

# Aplicación de la técnica NIRS (Espectroscopía de infrarrojo cercano) en la discriminación de la madera de *Bulnesia sarmientoi*

Chifarelli, V.<sup>1</sup>; A. M. Giménez<sup>2</sup>; S. Nisgoski<sup>3</sup> y J. G. Moglia<sup>4</sup>



## Introducción

*Bulnesia sarmientoi* Lorentz ex Griseb., pertenece a la familia Zigophyllaceae y es una especie muy apreciada por sus múltiples aplicaciones. Por las características intrínsecas de su madera, que presenta color pardo-verdoso, peso específico mayor a 1,1 kg/dm<sup>3</sup>, brillo y aroma intenso, es considerada una especie de gran valor en la flora dendrológica argentina. Su nombre vulgar, palo santo, hace referencia al hecho que la madera una vez encendida, mantiene la llama largo tiempo y desprende olor muy agradable (Tortorelli, 1956). Para uso exterior se la emplea en trabajos de tornería, tallados, pisos, marcos y para postes de gran duración (Giménez *et. al.*, 2007).

De la madera se destila un aceite esencial conocido como guayacol, que se emplea como ingrediente de perfumes. Es una planta melífera, con propiedades tintóreas y fuente de productos bioquímicos: insectífugo, medicinal. Tiene aplicaciones en manufactura de barnices y pinturas oscuras (PFNM, 2003). Es una especie rustica, vigorosa y tolerante a las plagas y enfermedades.

Está incluida en el apéndice CITES II (Convenio Internacional de Tráfico de Especies Silvestres. Apéndice II) debido a su tala excesiva de las últimas décadas. Crece aislado o formando rodales pequeños en sitios bien drenados, donde desempeña el papel de árbol emergente en el estrato arbustivo espinoso (Giménez, Moglia; 2003). Frecuentemente se

---

<sup>1</sup> Axiliar de primera Catedra de agrometereología. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero, Argentina. E-mail: vaniniachifarelli@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> Catedra de dendrología. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero, Argentina. E-mail: amig@unse.edu.ar

<sup>3</sup> Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, Brasil. E-mail: silvana.ufpr@gmail.com

<sup>4</sup> Catedra de dendrología. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero, Argentina. E-mail: vimog@unse.edu.ar

encuentra acompañada por *Aspidosperma quebracho-blanco*, (quebracho blanco), *Schinopsis balansae* (quebracho colorado chaqueño), *Ziziphus mistol* (mistol), *Prosopis ruscifolia* (Vinal), *Prosopis alba* (algarrobo blanco), *Prosopis nigra* (algarrobo negro) y *Tabebuia nodosa* (palo cruz), ocupando el estrato dominante (Giménez *et al.*, 2006).

Se distribuye geográficamente en el norte de Argentina y es una de las leñosas arbóreas emblemáticas del Chaco Occidental. También se lo encuentra en los países limítrofes: sudeste de Bolivia, sudoeste de Brasil y en la región occidental de Paraguay. Poco se conoce sobre por qué el área de distribución es acotada en Argentina; siendo esta información necesaria para establecer planes de manejo acordes a las posibilidades de crecimiento. La especie en su rango de distribución tiene aspectos externos similares, internamente no se conoce, por eso es importante verificar si hay diferenciación que puedan ser relacionadas con su procedencia.

El empleo de la espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS) para análisis de distintos productos de las industrias de alimentos, química, bioquímica, ambiental, farmacéutica y médica, se viene desarrollando desde hace tres décadas. La espectroscopia estudia la interacción de la radiación electromagnética con la materia. NIRS comprende el segmento de luz de longitudes de ondas entre 800 y 2600 nm del espectro electromagnético y analiza la absorción de energía en dicha región por los grupos funcionales de las moléculas de la muestra. Su uso generalizado se debe principalmente a que permite realizar análisis cualitativos y cuantitativos de multicomponentes en muestras, con un mínimo de preparación. Esta metodología, además, se caracteriza por ser no destructiva, rápida, no emplear reactivos químicos, disminuir el error del operador y requerir menos mano de obra que los métodos tradicionales empleados en el laboratorio. En la madera ha comenzado a usarse en la década del 90 y cada vez tiene mayores aplicaciones ya que de forma eficiente caracteriza las propiedades morfológicas, químicas, físicas y mecánicas de los materiales lignocelulósicos (Schimleck, 2008, Schimleck *et al.*, 2009, Tsuchikawa y Schwanninger, 2013)

En el presente trabajo se exponen resultados referidos a la distribución de *Bulnesia sarmientoi* y origen de la muestra, aplicando técnicas de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS).

