: Contenido de humedad equilibrio; CHM: Contenido de humedad máximo.

4.5.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados fueron:

- Los estudios tecnológicos de 105 maderas peruanas tropicales (tabla 4 y 5)
- Las ecuaciones para estimar la resistividad eléctrica (ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5)

4.5.3. Procesamientos de datos

Para el análisis estadístico descriptivo y correccional del procesamiento de datos se realizó utilizando los programas estadísticos Excel versión 2013 y SSPP versión 18, con una prueba de Fisher a un nivel de significancia α 0,05.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Pruebas de hipótesis general

5.1.1. Variabilidad de la resistividad eléctrica de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera.

- Ha: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible es diferente.
- Ho: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible es igual.

Tabla 6. Análisis de varianza de variabilidad de la resistividad eléctrica de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F Calculado	F Tabulado (0,05)	Valor crítico de F
Regresión	1	473947427,93	473947427,93	245,95	3,09	4,76E-29
Residuos	103	198483050,73	1927019,91			
Total	104	672430478,66				

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6, se aprecia que $F_c > F_t (0,05)$ por tanto se acepta la hipótesis alterna al 95 % de probabilidad estadística, rechazando la hipótesis nula. Ésto indica que la resistividad eléctrica de las 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible es diferente. Corroborando de esta forma a lo estipulado por Stamm (1929), Nauser (1938), Kollmann (1959), Durant y Tuset (1989) y Fernández.

5.2. Presentación de resultados

5.2.1. Variabilidad de la resistividad eléctrica de maderas peruanas

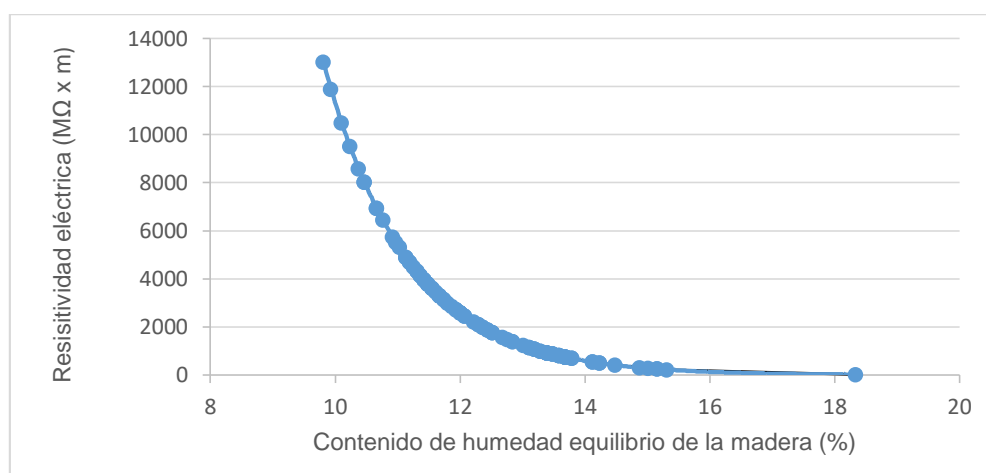
Tabla 7. Variabilidad de la resistividad eléctrica (r) de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera.

Especie	CHE %	r MΩ x m
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. Ex Lam) Urban (Topa)	18,34	24,40
<i>Apeiba membranacea</i> Spruce (Maquisapa ñaccha 1)	15,32	226,37
<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr. (Lupuna blanca)	15,17	252,90
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. DOM (Achihua)	15,17	252,90
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl. (Peine de mono)	15,02	281,45
<i>Vochysia</i> sp. (Quillosisa)	14,88	312,09
<i>Coussapoa</i> sp. (Ubilla)	14,48	417,29
<i>Spondias mombin</i> L. Ubos	14,24	499,25
<i>Virola albidiflora</i> (Cumala 1)	14,24	499,25
<i>Endlicheria williamsii</i> O. C. (Isma moena)	14,12	544,01
<i>Simarouba amara</i> Aubl. (Marupa)	14,12	544,01
<i>Bombax paraense</i> Ducke (Punga)	13,79	694,31
<i>Sclerolobium</i> sp. (Ucshaquiro blanco)	13,79	694,31
<i>Croton lechleri</i> Muell. Arg. (Sagre de grado)	13,69	750,01
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. (Bolaina negra)	13,69	750,01
<i>Malmea</i> sp. (Espintana)	13,69	750,01
<i>Micranta spruceana</i> (Baillon) R. Schultes (Higuerilla)	13,69	750,01
<i>Sapium marmieri</i> Huber (Caucho masha)	13,69	750,01
<i>Schizolobium excelsum</i> Vogel (Pashaco 2)	13,69	750,01
<i>Guazuma crinita</i> C. Mart. (Bolaina blanca)	13,59	808,63
<i>Hura crepitans</i> L. (Catahua amarilla)	13,59	808,63
<i>Pithecellobium pedicellare</i> (Dc.) Bentham (Vilco colorado)	13,59	808,63
<i>Podocarpus</i> sp. (Romerillo macho)	13,59	808,63
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turczaninov (Cedro virgen)	13,49	870,25
<i>Cedrela odorata</i> L. (Cedro)	13,49	870,25
<i>Nectandra</i> sp. (Moena negra)	13,49	870,25
<i>Amburana cearensis</i> (Ducke) A. C. Smith. (Ishpingo)	13,39	934,96
<i>Croton rimbachii</i> Croizat. (Sangre de grado 1)	13,39	934,96
<i>Ficus</i> sp. (Oje renaco)	13,39	934,96
<i>Matisia cordata</i> Humb. Et Bonpl. (Zapote)	13,39	934,96
<i>Swietenia macrophylla</i> King (Caoba)	13,39	934,96
<i>Poulsenia armata</i> (Miguel) Standley (Yanchama)	13,29	1002,82
<i>Thopis</i> sp. (Shachavaca micuna)	13,29	1002,82
<i>Albizzia</i> sp. (Pashaco)	13,20	1073,91

