

# DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA CAÑA GUADUA ANGUSTIFOLIA DEL ECUADOR

## DETERMINATION OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE BAMBOO GUADUA ANGUSTIFOLIA OF ECUADOR

ANTONIO LA TEGOLA<sup>1</sup>, LUIS OCTAVIO YÉPEZ ROCA<sup>2</sup>, WALTER VICENTE MERA ORTIZ<sup>3</sup>, PEDRO LUIS CÓRDOVA ALCÍVAR<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Profesor Honorario de la facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Università del Salento, Lecce, Italia.  
*antonio.lategola@unisalento.it*

<sup>2</sup> Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. *luis.yepez@cu.ucsg.edu.ec*

<sup>3</sup> Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. *walter.mera@cu.ucsg.edu.ec*

<sup>4</sup> Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. *peterlca2006@hotmail.com*

### RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo de investigación es la determinación de las características geométricas de la caña Guadua Angustifolia Kunth de Ecuador, y a través de la metodología de las mediciones determinar relaciones estadísticas entre sus características. Se tomaron medidas a tallos de caña guadua en diferentes depósitos y plantaciones de las provincias costeras del Ecuador. Estas se las efectuaron con calibrador vernier para tener precisión en la obtención de los valores de diámetro y espesores y se usó cinta métrica para obtener longitudes o distancia de separación de nudos (entrenudo). El conjunto de las variables será explicado a través del estudio de la información estadística. Los resultados permitieron determinar los valores característicos de las variables de estudio.

**PALABRAS CLAVE:** propiedades geométricas, caña guadua Angustifolia Kunth.

### ABSTRACT

The main objective of this research is to determine the geometrical characteristics of the Bamboo Guadua Angustifolia Kunth of Ecuador, and through the methodology of measurements to determine statistical relationships between its characteristics. Culms were measured in different deposits and plantations of the coastal provinces of Ecuador. These were made with vernier caliper for precision in obtaining the values of diameter and thickness and tape measure to obtain lengths between nodes. The set of variables will be explained through the study of statistical information. The test results allowed to determine the characteristic values of the study variables.

**KEYWORDS:** geometric properties, bamboo guadua Angustifolia Kunth.

RECIBIDO: 8/1/2015

ACEPTADO: 5/5/2015

**INTRODUCCIÓN**

Las variables a medir son las propiedades geométricas del bambú (caña guadua): diámetro exterior; diámetro interior; espesor de la pared de la caña; longitud de separación entre nudos; porcentaje de imperfección vertical de la caña guadua.

El objetivo del trabajo es deducir todos los parámetros a solo uno. Por lo tanto se hace referencia a la teoría probabilística para determinar los valores característicos.

De acuerdo a la metodología recomendada por La Tegola y Mera (2012), los valores característicos de la propiedad geométrica se calcularon como percentiles de propiedad menor que 5%. Teniendo en cuenta el número de muestras, se hizo referencia a la teoría de pequeñas muestras, mediante la estimación de la media y de la varianza. Además se adoptó un intervalo de confianza igual al 75% con el fin de tener en cuenta la naturaleza del material.

**METODOLOGÍA**

Según Córdoba (2014), las cañas de bambú de la variedad guadua constituyen una alternativa eficaz para la construcción de estructuras sismoresistentes y eco compatibles. Las cañas son utilizadas ya sea como elementos solicitados a compresión bajo la forma de columnas y de puntales y como elementos tipo vigas. Bajo el aspecto geométrico los parámetros necesarios para el cálculo son las dimensiones transversales, las longitudinales y las imperfecciones de las cañas.

Los parámetros transversales son el diámetro externo y el diámetro interno y por consiguiente el espesor de la sección anular hueca; los parámetros longitudinales son la distancia entre los nudos y la rectilinealidad por la presencia de curvatura.

Los resultados derivados de las investigaciones experimentales son analizados bajo el aspecto probabilístico determinándose todos los valores característicos con probabilidad al 5%. Obviamente en la verificación de la seguridad deben ser introducidos los valores de cálculo de las resistencias y los valores de cálculo de las acciones. Toda la investigación experimental de tipo estadístico ha consistido en el considerar los varios parámetros como variables aleatorias asimilables a una distribución de tipo Gamma. La definición de los valores característicos es además tratada con la teoría de las muestras

pequeñas, aplicando el Test de Student y del Chi-cuadrado en función de los intervalos de confianza adoptados.

Ya que las cañas, sea bajo el aspecto geométrico o mecánico, poseen índices de dispersión significativos, se considera que el intervalo de confianza sea igual al 75% como aquel adoptado para otros materiales actualmente utilizados.

Por lo tanto, la definición de cualquier parámetro característico es validada según la relación:  $A_k = A_m \pm (K)(s)$

Siendo  $A_k = A_m \pm (K)(s)$  la media de la muestra

$$s = \sqrt{\frac{\sum(A(i)-A(m))^2}{N-1}}$$

la desviación estándar y

$K^* = K^*(\theta, p, N)$  Función del intervalo de confianza  $\theta = 0.75$  del fratil  $p = 0.05$  y del número  $N$  de las muestras. Los valores de  $K^*$  son reportados en la Tabla 1.