En base al mapa de distribución (Figura 1) de palo santo en Argentina (Morello y Adámoli, 1968), se seleccionan tres áreas de muestreo en las provincias de Chaco, Formosa, Salta según los puntos indicados en Tabla 1. Las áreas de recolección fueron geo-referenciadas por al sistema Gauss-Kruger.

**Tabla 1.** Puntos de muestreo

Denominación	Latitud	Longitud	Provincia	Localidad
33	-25,39308	-60,99057	Chaco	Las Hacheras
38	-25,27168	-61,07932	Chaco	La Armonía
96	-24,56963	-60,47774	Formosa	Las Lomitas
99	-23,94239	-61,76360	Formosa	Ing. Juárez
130	-23,43909	-62,95843	Salta	Morillos/Coronel Juan Sola
18	-24,65257	-63,81069	Salta	Las Lajitas





Fuente: Cortesía del Biólogo Ricardo Banchs

Fuente: Cortesía del Biólogo Ricardo Banchs



Figura 2. *Bulnesia sarmientoi*, obtención de las muestras.



El trabajo se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la madera. (UFPR, Curitiba, Brasil). Se analizaron las muestras con NIRS (Figura 3). El equipo utilizado fue un espectrofotómetro FTIR Tensor 37 marca Bruker, operando en reflectancia difusa en la faja infrarroja próximo entre 4000 e 10000  $\text{cm}^{-1}$ . Las lecturas fueron obtenidas con resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 64 scans. Los espectros de absorbancia fueron obtenidos a partir de las lecturas en la superficie transversal de las ramas gruesas y finas, haciendo diez lecturas en la albura y diez lecturas en el duramen, totalizando 120 repeticiones.

Para el análisis de datos fue usado el programa Unscrambler X (versión 10 a CAMO Software AS). Se aplicó Modelos exploratorios de componentes principales (PCA).

Las muestras de madera fueron estudiadas anatómicamente con microscopio electrónico de barrido (MEB) Hitachi TM 1000 Tabletop.



**Figura 3.** Equipo de Espectroscopía y Análisis de las muestras

De acuerdo a los elementos climáticos analizados, el agroclima/optimo ecológico se presenta entre la isohieta media anual de 500 y 800 mm y entre la isoterma media anual de 22 y 23  $^{\circ}\text{C}$ .

Con respecto a la precipitación media anual se observa que los sitios de toma de muestras de Salta presentan diferencias en relación con los demás sitios muestreados de la provincia de Formosa y Chaco. En cuanto a la temperatura no hay diferencias entre los sitios, y la evapotranspiración media anual es mayor en Formosa y Salta que en la provincia de Chaco.

La Figura 4, muestra el balance hídrico climático de las localidades de Rivadavia y Las Lomitas, representativa del área muestreada. La ausencia de datos meteorológicos de la localidad de las Hacheras y La Armonía de provincia de Chaco, determino a que se utilizaran los datos de Las lomitas, para su representación.