<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke Tornillo	13,20	1073,91
<i>Virola sebifera</i> Aubl. (Cumala blanca)	13,20	1073,91
<i>Guatteria hyposericeae</i> (Carahuasca)	13,11	1148,31
<i>Otaba parvifolia</i> (Aguanillo)	13,11	1148,31
<i>Tethorichidium rubrivenium</i> (Col de monte)	13,11	1148,31
<i>Zanthoxylum</i> sp. (Hualaja)	13,02	1226,10
<i>Brosimum utile</i> (H.B.K.) Pitt. (Panguana)	12,85	1392,15
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng) Harms. (Palo ajo)	12,85	1392,15
<i>Ficus glabrata</i> H.B.K. (Oje rosado)	12,76	1480,56
<i>Calophyllum brasiliense</i> Camb. (Lagarto caspi)	12,68	1572,67
<i>Hevea brasiliensis</i> (H.B.K) Huelt (Shiringa)	12,52	1768,29
<i>Ocotea costulata</i> (Casho moena)	12,52	1768,29
<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don ex Lamb. (Diablo fuerte)	12,52	1768,29
<i>Carapa guianensis</i> Aubl. (Andiroba)	12,45	1871,96
<i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke (Naranja podrido)	12,45	1871,96
<i>Matisia bicolor</i> Ducke (Machin sapote)	12,37	1979,63
<i>Ocotea</i> sp. (Roble corriente)	12,37	1979,63
<i>Aniba amazonica</i> Mez (Moena amarilla)	12,29	2091,38
<i>Iryanthera laevis</i> Margrak (Cumala colorada)	12,29	2091,38
<i>Seiba samauma</i> (Mart.) Schum. (Huimba)	12,22	2207,30
<i>Cariniana domesticata</i> Mart. (Cachimbo)	12,08	2451,93
<i>Clarisia racemosa</i> R. y P. (Mashonaste)	12,08	2451,93
<i>Aspidosperma vargasii</i> A. DC. (Quillabordon)	12,01	2580,81
<i>Guarea kurthiana</i> Adr. Juss. (Requia)	12,01	2580,81
<i>Pouteria</i> sp. (Caimito)	12,01	2580,81
<i>Rheedia</i> sp. (Charichuelo)	12,01	2580,81
<i>Copaifera officinalis</i> L. (Copaiba)	11,94	2714,15
<i>Ormosia coccinea</i> Jacks. (Huayruro)	11,94	2714,15
<i>Protium</i> sp. (Copal)	11,94	2714,15
<i>Pterygota</i> sp. (Paujil ruro)	11,87	2852,05
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) (Chimicua sin pelo)	11,81	2994,58
<i>Terminalia</i> sp. (Roble amarillo)	11,74	3141,82
<i>Virola</i> sp. (Pucuna caspi)	11,74	3141,82
<i>Caryocar coccineum</i> Pilg. (Almendro)	11,68	3293,85
<i>Couratari macrosperma</i> A. C. Schmidt (Papelillo caspi)	11,68	3293,85
<i>Sickingia tinctoria</i> (HBK) K. Schum. (Huacamayo caspi)	11,68	3293,85
<i>Sloanea</i> sp. (Cepanchina)	11,68	3293,85
<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swartz (Isigo)	11,68	3293,85
<i>Brosimum aubletii</i> P.y E. (Tamamuri)	11,61	3450,74
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. (Pumaquiro)	11,55	3612,57
<i>Inga</i> sp. (Shimbillo)	11,55	3612,57
<i>Manilkara</i> sp. (Balata)	11,55	3612,57
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Beg (Manchinga)	11,49	3779,43
<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz (Congona)	11,49	3779,43
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissner) Taubert ex Mez. (Itahuba)	11,49	3779,43

<i>Ptecarpus sp.</i> (palo sangre amarillo)	11,49	3779,43
<i>Peltogyne sp.</i> (Palo violeta)	11,43	3951,39
<i>Pseudolmedia laevigata</i> Trécul (Chimicua con pelo)	11,43	3951,39
<i>Trichilia sp.</i> (Uchumullaca)	11,43	3951,39
<i>Apuleia molaris</i> Spruce ex Bentham (Ana caspi)	11,37	4128,53
<i>Tetragastris panamensis</i> O. Kuntze (Copal)	11,37	4128,53
<i>Heisteria sp.</i> (Yutubanco)	11,31	4310,93
<i>Pseudomedia laevis</i> (R y P) Macbr. (Chimicua)	11,31	4310,93
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori (Misa blanca)	11,25	4498,67
<i>Ptecarpus sp.</i> (Palo sangre negro)	11,20	4691,82
<i>Terminalia amazonia</i> (J. F. Gmelin) Exell. (Yacushapana 1)	11,20	4691,82
<i>Diplostropis martiusii</i> Bent in Mart. (Chontaquiroy)	11,14	4890,47
<i>Lucuma dolichophylla</i> Standley. (Quina quina)	11,14	4890,47
<i>Calycophyllum spruceanum</i> Benth. (Capirona)	11,03	5304,56
<i>Hymenaea sp.</i> (Azucar huayo 1)	10,98	5520,17
<i>Myroxilon balsamun</i> Harms. (Estoraque)	10,92	5741,58
<i>Tabebuia capitata</i> (Bur y Sch) Sandw (Tahuarí1)	10,77	6441,49
<i>Aspidosperma sp.</i> (Quillabordon 1)	10,67	6938,60
<i>Crepidospermum goudotianum</i> (Palo bastón)	10,67	6938,60
<i>Coumarouna odorata</i> Aubl. (Shihuahuaco)	10,47	8008,89
<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev. (Quinilla)	10,47	8008,89
<i>Sterculia sp.</i> (Manchari caspi)	10,38	8583,34
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson (Tahuarí)	10,24	9495,94
<i>Myrcianthes fragans</i> (Sw) McVaugh (Capirona colorada)	10,11	10471,56
<i>Brosimum paraense</i> (Palo sangre 1)	9,94	11874,14
<i>Tabebuia billbergii</i> (Guayacan)	9,81	13005,20

Fuente: Elaboración propia. Nota: CHE: contenido de humedad equilibrio; r: resistividad eléctrica (resistividad volumétrica); M: Mega (10^6); Ω : Ohm; m: Metro. CV: 90,35 %



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Resistividad eléctrica versus contenido de humedad equilibrio.

