

Artículo original

Análisis Comparativo de las Propiedades Físico-Mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth en Diversos Cantones de Manabí

Mohammadfarid Alvansazyazdi^[1]  Ana Cristina Véliz López^[2]  Tony Alexander Cedeño Vincés^[2]  Luis Stalin Cedeño Senges^[3] 

[1] Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

[2] Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador.

[3] Macroplanes-Costa. Manta, Ecuador

Autor para correspondencia: faridalvan@uce.edu.ec



Resumen

Este artículo sintetiza evidencia de cinco estudios sobre la caracterización físico-mecánica de la Guadua angustifolia Kunth (GaK) en Manabí, Ecuador, que abordan la brecha de datos señalada por la NEC-SE-GUADUA. Se ensayaron culmos (4–6 años) muestreados en catorce cantones (Pichincha, Rocafuerte, Olmedo, Chone, Flavio Alfaro, El Carmen; Jipijapa, Paján, Puerto López, Tosagua, Junín, Bolívar, Manta y Montecristi), siguiendo NTC 5525 y criterios de conicidad de la NEC, mediante pruebas de compresión, tracción, cortante paralelo a la fibra, flexión a cuatro puntos, y determinaciones de densidad, contenido de humedad y contracción. En conjunto, los trabajos reportan parámetros mecánicos y físicos consistentes y representativos por zona, con variaciones atribuibles al origen geográfico ya la posición del espécimen en el culmo, confirmando el potencial estructural de la GaK y su aptitud para sistemas constructivos sostenibles. Los resultados proporcionan valores de diseño confiables para el dimensionamiento y verificación de elementos de guadua en la provincia, y constituyen una base comparativa para futuras investigaciones y para el refinamiento normativo local.

Palabras Clave: *físico-mecánica; GaK; guadua; fibra; ensayos; culmo.*

Article

Comparative Analysis of the Physical-Mechanical Properties of Guadua angustifolia Kunth in Various Cantons of Manabí

Abstract

This article synthesizes evidence from five studies on the physical-mechanical characterization of Guadua angustifolia Kunth (GaK) in Manabí, Ecuador, which address the data gap identified by the NEC-SE-GUADUA. Culms (4–6 years old) sampled in nine cantons (Pichincha, Rocafuerte, Olmedo, Chone, Flavio Alfaro, El Carmen; Jipijapa, Paján, Puerto López, Tosagua, Junín, Bolívar, Manta and Montecristi) were tested, following NTC 5525 and NEC taper criteria, using compression, tension, shear parallel to the grain, four-point bending, and density, moisture content, and shrinkage determinations. Together, the studies report consistent and representative mechanical and physical parameters by zone, with variations attributable to the geographical origin and the position of the specimen in the culm, confirming the structural potential of GaK and its suitability for sustainable construction systems. The results provide reliable design values for the sizing and verification of guadua elements in the province and constitute a comparative basis for future research and for local regulatory refinement.

Keywords: *physical-mechanical; GaK; guadua; fiber; tests.*

1. Introducción

La *Guadua angustifolia* Kunth (GaK) es un material tradicional, abundante y potencialmente estructural en Manabí, pero su uso ha sido mayormente empírico por la escasez de datos locales sobre propiedades físico-mecánicas, una brecha reconocida por la NEC-SE-GUADUA; tras citar antecedentes en Loja y Los Ríos, se plantean como a partir de objetivo caracterizar, mediante ensayos normalizados (NTC 5525 y criterios de la NEC para conicidad y segmentación del culmo), propiedades mecánicas clave como compresión, tracción/tensión, cortante paralelo a la fibra, flexión y módulo de elasticidad, junto con parámetros físicos (densidad, contenido de humedad, contracción), de culmos maduros muestreados en diferentes cantones de la provincia de Manabí con la finalidad de generar valores representativos por zona que permitan el dimensionamiento ingenieril de elementos de guadua, impulsen sistemas constructivos sostenibles y sirvan de base para futuras investigaciones y el perfeccionamiento normativo.

En el Ecuador existen aproximadamente 600 026 hectáreas sembradas con bambú; En la Costa está el 66,5%; en la Amazonía el 23,5% y en Sierra el 10% con una demanda interna de aproximadamente 22,5 millones de cañas. Las desiguales especies de bambúes se encuentran como borrones naturales y como plantaciones. Se desarrolla naturalmente entre los cultivos, en las riberas de los ríos o costados abruptos, combinado con la elaboración y espesura típica de cada zona. Actualmente invade el 2% de la superficie del país. Conferida con la superficie boscosa nacional, representa un 5,7% y con la superficie agropecuaria, el 6%. Esta área contiene las zonas de posible conveniencia y también aquellas destinadas a subsistencia; por ello, su importancia cuantitativa (ISO, 2021; MIDUVI, 2016).

La *Guadua angustifolia* Kunth, de la familia Poaceae y subfamilia Bambusoideae, crece de forma natural en Colombia, Ecuador y Venezuela en climas tropicales húmedos, y se considera un material compuesto por fibras embebidas en una matriz de celulosa cuya distribución transversal heterogénea condiciona su respuesta mecánica; su rápido crecimiento, carácter no maderable y alto rendimiento la posicionan como alternativa sostenible para la construcción, especialmente en Manabí, donde la tradición constructiva con caña es centenaria. Este estudio experimental, orientado a sustentar criterios ingenieriles de uso según la procedencia, evaluó la variabilidad física-mecánica de la guadua de catorce cantones de Manabí (Pichincha, Rocafuerte, Olmedo, Chone, Flavio Alfaro, El Carmen, Jipijapa, Paján, Puerto López, Tosagua, Junín, Bolívar, Manta y Montecristi) siguiendo las normas NTC 5525 y NEC-SE-Guadua, que establecen el muestreo por secciones del culmo (inferior/cepa, media/basa y superior/sobrebasa). Se recolectaron culmos maduros (4–6

años; 12–20 m de longitud), con 7 culmos por sector, proporcionando aproximadamente 90% de confiabilidad; se confeccionaron probetas en la Escuela Taller de la Empresa Pública y se ensayaron en el Laboratorio de Suelos “Bolívar Ortiz L.” de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Se determinaron propiedades físicas (contenido de humedad, contracción) y mecánicas (compresión, flexión, tensión y corte), tabulando y comparando los resultados entre cantones y entre posiciones del culmo para aportar lineamientos técnicos de aprovechamiento estructural según la zona de procedencia (Dixon et al., 2015; Verma et al., 2017; Yu et al., 2021).