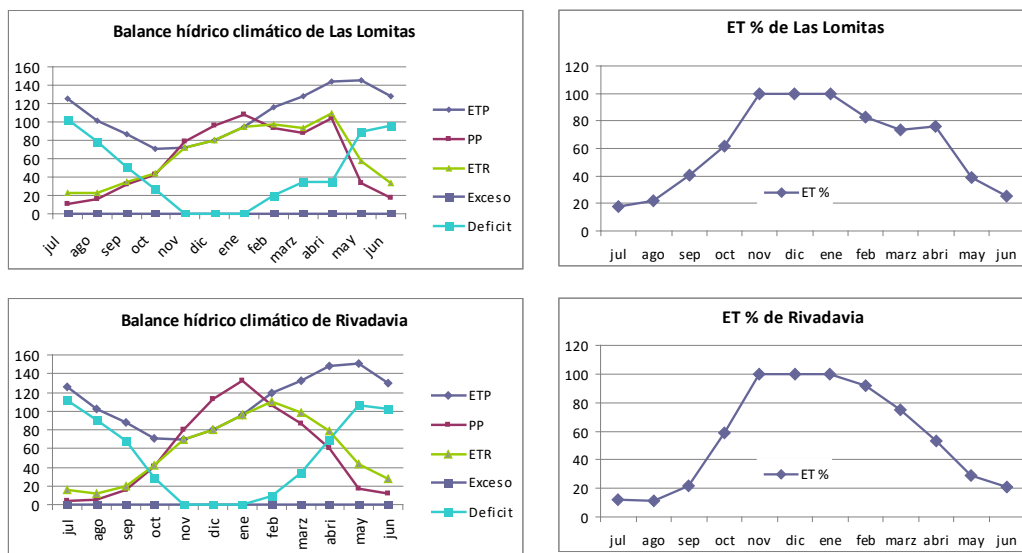


Figura 4. Balance Hídrico Climático y evapotranspiración de Las Lomitas (Formosa), Rivadavia (Salta), con datos desde el año 1960 al 2015.

Las Figuras 5, 6 y 7 indican la Evapotranspiración Potencial media anual, precipitación media anual y temperatura media anual respectivamente.

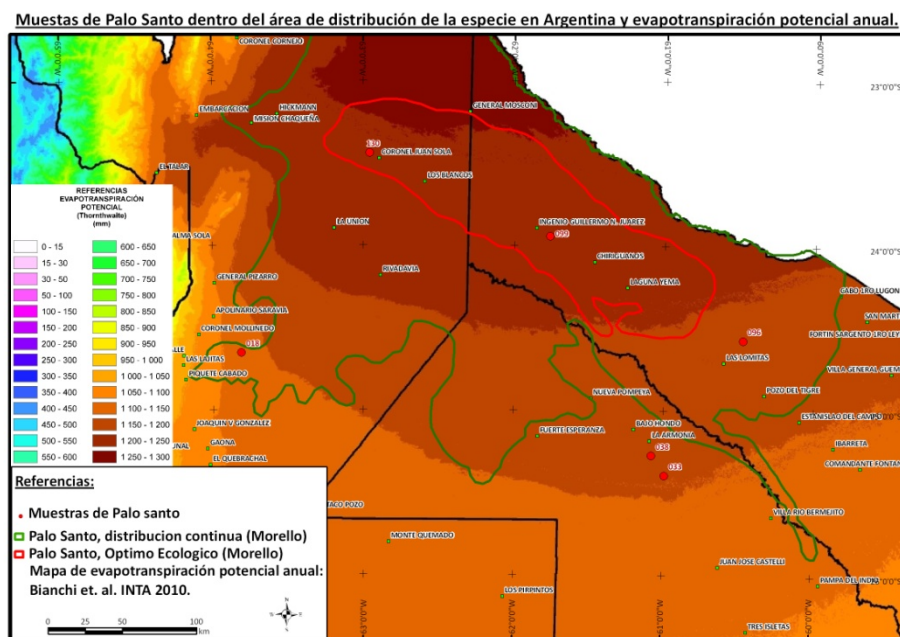
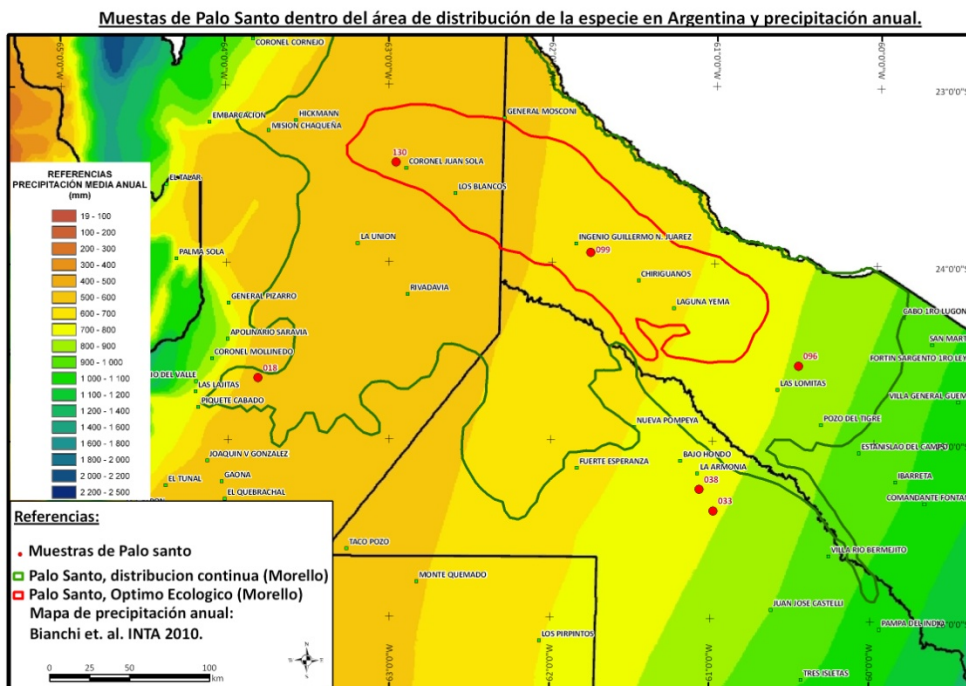