En la table 7 y figura 2, se aprecia que a mayor contenido de humedad equilibrio es menor la resistividad electrica de la madera, lo que indica ser inversamente proporcional la relacion, el mismo que concuerda con las bases teóricas reportados por Stamm (1929), Nauser (1938), Kollmann (1959), Durant y Tuset (1989) y Fernandez (1989). Así por ejemplo el *O. pyramidale* (topa) con 18,34 % de contenido de humedad equilibrio tuvo 24,40 MΩ x m de resistividad electrica de su madera, mientras que *T. billbergii* (guayacan) con 9,81 % de contenido de humedad equilibrio tuvo 13 005,20 MΩ x m de resistividad electrica de su madera, el mismo que representó un coeficiente de variación (CV) de 90,35 %. Sin embargo no habiendo estudios en dichas especies al respecto imposibilita su comparación y discusión.

5.2.2. Resistividad eléctrica por direcciones de corte de las maderas peruanas

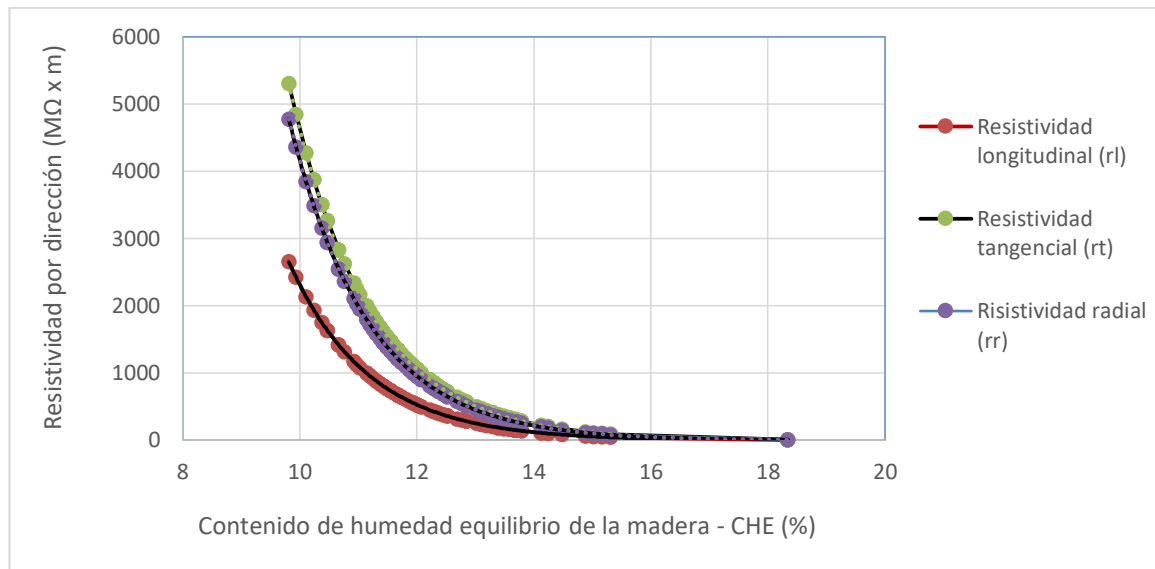
Tabla 8. Resistividad eléctrica longitudinal (r_l), tangencial (r_t) y radial (r_r) de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera.

Especie	CHE %	r_l M Ω x cm	r_t M Ω x cm	r_r MΩ x cm
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. Ex Lam) Urban (Topa)	18,34	4,98	9,96	8,96
<i>Apeiba membranacea</i> Spruce (Maquisapa ñaccha 1)	15,32	46,20	92,40	83,16
<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr. (Lupuna blanca)	15,17	51,61	103,23	92,90
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. DOM (Achihua)	15,17	51,61	103,23	92,90
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl. (Peine de mono)	15,02	57,44	114,88	103,39
<i>Vochysia sp.</i> (Quillosa)	14,88	63,69	127,38	114,64
<i>Coussapoa sp.</i> (Ubilla)	14,48	85,16	170,32	153,29
<i>Spondias mombin</i> L. Ubos	14,24	101,89	203,78	183,40
<i>Virola albidiflora</i> (Cumala 1)	14,24	101,89	203,78	183,40
<i>Endlicheria williamsii</i> O. C. (Isma moena)	14,12	111,02	222,04	199,84
<i>Simarouba amara</i> Aubl. (Marupa)	14,12	111,02	222,04	199,84
<i>Bombax paraense</i> Ducke (Punga)	13,79	141,70	283,39	255,05
<i>Sclerolobium sp.</i> (Ucshaquiro blanco)	13,79	141,70	283,39	255,05
<i>Croton lechleri</i> Muell. Arg. (Sagre de grado)	13,69	153,06	306,13	275,51
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. (Bolaina negra)	13,69	153,06	306,13	275,51
<i>Malmea sp.</i> (Espintana)	13,69	153,06	306,13	275,51
<i>Micranta spruceana</i> (Baillon) R. Schultes (Higuerilla)	13,69	153,06	306,13	275,51
<i>Sapium marmieri</i> Huber (Caucho masha)	13,69	153,06	306,13	275,51
<i>Schizolobium excelsum</i> Vogel (Pashaco 2)	13,69	153,06	306,13	275,51
<i>Guazuma crinita</i> C. Mart. (Bolaina blanca)	13,59	165,03	330,05	297,05

