

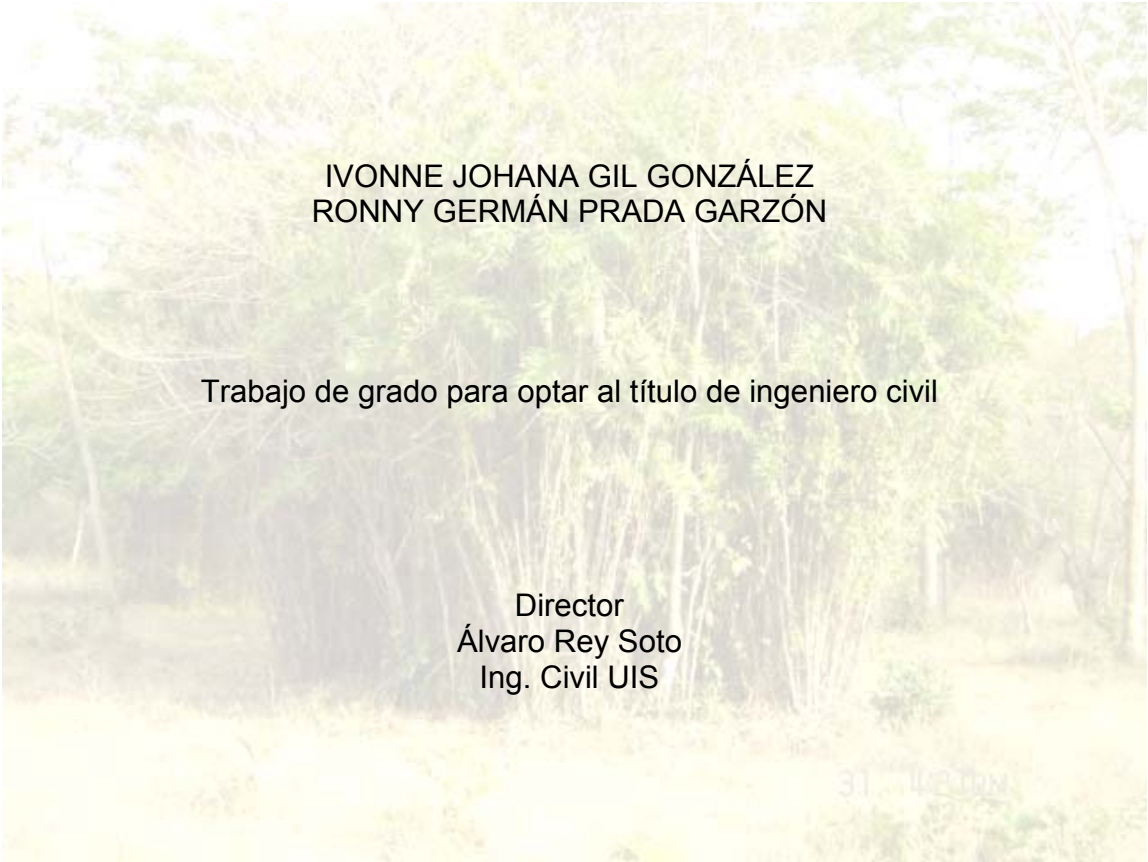
ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE LA PALMA DE LATA



IVONNE JOHANA GIL GONZÁLEZ
RONNY GERMÁN PRADA GARZÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2008

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE LA PALMA DE LATA**



**IVONNE JOHANA GIL GONZÁLEZ
RONNY GERMÁN PRADA GARZÓN**

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil

Director
Álvaro Rey Soto
Ing. Civil UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2008**

AGRADECIMIENTOS

Álvaro Rey Soto, Ingeniero Civil, Universidad Industrial de Santander, proponente, gestor y director del presente trabajo de grado.

Fernando Jiménez, Arquitecto, Universidad Javeriana, Bogotá, dueño del material investigado, promotor y patrocinador del presente trabajo de grado.

Alonso Jiménez, Administrador de la finca Juan León (Sur del Departamento del Magdalena), propiedad de la sociedad J L Ltda.