Figura 5. Mapas de Evapotranspiración Potencial media anual según Atlas climático de la República Argentina (Bianchi, 2010).

La Evapotranspiración media anual para los sitios de muestreo en la provincia de Formosa se encuentra entre los valores de 1150 a 1250 mm anuales. En los sitios de la provincia de Chaco presenta valores de 1150 a 1200 mm anuales y en la provincia de Salta de 1100 a 1250 mm anuales.



**Figura 6.** Mapa de Precipitación media anual según Atlas climático de la República Argentina (Bianchi, 2010).

La precipitación media anual de los sitios de estudio es: Formosa se encuentra en el rango de 600 a 900 mm anuales, en Chaco de 700 a 800 mm anuales y en la provincia de Salta con valores de 500 a 600 mm anuales.

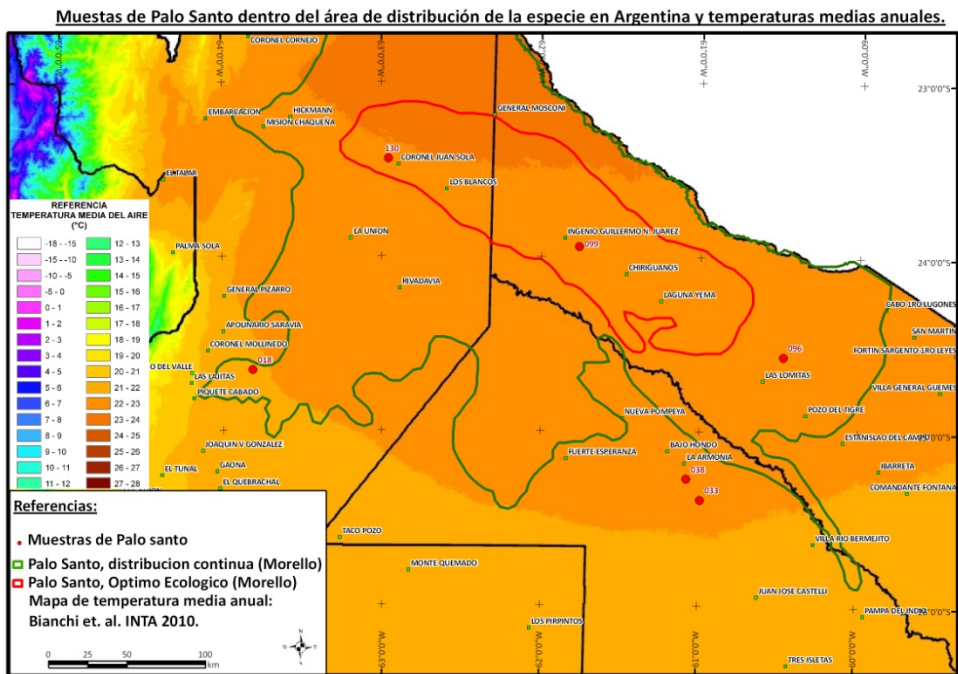


Figura 7. Mapas de Temperatura media anual según Atlas climático de la República Argentina (Bianchi, 2010).