<i>Hura crepitans</i> L. (Catahua amarilla)	13,59	165,03	330,05	297,05
<i>Pithecellobium pedicellare</i> (Dc.) Bentham (Vilco colorado)	13,59	165,03	330,05	297,05
<i>Podocarpus</i> sp. (Romerillo macho)	13,59	165,03	330,05	297,05
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turczaninov (Cedro virgen)	13,49	177,60	355,21	319,69
<i>Cedrela odorata</i> L. (Cedro)	13,49	177,60	355,21	319,69
<i>Nectandra</i> sp. (Moena negra)	13,49	177,60	355,21	319,69
<i>Amburana cearensis</i> (Ducke) A. C. Smith. (Ishpingo)	13,39	190,81	381,62	343,45
<i>Croton rimbachii</i> Croizat. (Sangre de grado 1)	13,39	190,81	381,62	343,45
<i>Ficus</i> sp. (Oje renaco)	13,39	190,81	381,62	343,45
<i>Matisia cordata</i> Humb. Et Bonpl. (Zapote)	13,39	190,81	381,62	343,45
<i>Swietenia macrophylla</i> King (Caoba)	13,39	190,81	381,62	343,45
<i>Poulsenia armata</i> (Miguel) Standley (Yanchama)	13,29	204,66	409,31	368,38
<i>Thopsis</i> sp. (Shachavaca micuna)	13,29	204,66	409,31	368,38
<i>Albizia</i> sp. (Pashaco)	13,20	219,17	438,33	394,50
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke Tornillo	13,20	219,17	438,33	394,50
<i>Virola sebifera</i> Aubl. (Cumala blanca)	13,20	219,17	438,33	394,50
<i>Guatteria hyposericeae</i> (Carahuasca)	13,11	234,35	468,70	421,83
<i>Otoba parvifolia</i> (Aguanillo)	13,11	234,35	468,70	421,83
<i>Tethorchidium rubrivenium</i> (Col de monte)	13,11	234,35	468,70	421,83
<i>Zanthoxylum</i> sp. (Hualaja)	13,02	250,22	500,45	450,40
<i>Brosimun utile</i> (H.B.K.) Pitt. (Panguana)	12,85	284,11	568,22	511,40
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng) Harms. (Palo ajo)	12,85	284,11	568,22	511,40
<i>Ficus glabrata</i> H.B.K. (Oje rosado)	12,76	302,16	604,31	543,88
<i>Calophyllum brasiliense</i> Camb. (Lagarto caspi)	12,68	320,95	641,91	577,72
<i>Hevea brasiliensis</i> (H.B.K) Huelt (Shiringa)	12,52	360,88	721,75	649,58
<i>Ocotea costulata</i> (Casho moena)	12,52	360,88	721,75	649,58
<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don ex Lamb. (Diablo fuerte)	12,52	360,88	721,75	649,58
<i>Carapa guianensis</i> Aubl. (Andiroba)	12,45	382,03	764,06	687,66
<i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke (Naranja podrido)	12,45	382,03	764,06	687,66
<i>Matisia bicolor</i> Ducke (Machin sapote)	12,37	404,01	808,01	727,21
<i>Ocotea</i> sp. (Roble corriente)	12,37	404,01	808,01	727,21
<i>Aniba amazonica</i> Meiz (Moena amarilla)	12,29	426,81	853,63	768,26
<i>Iryanthera laevis</i> Margrak (Cumala colorada)	12,29	426,81	853,63	768,26
<i>Seiba samauma</i> (Mart.) Schum. (Huimba)	12,22	450,47	900,94	810,85
<i>Cariniana domesticata</i> Mart. (Cachimbo)	12,08	500,39	1000,79	900,71
<i>Clarisia racemosa</i> R. y P. (Mashonaste)	12,08	500,39	1000,79	900,71
<i>Aspidosperma vargasii</i> A. DC. (Quillabordon)	12,01	526,70	1053,39	948,05
<i>Guarea kurthiana</i> Adr. Juss. (Requia)	12,01	526,70	1053,39	948,05
<i>Pouteria</i> sp. (Caimito)	12,01	526,70	1053,39	948,05
<i>Rheedia</i> sp. (Charichuelo)	12,01	526,70	1053,39	948,05
<i>Copaifera officinalis</i> L. (Copaiba)	11,94	553,91	1107,82	997,04
<i>Ormosia coccinea</i> Jacks. (Huayruro)	11,94	553,91	1107,82	997,04
<i>Protium</i> sp. (Copal)	11,94	553,91	1107,82	997,04
<i>Pterygota</i> sp. (Paujil ruro)	11,87	582,05	1164,10	1047,69
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) (Chimicua sin pelo)	11,81	611,14	1222,28	1100,05

<i>Terminalia sp.</i> (Roble amarillo)	11,74	641,19	1282,38	1154,14
<i>Virola sp.</i> (Pucuna caspi)	11,74	641,19	1282,38	1154,14
<i>Caryocar coccineum</i> Pilg. (Almendo)	11,68	672,21	1344,43	1209,98
<i>Couratari macrosperma</i> A. C. Schmidt (Papelillo caspi)	11,68	672,21	1344,43	1209,98
<i>Sickingia tinctoria</i> (HBK) K. Schum. (Huacamayo caspi)	11,68	672,21	1344,43	1209,98
<i>Sloanea sp.</i> (Cepanchina)	11,68	672,21	1344,43	1209,98
<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swartz (Isigo)	11,68	672,21	1344,43	1209,98
<i>Brosimum aubletii</i> P.y E. (Tamamuri)	11,61	704,23	1408,46	1267,62
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. (Pumaquiro)	11,55	737,26	1474,52	1327,07
<i>Inga sp.</i> (Shimbillo)	11,55	737,26	1474,52	1327,07
<i>Manilkara sp.</i> (Balata)	11,55	737,26	1474,52	1327,07
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Beg (Manchinga)	11,49	771,31	1542,63	1388,36
<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz (Congona)	11,49	771,31	1542,63	1388,36
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissner) Taubert ex Mez. (Itahuba)	11,49	771,31	1542,63	1388,36
<i>Ptecarpus sp.</i> (palo sangre amarillo)	11,49	771,31	1542,63	1388,36
<i>Peltogyne sp.</i> (Palo violeta)	11,43	806,41	1612,81	1451,53
<i>Pseudolmedia laevigata</i> Trécul (Chimicua con pelo)	11,43	806,41	1612,81	1451,53
<i>Trichilia sp.</i> (Uchumullaca)	11,43	806,41	1612,81	1451,53
<i>Apuleia molaris</i> Spruce ex Bentham (Ana caspi)	11,37	842,56	1685,12	1516,60
<i>Tetragastris panamensis</i> O. Kuntze (Copal)	11,37	842,56	1685,12	1516,60
<i>Heisteria sp.</i> (Yutubanco)	11,31	879,78	1759,56	1583,61
<i>Pseudolmedia laevis</i> (R y P) Macbr. (Chimicua)	11,31	879,78	1759,56	1583,61
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori (Misa blanca)	11,25	918,10	1836,19	1652,57
<i>Ptecarpus sp.</i> (Palo sangre negro)	11,20	957,51	1915,03	1723,53
<i>Terminalia amazonia</i> (J. F. Gmelin) Exell. (Yacushapana 1)	11,20	957,51	1915,03	1723,53
<i>Diploptropis martiusii</i> Bent in Mart. (Chontaquiro)	11,14	998,05	1996,11	1796,50
<i>Lucuma dolichophylla</i> Standley. (Quina quina)	11,14	998,05	1996,11	1796,50
<i>Calycophyllum spruceanum</i> Benth. (Capirona)	11,03	1082,56	2165,13	1948,61
<i>Hymenaea sp.</i> (Azucar huayo 1)	10,98	1126,56	2253,13	2027,82
<i>Myroxylon balsamun</i> Harms. (Estoraque)	10,92	1171,75	2343,50	2109,15
<i>Tabebuia capitata</i> (Bur y Sch) Sandw (Tahuari1)	10,77	1314,59	2629,18	2366,26
<i>Aspidosperma sp.</i> (Quillabordon 1)	10,67	1416,04	2832,08	2548,87
<i>Crepidospermum goudotianum</i> (Palo bastón)	10,67	1416,04	2832,08	2548,87
<i>Coumarouna odorata</i> Aubl. (Shihuahuaco)	10,47	1634,47	3268,93	2942,04
<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev. (Quinilla)	10,47	1634,47	3268,93	2942,04
<i>Sterculia sp.</i> (Manchari caspi)	10,38	1751,70	3503,40	3153,06
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson (Tahuari)	10,24	1937,95	3875,89	3488,31
<i>Myrcianthes fragans</i> (Sw) McVaugh (Capirona colorada)	10,11	2137,05	4274,11	3846,70
<i>Brosimum paraense</i> (Palo sangre 1)	9,94	2423,29	4846,59	4361,93
<i>Tabebuia billbergii</i> (Guayacan)	9,81	2654,12	5308,24	4777,42