Gonzalo Ardila, Agrónomo, Universidad Nacional de Palmira, colaborador residente en la finca Juan León y asesor investigativo.

Miguel Agudelo, Tecnólogo Electromecánico, Unidades Tecnológicas de Santander; experiencia en el manejo de maderas, asesor investigativo y promotor decisivo en la orientación de las pruebas de laboratorio realizadas.

Javier Rincón González, Tecnólogo Electromecánico, Unidades Tecnológicas de Santander, colaborador y orientador técnico de las pruebas realizadas.

Mauricio Jaraba Ramírez, Ebanista Industrial, SENA – Floridablanca, colaborador y servidor en la elaboración de las probetas de ensayo.

Familia Gil González, especial agradecimiento por su dedicación y aporte de recursos necesarios para el desarrollo del presente trabajo de grado.

Familia Prada Garzón, agradecimiento por su comprensión, apoyo y confianza.

Para ellos nuestro sincero reconocimiento.

Los Autores

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	29
1. EL GÉNERO BACTRIS Y LA ESPECIE BACTRIS GUINEENSIS	32
1.1 TAXONOMÍA DE LA PALMA DE LATA	35
1.2 MORFOLOGÍA EXTERNA DE LA PALMA DE LATA	36
1.2.1 El tallo	37
1.2.2 La hoja	38
1.2.3 La inflorescencia y la flor	41
1.2.4 El fruto	42
2. PROPIEDADES GENERALES DE LA MADERA	44
2.1 PROPIEDADES FÍSICAS	44
2.1.1 Contenido de humedad	45
2.1.2 Cambios dimensionales	46
2.1.3 Densidad y peso específico	47

2.1.4 Transmisión y absorción del sonido	49
2.2 PROPIEDADES MECÁNICAS	50
2.2.1 Definición de términos	51
2.2.2 Compresión	54
2.2.3 Tracción	56
2.2.4 Flexión	57
2.2.5 Cizallamiento	59
2.2.6 Dureza	59
2.2.7 Tenacidad (Impacto)	60
2.3 PROPIEDADES ELÁSTICAS	61
2.3.1 Módulo de elasticidad (MOE – E_m)	61
2.3.2 Módulo de corte o rigidez (G)	61
2.3.3 Módulo de Poisson	61
3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS Y CÁLCULOS TIPO	62
3.1 PROPIEDADES FÍSICAS	62

3.1.1	Contenido de humedad	62
3.1.2	Cambios dimensionales	63
3.1.3	Densidad y peso específico	65
3.1.4	Transmisión y absorción del sonido	66
3.2	PROPIEDADES MECÁNICAS	67
3.2.1	Compresión	67
3.2.2	Tracción	70
3.2.3	Flexión	73
3.2.4	Cizallamiento	77
3.2.5	Dureza	78
3.2.6	Tenacidad (Impacto)	79
3.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	82
3.4	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS CALCULADOS PARA CADA ENSAYO	120
3.5	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS CALCULADAS PARA LA PALMA DE LATA	140
3.5.1	Módulo de Elasticidad E_m calculado para la especie <i>Bactris Guineensis</i>	143

3.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	145
3.6.1 Prueba de hipótesis para el parámetro E_m	145
3.6.2 Análisis de los resultados de las pruebas	146
3.7 COMPARACIÓN CUALITATIVA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PALMA DE LATA CON LAS NORMAS ASTM	152
3.8 COMPARACIÓN CON OTRAS MADERAS	153
4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LA PALMA DE LATA	155
5. CURADO Y PRESERVACIÓN DE LA PALMA DE LATA	156
5.1 CURADO	156
5.1.1 Corte	156
5.1.2 Curado por inmersión en agua	157
5.2 PRESERVACIÓN	157
5.3 TIPOS DE PRESERVANTES	158
5.4 MÉTODOS DE PRESERVACIÓN	160
6. LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	161
6.1 HISTORIA DEL USO DE LA PALMA DE LATA	162