Las temperaturas medias anuales en los sitios se discriminan a continuación según la provincia. Las muestras de Formosa se encuentran en el rango de temperatura de entre 21 a 22 °C, en Chaco de 21 a 22 °C y en Salta de 20 a 21 °C.

La madera analizada con MEB destaca los siguientes rasgos anatómicos: leño con porosidad dendrítica, miembros de vasos cortos, con placa de perforación simple y puntuaciones areoladas alternas. Los radios son 2/3 seriados, cortos, estratificados, con abundantes cristales de oxalato de calcio (Figura 8). La estructura de la madera es compacta, con fibras de paredes muy gruesas.



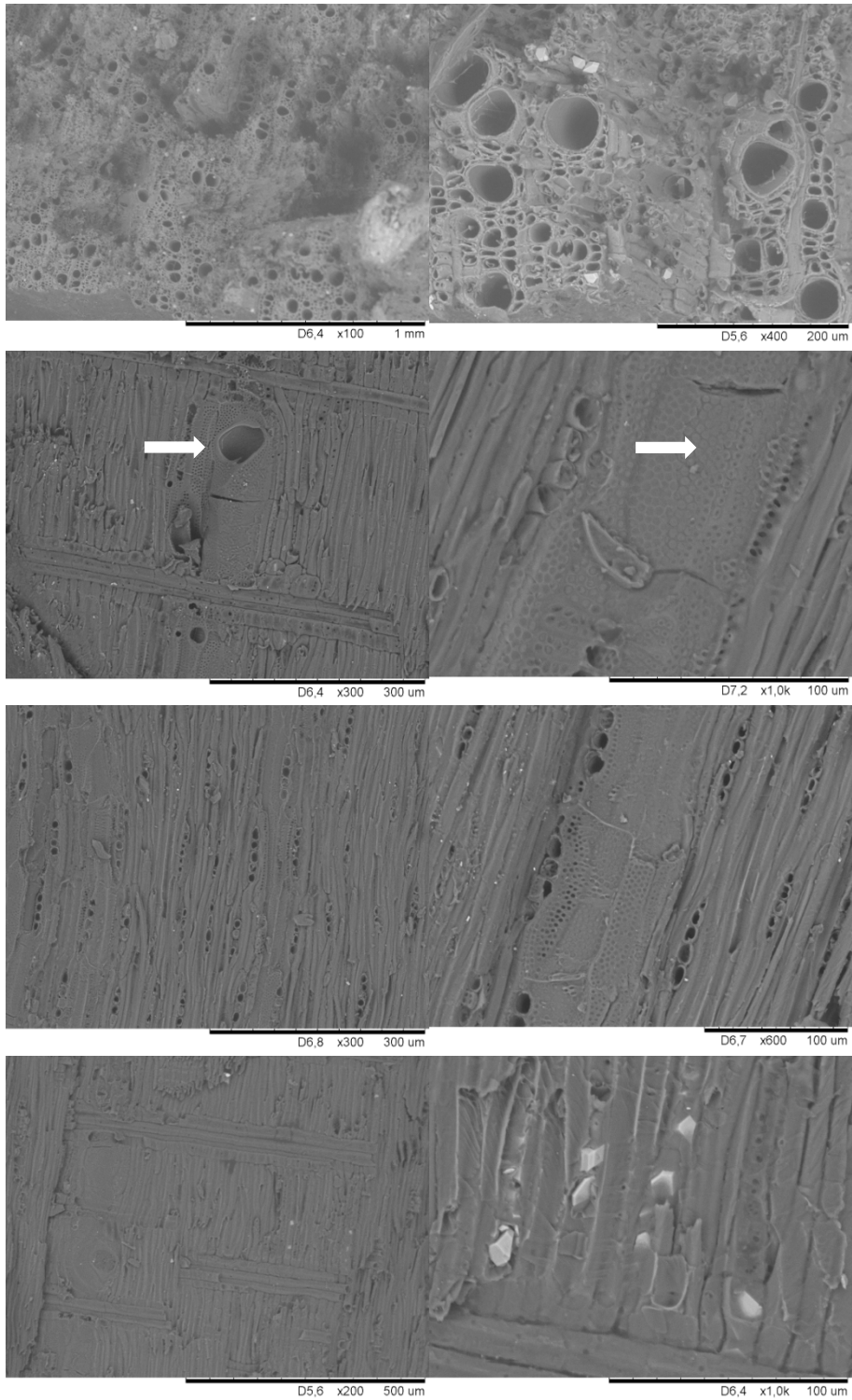
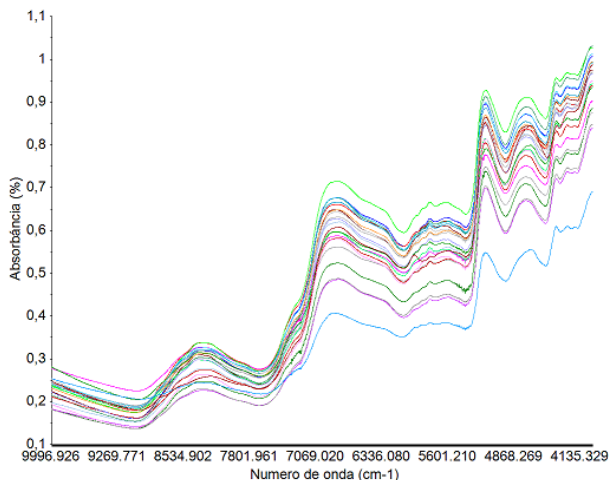