Fuente: Elaboración propia. Nota: CHE: contenido de humedad equilibrio; r_l : resistividad longitudinal; r_t : resistividad tangencial; r_r : resistividad radial; M: Mega (10^6); Ω : Ohm; m: Metro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Resistividad eléctrica longitudinal (r_l), tangencial (r_t) y radial (r_r) versus contenido de humedad equilibrio de la madera.

En la table 8 y figura 3, se muestra también que a mayor contenido de humedad equilibrio es menor la resistividad longitudinal, resistividad tangencial y resistividad radial de la madera, lo que igualmente indica ser inversamente proporcional la relación, reconfirmando a las bases teóricas reportadas por Kollmann (1959) y Fernandez (1989).

Así por ejemplo el *O. pyramidale* (topa) con 18,34 % de contenido de humedad equilibrio tuvo 4,98 $M\Omega \times m$ de resistividad longitudinal 9,96 $M\Omega \times m$ de resistividad tangencial y 8.96 $M\Omega \times m$ de resistividad radial de su madera, mientras que *T. billbergii* (guayacan) con 9,81 % de contenido de humedad equilibrio tuvo 2 654,12 $M\Omega \times m$ de resistividad longitudinal, 5 308,24 $M\Omega \times m$ de resistividad tangencial y 4 777,42 $M\Omega \times m$ de resistividad radial de su madera. Sin embargo al no existir estudios en dichas especies al respecto imposibilita su comparación y discusión.

5.2.3. Clasificación de la resistencia eléctrica de la madera por grupos de contenido humedad equilibrio para su uso sostenible.

Tabla 9. Clasificación de resistividad eléctrica de 105 maderas según contenido de humedad equilibrio para promover su uso sostenible.

Clasificación por Grupos de resistividad eléctrica		Rango de CHE (%)	Cantidad de maderas diferentes	CHE promedio (%)	Rango de resistividad (MΩ x m)
Grupo A	Muy baja (MB)	< 11,1	6	10	≥ 4 890,48
Grupo B	Baja (BA)	11,1 - 12	13	12	2 580,81 - 4 890,47
Grupo C	Media (ME)	12,01- 13,6	41	13	750,02 - 2 580,81
Grupo D	Alta (AL)	13,61 - 14,8	32	14	312,10 - 750,01
Grupo E	Muy alta (MA)	> 14,8	13	16	≤ 312,09

Fuente: Elaboración propia.

Nota: CHE: Contenido de humedad equilibrio; r: Resistividad eléctrica. M: Mega (10⁶); Ω: Ohm; m: Metro.

En la tabla 9, se muestra la clasificación de la resistividad eléctrica de la madera por grupos A, B, C, D y E donde a medida que sube el contenido de humedad equilibrio de las especies forestales baja su resistividad eléctrica. Ésto quiere decir que especies o maderas suaves o blandas del grupo D (ubus, pashaco etc) y E (topa, lupuna etc) tienen de baja a muy baja resistividad eléctrica, mientras que las especies o maderas duras o compactas como del grupo B (pumaquiro, copaiba etc.) y A (tahuari, shihuhuaco etc.) tienen de alta a muy alta resistividad eléctrica. También se observa que existe otras especies del grupo C donde se encuentra el cedro, tornillo, ishpingo etc clasificadas como de resistividad eléctrica media. Sin embargo al no existir investigaciones de las especies en estudio imposibilita su comparación y discusión.

6. CONCLUSIONES

- La resistividad eléctrica de las 105 especies forestales o maderas peruanas tiene relación inversa con su contenido de humedad equilibrio de la madera, permitiendo una alta precisión su estimación y variabilidad que oscila entre $0,2440 \cdot 10^8 \Omega \text{ m}$ – $0,1301 \cdot 10^{11} \Omega \text{ m}$.
- La estimación y de la resistividad longitudinal, resistividad tangencial y resistividad radial por direcciones de corte de la madera se determinan conociendo la resistividad volumétrica y contenido de humedad equilibrio de cada madera.
- La resistividad eléctrica de la madera de 105 especies forestales clasificados por grupo A (maderas de resistividad muy baja), B (maderas de resistividad baja), C (madera de resistividad media), D (maderas de resistividad alta) y E (maderas de resistividad muy alta) según su contenido de humedad equilibrio de cada madera permiten determinar su utilización correcta y en forma sostenible.

