



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES DENTADAS ENCOLADAS, PARA LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS CON LA MADERA TORNILLO (CEDRELINGA CATENIFORMIS D. DUCKE)
EVALUATION OF THE STRENGTH BEHAVIOR OF FINGER JOINT GLUED, FOR THE MANUFACTURE OF GLUE- LAMINATED TIMBERS BEAMS WITH TORNILLO (CEDRELINGA CATENIFORMIS D. DUCKE)

Cruzatt, Fredy ^{(1)*}; Moromi, Isabel ⁽²⁾

⁽¹⁾ Bachiller de la Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú

⁽²⁾ Msc. Ing. Civil de la Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú

* Contacto: facruzattal@gmail.com

CÓDIGO: 4614344

Resumen

El objetivo principal del estudio es evaluar y obtener los valores de resistencia característica de las uniones dentadas de madera Tornillo (*Cedrelinga cateniformis D. Ducke*), para su utilización en la fabricación de vigas de madera laminada para uso estructural.

Se elaboraron 80 probetas con unión dentada encoladas con MUF (Melamina Úrea Formaldehído), de las cuales 40 probetas fueron ensayadas a flexión estática a 4 puntos de acuerdo con lo indicado por la norma EN 408 y las otras 40 probetas fueron ensayadas a tracción paralela a la fibra siguiendo las pautas indicadas por la norma NBR 7190 y la metodología de ensayo presentada por Mohamad et al. (2011).

La resistencia característica a flexión y tracción paralela a la fibra de las uniones dentadas obtenidas fueron de 38.11 MPa y 35.11 MPa respectivamente. La resistencia característica a flexión fue similar a la resistencia mínima a flexión de las uniones dentadas de láminas (38MPa) encontrada en la norma EN 14080, mientras que la resistencia característica a tracción paralela a la fibra logró superar los 29 MPa, valor asignado a la clase resistente más alta de la norma EN 14080.

Para cada ensayo efectuado se clasificaron y caracterizaron cada una de las probetas por tipo de falla, con la finalidad de evaluar la calidad del encolado de la unión fabricada. En esta etapa de análisis la mayoría de uniones dentadas produjeron un 100% de rotura por madera (falla tipo 1) y rotura por madera - adhesivo (falla tipo 2), es decir, el encolado funcionó adecuadamente.

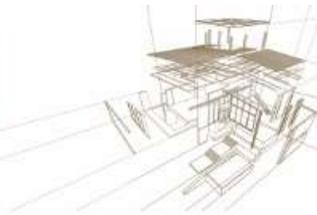
Palabras-clave: Vigas, Tornillo, Resistencia a la flexión, Resistencia a la tracción.

Abstract

The main objective of the study is to evaluate and obtain the values of resistance characteristic of the finger joints of wood Tornillo (*Cedrelinga cateniformis D. Ducke*), for its use in the manufacture of laminated wooden beams for structural use.

They were made 80 specimens with finger joints glued with MUF (Melamine Urea Formaldehyde) were prepared, of which 40 test pieces were tested to static bending at 4 points according to what is indicated by the EN 408 standard and the other 40 specimens were tested with under tension parallel of the fiber following the guidelines indicated by the NBR 7190 standard and the test methodology presented by Mohamad (2011).

The characteristic resistance to bending and tensile parallel to the fiber of the finger joints obtained were 38.11 MPa and 35.11 MPa respectively. The characteristic resistance to bending was similar to the minimum bending strength of the finger joints of lamellas (38MPa) found in the EN 14080 standard, while the characteristic resistance to tensile parallel to the fiber exceeded 29 MPa, value assigned to the highest resistant class of the EN 14080 standard.



For each test carried out, each of the specimens was classified and characterized by type of failure, in order to evaluate the quality of the bonding of the manufactured joint. In this analysis stage, most of the finger joints produced 100% breakage to wood (type 1 failure) and breakage by wood and adhesive (type 2 failure), that is, the gluing worked properly.