6.2 USOS ACTUALES DE LA PALMA DE LATA	165
6.2.1 Cubiertas	165
6.2.2 Pisos	167
6.2.3 Losetas	169
6.2.4 Bebederos	171
6.2.5 Tanques para almacenamiento de agua	173
6.2.6 Tanques para pozos sépticos	174
6.3 PROPUESTAS DE APLICACIÓN	176
6.3.1 Constructiva	176
6.3.2 Arquitectónica	184
6.3.3 Artesanal	184
7. COMPARACIÓN DE COSTOS	185
7.1 CON EL MACHIMBRE	185
7.2 CON EL ACERO TRADICIONAL	188
8. CONCLUSIONES	190

9. RECOMENDACIONES	194
BIBLIOGRAFÍA	196
ANEXOS	198

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Taxonomía y Nomenclatura	35
Cuadro 2. Jerarquía Taxonómica	35
Cuadro 3. Velocidad de la propagación de ondas	50
Cuadro 4. Probetas a compresión paralela	67
Cuadro 5. Probetas a flexión	73
Cuadro 6. DNA para el CH en estado verde	82
Cuadro 7. DNA para el CH en etapa de secado al aire	84
Cuadro 8. DNA para la expansión en el eje radial	85
Cuadro 9. DNA para la expansión en el eje longitudinal	86
Cuadro 10. DNA para la contracción en el eje radial	87
Cuadro 11. DNA para la contracción en el eje longitudinal	88
Cuadro 12. DNA para la densidad y peso específico	89
Cuadro 13. DNA para el ELP a compresión en probetas completas – secas	90
Cuadro 14. DNA para el MOE a compresión en probetas completas – secas	91
Cuadro 15. DNA para el ELP a compresión en probetas huecas – secas	92
Cuadro 16. DNA para el MOE a compresión en probetas huecas – secas	93
Cuadro 17. DNA para el ELP a compresión en probetas completas – verdes	94
Cuadro 18. DNA para el MOE a compresión en probetas completas – verdes	95
Cuadro 19. DNA para el ELP a compresión en probetas huecas – verdes	96

Cuadro 20. DNA para el MOE a compresión en probetas huecas – verdes	97
Cuadro 21. DNA para el ELP a tracción en probetas secas	98
Cuadro 22. DNA para el MOE a tracción en probetas secas	100
Cuadro 23. DNA para el ELP a flexión sin nodo en probetas secas	102
Cuadro 24. DNA para el MOE a flexión sin nodo en probetas secas	103
Cuadro 25. DNA para el ELP a flexión sin nodo en probetas verdes	104
Cuadro 26. DNA para el MOE a flexión sin nodo en probetas verdes	105
Cuadro 27. DNA para el ELP a flexión con nodo en probetas secas	106
Cuadro 28. DNA para el MOE a flexión con nodo en probetas secas	107
Cuadro 29. DNA para el ELP a flexión con nodo en probetas verdes	108
Cuadro 30. DNA para el MOE a flexión con nodo en probetas verdes	109
Cuadro 31. DNA para el esfuerzo de cizallamiento en probetas secas	110
Cuadro 32. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – sencillas	112
Cuadro 33. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – dobles	113
Cuadro 34. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – triples	114
Cuadro 35. DNA para la energía de impacto en probetas secas	115
Cuadro 36. DNA para el esfuerzo de impacto en probetas secas	116
Cuadro 37. DNA para la energía de impacto en probetas verdes	117
Cuadro 38. DNA para el esfuerzo de impacto en probetas verdes	118
Cuadro 39. Contenido de humedad en estado verde	120
Cuadro 40. Contenido de humedad en etapa de secado al aire	121
Cuadro 41. Expansión transversal y longitudinal	122
Cuadro 42. Contracción transversal y longitudinal	123