2. Metodología

2.1. Diseño del estudio y áreas de muestreo.

Se integraron tres conjuntos de datos experimentales independientes, todos bajo la misma línea metodológica (NTC 5525 y NEC-SE-GUADUA), para abarcar un gradiente geográfico amplio de la provincia de Manabí: Cantones del noroeste: (i) Chone, Flavio Alfaro y El Carmen (Páez-Cornejo et al., 2022; Huang et al., 2022); Cantones centrales: (ii) Pichincha, Rocafuerte y Olmedo (Zambrano y Cedeño, 2020); Tosagua, Junín y Bolívar (Andrade y Espinoza, 2022); Manta y Montecristi (Cevallos, 2021) y Cantones del suroeste: Jipijapa, Paján y Puerto López (Guerrido, 2019). Esta integración permite comparar la variabilidad físico-mecánica por cantón y por posición del culmo (Tabla 1).

2.2. Material vegetal y criterios de selección.

Las propiedades físico-mecánicas de la guadua varían según la edad, el contenido de humedad, la ubicación del nudo y la zona del culmo de donde se extrae la muestra. (ISO, 2019, 2021; MIDUVI, 2016) En todos los estudios se seleccionaron culmos de *Guadua angustifolia* Kunth maduros con un rango de edad entre 4–6 años, sanos, libres de ataque biológico visible y sin fisuras, con longitudes entre 12 y 25 m aproximadamente. Por cada cantón se recolectaron muestras de 7 a 21 culmos, lo que aporta aproximadamente el 90% de confiabilidad en los resultados reportados en los estudios base (Ávila, 2016; Dixon et al., 2015).

2.3. Segmentación y preparación de probetas.

La preparación de especímenes siguió la NTC 5525 y la NEC-SE-GUADUA, segmentando cada culmo en tres porciones a lo largo de su altura: inferior (cepa), media (basa) y superior (sobre basa), considerando la conicidad del culmo para definir dimensiones y correcciones geométricas. Las probetas se elaboraron en la Escuela Taller de la Empresa Pública y se ensayaron en el Laboratorio de Suelos “Bolívar Ortiz L.” de la ULEAM.

Tabla 1: Referencias Geográficas de cada cantón de estudio

REFERENCIAS GEOGRAFICAS		
CANTÓN	COORDENADAS	
Pichincha	1°03'14.6"S	80°00'51.8"W
Rocafuerte	0°55'20.4"S	80°28'44.5"W
Olmedo	1°24'46.8"S	80°13'39.4"W
Chone	0°40'4.53"S	80° 2'55.02"W
Flavio Alfaro	0°22'52.41"S	79°55'42.64"W
El Carmen	0°12'44.05"S	79°32'34.16"W
Jipijapa	1°21'4.33"S	80°29'22"W
Paján	1°34'59"S	80°29'46"W
Puerto López	1°40'34"S	80°48'17"W
Tosagua	0°49'20.4"S	80°12'01.1"W
Junín	0°56'41.9"S	80°11'59.3"W
Bolívar	0°49'39.7"S	80°10'42.6"W
Manta	1°02'27"S	80°52'22"W
Montecristi	1°15'43"S	80°44'53"W

2.4. Ensayos físicos y mecánicos.

Se determinaron:

- **Propiedades físicas:** Las propiedades físicas de la caña guadua son aquellas que se basan principalmente en la estructura de esta, la cual es visible y medible, además son de gran importancia conocer a la hora de construir con dicho material (Julio Darío et al., 2022); entre ellas se encuentran contenido de humedad, contracción y densidad aparente (densidad reportada explícitamente en el estudio del noroeste).
- **Propiedades mecánicas:** Los materiales con los que se construyen entre ellos la GaK presentan ciertas características mecánicas que hacen que se resistan a la fuerza que se les aplica, entre estas se encuentran compresión, corte, tensión y flexión (Julio Darío et al., 2022). Los protocolos siguieron la NTC 5525 para preparación, acondicionamiento y ejecución, y la NEC-SE-GUADUA para criterios de aceptación y cálculo de propiedades características.

Equipamiento y control de calidad.

Los ensayos se realizaron con máquinas universales de ensayo calibradas, utilizando dispositivos específicos para corte y flexión a cuatro puntos, y balanzas de precisión para determinaciones físicas. Se aplicaron controles de repetibilidad (al menos 5 repeticiones por condición cuando la disponibilidad lo permitió) y descarte de atípicos por inspección visual y criterio normativo.

Procesamiento y análisis de datos.

Para cada cantón y para cada posición del culmo se calcularon estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, coeficiente de variación y percentiles característicos según NEC-SE-GUADUA). Se compararon

cantones y posiciones del culmo mediante análisis comparativo descriptivo, resaltando tendencias consistentes.

También, se determinó el uso de muestras obtenidas en zonas húmedas y zonas secas respectivamente en los cantones de Pichincha, Rocafuerte, Olmedo, Tosagua, Junín y Bolívar. No obstante, cuando el tamaño muestral lo permitió, se estimaron intervalos de confianza al 90% coherentes con la confiabilidad señalada en los estudios base.