**TABLA 1. VALORES K DEL INTERVALO DE CONFIANZA EN FUNCIÓN DEL NÚMERO N DE LAS MUESTRAS**

N	$\theta = 0,75$
	$p = 0,05$
4	2,68
6	2,33
8	2,19
10	2,10
12	2,05
14	2,00
16	1,97
18	1,95
20	1,93
25	1,89
30	1,86
40	1,82
50	1,79
60	1,78
75	1,76
100	1,74
200	1,71
500	1,68
$\infty$	1,65

**PARÁMETROS GEOMÉTRICOS**

Los parámetros geométricos transversales necesarios para el diseño son aquellos que permiten definir la sección, el momento de inercia, los módulos de resistencia a la flexión y a cortante, y el radio de giro.

Dichas cantidades dependen del diámetro externo y del diámetro interno y por consiguiente del espesor de la sección anular.

**PARÁMETROS TRANSVERSALES**

La primera investigación ha sido realizada con el fin de relacionar el espesor al diámetro externo determinando un parámetro característico. Con dicho fin se ha examinado 108 muestras, midiendo el diámetro externo  $D_e$ , el diámetro interno  $D_i$  y por lo tanto el espesor:

$$e_s = \frac{D_e - D_i}{2}, \text{ y por consiguiente la relación } \partial_s = \frac{e_s}{D_e}.$$

Dichas 108 muestras han provisto:

$$\partial_{sm} = \frac{\sum \partial_s(i)}{N} = 0.138 \quad s = \sqrt{\frac{\sum (\partial_s(i) - \partial_{sm})^2}{N-1}} = 0.036$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta el número de muestras el valor característico de la relación  $\partial_s = \frac{e_s}{D_e}$  como fratil inferior al 5% está dado por:

$$\partial_{sk} = \partial_{sm} - (k)(s) = 0.138 - (1.74)(0.036) = 0.075$$

Resulta por lo tanto  $e_s = 0.075 D_e$

Las cantidades geométricas que interesan son:

Sección:

$$A = \frac{\pi(D_e^2 - D_i^2)}{4} = \frac{\pi(D_e - D_i)(D_e + D_i)}{4} = \pi e_s D_m$$

$$e_s = \delta_{sk} D_e \quad D_m = D_e - e_s$$

Momento de Inercia:

$$I = \frac{\pi(D_e^4 - D_i^4)}{64} = \frac{\pi(D_e^2 - D_i^2)(D_e^2 + D_i^2)}{64} = \frac{\pi(D_e - D_i)(D_e + D_i)(D_e^2 + D_i^2)}{64} = \frac{\pi e_s D_m^3}{8}$$

Momento de resistencia a flexión:

$$W = \frac{\pi e_s D_m^2}{4}$$

Módulo de resistencia al cortante:

$$K = \frac{2e_s I}{s} = \frac{2W}{D_m}$$

Radio de Inercia:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{D_m}{2\sqrt{2}}$$

Todos los parámetros geométricos, para varios valores de  $D_e$ , son reportados en la Tabla 2, habiendo asumido:  $e_s = 0.075 D_e$

**TABLA 2. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE CAÑAS GUADUA CON DIFERENTES VALORES DE DIÁMETRO EXTERNO**

DE (CM)	ES (CM)	A (CM <sup>2</sup> )	I (CM <sup>4</sup> )	W (CM <sup>3</sup> )	K (CM <sup>2</sup> )	R (CM)
8.00	0.60	13.95	95.48	25.81	6.97	2.62
8.25	0.62	14.83	107.98	28.30	7.42	2.70
8.50	0.64	15.75	121.58	30.95	7.87	2.78
8.75	0.66	15.59	136.64	33.76	8.34	2.86
9.00	0.68	17.65	152.94	36.74	8.83	2.94
9.25	0.69	18.65	170.65	39.89	9.32	3.03
9.50	0.71	17.57	189.85	43.21	9.83	3.11
9.75	0.73	20.72	210.55	46.71	10.36	3.19
10.00	0.75	21.79	233.10	50.40	10.90	3.27
10.25	0.77	22.90	257.30	54.28	11.45	3.35
10.50	0.79	24.03	283.34	58.34	12.01	3.43
10.75	0.81	25.19	311.30	62.61	12.59	3.52
11.00	0.83	26.17	341.97	67.18	13.19	3.60
11.25	0.84	27.58	373.39	71.76	13.79	3.68
11.50	0.86	28.82	407.70	76.65	14.41	3.76
11.75	0.88	30.09	444.32	81.76	15.05	3.84
12.00	0.90	31.38	488.36	87.09	15.69	3.92
12.25	0.92	32.71	524.92	92.65	16.35	4.01
12.50	0.94	34.05	569.10	98.44	17.03	4.09
12.75	0.96	35.43	616.01	104.46	17.72	4.17
13.00	0.98	36.83	665.76	110.73	18.42	4.25
13.25	0.99	38.26	718.17	117.24	19.13	4.33
13.50	1.01	39.72	774.25	124.00	19.86	4.41
13.75	1.03	41.21	833.22	131.02	20.60	4.50
14.00	1.05	42.77	825.47	138.30	21.36	4.58
14.25	1.07	44.26	961.18	145.84	22.13	4.66
14.50	1.09	45.82	1030.43	153.65	22.91	4.74
14.75	1.11	47.42	1103.36	161.74	23.71	4.82
15.00	1.13	49.04	1180.08	170.10	24.52	4.91

**PARÁMETROS LONGITUDINALES  
DISTANCIA INTERNODAL**

La segunda investigación se ha desarrollado con el fin de relacionar la distancia entre los nudos (intermodal) al diámetro externo, determinándose también en este caso un parámetro característico.