7. RECOMENDACIONES

- Continuar con investigaciones al respecto de más especies forestales con estudios tecnológicos conseguidos hasta la fecha en todo el ámbito peruano sea de especies tropicales y sub tropicales, que involucre la costa, sierra y selva de país.
- Hacer estudios a nivel experimental de nuevas especies comerciales potenciales que se usan para sujetar y soportar el tendido redes eléctricas en el país.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acevedo M. y Valenzuela W. (2013). Información personalizada sobre estudios tecnológicos de la madera en el país. Lima. 2p.
- Álvarez J. (2013). Análisis técnico del calentamiento de las máquinas eléctricas según su prestación de servicio”. Tesis pregrado. UNCP - facultad de ingeniería eléctrica y electrónica. Huancayo. 144p.
- Aróstegui A. (1982). Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. UNALM. Lima-Perú. 57 p.
- Córdova, Z. M. (1997). Estadística descriptiva e inferencial. Facultad de ingeniería. Departamento de ciencias. Pontificia Universidad Católica del Perú. 450p.
- CORMA, Corporación chilena de la madera. (2003). Recuperado de <http://www.corma.cl/medioambiente/sustentabilidad-ambiental/certificacion-de-manejo-forestal-sustentable>.
- Correa R., Pintanel, y Vignolo J. (2000). Medición de corrientes débiles en madera de roble. Departamento de física. Facultad de Ciencias Naturales, Matemática y del Medio Ambiente. Universidad tecnológica metropolitana, Casilla 9845, Santiago. Chile. 3p.
- Durant y Tuset. (1989). Manual de Maderas Comerciales. Editorial Limusa. México sur. Montevideo, Uruguay. 682p.
- Fernández J. (2008). Propiedades eléctricas de la madera. ETS de ingenieros de montes. Universidad Politécnica de Madrid. 8p.
- Kollmann, F. P. (1959). Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo I. Traducción de la 2da edición Alemana. Ministerio de agricultura. Instituto

forestal de investigaciones y experiencias y servicios de la madera. Madrid-España. 675p.

- MINAGRI – DGFFS, Ministerio de agricultura y riego – Dirección nacional forestal y fauna silvestre. (2013). Estadística forestal del Perú 2002-2013. Revista anual. Lima. 144p.
- Rosales E. (2014). Propiedades acústicas, eléctricas y térmicas de la madera. Separata escuela profesional ingeniería forestal y medio ambiente - UNAMAD. Puerto Maldonado. 10p.
- Rosales E. (2015). Niveles de humedad de maderas peruanas relacionadas con la densidad básica de la madera para promover su uso sostenible. Tesis doctoral. Universidad Nacional Federico Villareal. Lima. 95p.
- Rosales E. (2018). Física de la madera. Niveles de humedad en función densidad básica para su uso sostenible. Lima. 152p.
- Vignote S. y Jiménez P. (1996). Tecnología de la madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. España. 602p.

ANEXOS

Instrumentos

El primer instrumento:

Tabla 10. Estudios físicos de la madera de 105 especies forestales peruanas.

Espece	DB g/cm ³	CV %	CH %	Autor *
<i>Albizia</i> sp. (Pashaco)	0,45	9,49	95	Aróstegui, 1982
<i>Amburana cearensis</i> (Ducke) A. C. Smith. (Ishpingo)	0,43	7,60	14	Aróstegui, 1982
<i>Aniba amazonica</i> Mez (Moena amarilla)	0,56	9,40	19	Aróstegui, 1982
<i>Apeiba membranacea</i> Spruce (Maquisapa ñaccha 1)	0,27	8,44	113	Aróstegui, 1982
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl. (Peine de mono)	0,29	7,96	81	Aróstegui, 1982
<i>Apuleia molaris</i> Spruce ex Bentham (Ana caspi)	0,70	10,60	-	CITEMADERA, 2008
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. (Pumaquiro)	0,67	12,40	67	Aróstegui, 1982
<i>Aspidosperma</i> sp. (Quillabordon 1)	0,83	11,60	47	Solari y Velazquez, 1971
<i>Aspidosperma vargasii</i> A. DC. (Quillabordon)	0,60	14,00	-	CITEMADERA, 2008
<i>Bombax paraense</i> Ducke (Punga)	0,39	12,90	94	Aróstegui, 1982
<i>Brosimum aubletii</i> P.y E. (Tamamuri)	0,66	12,50	53	Aróstegui, 1982
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Beg (Manchinga)	0,68	12,40	44	Aróstegui, 1982
<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz (Congona)	0,68	12,40	-	CITEMADERA, 2008
<i>Brosimum paraense</i> (Palo sangre 1)	0,99	9,40	35	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Brosimum utile</i> (H.B.K.) Pitt. (Panguana)	0,49	9,69	61	Aróstegui, 1982
<i>Calophyllum brasiliense</i> Camb. (Lagarto caspi)	0,51	12,30	50	Aróstegui, 1982
<i>Calycophyllum spruceanum</i> Benth. (Capirona)	0,76	15,00	-	CITEMADERA, 2008
<i>Carapa guianensis</i> Aubl. (Andiroba)	0,54	12,10	-	CITEMADERA, 2008
<i>Cariniana domesticata</i> Mart. (Cachimbo)	0,59	12,10	50	Aróstegui, 1982
<i>Caryocar coccineum</i> Pilg. (Almendro)	0,65	13,80	80	Aróstegui, 1982
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turczaninov (Cedro virgen)	0,42	9,99	56	Larco, 2000
<i>Cedrela odorata</i> L. (Cedro)	0,42	10,50	70	Aróstegui, 1982
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke Tornillo	0,45	10,65	82	Aróstegui, 1982
<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr. (Lupuna blanca)	0,28	10,70	133	Aróstegui, 1982
<i>Clarisia racemosa</i> R. y P. (Mashonaste)	0,59	8,38	94	Aróstegui, 1982
<i>Copaifera officinalis</i> L. (Copaiba)	0,61	10,70	54	Aróstegui, 1982
<i>Coumarouna odorata</i> Aubl. (Shihuahuaco)	0,87	15,00	-	CITEMADERA, 2008
<i>Couratari macrosperma</i> A. C. Schmidt (Papelillo caspi)	0,65	12,00	39	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Coussapoa</i> sp. (Ubilla)	0,33	9,70	82	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Crepidospermum goudotianum</i> (Palo bastón)	0,83	11,50	47	Portal, 2008 (UNAMAD)
<i>Croton lechleri</i> Muell. Arg. (Sagre de grado)	0,40	9,70	83	Calderón, 2007 (UNCP)
<i>Croton rimbachii</i> Croizat.(Sangre de grado 1)	0,43	9,05	23	Calderón, 2007 (UNCP)
<i>Diploptropis martiusii</i> Bent in Mart. (Chontaquiro)	0,74	10,60	40	Aróstegui, 1982
<i>Endlicheria williamsii</i> O. C. (Isma moena)	0,36	7,90	106	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori (Misa blanca)	0,72	12,90	56	Aróstegui, 1982
<i>Ficus glabrata</i> H.B.K. (Oje rosado)	0,50	10,80	-	CITEMADERA, 2008
<i>Ficus</i> sp. (Oje renaco)	0,43	7,55	-	CITEMADERA, 2008
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng) Harms. (Palo ajo)	0,49	13,40	-	CITEMADERA, 2008
<i>Guarea kurthiana</i> Adr. Juss. (Requia)	0,60	14,90	79	Aróstegui, 1982
<i>Guatteria hyposericeae</i> (Carahuasca)	0,46	11,41	82	Arechaga, 2012 (UNAS)
<i>Guazuma crinita</i> C. Mart. (Bolaina blanca)	0,41	10,75	-	CITEMADERA, 2008
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. (Bolaina negra)	0,40	-	-	Barreto y Fasanando, 2008
<i>Heisteria</i> sp. (Yutubanco)	0,71	14,60	59	Aróstegui, 1982
<i>Hevea brasiliensis</i> (H.B.K) Huelst (Shiringa)	0,53	8,95	73	Aróstegui, 1982
<i>Hura crepitans</i> L. (Catahua amarilla)	0,41	9,00	76	Aróstegui, 1982
<i>Hymenaea</i> sp. (Azucar huayo 1)	0,77	11,80	41	Aróstegui y Acevedo, 1969