Keywords: Beams, Tornillo, Bending strength, Tensile strength.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el desarrollo e industrialización de la Madera Laminada Encolada (MLE) se encamina como una alternativa de solución al problema de deforestación de los bosques, ya que mediante este proceso de fabricación se busca racionalizar y aprovechar el recurso maderero. Este proceso se logra juntando piezas cortas de madera libre de defectos a través de uniones longitudinales que pueden ser de canto, biseladas o dentadas; estas últimas sustituyeron a las uniones biseladas y se utilizaron por primera vez en una aplicación estructural realizada por Egner y Jagfeld del Instituto Otto Graf en Stuttgart, Alemania, con el tiempo lograron ser las uniones más utilizadas en la industria del laminado debido a su menor desperdicio de madera, facilidad de fabricación y buen rendimiento (Jokerts 1981).

Para conseguir que las uniones dentadas produzcan buena resistencia, es necesario escoger el tipo de adhesivo para elaborar elementos de MLE de buena calidad. En el mercado existen diversos tipos de adhesivo a base de urea formaldehído, úrea resorcinol y úrea melamina adecuadas para uso en la elaboración de elementos estructurales (Demkoff 2003), cabe señalar que para producir con éxito láminas y elementos de MLE con uniones dentadas estas dependen de la geometría del diente, el adhesivo, la cantidad de adhesivo, humectabilidad de la madera, presión de ensamble (Franke, Schusser and Müller 2014; Ahmad et al. 2017).

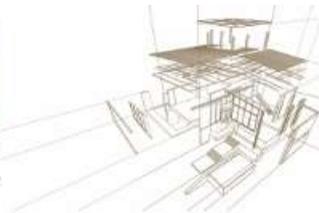
Comúnmente las especies más utilizadas son las coníferas de baja densidad, y recientemente se están estudiando y usando maderas duras y semiduras en la industria de la construcción. Específicamente el Tornillo es una madera de baja densidad, trabajable, de buen cepillado, poco susceptible al ataque de hongos e insectos, de alta durabilidad natural, de amplia distribución en Perú y gran acogida en el mercado (Scheelje 2002).

Este estudio evaluó la resistencia de las uniones dentadas a flexión y tracción paralela a la fibra, con la finalidad de obtener láminas de buena resistencia para su uso en la fabricación de vigas de madera laminada de Tornillo.

2. METODOLOGÍA

2.1. Elaboración de las muestras con uniones dentadas

En el trabajo se utilizaron como materiales a la madera Tornillo y el adhesivo MUF 1242/2542. Primero se cortaron piezas de madera saneadas cuya humedad promedio medida en campo fue de 12.8%, luego se realizaron los cortes y formación del perfil dentado (Tabla 1), poco después se le aplicó el adhesivo escogido. Finalmente se unieron las piezas encoladas a una presión de 0.51MPa, con esta presión de ensamble no



se observaron grietas; las Figuras 1, 2, 3 y 4 muestran el proceso de fabricación de las probetas. Asimismo el procedimiento de elaboración de las muestras con unión dentada siguió los requisitos mínimos indicados en la norma EN14080 (2013).

Tabla 1: Geometría del perfil dentado

Empresa Postes Wise SAC.		
l_j	Longitud de diente	13 mm
p	Paso	4.5 mm
b_t	Anchura del diente	0.7 mm



Figura 1: Piezas de madera Tornillo



Figura 2: Perfil dentado longitudinal

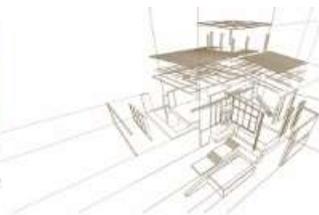


Figura 3: Encolado de piezas dentadas



Figura 4: Unión de piezas dentadas

2.2. Ensayo de flexión a 4 puntos

Las muestras con unión dentada fueron sometidas a cargas de flexión siguiendo los procedimientos descritos en la norma EN 408 (2012). Los ensayos se ejecutaron en la Máquina Universal AMSLER cuya capacidad de carga es de 50000Kgf y rango de velocidad de aplicación de carga que varía entre los 4 mm/s a 6 mm/s. La Figura 5 muestra el ensayo a flexión de una probeta dentada de sección 40mm x35mm y con una luz de 630 mm (18 veces el espesor de la muestra) y cargado simétricamente en los tercios de la luz.