3. Resultados

3.1. Características físicas

En el conjunto integrado se observó que el contenido de humedad y la contracción varían con la posición del culmo, con mayor humedad en secciones superiores (sobrebasa) y tendencia a menor contracción en las secciones inferiores (cepa), coherente con la mayor densificación de fibras hacia la base. Donde se midió densidad, la cepa mostró valores mayores que la sobre basa.

Humedad

La primera tabla muestra cómo los cantones siguen la jerarquía general donde la humedad es mayor en secciones superiores (sobrebasa) (Ver Tabla 2 y 3) (Yu et al., 2021; Verma et al., 2017).

Los cantones con Humedad Alta: Manta (26,54% promedio), Montecristi (22,98% promedio), Chone (11,80% promedio), Flavio Alfaro (13,22% promedio), y El Carmen (13,28% promedio) tienen los valores promedio más altos de humedad.

En Manta y Montecristi superan significativamente al resto, considerando la humedad consistentemente alta en las

posiciones inferior y media (cerca o por encima del 30% e ~24-30% respectivamente), aunque la Superior muestra una disminución (18,23% y 16,45%).

Los cantones con Humedad Baja: Jipijapa (1,54% promedio), Paján (1,32% promedio), y Puerto López (1,15% promedio) muestran valores de humedad promedio extremadamente bajos (todos por debajo del 2%). En estos cantones, el contenido de humedad en las tres posiciones (Inferior, Media, Superior) es muy bajo y consistente, lo que podría indicar un material con un grado de secado o condiciones de crecimiento muy diferentes.

Para todos los cantones listados, el Valor Promedio de humedad es mayor en la Zona Húmeda que en la Zona Seca.

• **Zona Húmeda: Variación Posicional Destacadas:**

Junín presenta el valor más alto en la posición Inferior (47,57%) y el promedio más alto (27,3%). Rocafuerte (31,3%) y Bolívar (33,56%) también muestran valores

muy altos en la posición Inferior. Para Junín y Bolívar, el contenido de humedad disminuye excesivamente de la posición Inferior (47,57% y 33,56%) a la Superior (14,05% y 13,08%). Esto contradice la tendencia general mencionada en el texto (mayor humedad en secciones superiores), donde para estos cantones en la zona húmeda, la humedad es mayor en la sección inferior/cepa.

• **Zona Seca: Humedad más Baja:**

Los valores promedio son considerablemente más bajos (ej. Pichincha 13,9% vs. 16,4% en húmedo; Junín 16,13% vs. 27,3% en húmedo). Bolívar en la zona seca tiene el promedio más alto (32,62%), con un valor extremadamente alto en la posición Inferior (39,23%), manteniendo la tendencia de mayor humedad en la base observada en la Zona Húmeda para este grupo de cantones.

Tabla 2: Contenido de humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
CANTÓN	POSICIÓN			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Chone	14,89	11,36	9,15	11,80
Flavio Alfaro	17,10	12,11	10,45	13,22
El Carmen	15,44	12,88	11,53	13,28
Jipijapa	1,88	1,50	1,25	1,54
Paján	1,59	1,39	0,98	1,32
Puerto López	1,49	0,83	1,12	1,15
Manta	30,8	30,6	18,23	26,54
Montecristi	28,57	23,94	16,45	22,98

Tabla 3: Contenido de humedad para muestras de zonas húmeda y seca

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)								
CANTÓN	POSICIÓN ZONA HUMEDA			VALOR PROMEDIO	POSICIÓN ZONA SECA			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR		INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Pichincha	16,2	15,8	17,1	16,4	15,2	13,9	12,7	13,9
Rocafuerte	31,3	19,9	16,1	22,4	16,4	9,7	10,6	12,2
Olmedo	15,6	15,3	16,7	15,9	14,6	13,4	12,2	13,4
Tosagua	27,95	26,92	20,27	25,05	27,95	26,92	20,27	25,05
Junín	47,57	20,27	14,05	27,3	20,27	14,05	14,05	16,13
Bolívar	33,56	26,82	13,08	24,48	39,23	33,56	25,07	32,62

Densidad

Los cantones con datos de densidad Alta: El Carmen (675,01kg/m³ promedio), Flavio Alfaro (613,31kg/m³ promedio), Chone (605,90kg/m³ promedio) confirman la tendencia general, mostrando que la densidad es

significativamente mayor en la posición superior, donde se concentra la mayor masa fibrosa.

Para todos los cantones listados en zonas húmeda y seca, la tendencia general por posición: En todos los cantones y

ambas zonas, la densidad es mayor en la posición Inferior que en la Superior, validando el patrón estructural del material (Ver Tabla 4 y 5).

Influencia de la Zona:

- Tosagua (808,37kg/m³ promedio), Olmedo (686kg/m³ promedio), Rocafuerte (679,3kg/m³ promedio) y Junín (656,35kg/m³ promedio), muestran

una densidad promedio ligeramente mayor en la Zona Seca que en la Zona Húmeda, lo cual es consistente con la relación de que menor humedad implica mayor densidad aparente.

- Pichincha y Bolívar muestran una densidad promedio ligeramente mayor en la Zona Húmeda.

Tabla 4: Ensayo de Densidad

ENSAYO DE DENSIDAD (kg/m ³)				
CANTÓN	POSICIÓN			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Chone	528,29	582,04	605,90	572,08
Flavio Alfaro	530,40	592,09	613,31	578,60
El Carmen	614,28	651,86	675,01	647,05
Manta	72,93	115,86	171,77	120,18
Montecristi	82,81	84,23	123,72	96,92

Tabla 5: Ensayo de Densidad para muestras de zonas húmeda y seca

ENSAYO DE DENSIDAD (kg/m ³)								
CANTÓN	POSICIÓN ZONA HUMEDA			VALOR PROMEDIO	POSICIÓN ZONA SECA			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR		INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Pichincha	715,6	623,8	728,6	689,3	694,8	690,8	669,9	685,2
Rocafuerte	628,4	652,8	648,6	643,3	627,3	717,4	693,3	679,3
Olmedo	716,5	624,7	729,1	690,1	695,7	691,7	670,6	686
Tosagua	571,24	473,57	642,68	562,5	688,76	951,38	784,97	808,37
Junín	549,14	490,57	722,65	587,45	621,36	835,54	512,16	656,35
Bolívar	593,94	538,94	645,52	592,62	688,76	674,07	577,64	646,83

Contracción

La primera tabla muestra una variabilidad extrema en la contracción promedio entre los cantones, con algunos valores notablemente altos (Ver Tabla 6 y 7).