Figura 8. Anatomía del leño de *Bulnesia sarmientoi* Lorentz ex Griseb.

### Aplicación de la técnica NIRS para diferente tipo de material leñoso

El espectro de todas las muestras en su conjunto se expresan en Figura 9. Las muestras presentan tendencia semejantes y con perfiles de bandas características de materiales lignocelulósicos. Dichas tendencia son descriptas en el trabajo de los investigadores Schimleck *et al.* (2009), Tsuchikawa y Schwanninger (2013). Se distinguen dos picos pronunciado entre los 680.0000 y otro a los 4868.269  $\text{cm}^{-1}$ . Esto se da debido a las a las vibraciones de estiramiento de los enlaces  $-\text{OH}$  y  $-\text{CH}$ , presentes en la celulosa y lignina. Observandose el pico maximo en 4868.269  $\text{cm}$  causado por el estiramiento  $-\text{OH}$  y a la deformación  $-\text{CH}$  atribuidas a las moléculas de agua (Tsuchikawa y Siesler 2003, Siesler *et al.* 2002).



**Figura 9.** Espectros promedios FT-NIR de las muestras en su conjunto

El análisis de los componentes principales (PCA) a partir de la lectura de los espectros permitió discriminar el tipo de muestra: rama gruesa o fina, además del área de procedencia, el tipo de muestra y la sanidad de la planta (Figura 10).

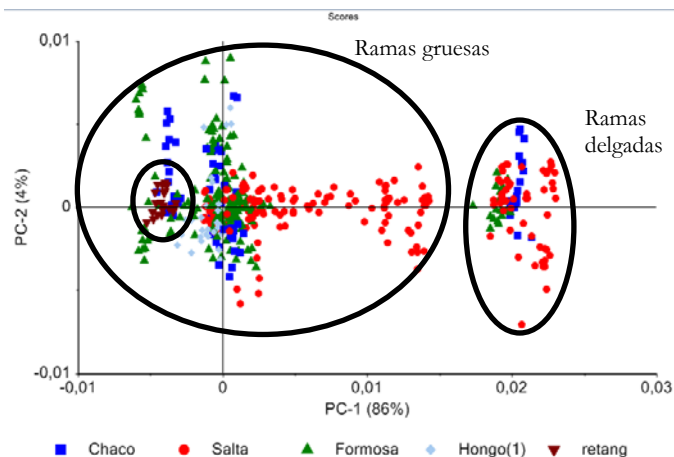


Figura 10. Análisis de componentes principales de *Bulnesia sarmientoi*

El PCA muestra el comportamiento de la especie según su área de origen, el primer componente expresa el 86 % de la variabilidad total. Para ramas gruesas la procedencia Salta presenta una gran dispersión de valores, no así las procedencias de Formosa y Chaco. Lo mismo sucede para ramas finas, pero en menor amplitud.

Una de las muestras se encontraba infectada con hongo, siendo discriminada por la técnica. También se realizó el mismo procedimiento de búsqueda a una muestra incógnita de prueba, pudiéndose al aplicar la técnica verificar su origen.