Para complementar el estudio se realizaron ensayos a flexión a las láminas sin unión dentada con el objetivo de usarlas como puntos de control.

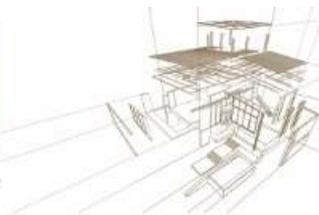


Figura 5: Ensayo de flexión a 4 puntos

Con los datos obtenidos del ensayo a flexión se procedió a determinar la resistencia a la flexión, utilizando la siguiente expresión.

$$f_m = \frac{3P_{m\acute{a}x}a}{bh^2}, \quad (1)$$

donde:

- f_m es resistencia a la flexión (MPa),
- $P_{m\acute{a}x}$ es carga máxima a la rotura (N),
- L luz de la probeta (mm),
- a distancia entre el apoyo y la carga aplicada a $L/3$ (mm),
- b ancho de la probeta (mm),
- h espesor de la probeta (mm).

2.3. Ensayo de tracción paralela a la fibra

Para este ensayo se tomaron como referencia las dimensiones de probetas descritas en la norma NBR 7190 (1997) y la metodología de ensayo presentado por Mohamad, Accordi y Roca (2011). Los ensayos se ejecutaron en la Máquina Universal ZWICK ROELL cuya capacidad de carga es de 1000 kN y a una velocidad de carga axial de 2 mm/min. La Figura 6 muestra las probetas moldeadas para los ensayos de tracción paralela a la fibra con geometría similar al mostrado en la norma NBR 7190, también la Figura 7 muestra el ensayo a tracción de una probeta dentada de sección 40 mm x 7 mm y con una separación entre mordazas de 210 mm y longitud total de 500mm.

Para complementar el estudio se realizaron ensayos a tracción a las láminas sin unión dentada con el objetivo de usarlas como puntos de control.

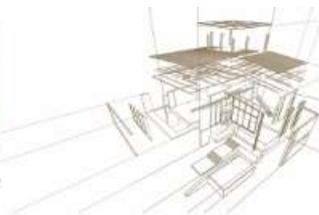


Figura 6: Probeta moldeada para ensayo a tracción



Figura 7: Ensayo de tracción paralela a la fibra

Con los datos obtenidos del ensayo a tracción paralela a la fibra se procedió a determinar la resistencia a la flexión, utilizando la siguiente expresión.

$$f_{t,o} = \frac{T_{m\acute{a}x}}{A}, \quad (2)$$

donde:

- $f_{t,o}$ es resistencia a la tracción paralela a la fibra (MPa),
- $T_{m\acute{a}x}$ es carga máxima a la rotura (N),
- A área de la sección transversal (mm).

2.4. Tipos de falla

Al término de cada ensayo se realizó la inspección visual a cada probeta para describir el tipo de falla que se produjo. Para esta tarea se tomó como criterio de evaluación de uniones dentadas los trabajos presentados por Lara- Bocanegra et.al. (2017) y Vega et.al. (2017) (Tabla 2).

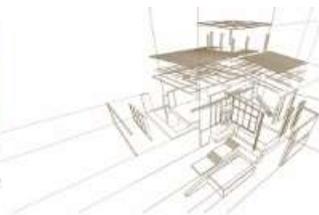
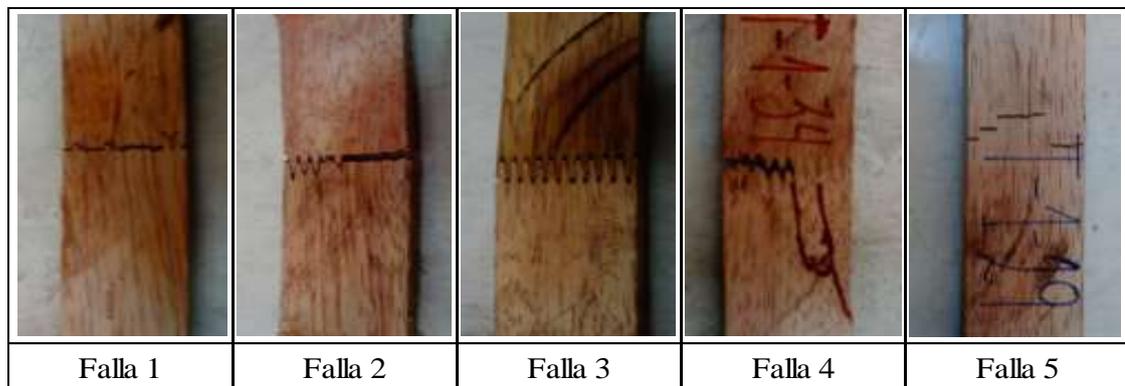