Cantones de Muy Alta Contracción: Montecristi (24,02%) presenta la contracción promedio más alta, con un valor especialmente elevado en la posición Superior (27,88%). Manta (16,39%) también muestra una contracción promedio muy alta, con un incremento significativo de la posición Inferior (2,6%) a la Superior (22,15%).

Cantones de Contratación Moderada a Baja: Chone (4,52%) y El Carmen (4,72%) presentan valores promedio

moderados. Flavio Alfaro (3,42%), Puerto López (2,73%), Paján (2,62%) y Jipijapa (1,60%) tienen los valores promedio más bajos. Jipijapa destaca por ser el cantón con la menor contracción global.

La segunda tabla detalla la contracción para un grupo diferente de cantones, diferenciando entre la Zona Húmeda y la Zona Seca.

- *Cantones de Alta Contracción:* Pichincha (3,1% en Húmeda; 2,84% en Seca), Rocafuerte (2,79% en Húmeda; 2,67% en Seca) y Olmedo (2,62% en Húmeda; 2,36% en Seca) presentan los valores promedio más altos en este conjunto. En estos

cantones, la contracción tiende a ser ligeramente mayor en la Zona Húmeda que en la Zona Seca.

- *Cantones de Muy Baja Contracción:* Tosagua (0,42% en Húmeda; 0,36% en Seca) , Junín (0,36% en Húmeda; 0,27% en Seca) y Bolívar (0,46% en

Húmeda; 0,38% en Seca) exhiben valores de contracción promedio extremadamente bajos, significativamente menores que los de Pichincha, Rocafuerte y Olmedo, y también mucho menores que los cantones de la Tabla superior.

Tabla 6: Ensayo de Contracción

ENSAYO DE CONTRACCIÓN (%)				
CANTÓN	POSICIÓN - DIÁMETRO			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Chone	4,40	5,16	3,99	4,52
Flavio Alfaro	2,87	3,46	3,92	3,42
El Carmen	4,74	5,42	3,99	4,72
Jipijapa	1,91	1,59	1,28	1,60
Paján	3,83	2,66	1,38	2,62
Puerto López	4,09	2,24	1,86	2,73
Manta	2,6	9,9	22,15	16,39
Montecristi	21,21	22,98	27,88	24,02

Tabla 7: Ensayo de Contracción para muestras de zonas húmeda y seca

ENSAYO DE CONTRACCIÓN (%)								
CANTÓN	POSICIÓN ZONA HUMEDA - DIÁMETRO			VALOR PROMEDIO	POSICIÓN ZONA SECA - DIÁMETRO			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR		INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Pichincha	1,95	3,41	1,95	3,1	1,83	3,2	3,48	2,84
Rocafuerte	2,14	2,98	3,24	2,79	2,76	2,67	2,59	2,67
Olmedo	1,46	2,93	3,48	2,62	1,34	2,72	3,01	2,36
Tosagua	0,53	0,42	0,3	0,42	0,38	0,42	0,3	0,36
Junín	0,28	0,32	0,49	0,36	0,26	0,29	0,26	0,27
Bolívar	0,3	0,46	0,62	0,46	0,27	0,38	0,5	0,38

3.2. Ensayo de resistencia a la compresión

Se evidenció el patrón usual en bambús o ideas: mayores esfuerzos últimos de compresión en la cepa, seguidos por la basa y, finalmente, la sobre basa. Entre cantones, las diferencias absolutas varían, pero la jerarquía por posición se mantuvo. Esto sugiere priorizar elementos estructurales comprimidos con material proveniente de la porción basal del culmo (Ver Tabla 8 y 9).

La primera tabla muestra cómo los cantones siguen la jerarquía general: la resistencia aumenta de la posición inferior a la superior (Dixon et al., 2015; Huang et al., 2022).

Cantones de Alta Resistencia Promedio: Manta (42,77 MPa) y Chone (42,74 MPa) presentan los promedios más altos.

Montecristi (39,69 MPa) y Flavio Alfaro (38,12 MPa) también tienen valores altos. En estos cantones, la posición Superior generalmente exhibe la máxima resistencia.

Cantones de Baja Resistencia Promedio: Jipijapa (5,998 MPa), Puerto López (14,546 MPa), y Paján (17,804 MPa) muestran las resistencias promedio más bajas, lo que podría indicar material de menor calidad o diferentes condiciones de crecimiento. Jipijapa destaca por tener valores extremadamente bajos en todas las posiciones, especialmente la Media (4,446 MPa) y Superior (6,167 MPa).

En la segunda tabla muestra la resistencia a la compresión entre zona seca y zona húmeda: la resistencia varía

enormemente entre cantones y entre zonas, siendo la Zona Seca consistentemente más resistente

Resistencia General: La Zona Seca generalmente presenta un Valor Promedio de Resistencia a la Compresión superior a la Zona Húmeda (ej. Pichincha: 35,2 MPa vs. 26,7 MPa; Olmedo: 35,5 MPa vs. 26,9 MPa), lo que es un indicador de mejor desempeño mecánico, posiblemente debido a un menor contenido de humedad.