<i>Inga sp.</i> (Shimbillo)	0,67	13,80	44	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Iryanthera laevis</i> Margrak (Cumala colorada)	0,56	11,20	95	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. DOM (Achihua)	0,28	17,30	86	Lluncor, 2013
<i>Lucuma dolichophylla</i> Standley. (Quina quina)	0,74	14,20	53	Aróstegui, 1982
<i>Malmea sp.</i> (Espintana)	0,40	8,30	8	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev. (Quinilla)	0,87	15,80	46	Aróstegui, 1982
<i>Manilkara sp.</i> (Balata)	0,67	14,40	39	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Matisia bicolor</i> Ducke (Machin sapote)	0,55	11,97	78	Aylas y Bendezu, 2008 (UNCP)
<i>Matisia cordata</i> Humb. Et Bonpl. (Zapote)	0,43	11,80	111	Aróstegui, 1982
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissner) Taubert ex Mez. (Itahuba)	0,68	10,60	-	CITEMADERA, 2008
<i>Micranta spruceana</i> (Baillon) R. Schultes (Higuerilla)	0,40	8,92	-	CITEMADERA, 2008
<i>Myrcianthes fragans</i> (Sw) McVaugh (Capirona colorada)	0,95	14,70	31	Aylas y Bendezu, 2008 (UNCP)
<i>Myroxylon balsamun</i> Harms. (Estoraque)	0,78	9,97	29	Aróstegui, 1982
<i>Nectandra sp.</i> (Moena negra)	0,42	9,06	61	Aróstegui, 1982
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. Ex Lam) Urban (Topa)	0,13	10,02	-	Rosales, 2012 (UNAMAD)
<i>Ocotea costulata</i> (Casho moena)	0,53	11,90	76	Aróstegui, 1982
<i>Ocotea sp.</i> (Roble corriente)	0,55	12,25	-	Aróstegui y Valenzuela, 1973
<i>Ormosia coccinea</i> Jacks. (Huayruro)	0,61	9,40	73	Aróstegui, 1982
<i>Otoba parvifolia</i> (Aguanillo)	0,46	12,70	-	Melendez, 2011
<i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke (Naranja podrido)	0,54	11,00	118	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Peltogyne sp.</i> (Palo violeta)	0,69	9,60	-	Melendez, 2011
<i>Pithecellobium pedicellare</i> (Dc.) Benth (Vilco colorado)	0,41	11,00	-	CITEMADERA, 2008
<i>Podocarpus sp.</i> (Romerillo macho)	0,41	10,80	-	Aróstegui y Valenzuela, 1973
<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don ex Lamb. (Diablo fuerte)	0,53	9,00	114	Aróstegui, 1982
<i>Poulsenia armata</i> (Miguel) Standley (Yanchama)	0,44	10,80	76	Aróstegui, 1982
<i>Pouteria sp.</i> (Caimito)	0,60	10,80	58	Aróstegui, 1982
<i>Protium sp.</i> (Copal)	0,61	13,00	108	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Pseudolmedia laevigata</i> Trécul (Chimicua con pelo)	0,69	9,30	39	Callo J. 2010 (UNAMAD)
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) (Chimicua sin pelo)	0,63	8,70	33	Callo J. 2010 (UNAMAD)
<i>Pseudolmedia laevis</i> (R y P) Macbr. (Chimicua)	0,71	14,50	39	Aróstegui, 1982
<i>Ptecarpus sp.</i> (palo sangre amarillo)	0,68	14,50	50	Aróstegui, 1982
<i>Ptecarpus sp.</i> (Palo sangre negro)	0,73	7,47	61	Aróstegui, 1982
<i>Pterygota sp.</i> (Paujil ruro)	0,62	12,80	63	Aróstegui, 1982
<i>Rheedia sp.</i> (Charichuelo)	0,60	15,40	71	Aróstegui, 1982
<i>Sapium marmieri</i> Huber (Caucho masha)	0,40	8,90	60	Aróstegui, 1982
<i>Schizolobium excelsum</i> Vogel (Pashaco 2)	0,40	10,4	-	CITEMADERA, 2008
<i>Sclerolobium sp.</i> (Ucshaquiro blanco)	0,39	9,25	64	Aróstegui, 1982
<i>Seiba samauma</i> (Mart.) Schum. (Huimba)	0,57	11,60	89	Aróstegui, 1982
<i>Sickingia tinctoria</i> (HBK) K. Schum. (Huacamayo caspi)	0,65	13,00	55	Aróstegui, 1982
<i>Simarouba amara</i> Aubl. (Marupa)	0,36	8,60	61	Aróstegui, 1982
<i>Sloanea sp.</i> (Cepanchina)	0,65	12,30	42	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Spondias mombin</i> L. Ubos	0,35	10,00	100	Aróstegui, 1982
<i>Sterculia sp.</i> (Manchari caspi)	0,89	17,60	26	Aróstegui y Acevedo, 1969
<i>Swietenia macrophylla</i> King (Caoba)	0,43	8,80	53	Aróstegui, 1982
<i>Tabebuia billbergii</i> (Guayacan)	1,02	10,93	26	Silva, 2011 (UNU)
<i>Tabebuia capitata</i> (Bur y Sch) Sandw (Tahuari 1)	0,81	12,80	35	Acevedo, 1973 (UNALM)
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson (Tahuari)	0,92	13,85	34	Aróstegui, 1982
<i>Terminalia amazonia</i> (J. F. Gmelin) Exell. (Yacushapana 1)	0,73	12,30	40	Aróstegui, 1982
<i>Terminalia sp.</i> (Roble amarillo)	0,64	12,10	-	Aróstegui y Valenzuela, 1973
<i>Tethorchidium rubrivenium</i> (Col de monte)	0,46	11,70	-	Plaza, 2009 (UNALM)
<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swartz (Isigo)	0,65	15,28	85	Quispe, 2011 (UNAMAD)
<i>Tetragastris panamensis</i> O. Kuntze (Copal)	0,70	11,70	-	CITEMADERA, 2008