Tabla 2: Tipos de falla



- El tipo de falla 1 se produce cuando el 100% de las uniones dentadas fallan por madera.
- El tipo de falla 2 se produce cuando un porcentaje de las uniones dentadas fallan por madera y adhesivo.
- El tipo de falla 3 se produce cuando el 100% de las uniones dentadas fallaron por adhesivo.
- El tipo de falla 4 se produce en la base de las uniones dentadas y se extiende a lo largo de la pieza de madera.
- El tipo de falla 5 se produce cuando la rotura se origina fuera de la zona de unión.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 3, se presentan los resultados más importantes correspondientes a los ensayos de flexión y tracción paralela a la fibra con y sin unión dentada cuyos valores son: cantidad de muestras (n), resistencia característica a la flexión de la lámina sin unión dentada ($f_{m,l,k}$), resistencia característica a la flexión de la unión dentada ($f_{m,j,k}$), resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la lámina sin unión dentada ($f_{t,o,l,k}$), resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la unión dentada ($f_{t,o,j,k}$) y densidad básica media (ρ_m). Además se incluye la relación existente entre los valores de resistencia a la flexión y tracción paralela a la fibra de las uniones encoladas con MUF y los valores de resistencia a la flexión y tracción paralela a la fibra de las probetas sin unión dentada.

Tabla 3: Resistencia a la flexión y tracción paralela a la fibra de las probetas

Ensayos		Tipo de unión	n	5° percentil (MPa)	ρ_m (Kg/m ³)	Eficiencia (%)
Flexión	$f_{m,l,k}$	Sin unión	40	39.40	470	100
	$f_{m,j,k}$	Dentada	40	38.11	449	96.73
Tracción	$f_{t,o,l,k}$	Sin unión	40	44.44	466	100
	$f_{t,o,j,k}$	Dentada	40	35.11	456	79.01



Los resultados muestran que la transferencia de esfuerzos a flexión y tracción es buena y el adhesivo cumple el propósito de penetrar y humectar el área del perfil dentado de la madera Tornillo, demostrándose lo indicado por Ahmad et al. (2017), que la humectabilidad en madera de baja densidad es mejor que la de alta densidad, porque permite una mejor dispersión del adhesivo sobre la superficie de la madera y proporciona una unión más efectiva.

Para complementar y tener mejor entendimiento del comportamiento de las uniones dentadas, se presenta en la Tabla 4, los valores medios (\bar{y}) y mediana (\bar{m}) de la resistencia y porcentaje de ocurrencia por tipo de falla que produjeron las uniones al ensayarlas a flexión y tracción paralela a la fibra; también se presenta en las Figuras 8 y 9, la relación de resistencias a flexión y tracción paralela a la fibra en relación al tipo de falla y adhesivo usado en la fabricación de láminas con uniones dentadas y vigas de madera laminada.