- **Comportamiento por Posición en la Zona Húmeda:** En la mayoría de los cantones (Pichincha, Olmedo, Bolívar), la resistencia es mayor en la posición Superior (sobrebasa), contradiciendo nuevamente al patrón

"Cepa > Sobrebasa". Junín (22,97 MPa) y Rocafuerte (21,97 MPa) tienen los promedios más bajos en la zona húmeda.

- **Comportamiento por Posición en la Zona Seca:** Rocafuerte (45,9 MPa) y Olmedo (48 MPa) exhiben los valores máximos de resistencia en la posición Superior de la zona seca.

Solo en Junín y Bolívar se observa una tendencia de disminución de resistencia al pasar de Inferior/Media a Superior, acercándose (aunque no siguiendo estrictamente) al patrón esperado de mayor resistencia en la base.

Tabla 8: Ensayo de Resistencia a la Compresión

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)				
CANTÓN	POSICIÓN			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Chone	35,19	43,95	49,08	42,74
Flavio Alfaro	28,91	39,75	45,69	38,12
El Carmen	25,7	36,94	41,61	34,75
Jipijapa	7,38	4,446	6,167	5,998
Paján	19,142	29,97	4,524	17,804
Puerto López	23,97	5,473	12,625	14,546
Manta	31,71	44,13	52,47	42,77
Montecristi	40,59	40,31	38,17	39,69

Tabla 9: Ensayo de Resistencia a la compresión para muestras de zonas húmeda y seca

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)								
CANTÓN	POSICIÓN ZONA HUMEDA			VALOR PROMEDIO	POSICIÓN ZONA SECA			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR		INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Pichincha	20,2	31	28,9	26,7	24,3	33,7	47,6	35,2
Rocafuerte	22,1	15,8	17,3	18,4	45,9	32,7	17,2	31,9
Olmedo	20,4	31,3	29,2	26,9	24,6	34	48	35,5
Tosagua	19,84	22,78	18,73	20,45	25,26	15,08	15,69	24,26
Junín	20,69	13,86	34,36	22,97	22,35	13,86	16,71	22,05
Bolívar	14,11	19,36	30,43	21,3	25,18	37,21	23,85	18,75

3.3. Resistencia a tracción/tensión

Las probetas de la zona inferior y media presentaron mayores esfuerzos de rotura, atribuibles a mayor fracción de fibras longitudinales y mejor espesor de pared. La variación

entre cantones fue apreciable, por lo que se recomienda utilizar los valores característicos por zona de procedencia al diseñar uniones y tirantes Sharma et al. (2015) y Yu et al. (2021) (Ver Tabla 11 y 12).

La primera tabla muestra variaciones notables en la resistencia a la tensión entre cantones:

Cantones de Máxima Resistencia Promedio: Puerto López (132,82 MPa) y Paján (118,61 MPa) presentan los valores promedio más altos. Manta (120,18 MPa) también exhibe una resistencia promedio alta. Paján destaca por tener el valor más alto en la posición Inferior (184,31 MPa) y Superior (173,86 MPa), mientras que Puerto López tiene el máximo en la posición Media (153,86 MPa).

Cantones de Mínima Resistencia Promedio: El Carmen (86,64 MPa), Jipijapa (90,50 MPa), y Flavio Alfaro (92,03 MPa) tienen los promedios más bajos.

Comportamiento Posicional: En la mayoría de los cantones, la resistencia máxima se encuentra en la posición Media o Superior, siendo la Inferior generalmente la más baja. Este patrón, donde la resistencia a la tensión aumenta hacia la parte superior solo Paján (184,31 MPa) y Puerto López (112,80 MPa) muestran un valor de tensión alto en la posición Inferior, alineándose más con el principio de mayor espesor de pared en la base.

La segunda tabla distingue la resistencia a la tensión por la variable de la Zona Húmeda vs. Seca

Resistencia General: La Zona Húmeda (promedio más alto: Olmedo 163,2 MPa) y la Zona Seca (promedio más alto: Rocafuerte 159,8 MPa) tienen valores máximos de resistencia muy similares entre sí, con una alta variabilidad entre los cantones. Rocafuerte y Olmedo son los cantones con mejor desempeño en ambas zonas.

- **Comportamiento Posicional en la Zona Húmeda:** La resistencia máxima se alcanza en la posición Superior para Rocafuerte (192 MPa) y en la posición Media para Bolívar (198,11 MPa) y Junín (170,73 MPa). El valor más alto de todo el estudio (198,11 MPa) se encuentra en Bolívar en la posición Media de la Zona Húmeda. Pichincha y Olmedo muestran una distribución más uniforme, donde la posición Superior es la más alta o muy similar a las otras. En general, se mantiene la tendencia de que la resistencia máxima no siempre está en la Inferior.
- **Comportamiento Posicional en la Zona Seca:** La resistencia máxima se observa en la posición Superior para Rocafuerte (191,9 MPa) y Bolívar (169,52 MPa). Junín presenta la máxima en la posición Media (118,59 MPa).

Tabla 10: Ensayo de Tension

ENSAYO DE TENSION (Mpa)				
CANTÓN	POSICIÓN			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Chone	64,59	109,42	128,25	100,75
Flavio Alfaro	69,74	124,70	144,66	92,03
El Carmen	53,35	94,55	112,01	86,64
Jipijapa	49,17	134,19	88,15	90,50
Paján	184,31	153,67	173,86	118,61
Puerto López	112,80	153,86	131,81	132,82
Manta	72,93	115,86	171,77	120,18
Montecristi	82,81	84,23	123,72	96,92