Cuadro 43. Densidad y peso específico	124
Cuadro 44. Compresión paralela en probetas completas (probetas secas)	125
Cuadro 45. Compresión paralela en probetas huecas (probetas secas)	126
Cuadro 46. Compresión paralela en probetas completas (probetas verdes)	127
Cuadro 47. Compresión paralela en probetas huecas (probetas verdes)	128
Cuadro 48. Tracción paralela en probetas secas	129
Cuadro 49. Flexión sin nodo en probetas secas	131
Cuadro 50. Flexión sin nodo en probetas verdes	132
Cuadro 51. Flexión con nodo en probetas secas	133
Cuadro 52. Flexión con nodo en probetas verdes	134
Cuadro 53. Cizallamiento paralelo a las fibras en probetas secas	135
Cuadro 54. Dureza en probetas secas	137
Cuadro 55. Impacto en probetas secas	138
Cuadro 56. Impacto en probetas verdes	139
Cuadro 57. Propiedades físicas calculadas para la palma de lata	140
Cuadro 58. Propiedades mecánicas calculadas para la palma de lata	141
Cuadro 59. Descripción de las roturas por compresión paralela a las fibras	148
Cuadro 60. Comparación de la lata con la bambusa blumeana (seca)	153
Cuadro 61. Comparación de la lata con la bambusa blumeana (verde)	153
Cuadro 62. Comparación de la lata con el caracolí (seco)	153
Cuadro 63. Comparación de la lata con la guadua angustifolia (verde)	154
Cuadro 64. Ventajas del uso de la palma de lata	155
Cuadro 65. Desventajas del uso de la palma lata	155

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Palma de lata en su hábitat natural	36
Figura 2. Tallo de la palma de lata	37
Figura 3. Corte transversal del tallo en estado seco	38
Figura 4. Variación de diámetros en los tallos	38
Figura 5. Haz de la lámina	39
Figura 6. Envés de la lámina	39
Figura 7. Detalle del haz	40
Figura 8. Detalle del envés	40
Figura 9. Haz de la hojuela	40
Figura 10. Envés de la hojuela	40
Figura 11. Espinas en el raquis	41
Figura 12. Bráctea y la inflorescencia	41
Figura 13. Racimo de frutos inmaduros	42
Figura 14. Bráctea y frutos maduros	42
Figura 15. Vino de uva de lata o vino de "corozo"	43
Figura 16. Esfuerzos primarios que pueden actuar sobre un cuerpo	51
Figura 17. Esfuerzo de flexión	52
Figura 18. Carga vs. deformación	53

Figura 19. Tipos más comunes de fallas por compresión	55
Figura 20. Viga simplemente apoyada	57
Figura 21. Viga empotrada en los dos extremos	57
Figura 22. Viga continua	57
Figura 23. Expansión en la probeta	64
Figura 24. Contracción en la probeta	65
Figura 25. Probeta para el cálculo de densidad	65
Figura 26. Compresión paralela	67
Figura 27. Tracción paralela	70
Figura 28. Flexión sin nodo intermedio y con nodo intermedio	74
Figura 29. Cizallamiento	77
Figura 30. Disposición de las probetas utilizadas en el ensayo de dureza	79
Figura 31. Impacto	80
Figura 32. Aplastamiento y cizallamiento	149
Figura 33. Posición típica de las fallas a tracción paralela	149
Figura 34. Rotura típica a tracción paralela	149
Figura 35. Falla típica a flexión	150
Figura 36. Cizallamiento paralelo y área resistente	151
Figura 37. Falla típica en las probetas a impacto	151
Figura 38. Vivienda antigua – detalles del muro en bahareque y varas de lata	162
Figura 39. Armazón de un muro con varas de lata	163
Figura 40. Vivienda antigua con muro en bahareque y varas de lata	163
Figura 41. Amarre con bejuco del armazón de un muro	164