Se ha examinado una muestra de 189 cañas y se ha medido la distancia interior y se ha calculado la relación:

$$\lambda_{in} = \frac{Int}{D_2}$$

Se ha obtenido:  $\lambda_{inm} = \frac{\sum \lambda_{in(i)}}{N} = 2.126$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\lambda_{in(i)} - \lambda_{inm})^2}{N-1}} = 0.67$$

Y haciendo referencia al fratil superior se obtiene:

$$\lambda_{ink} = 2.126 + (1.71)(0.67) = 3.272$$

**IMPERFECCIONES DE RECTILINEALIDAD**

Una tercera investigación se ha realizado además para la determinación de la no perfecta linealidad de las cañas. Se han examinado 28 cañas de longitud y diámetros diferentes. Las imperfecciones en relación a la longitud de una caña simple han producido un valor en porcentaje.

Se ha obtenido un valor medio:

$$i_{1mm} = \frac{\sum i_{1m(i)}}{N} = 0.707\%$$

Una desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (i_{1m(i)} - i_{1mm})^2}{N-1}} = 0.316$$

Y por tanto un valor característico:

$$i_{1mk} = 0.707 + (1.87)(0.316) = 1.298\%$$

$$\frac{s}{i_{1mm}} = 0.447$$

Dichas imperfecciones son importantes ya que en las cañas solicitadas a compresión una excentricidad de primer orden puede generar excentricidades de segundo orden importantes que no pueden ser despreciados.

**PESO PROPIO DEL BAMBÚ Y DE LAS CAÑAS**

Se ha realizado una investigación análoga para determinar la densidad del material. Se han evaluado los siguientes valores:

$$\gamma_m = 937 \frac{kg}{m^3} \quad s = 215 \quad \gamma_m = 1388 \frac{kg}{m^3}$$

$$\frac{s}{\gamma_m} = 0.229$$

$$\frac{p_m}{D_e} = 29 \frac{kg}{m} \quad s = 5 \quad \frac{p_{mk}}{D_e} = 41 \frac{kg}{m}$$

$$\frac{s}{\left(\frac{p_m}{D_e}\right)} = 0.184 \quad s = 2 \quad \gamma_{sk} = 13 \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{Densidad del material bambú} = 1388 \frac{kg}{m^3}$$

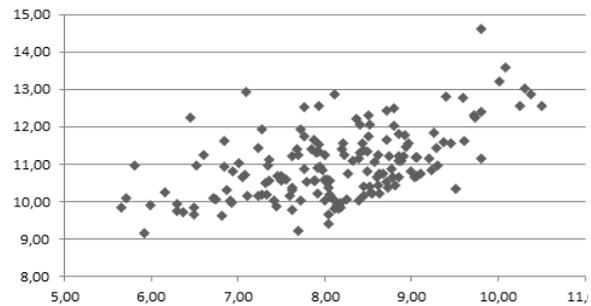
$$\text{Peso de la caña bambú} = 41 \times D_e \frac{kg}{m} \quad (D_e \text{ en } m)$$

$$\text{Peso pared con caña abierta} = 13 \frac{kg}{m^2}$$

**RESULTADOS**

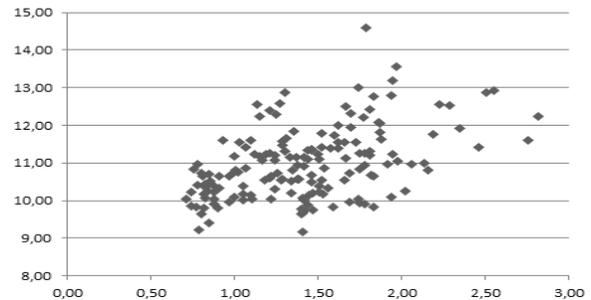
En las tablas 3 y 4 se muestran los resultados de mediciones hechas a 246 cañas de guadua de diversos orígenes de la costa ecuatoriana. Se midieron los diámetros interno y externo, espesor de la pared de la caña y longitud de los entrenudos.

**Dext (cm) - Dint (cm)**



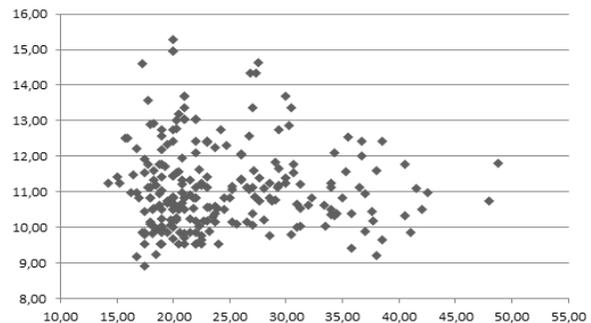
**Figura 1.** Variación del diámetro exterior de la caña guadua vs. el diámetro interior. A medida que aumenta el diámetro exterior aumenta el diámetro interior. Son directamente proporcionales.

**Dext (cm) - Esp (cm)**



**Figura 2.** Variación del diámetro exterior de la caña guadua vs. el espesor de la pared de la caña. A medida que aumenta el diámetro exterior aumenta el espesor de la pared de la caña.

**Dext (cm) - S. Int (cm)**



**Figura 3.** Variación del diámetro exterior de la caña guadua vs. la longitud de entrenudo. A medida que disminuye el diámetro exterior, aumenta la longitud del entrenudo.