Tabla 4: Resultados de las resistencias a flexión y tracción por tipo de falla

Tipo de falla	Flexión			Tracción		
	\bar{y} (MPa)	\bar{m} (MPa)	Ocurrencia (%)	\bar{y} (MPa)	\bar{m} (MPa)	Ocurrencia (%)
Falla 1	55.75	52.13	17.50	68.69	69.96	17.50
Falla 2	53.94	52.19	42.50	67.24	71.02	40.00
Falla 3	50.60	50.88	15.00	69.87	69.87	5.00
Falla 4	50.29	50.67	17.50	65.05	63.51	30.00
Falla 5	34.29	33.79	7.50	29.66	33.69	7.50

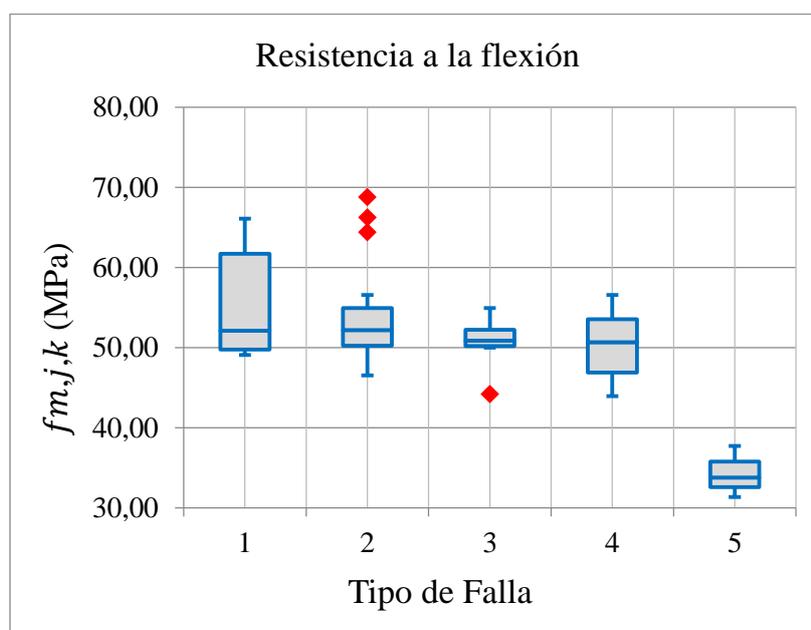


Figura 8: Resistencia a la flexión por tipo de falla

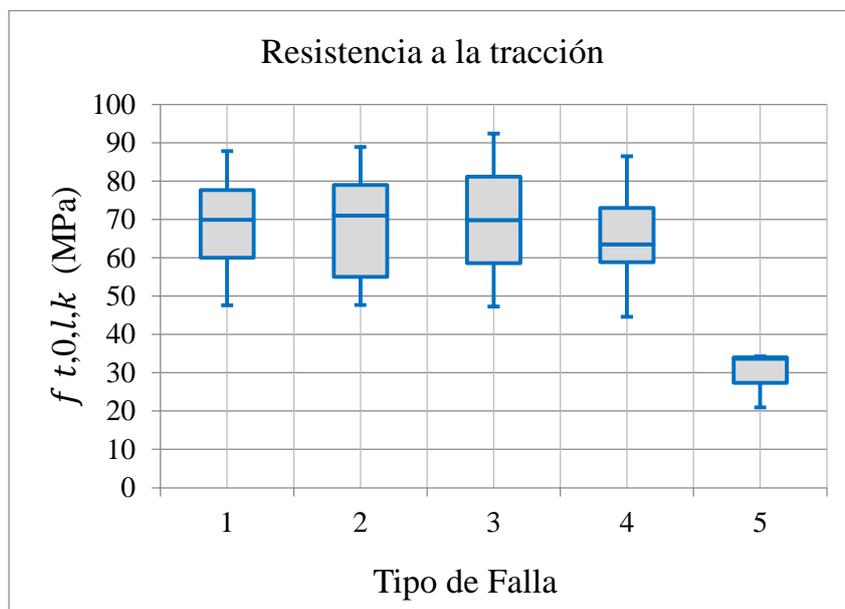
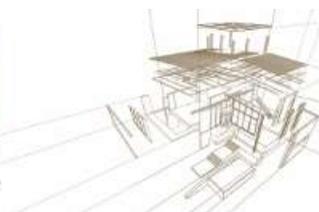


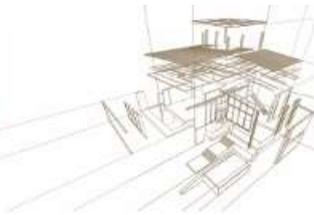
Figura 9: Resistencia a tracción por tipo de falla