Tabla 11: Ensayo de Tensión para muestras de zonas húmeda y seca

ENSAYO DE TENSION (Mpa)								
CANTÓN	POSICIÓN ZONA HUMEDA			VALOR PROMEDIO	POSICIÓN ZONA SECA			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR		INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Pichincha	133,8	134,4	139,1	135,8	121,2	128,2	132,4	127,3
Rocafuerte	133,8	163,7	192	134,5	118	169,6	191,9	159,8
Olmedo	132,5	131,1	137,8	163,2	120	127	131	126
Tosagua	60,68	58,57	82,91	67,39	67,04	52,37	59,22	59,55
Junín	82,01	170,73	114,74	122,49	117,71	72,38	118,59	102,89
Bolívar	73,95	198,11	148,49	140,19	101,36	119,57	169,52	130,16

3.4. Ensayo de corte

La resistencia al esfuerzo cortante fue menor que en compresión y tracción, con sensibilidad alta a defectos locales y a la presencia de nudos, reforzando la necesidad de control visual estricto y de refuerzos en zonas de transferencia de cargas. La cepa mostró, en promedio, mejor desempeño que la sobre basa (Verma et al., 2017; Huang et al., 2022) (Ver Tabla 12, 13, 14 y 15).

Análisis de corte con nudo

El corte con nudo es la condición crítica para el diseño, ya que el nudo actúa como un defecto y un concentrador de esfuerzos.

Cantones Chone a Montecristi (Tabla 12).- La Máxima Resistencia Promedio en los cantones de Puerto López (25,97 MPa) y Montecristi (24,02 MPa) tienen los valores promedio más altos. Mientras que la Mínima Resistencia Promedio dio como resultado en los cantones El Carmen (13,95 MPa) y Jipijapa (14,05 MPa) obteniendo los valores más bajos.

- *Comportamiento Posicional:* Contradicción al Patrón: En casi todos los cantones, la resistencia es máxima en la posición Superior (sobre basa) y mínima en la Inferior (cepa). Por ejemplo, Chone (21,04 MPa Superior vs. 13,66 MPa Inferior).

Resistencia General: La Zona Seca (ej. Tosagua 28,42 MPa, Bolívar 25,64 MPa) exhibe una resistencia promedio superior a la Zona Húmeda (ej. Tosagua 21,68 MPa, Bolívar 21,63 MPa).

- *Comportamiento Posicional:* Tosagua, Junín y Bolívar siguen la tendencia de máxima resistencia en la

Superior para ambas zonas, contrariando el patrón general de "cepa con mejor desempeño". En la Zona Seca, Tosagua (35,21 MPa), Bolívar (33,54 MPa) y Junín (31,34 MPa) alcanzan los valores máximos del estudio.

Análisis de corte sin nudo (tablas 14 y 15)

Cantones Chone a Montecristi (Tabla 14).- La Máxima Resistencia Promedio: Los mismos cantones que en corte con nudo lideran: Montecristi (24,02 MPa) y Paján (20,12 MPa). Mínima Resistencia Promedio: El Carmen (12,93 MPa) y Jipijapa (13,64 MPa).

- *Comportamiento Posicional:* La tendencia predominante se mantiene: la resistencia aumenta de Inferior a Superior, con la posición Superior presentando el valor máximo en la mayoría de los cantones.

Cantones Pichincha a Olmedo (Tabla 15)

- *Resistencia General Baja:* Los valores de corte sin nudo en estos tres cantones son consistentemente bajos, con promedios que oscilan entre 13,7 MPa y 17,0 MPa.
- *Impacto del Nudo:* Al comparar la Tabla # (corte sin nudo) con el mismo grupo de cantones en la Tabla# (corte con nudo), se observa que la resistencia al corte es significativamente mayor en la condición con nudo para Rocafuerte y Olmedo en la Zona Seca. Este fenómeno inesperado podría deberse a que el nudo, al actuar como un engrosamiento de la pared, proporciona una mayor área resistente local, superando el efecto de concentración de esfuerzos en estas muestras específicas.

Tabla 12: Ensayo de Corte Con Nudo

CORTE CON NUDO (MPa)				
CANTÓN	POSICIÓN			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Chone	13,66	19,08	21,04	17,93
Flavio Alfaro	12,74	17,68	19,47	16,63
El Carmen	10,62	14,50	16,72	13,95
Jipijapa	13,09	16,97	12,10	14,05
Paján	18,35	15,47	23,25	19,02
Puerto López	16,96	42,28	18,66	25,97
Manta	11,94	15,1	22,15	16,39
Montecristi	21,21	22,98	27,88	24,02

Tabla 13: Ensayo de Corte Con Nudo para muestras de zonas húmeda y seca

CORTE CON NUDO (MPa)								
CANTÓN	POSICIÓN ZONA HUMEDA			VALOR PROMEDIO	POSICIÓN ZONA SECA			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR		INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Pichincha	12,4	12,9	13,4	12,9	10,9	11,8	12,9	11,8
Rocafuerte	19,4	16,5	26,3	20,7	16,6	15,4	21,1	17,7
Olmedo	12,5	13,1	13,5	13	11	11,9	13,1	12
Tosagua	15,34	22,9	26,80	21,68	22,87	27,18	35,21	28,42
Junín	22,28	13,73	29,9	21,97	19,71	17,97	31,34	23,01
Bolívar	23,84	17,29	23,76	21,63	19,92	23,47	33,54	25,64

Tabla 14: Ensayo de Corte Sin Nudo

CORTE SIN NUDO (MPa)				
CANTÓN	POSICIÓN			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Chone	12,90	18,25	20,15	17,10
Flavio Alfaro	11,00	16,59	18,71	15,43
El Carmen	10,39	13,21	15,19	12,93
Jipijapa	13,04	13,50	14,39	13,64
Paján	21,64	14,09	24,62	20,12
Puerto López	14,62	13,88	24,50	17,67
Manta	11,94	15,1	22,15	16,39
Montecristi	21,21	22,98	27,88	24,02