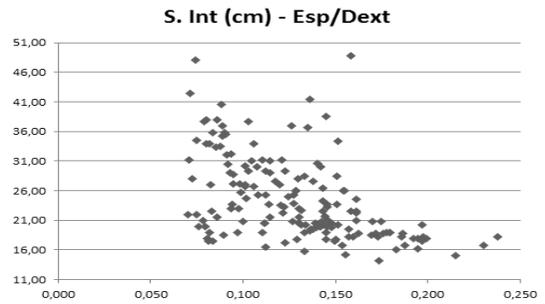
**TABLA 3. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS MEDIDOS A MUESTRAS DE CAÑA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH**

NRO. DE MUESTRA	DIAMETRO EXTERIOR (CM)	DIAMETRO INTERIOR (CM)	ESPESOR (CM)	S. ITERNUDO (CM)	NRO. DE MUESTRA	DIAMETRO EXTERIOR (CM)	DIAMETRO INTERIOR (CM)	ESPESOR (CM)	S. ITERNUDO (CM)	NRO. DE MUESTRA	DIAMETRO EXTERIOR (CM)	DIAMETRO INTERIOR (CM)	ESPESOR (CM)	S. ITERNUDO (CM)
1	10,18	8,06	1,05	37,75	56	12,88	8,12	2,51	18,00	111	9,78	7,63	1,40	22,50
2	12,56	7,94	2,23	19,00	57	11,34	7,94	1,46	26,00	112	12,20	8,37	1,77	19,00
3	10,67	7,50	1,46	19,50	58	11,94	7,73	1,70	20,75	113	10,03	8,39	0,71	31,25
4	10,26	6,16	2,02	20,25	59	11,64	7,88	1,88	22,25	114	10,97	6,53	2,06	16,75
5	10,82	9,00	1,01	32,25	60	11,24	8,23	1,50	28,50	115	13,57	10,08	1,97	17,75
6	11,55	8,44	1,66	20,25	61	12,52	7,76	2,29	16,00	116	10,22	7,92	1,51	19,75
7	10,30	7,62	1,24	23,50	62	10,68	7,46	1,82	20,75	117	9,91	5,99	1,78	19,00
8	10,15	7,60	1,10	25,25	63	12,40	9,80	1,21	23,00	118	10,82	8,49	1,35	25,00
9	10,19	7,28	1,34	22,75	64	10,55	7,36	1,66	18,25	119	10,60	8,00	1,21	23,75
10	9,00	6,93	1,69	18,50	65	11,54	7,93	1,73	17,50	120	10,57	7,50	1,39	20,25
11	96,00	7,70	0,79	38,00	66	11,92	7,28	2,35	17,50	121	12,92	7,10	2,55	18,25
12	9,22	8,94	1,29	16,50	67	11,25	8,62	1,21	30,00	122	11,14	9,21	1,37	29,25
13	11,47	8,45	0,87	35,75	68	11,97	9,30	0,78	42,50	123	11,61	9,61	0,93	38,00
14	10,40	9,60	1,83	24,25	69	12,50	8,80	1,67	15,75	124	12,87	10,38	1,30	30,25
15	12,76	9,80	1,79	17,25	70	11,10	7,36	1,67	17,75	125	12,30	9,72	1,25	24,75
16	14,60	7,77	1,54	20,00	71	10,52	8,71	0,86	34,00	126	10,14	5,71	1,94	18,00
17	10,86	9,10	0,80	48,00	72	11,55	8,74	1,12	20,75	127	11,37	8,45	1,46	26,08
18	10,74	7,98	1,75	24,50	73	10,64	7,06	1,83	18,75	128	11,22	8,92	1,24	31,25
19	10,84	8,52	0,78	34,50	74	12,25	9,74	1,15	23,67	129	11,84	9,26	1,36	29,00
20	10,40	7,77	2,19	18,75	75	11,19	9,07	1,15	29,33	130	10,45	8,62	0,83	37,63
21	11,76	7,08	1,69	19,50	76	11,78	8,93	1,52	17,75	131	11,60	9,37	1,10	27,13
22	10,73	7,73	1,22	22,25	77	9,42	6,30	1,75	18,75	132	11,39	8,20	1,58	27,63
23	10,04	7,23	1,53	23,75	78	10,54	7,79	1,52	21,75	133	11,08	8,89	1,17	26,75
24	10,16	10,02	1,95	20,50	79	10,08	6,72	1,41	19,75	134	10,74	8,27	1,26	27,63
25	13,20	7,33	1,47	20,25	80	11,10	8,33	1,44	28,00	135	10,53	8,02	1,35	23,88
26	10,20	8,00	1,75	15,25	81	10,94	7,95	1,38	37,00	136	10,86	8,78	1,07	27,19
27	11,25	8,03	1,38	23,00	82	10,64	8,60	0,97	32,00	137	9,84	6,49	1,50	21,00
28	10,58	7,89	1,28	31,25	83	11,48	8,85	1,87	48,75	138	10,23	8,55	0,88	21,50
29	10,55	7,63	1,81	22,50	84	11,25	7,70	1,78	22,50	139	9,65	8,05	0,80	22,50
30	11,20	8,12	1,05	31,00	85	10,82	6,94	2,16	18,00	140	10,84	9,23	0,76	22,00
31	10,02	6,91	1,42	20,00	86	10,94	6,84	1,78	18,75	141	9,83	8,19	0,77	21,00
32	11,32	7,90	1,81	18,25	87	11,24	6,60	1,95	14,25	142	10,69	9,06	0,85	20,00
33	10,55	7,88	1,18	20,50	88	11,23	8,85	1,19	34,00	143	9,81	8,12	0,82	17,50
34	10,58	7,56	1,38	20,50	89	10,98	5,81	2,14	16,25	144	11,19	9,05	1,00	18,50
35	10,91	7,92	1,42	21,50	90	11,57	8,96	1,29	20,50	145	10,44	8,81	0,85	17,50
36	9,41	8,04	0,85	35,75	91	10,09	8,09	1,00	25,67	146	10,06	8,25	0,83	27,00
37	10,05	6,74	1,74	18,25	92	10,03	7,41	0,88	33,50	147	10,14	7,11	1,45	26,50
38	10,37	8,73	0,83	34,00	93	11,56	9,45	1,03	35,25	148	9,80	8,16	0,90	30,50
39	12,42	8,72	1,81	20,00	94	12,23	6,46	2,82	16,75	149	9,64	6,82	1,40	38,50
40	10,50	7,32	1,46	20,50	95	12,01	8,80	1,62	36,67	150	10,32	6,87	1,56	34,33
41	9,89	7,44	1,44	23,25	96	11,73	8,51	1,60	19,25	151	11,55	8,21	1,62	3,67
42	12,07	8,52	1,86	26,00	97	11,61	6,85	2,76	18,25	152	11,39	7,85	1,62	30,00
43	11,33	8,49	1,44	20,75	98	11,42	7,23	2,46	15,00	153	11,65	8,71	1,31	29,33
44	12,79	9,40	1,94	20,25	99	10,38	7,62	1,51	23,75	154	9,76	6,30	1,47	28,50
45	13,01	10,31	1,74	20,25	100	10,33	9,51	0,91	40,50	155	10,16	8,45	0,82	18,00
46	11,06	8,58	1,24	25,25	101	12,57	10,50	1,27	26,75	156	10,64	9,03	0,81	20,00
47	12,05	8,41	1,87	26,00	102	10,97	7,35	1,92	20,75	157	9,97	8,18	0,97	19,00
48	11,04	7,01	1,98	19,00	103	10,64	8,85	0,91	33,33	158	10,24	8,54	0,84	19,00
49	12,32	8,51	1,70	19,50	104	11,10	8,86	1,51	41,50	159	11,42	9,29	1,07	23,00
50	11,32	8,41	1,30	21,50	105	10,38	8,05	1,05	27,00	160	9,86	8,15	0,74	22,00
51	10,76	8,63	1,00	29,00	106	12,55	10,25	1,14	35,50	161	9,67	6,50	1,41	20,00
52	10,57	8,06	1,29	23,25	107	10,65	8,78	1,22	31,00	162	10,04	8,00	1,11	19,00
53	11,16	8,40	1,42	25,25	108	11,14	9,81	1,33	27,00	163	9,71	6,37	1,42	21,00
54	10,75	8,67	1,02	28,75	109	9,17	5,92	1,41	16,75	164	10,22	8,63	0,74	28,00
55	11,41	7,68	1,52	19,00	110	9,83	5,66	1,83	18,20	165	9,90	8,14	0,88	37,00