De la Tabla 4, en las figuras 8 y 9 se observa que los mayores valores medios y mediana de la resistencia a flexión y tracción paralela a la fibra corresponden a las muestras que poseen el tipo de falla 1 (100% rotura por madera) y falla 2 (rotura por madera y adhesivo). También se observa en los ensayos a flexión y tracción que el 15% y 5% de las uniones fallan en el adhesivo (falla 3), el 25% y 37.5% fallan en la madera (falla 4 y 5), el 60% y 57.5% de las uniones fallan en madera y adhesivo (falla 1 y 2) respectivamente.

Los valores en los 3 primeros tipos de falla son similares, incluso el cuarto para ambos ensayos; el último tipo de falla presenta valores menores del 50% en los ensayos de tracción paralela a la fibra.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos a flexión y tracción paralela a la fibra muestran que los parámetros de presión de ensamble (0.51 MPa), longitud de diente (13mm), adhesivo MUF, temperatura promedio (20°C) y humedad relativa promedio del ambiente (70%), han logrado conseguir valores de resistencia a flexión y tracción paralela a la fibra con uniones dentadas inferiores al 3% y 21% respectivamente en relación a los obtenidos en láminas macizas de Tornillo. Asimismo se ha demostrado que el encolado en la fabricación de láminas dentadas fue el adecuado, ya que las fallas en la zona de unión dentada en su mayoría son por madera, por consiguiente es factible obtener uniones dentadas de buen rendimiento y producir vigas estructurales de madera laminada encolada de Tornillo siguiendo los requisitos mínimos de fabricación de MLE de la norma EN 14080.



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Postes Wise SAC., por el servicio prestado con los equipos, materiales y mano de obra para la elaboración de probetas, al Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería, por el uso de sus instalaciones para la realización de los ensayos, finalmente a todas las personas que de manera directa o indirecta colaboraron con la realización y culminación de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmad, Z. Lum, W.C. Lee, S.H. Razlan, M.A. Mohamad, W.W. (2017). Mechanical properties of finger jointed beams fabricated from eight Malaysian hardwood species. Journal: Construction and Building Materials, v.145: p. 464-473.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). Projeto de Estruturas de Madeira. NBR 7190, Rio de Janeiro, Brasil.

Demkoff, M.L.V. (2003). Vigas Laminadas Estructurales en madera, su fabricación y empleo. XVII Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, Argentina.

Franke, B. Schusser, A. Müller, A. (2014). Analysis of Finger Joints from beech wood. In: World Conference on Timber Engineering, Quebec City, Canada, p.1-8.

Jokerst, R. Finger-jointed wood products (1981). USDA. Forest Service. Forest Product Laboratory, FPL 382.

Lara-Bocanegra, A.J. Majano-Majano, A. Crespo, J. Guaita, M. (2017). Finger-jointed Eucalyptus globulus with 1C-PUR adhesive for high performance engineered laminated products. Journal: Construction and Building Materials, v.135: p. 529-537.

Mohamad, G. Accordi, J. Roca, L.E. (2011). Avaliação da associação de compósito de fibra de vidro e carbono no reforço de madeira de eucalyptus in natura e autoclavada. Revista: Matéria, v.16, n1: p. 621-637.

Norma Europea. Estructuras de Madera. Madera aserrada y Madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. UNE-EN 408 (2012), Madrid, España.

Norma Europea. Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos. UNE-EN 14080 (2013), Madrid, España.

Scheelje, M. (2002). Comportamiento del Tornillo de tres edades diferentes al cepillado, taladrado y torneado. Trabajo de investigación (Para optar el título de Ingeniero Forestal), Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales.

Vega, A. Baño, V. Pérez, C. Cardoso, A. Godoy, D. O'Neill, H. Moya, L. (2017). Evaluación de la resistencia de uniones dentadas Finger Joint con madera de Eucalipto Grandis de procedencia uruguaya. En: II Congreso Latinoamericano de Estructuras de Madera y II Congreso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción. Junín, Buenos Aires, Argentina, p.1-7.