<i>Thopsis sp.</i> (Shachavaca micuna)	0,44	11,50	96	Arostegui, 1982
<i>Trichilia sp.</i> (Uchumullaca)	0,69	15,30	57	Arostegui, 1982
<i>Viola albidiflora</i> (Cumala 1)	0,35	13,90	-	Melendez, 2011 (UNALM)
<i>Viola sebifera</i> Aubl. (Cumala blanca)	0,45	13,40	89	Arostegui, 1982
<i>Viola sp.</i> (Pucuna caspi)	0,64	12,60	36	Arostegui y Acevedo, 1969
<i>Vochysia sp.</i> (Quillosa)	0,30	8,70	-	Melendez, 2011 (UNALM)
<i>Zanthoxylum sp.</i> (Hualaja)	0,47	11,40	76	Arostegui, 1982

Fuente: Rosales (2015) y Rosales (2018).

El segundo instrumento:

Tabla 11. Las ecuaciones matemáticas para estimar la resistividad eléctrica.

Variable	Ecuación	Unidad
Resistividad	$r = 1,78 \times 10^{13} e^{-0,736 \text{ CHE}}$	CHE: Contenido humedad equilibrio (%). r: resistividad (Ωm)
Resistividad por direcciones de corte	$r_t = 2 r_l$ $r_r = r_t \cdot 10\%$ $r_v = r_l + r_t + r_r$	r_t : resistividad tangencial ($\Omega \cdot \text{m}$ o $\Omega \cdot \text{cm}$). r_r : resistividad radial ($\Omega \cdot \text{m}$ o $\Omega \cdot \text{cm}$). r_l : resistividad longitudinal ($\Omega \cdot \text{m}$ o $\Omega \cdot \text{cm}$). r_v : resistividad volumétrica ($\Omega \cdot \text{m}$ o $\Omega \cdot \text{cm}$).

Fuente. Stamm (1929) y Hiruma (1915).

Matriz de coherencia

Tabla 12. Matriz de consistencia.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología
<p>Problema general ¿Cuánto será la resistividad eléctrica de las 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible en Madre de Dios y el Perú?</p> <p>Problemas específicos: ¿Cómo se determinará la resistividad eléctrica y variabilidad de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera? ¿Cómo se estimará la resistividad eléctrica de 105 especies forestales por dirección de corte longitudinal, tangencial y radial de la madera? ¿Cómo se clasificará la resistividad eléctrica de 105 especies forestales por grupos según el contenido de humedad equilibrio de la madera para su uso sostenible?.</p>	<p>Objetivo general Determinar la resistividad eléctrica de 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible.</p> <p>Objetivos específicos: Determinar la resistividad eléctrica y variabilidad de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera. Estimar la resistividad eléctrica de 105 especies forestales por dirección de corte longitudinal, tangencial y radial de la madera. Clasificar la resistividad eléctrica de 105 especies forestales por grupos según el contenido de humedad equilibrio de la madera para su uso sostenible.</p>	<p>Hipótesis general Ha: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible es diferente. Ho: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales peruanas en función al contenido de humedad equilibrio de la madera para promover su uso sostenible es igual.</p> <p>Hipótesis específicas: Ha: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera es variable. Ho: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales en función del contenido de humedad equilibrio de la madera es igual. Ha: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales por dirección de corte longitudinal, tangencial y radial de la madera es desigual. Ho: La resistividad eléctrica de 105 especies forestales por dirección de corte longitudinal, tangencial y radial de la madera es igual. Ha: La clasificación de resistividad eléctrica de 105 especies forestales por grupos en función del contenido humedad equilibrio de la madera determina su uso sostenible. Ho: La clasificación de resistividad eléctrica de 105 especies forestales por grupos en función del contenido humedad equilibrio de la madera no determina su uso sostenible.</p>	<p>Variables: Variable independiente: . Contenido de humedad equilibrio de la madera Variable dependiente: . Resistividad electrica de la madera . Resistividad longitudinal de la madera . Resistividad tangencial de la madera . Resistividad radial de la madera</p> <p>Indicadores: Especies forestales con estudios tecnológicos, Higrómetro. Ecuaciones para estimar parámetro.</p>	<p>.Tipo de investigación No experimental</p> <p>.Clase de investigación Aplicada</p> <p>.Método y diseño de investigación Descriptivo, correlacional cuantitativo</p>

Fuente: Elaboración propia.