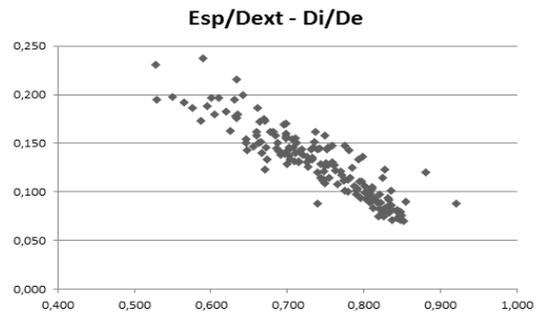
**TABLA 4. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS MEDIDOS EN DIVERSAS PLANTACIONES A CAÑAS GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH**

NRO. DE MUESTRA	DIÁMETRO EXTERIOR (CM)	S. ITERNUDO (CM)	NRO. DE MUESTRA	DIÁMETRO EXTERIOR (CM)	S. ITERNUDO (CM)
166	14,96	20,00	207	9,55	21,00
167	11,14	18,00	208	11,46	20,00
168	10,82	18,00	209	10,82	21,75
169	14,96	20,00	210	10,82	22,00
170	11,14	18,00	211	9,55	24,00
171	10,19	20,00	212	9,87	17,50
172	9,87	19,00	213	8,91	17,50
173	10,19	23,00	214	9,23	18,50
174	12,41	23,00	215	9,55	17,50
175	10,82	20,00	216	10,82	17,00
176	15,28	20,00	217	9,87	17,25
177	10,50	20,00	218	9,55	19,00
178	10,50	19,00	219	10,50	18,20
179	11,14	23,00	220	9,55	18,83
180	12,41	22,00	221	9,87	20,56
181	10,50	20,00	222	11,14	26,50
182	13,05	22,00	223	13,37	30,50
183	11,46	20,00	224	10,82	35,00
184	11,78	19,00	225	13,37	27,00
185	13,05	22,00	226	14,64	27,50
186	11,46	20,00	227	14,32	27,33
187	11,78	19,00	228	11,14	36,50
188	10,82	21,00	229	10,5	42,00
189	10,19	22,00	230	12,41	38,50
190	10,50	21,00	231	12,1	34,33
191	13,05	21,00	232	11,78	30,67
192	13,05	22,00	233	9,87	41,00
193	12,73	19,00	234	12,41	36,67
194	13,05	21,00	235	11,14	34,00
195	12,73	20,00	236	11,78	40,50
196	9,87	19,50	237	13,69	30,00
197	12,41	23,00	238	12,73	29,33
198	10,82	21,00	239	10,82	28,50
199	9,87	21,50	240	14,32	26,86
200	9,55	22,50	241	13,69	21,00
201	11,14	22,00	242	13,05	21,00
202	9,55	22,00	243	13,37	21,00
203	12,10	22,00	244	13,69	21,00
204	10,50	24,50	245	10,5	20,50
205	9,55	20,50	246	10,82	20,00
206	9,55	22,00			