Se distingue un comportamiento discriminatorio según el tipo de muestra (rama gruesa o fina). Esto es debido probablemente a que las ramas con menor diámetro no poseen desarrollado el duramen y poseen más cantidad de componentes característicos de la albura.

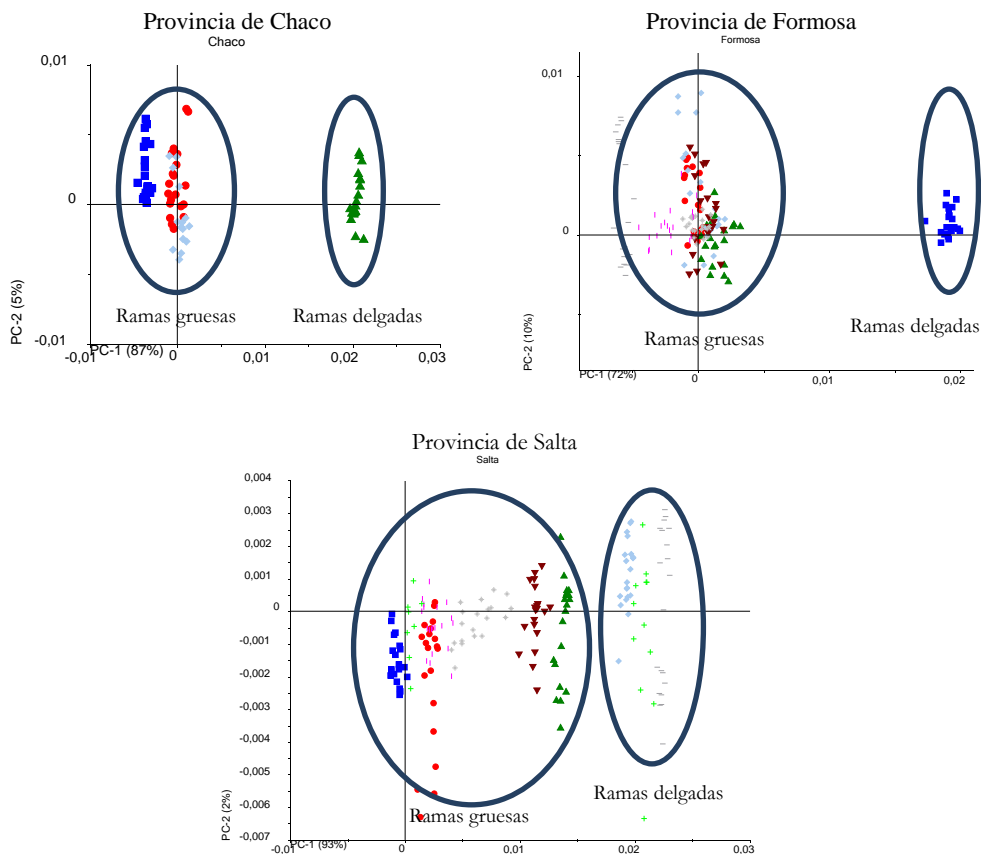
Tratamiento similar se realizó a las muestras según su origen (Figura 11). El Componente 1 explica el (87 %) de la variabilidad para Chaco, 72 % para Formosa y 9 % Salta. En todos los casos el material proveniente de ramas gruesas se diferencia.

Las muestras de Salta son más dispersas en los 2 análisis realizados. Las muestras estudiadas están en la zona marginal de distribución de la especie. Las muestras de Chaco y Formosa, presentan similitud en el comportamiento de los espectros en APC, siendo diferenciado el origen Salta.

Este estudio abre nuevas incógnitas a ser analizadas sobre la distribución y las áreas óptimas y marginales la dispersión.

Las muestras de Salta son más dispersas en los 2 análisis realizados, pues están en la zona marginal de distribución de la especie. Las muestras de Chaco y Formosa, presentan similitud en el comportamiento de los espectros en APC, siendo diferenciado el origen Salta.

Este estudio abre nuevos interrogantes a ser analizadas sobre la distribución y las áreas óptimas y marginales la dispersión.