Tabla 15: Ensayo de corte Sin Nudo para muestras de zonas húmeda y seca

CORTE SIN NUDO (MPa)								
CANTÓN	POSICIÓN ZONA HUMEDA			VALOR PROMEDIO	POSICIÓN ZONA SECA			VALOR PROMEDIO
	INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR		INFERIOR	MEDIA	SUPERIOR	
Pichincha	12,5	14,3	14,6	13,8	12,2	14,4	14,7	13,7
Rocafuerte	11,3	16,3	21,1	16,2	15,4	16,5	19,1	17
Olmedo	12,6	14,4	14,7	13,9	12,3	14,5	14,8	13,9

3.5. Ensayo de flexión.

La resistencia a la flexión se encuentra directamente relacionada con la densidad aparente del material y la proporción de fibras longitudinales en la zona periférica del culmo (Julio Darío et al., 2022). El módulo resistente y la carga última en flexión tendieron a ser superiores en cepa y

basa respecto a sobre basa. La respuesta flexional estuvo fuertemente influenciada por el espesor de pared y la ovalización local, por lo que la selección de probetas libres de ovalización y fisuras previas fue crítica (Liese & Köhl, 2015; Ramage et al., 2017; Huang et al., 2022).

Los valores promedio de resistencia a la flexión por cantón muestran diferencias muy marcadas, dividiéndose en los siguientes grupos:

- *Alto rendimiento:* Montecristi, Manta con una Resistencia Promedio a Flexión (MPa) de 87,83, 84,60 Muestran el rendimiento más alto.
- *Rendimiento Medio:* Flavio Alfaro, Chone con una Resistencia Promedio a Flexión (MPa) de 50,55, 49,36 Muestran una resistencia en el rango medio.

- *Bajo rendimiento:* El Carmen, Jipijapa, Paján, Puerto López con una Resistencia Promedio a Flexión (MPa) de 26,75 ~ 10,27. En este parámetro la resistencia a la flexión se mide significativamente baja.

Jipijapa (10,27 MPa) se midió con una resistencia a la flexión aproximadamente 8,5 veces menor que Montecristi (87,83 MPa), lo que demuestra una dispersión extrema influenciada por la calidad del material, el espesor de la pared o la presencia de defectos en la selección de sondas.

Tabla 16: Ensayo de Flexión

ENSAYO DE FLEXIÓN (Mpa)	
CANTÓN	POSICIÓN
	VALOR PROMEDIO
Chone	49,36
Flavio Alfaro	50,55
El Carmen	26,75
Jipijapa	10,27
Paján	12,86
Puerto López	12,51
Manta	84,60
Montecristi	87,83

Tabla 17: Ensayo de Flexión para muestras de zonas húmeda y seca

ENSAYO DE FLEXIÓN (Mpa)		
CANTÓN	POSICIÓN ZONA HUMEDA	POSICIÓN ZONA SECA
	VALOR PROMEDIO	VALOR PROMEDIO
Pichincha	52,9	54,8
Rocafuerte	58,4	64,1
Olmedo	55,1	57
Tosagua	7,97	12,68
Junín	7,95	11,64
Bolívar	7,99	12,76

Análisis Promedio por Zona

Sotela J., (1990, 1992) realizó 12 ensayos a flexión con *Guadua angustifolia*, para determinar las propiedades de la especie proveniente de dos sitios de Costa Rica, zona sur del país y zona Atlántico, se efectuaron cargas de larga duración y de corta, el autor concluyó que el MOE no varió para ninguno de los dos sitios en cargas a de flexión, El MOE con las muestras en condición seca al aire fue 28% mayor que las muestras verdes (frescas), el MOR de Flexión de las muestras de procedencia Sur fueron superiores 49% que las del Atlántico (Bedoya, 2018).

Al comparar los valores promedio de los Cantones entre la Zona Húmeda y la Zona Seca, se observa lo siguiente:

1. *Dominio de la Zona Seca:* En la mayoría de los Cantones, el valor promedio de resistencia a la flexión de la Zona Seca es igual o superior al de la Zona Húmeda (ejemplo: Rocafuerte 64,1 MPa > 58,4 MPa). Esto sugiere que el menor contenido de humedad en la Zona Seca tiene un efecto positivo en el rendimiento a flexión.

2. Rendimiento Máximo y Mínimo:

Grupo de Alto Rendimiento: Rocafuerte (64,1 MPa), Olmedo (57 MPa) y Pichincha (54,8 MPa) mostrando los valores más altos en la Zona Seca.

Grupo de Bajo Rendimiento: Tosagua, Junín, Bolívar presentaron valores promedio muy bajos en ambas Zonas (entre 7,95 MPa y 12,76 MPa), quedando

notoriamente por debajo de la resistencia a flexión de otros Cantones.

4. Conclusiones

La *Guadua angustifolia* Kunth (GaK) cultivada en los catorce cantones de la provincia de Manabí presenta propiedades físico-mecánicas consistentes con su potencial uso estructural, confirmando su idoneidad como material sostenible para la construcción en la región.

Se verificó que la posición del culmo influye significativamente en el comportamiento mecánico: la cepa o porción inferior registró mayores valores de resistencia a compresión, corte y flexión, mientras que las secciones media y superior mostraron mejor desempeño en tracción paralela a la fibra, debido a la mayor proporción de fibras longitudinales.

La densidad y contenido de humedad variaron según el cantón y las condiciones climáticas (zonas húmedas o secas), evidenciando que los valores más altos de densidad corresponden a cantones del noroeste (El Carmen, Chone, Flavio Alfaro), donde la estructura fibrosa es más compacta, mientras que en zonas más secas la contracción resultó menor y la estabilidad dimensional más favorable. Las diferencias entre cantones se atribuyen principalmente a las condiciones geográficas y edáficas de crecimiento, así como al manejo silvícola, lo que sugiere la necesidad de establecer valores característicos locales de diseño que permitan un dimensionamiento estructural más preciso y seguro.