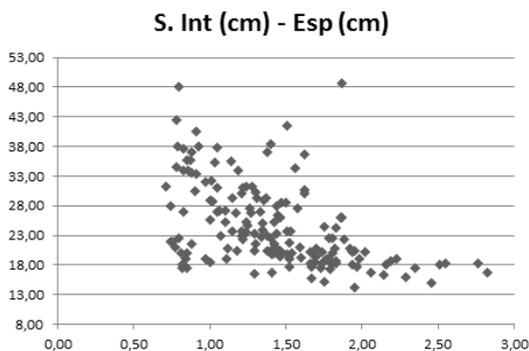
Análisis de las relaciones espesor y diámetro exterior (Esp/Dext), diámetro interior y diámetro exterior (Dint/Dext), diámetro medio (Dm), diámetro exterior y longitud de entrenudo (Dext/S. Int).



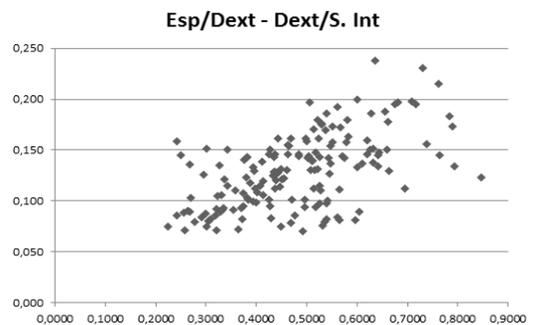
**Figura 5.** Variación de la longitud del entrenudo de la caña guadua vs. la relación (Espesor/Diámetro exterior). A medida que aumenta la relación (Esp/Dext) disminuye la longitud del entrenudo.



**Figura 6.** Variación de la relación (Espesor/Diámetro exterior) de la caña guadua vs. la relación (Diámetro interior/diámetro exterior). A medida que aumenta la relación (Dint/Dext) disminuye la relación (Esp/Dext).



**Figura 4.** Variación de la longitud del entrenudo de la caña guadua vs. el espesor de la pared de la caña. A medida que disminuye la longitud del entrenudo disminuye el espesor de la pared de la caña



**Figura 7.** Variación de la relación (Espesor/Diámetro exterior) de la caña guadua vs. la relación (Diámetro exterior/longitud de entrenudo). A medida que aumenta la relación (Dext/S. Int) aumenta la relación (Esp/Dext).

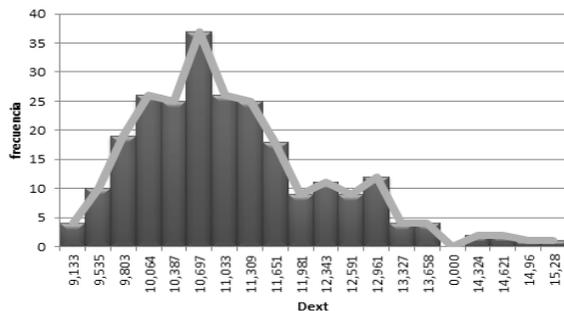
Algo muy importante a destacar es que la relación entre el espesor y el diámetro exterior (Esp/Dext) permite encontrar relación con el resto de propiedades y relaciones geométricas de la caña guadua.

Haciendo un análisis estadístico de las propiedades geométricas de la caña guadua como el diámetro exterior, espesor y longitud del entrenudo. De los gráficos de las figuras 8, 9 y 10 se puede analizar que tan frecuente se puede encontrar con la medida específica de la propiedad que se desea.

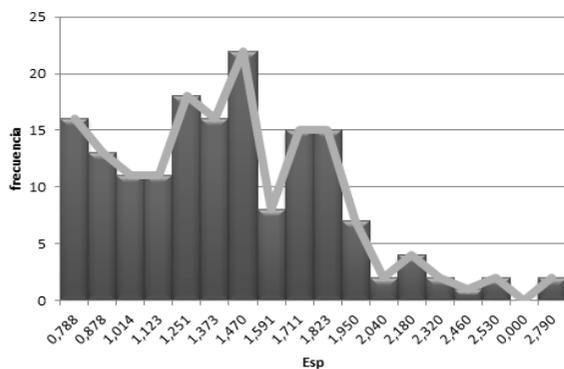
En la figura 8 se observa que el rango de mayor probabilidad del diámetro exterior de una caña guadua se encuentra entre 9.803 cm y 11.651 cm, siendo el valor promedio máximo de 10.697 cm la medida común más probable que tenga una caña guadua.