**Figura 11.** Análisis de componentes principales (PCA) para ramas gruesas y delgadas

Los resultados obtenidos con NIRS demuestran que en las provincias de Chaco y Formosa, la composición morfológica, química, física y mecánica de los materiales lignocelulósicos se asemejan y se observa una diferencia marcada en las muestras de la provincia de Salta.

Ello, es probable que se deba a diferencias fisiológicas y haría posible determinar la región de donde proviene una muestra de madera utilizando la técnica NIRS.

Es factible que la distribución geográfica de esta especie esté influenciada por la precipitación, no obstante habría que considerar la inferencia otros factores como el tipo de suelo, profundidad de la napa y la topografía. En tanto la temperatura no muestra inferencia en cuanto a su distribución, ya que las áreas de estudios presentan similar valores de temperatura media anual.

La evapotranspiración media anual, presenta valores mayores en los sitios de las provincias de Salta y Formosa, que en la provincia de Chaco. En Salta el rango de precipitación media anual es el más bajo (500 a 600 mm) y el de evapotranspiración media anual de 1000 a 1250 mm, el déficit es mayor en comparación con las otras dos provincias.



## Agradecimientos

A la Dra. Graciela Inés Bolzón<sup>5</sup>, quien me guió en mi estadía en la Universidad de Parana y me abrió las puertas del laboratorio donde realice los estudios del presente trabajo. Y todas las personas que de una u otra manera colaboraron en el presente trabajo.

## Referencias Bibliográficas

- Bianchi, A. R.; S. A. C. Cravero. 2010. Atlas climático digital de la República Argentina. Edición Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Proyecto INTA PNECO 1301.
- CITES. 2016. *Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Anexo II(C): trozas, madera aserrada, láminas de chapa de madera, madera contrachapada, polvos y extractos.* [en línea] Disponible en: <https://www.cites.org/eng/app/appendices.php>.
- Giménez, A. M y J. G. Moglia. 2003. *Árboles del Chaco Argentino. Guía para el reconocimiento dendrológico.* Facultad de Ciencias Forestales, UNSE y Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Desarrollo Social. Editorial El Liberal, Argentina. 310 p.
- Giménez, A.; P. Hernández; R. Gerez; N. A. Ríos. 2006. *Biodiversidad Vegetal en un bosque de Palo Santo en la Provincia del Chaco, Argentina.* Trabajo Voluntario. Comisión Biodiversidad.; Educación y Conservación. 12 Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales Eldorado. Misiones. 56.1:13.
- Giménez, A. M.; Hernández, P.; Gerez, R. y C. Spagarino. 2007. Anatomía de leño y anillos de crecimiento de Palo Santo (*Bulnesia sarmientoi* Lorenz ex. Griseb Zygophyllaceae). *Quebracho* 14: (23-35).
- Morello, J. y J. Adamoli. 1968. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino. Primera Parte. *INTA, Serie Fitogeográfica*, 10: 1-125.
- PFNM. 2003. Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Nación. *Base de Datos*.
- Schimleck, L. R. 2008. Near infrared spectroscopy: a rapid, non-destructive method for measuring wood properties and its application to tree breeding. *New Zealand Journal of Forestry Science* 38:14-35.
- Schimleck, L. R.; C. Espey; C. R. Mora; R. Evans; A. Taylor y G. I. B. Muñiz. 2009. Characterization of the wood quality of pernambuco (*Caesalpinia echinata* Lam.) by measurements of density, extractives content, microfibril angle, stiffness, color and NIR spectroscopy. *Holzforschung* 63:457-463.
- Tortorelli, L. 1956. Maderas y bosques Argentinos. Administración Nacional de Bosques. Editorial ACME, Buenos Aires. 910 p.
- Tsuchikawa, S.; H. W. Siesler. 2003. Near-Infrared spectroscopy monitoring of the diffusion process of deuterium-labeled molecules in wood. Part I. Softwood. *Appl Spectrosc* 57: 667.
- Tsuchikawa, S.; M. Schwanninger. 2013. A review of recent near-infrared research for wood and paper (Part 2). *Applied Spectroscopy Reviews* 48:560-587.

---

<sup>5</sup> Dra. Eng. Florestal. Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, Brasil. E-mail: [graciela.ufpr@gmail.com](mailto:graciela.ufpr@gmail.com)