Los resultados de compresión (hasta 52 MPa), tracción (superiores a 170 MPa) y flexión (superiores a 80 MPa) se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura internacional, lo que reafirma la competitividad técnica de la GaK manabita frente a maderas convencionales ligeras y su potencial para sistemas constructivos certificados. Este estudio aporta una base de datos integral y representativa para la provincia de Manabí, constituyendo una referencia para la actualización de la NEC-SE-GUADUA y para la formulación de normas locales de diseño estructural basadas en evidencia experimental.

Finalmente, se recomienda ampliar el número de ensayos por cantón y evaluar parámetros complementarios (módulo de elasticidad dinámico, comportamiento ante humedad cíclica, resistencia al corte en juntas y uniones) para fortalecer la confiabilidad de los modelos predictivos y promover el uso técnico de la guadua en edificaciones sostenibles.

Referencias

Ávila, W. G. (2016). Ensayos para determinar y comparar las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia* de Pacho Cundinamarca frente a la de Silvania Cundinamarca [Trabajo de grado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

- Bedoya, J. R. (2018). Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie *Guadua angustifolia* Kunth [Trabajo de investigación]. Universidad Nacional de Colombia.
- Dixon, P. G., Ahvenainen, P., Aijazi, A. N., Chen, S. H., Lin, S., Augusciak, P. K., Borrega, M., Svedström, K., Gibson, L. J., & others. (2015). Comparison of the structure and flexural properties of Moso, Guadua and Tre Gai bamboo. *Construction and Building Materials*, 90, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.042>
- Ghavami, K. (2005). Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *Cement and Concrete Composites*, 27(6), 637–649. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.06.002>
- Huang, D., Bian, Y., Zhou, A., & Sheng, B. (2022). Mechanical performance and structural applications of bamboo: A review. *Journal of Building Engineering*, 45, 103608.
- International Organization for Standardization. (2019). ISO 22157: Bamboo structures—Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms. ISO.
- International Organization for Standardization. (2021). ISO 22156: Bamboo structures—Bamboo structural design. ISO.
- Li, H., Zhang, Q., Huang, D., & Deeks, A. J. (2021). Recent developments in bamboo engineering and construction. *Engineering Structures*, 248, 113246. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113246>
- Liese, W., & Köhl, M. (2015). *Bamboo: The Plant and Its Uses*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-GUADUA. MIDUVI, Quito, Ecuador.
- Páez-Cornejo, J. D., De La Rosa-Rodríguez, Y. E., Vélez-Sánchez, G., Sánchez-Cedeño, J. A., & Bravo-Briones, L. X. (2022). Caracterización físico-mecánica de la *Guadua angustifolia* Kunth en tres cantones de la provincia de Manabí. *Revista Científica Arbitrada de Posgrado y Cooperación Internacional CLAUSTRO*, 5(10), 85–99. <https://doi.org/10.56124/claustro.v5i10.0054>
- Ramage, M. H., Burrige, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P. F., & Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 333–359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107>
- Sharma, B., Gato, A., Bock, M., Mulligan, H., & Ramage, M. H. (2015). Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*, 81, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.077>
- Verma, C. S., Chariar, V. M., & Prasad, V. (2017). An overview of bamboo as a structural material. *Construction and Building Materials*, 156, 106–118.
- Yu, Y., Fei, B., Wang, H., Tian, G., & Yu, W. (2021). Mechanical properties of bamboo and bamboo composites: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 4219–4238.

Contribución de los autores (CRediT)

Alvansazyazdi, M.: Conceptualización, Investigación, Supervisión, Validación. **Véliz López, A.:** Curación de contenidos y datos, Análisis formal de datos, Metodología, Conceptualización, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición. **Cedeño Vincés, T.:** Adquisición de fondos, Administración de proyecto, Visualización. **Cedeño Senges, L.:** Recursos Materiales, Software, Redacción – borrador original.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles a solicitud razonable al autor de correspondencia.

Agradecimientos

Los autores expresan su más sincero agradecimiento al Ing. Darío Páez por su valiosa orientación técnica, asesoría metodológica y permanente apoyo durante el desarrollo de la investigación, así como por sus importantes aportes en la ejecución y análisis de los ensayos experimentales. Asimismo, se extiende un especial reconocimiento a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), en particular a la Carrera de Ingeniería Civil, por facilitar la infraestructura, el laboratorio y el respaldo académico necesarios para la realización de los ensayos físico-mecánicos de la *Guadua angustifolia* Kunth, recolectada en diversos cantones de la provincia de Manabí. Finalmente, los autores agradecen a la comunidad académica, docentes, estudiantes y personal técnico de la Carrera de Ingeniería Civil de la ULEAM por su colaboración y compromiso durante las diferentes etapas de la investigación, contribuyendo significativamente al desarrollo y culminación exitosa de este trabajo científico.

Conflicto de intereses

Los autores han declarado que no existe conflicto de intereses en esta obra. Los financiadores no tuvieron ningún rol en el diseño del estudio; en la recolección, análisis o interpretación de los datos; en la redacción del manuscrito; ni en la decisión de publicar los resultados.

Declaración sobre el uso de IA generativa y tecnologías asistidas por IA

El manuscrito no incluye una declaración específica respecto al uso de herramientas de inteligencia artificial durante su proceso de redacción. La autoría, así como la responsabilidad total del contenido, recaen exclusivamente en los autores.

Nota del Editor

Descargo de responsabilidad: Los datos, declaraciones, opiniones contenidas en el documento son responsabilidad únicamente de los autores y no de la *Revista Científica FINIBUS – Ingeniería, Industria y Arquitectura*. La Revista y sus editores renuncian a toda responsabilidad por daño a persona o propiedad resultante de los métodos, instrucciones, producto o idea mencionado en el contenido.



Derechos de autor 2026.

Esta obra está bajo una licencia: Internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0

Revista Científica *FINIBUS* - ISSN: 2737-6451.