**TABLA 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DIÁMETRO EXTERIOR DE LAS CAÑAS GUADUA**

Dext Media	11.130 cm
Desviación estándar (S)	1.198 cm
Dextk	9.159 cm
S/Dext Media	0.108



**Figura 8.** Análisis estadístico del diámetro exterior de la caña guadua.



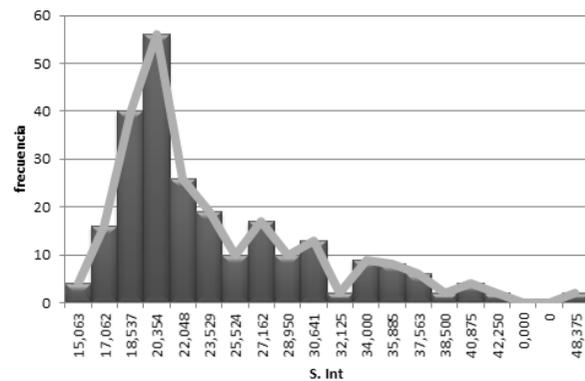
**Figura 9.** Análisis estadístico del espesor de la caña guadua.

En la figura 9 se observa que el rango de mayor probabilidad del espesor de la pared de una caña guadua se encuentra entre 0.788 cm y 1.823 cm, siendo el valor promedio máximo de 1.47 cm la medida común más probable que tenga una caña guadua. En esta propiedad podemos encontrar mucha variación en los datos.

**TABLA 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ESPESOR DE LA PARED DE LAS CAÑAS GUADUA**

Esp Media	1.420 cm
Desviación estándar (S)	0.440 cm
Espk	0.697 cm
S/Esp Media	0.310

En la figura 10 se observa que el rango de mayor probabilidad de la longitud de entrenudos de una caña guadua se encuentra entre 18.537 cm y 22.048 cm, siendo el valor promedio máximo de 20.354 cm la medida común más probable que tenga una caña guadua.



**Figura 10.** Análisis estadístico de la longitud de entrenudo de la caña guadua.

**TABLA 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA LONGITUD DE ENTRENUDO DE LAS CAÑAS GUADUA.**

S. Int Media=	24.163 cm
Desviación estándar=	6.659 cm
S. Intk=	10.178 cm
S/S. Int Media=	0.276

Haciendo un análisis estadístico de las relaciones geométricas de la caña guadua como el espesor y diámetro exterior (Esp/Dext), diámetro interior y diámetro exterior (Dint/Dext), diámetro exterior y longitud de entrenudo (Dext/S. Int).

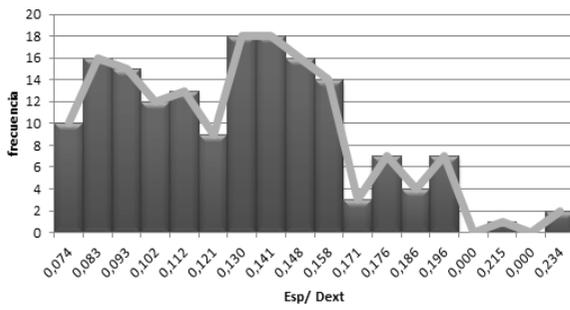


Figura 19. Análisis estadístico de la relación (Espesor/Diámetro exterior).

TABLA 8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RELACIÓN (ESP/DEXT) DE LAS CAÑAS GUADUA

Esp/ Dext Media=	0,129
Desviación Estándar (S)	0,036
(Esp/Dext) k =	0,070
S/Esp/Dext Media=	0,280

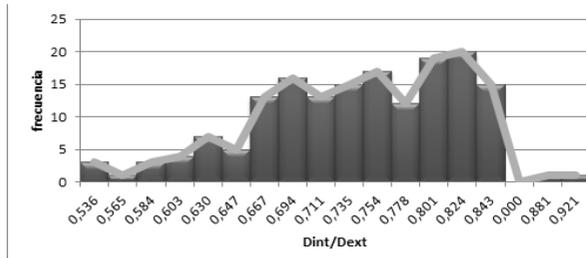


Figura 20: Análisis estadístico de la relación (Diámetro interior/Diámetro exterior).

TABLA 9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RELACIÓN (DINT/DEXT) DE LAS CAÑAS GUADUA

Dint/Dext Media	0,741
Desviación Estándar (S)	0,078
(Dint/Dext)K	0,613
S/Dint/Dext Media	0,105

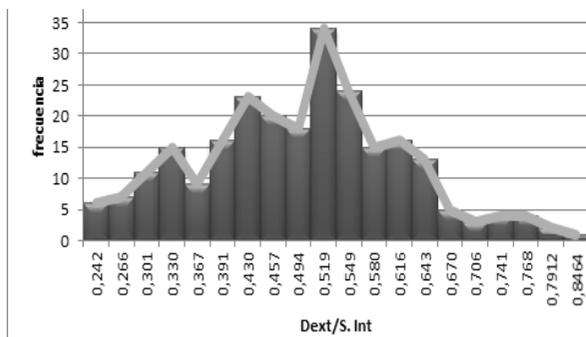


Figura 21. Análisis estadístico de la relación (Diámetro exterior/Longitud de entrenudo).

TABLA 10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RELACIÓN (DEXT/S. INT) DE LAS CAÑAS GUADUA

Dext/S. Int Media	0.491
Desviación estándar (S)	0.126
(Dext/S. Int)	0.284
S/Dext/S. Int Media	0.257

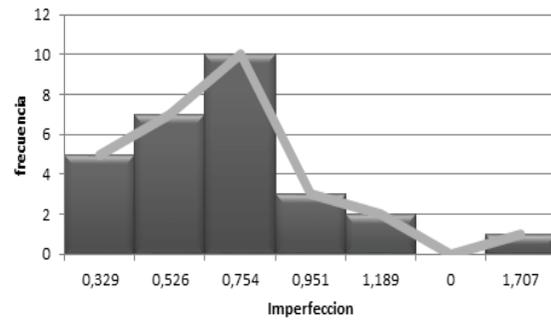


Figura 22. Análisis estadístico de la imperfección vertical de las cañas guadua.

TABLA 11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA IMPERFECCIÓN VERTICAL DE LAS CAÑAS GUADUA

Imperfección Media	0.707
Desviación Estándar (S)	0.316
Imperfección k	0.187
Imperfección Media	0.447

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA IMPERFECCIÓN VERTICAL DE LAS CAÑAS GUADUA

Se determinó de la población de 28 muestras que el porcentaje de imperfección máximo que existió fue de 1.7%, el cual es casi 2%, el límite para el cual se puede tener una influencia notable de las imperfecciones en fenómenos como pandeo de columnas esbeltas. El promedio fue de 0.7%, el cual es bastante aceptable.

### DISCUSIÓN

Del análisis hecho a las propiedades geométricas de la caña guadua se resalta que cuando se tiene un diámetro externo grande, se tendrá un diámetro interior mayor, un espesor mayor, una longitud de entrenudo menor. Además con un espesor de la pared de la caña guadua mayor se tendrá una relación entre el diámetro exterior y la longitud del entrenudo mayor, una relación entre el diámetro interior y el diámetro exterior menor, y una relación entre el espesor de la pared de la caña y el diámetro exterior de la caña mayor.

**TABLA 12. MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS DE LA IMPERFECCIÓN NATURAL DE LA NO VERTICALIDAD QUE TIENEN LAS CAÑAS GUADUA**

NRO. DE MUESTRA	DIÁMETRO EXTERIOR (CM)	DIÁMETRO INTERIOR (CM)	ESPESOR (CM)	S. ITERNUDO (CM)	DEFORMACIÓN NATURAL (CM)	LONGITUD (M)	IMPERFECCIÓN (%)
1	9.17	5.92	1.41	16.75	5.14	6.14	0.837
2	9.83	5.66	1.83	18.2	10.41	6.1	1.707
3	9.78	7.63	1.4	22.5	4.08	6.1	0.669
4	12.2	8.37	1.77	19	7.09	6.14	1.115
5	10.03	8.39	0.71	31.25	4.48	6	0.747
6	10.97	6.53	2.06	16.75	2.8	6.06	0.462
7	13.57	10.08	1.97	17.75	4.16	5.97	0.697
8	10.22	7.92	1.51	19.75	5.93	6.03	0.983
9	9.91	5.99	1.78	19	2.83	5	0.566
10	10.82	8.49	1.35	25	3.45	6.2	0.556
11	10.6	8	1.21	23.75	5.87	6.08	0.965
12	10.57	7.5	1.39	20.25	2.34	6	0.390
13	12.92	7.1	2.55	18.25	4.3	6.08	0.811
14	11.14	9.21	1.37	29.25	4.94	6.21	0.795
15	11.61	9.61	0.93	38	1.36	6.2	0.219
16	12.87	10.38	1.3	30.25	7.34	6	1.223
17	12.3	9.72	1.25	24.75	4.6	6.2	0.742
18	10.1	5.71	1.94	18	3.77	6.1	0.618
19	11.365	8.45	1.46	16.075	2.78	3.8	0.732
20	11.215	8.915	1.24	31.25	1.01	4.065	0.248
21	11.84	9.26	1.355	29	1.95	3.65	0.534
22	10.45	8.615	0.825	37.625	1.9	3.72	0.511
23	11.595	9.365	1.1	27.125	3.18	3.78	0.841
24	11.39	8.2	1.575	27.625	1.64	4	0.410
25	11.08	8.885	1.17	26.75	1.69	3.87	0.437
26	10.735	8.27	1.26	27.625	3.34	3.7	0.903
27	10.53	8.015	1.345	23.875	2.5	3.76	0.665
28	10.86	8.775	1.065	27.875	1.44	3.8	0.379

Se determinó la relación entre el espesor de la pared de la caña y el diámetro exterior de la caña (Esp/Dext), como la relación más importante, y que más ayuda puede dar en la determinación del resto de propiedades geométricas. Es muy importante que esta relación geométrica sea alta para poder tener una caña con propiedades geométricas adecuadas.

En la tabla 2 se realizó el cálculo de las propiedades físicas y estructurales para el valor característico de la relación Esp/Dext. Estas son las propiedades mínimas que va a tener una caña guadua, en las que se tiene un fratil de 5% de probabilidad, que las propiedades puedan ser menor que las que se determinan en las tablas. Es decir tenemos un 95% de seguridad de que las

propiedades geométricas, físicas y estructurales van a ser mayores.

Con la metodología utilizada se puede considerar la caña como un perfil de tipo industrial. Por lo tanto, en el caso del diseño de estructuras el diseñador indica solo el diámetro exterior, los valores característicos debe determinarlo asegurando una zona fiable para la seguridad de la estructura. La carga y reacciones que interesan a la estructura deben ser relacionados como se una normalmente en el diseño de estructuras.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por permitir a este equipo de profesionales realizar esta investigación y colaborar con todo lo que se necesitó para el éxito de la determinación de los resultados.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- La Tegola, A., Mera, W. (2012). Diseño de las estructuras de hormigón armado a los estados límites. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Córdova, P. (2014). Obtención de las Propiedades mecánicas y estructurales de la caña Guadua Angustifolia Kunth del Ecuador. Trabajo de Grado, facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.