Figura 42. Base de la cubierta (varas de lata) en vista inferior	166
Figura 43. Vista lateral de la cubierta	166
Figura 44. Detalle en las capas de la cubierta	167
Figura 45. Vista general de la cubierta	167
Figura 46. Piso de la vivienda	168
Figura 47. Malla de refuerzo a base de tirillas de palma de lata	168
Figura 48. Detalle del piso reforzado con tirillas de palma de lata	169
Figura 49. Losetas	169
Figura 50. Malla de refuerzo para las losetas	170
Figura 51. Detalle de la malla de refuerzo en la loseta	170
Figura 52. Bebedero prefabricado	172
Figura 53. Esquemas de refuerzo para los bebedero	172
Figura 54. Tanque para almacenamiento de agua	173
Figura 55. Tanque para pozo séptico y esquemas de componentes	174
Figura 56. Tanques para pozo séptico al lado derecho de la porqueriza	175
Figura 57. Postes para cerramiento	176
Figura 58. Esquema y componentes de un muro con lata	177
Figura 59. Detalle del entretejido de lata para un muro	178
Figura 60. Viga reforzada longitudinalmente con varas de lata	178
Figura 61. Vigas reforzadas con lata y posibles esquemas de refuerzo	179
Figura 62. Columnas reforzadas con lata y posibles esquemas de refuerzo	180
Figura 63. Columna circular reforzada con lata y posible esquema de refuerzo	181
Figura 64. Canal y tubería prefabricada	182

Figura 65. Maqueta del establo	182
Figura 66. Proyección del establo	183
Figura 67. Detalle en el alero de la cubierta	183
Figura 68. Proyección de la cubierta con machimbre	186
Figura 69. Proyección de la cubierta con palma de lata	186

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Compresión paralela en probeta C1 (hueca y seca)	68
Gráfica 2. Ajuste polinomial de la curva esfuerzo vs. deformación unitaria	69
Gráfica 3. Tracción paralela en probeta T1 (seca)	71
Gráfica 4. Ajuste polinomial de la curva esfuerzo vs. deformación unitaria	72
Gráfica 5. Flexión en probeta F1 (seca y sin nodo intermedio)	74
Gráfica 6. Ajuste polinomial de la curva carga vs. deflexión	76
Gráfica 7. DNA para el CH en estado verde	83
Gráfica 8. DNA para el CH en etapa de secado al aire	84
Gráfica 9. DNA para la expansión en el eje radial	85
Gráfica 10. DNA para la expansión en el eje longitudinal	86
Gráfica 11. DNA para la contracción en el eje radial	87
Gráfica 12. DNA para la contracción en el eje longitudinal	88
Gráfica 13. DNA para la densidad y peso específico	89
Gráfica 14. DNA para el ELP a compresión en probetas completas – secas	90
Gráfica 15. DNA para el MOE a compresión en probetas completas – secas	91
Gráfica 16. DNA para el ELP a compresión en probetas huecas – secas	92
Gráfica 17. DNA para el MOE a compresión en probetas huecas – secas	93
Gráfica 18. DNA para el ELP a compresión en probetas completas – verdes	94

Gráfica 19. DNA para el MOE a compresión en probetas completas – verdes	95
Gráfica 20. DNA para el ELP a compresión en probetas huecas – verdes	96
Gráfica 21. DNA para el MOE a compresión en probetas huecas – verdes	97
Gráfica 22. DNA para el ELP a tracción en probetas secas	99
Gráfica 23. DNA para el MOE a tracción en probetas secas	101
Gráfica 24. DNA para el ELP a flexión sin nodo en probetas secas	102
Gráfica 25. DNA para el MOE a flexión sin nodo en probetas secas	103
Gráfica 26. DNA para el ELP a flexión sin nodo en probetas verdes	104
Gráfica 27. DNA para el MOE a flexión sin nodo en probetas verdes	105
Gráfica 28. DNA para el ELP a flexión con nodo en probetas secas	106
Gráfica 29. DNA para el MOE a flexión con nodo en probetas secas	107
Gráfica 30. DNA para el ELP a flexión con nodo en probetas verdes	108
Gráfica 31. DNA para el MOE a flexión con nodo en probetas verdes	109
Gráfica 32. DNA para el esfuerzo de cizallamiento en probetas secas	111
Gráfica 33. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – sencillas	112
Gráfica 34. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – dobles	113
Gráfica 35. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – triples	114
Gráfica 36. DNA para la energía de impacto en probetas secas	115
Gráfica 37. DNA para el esfuerzo de impacto en probetas secas	116
Gráfica 38. DNA para la energía de impacto en probetas verdes	117
Gráfica 39. DNA para el esfuerzo de impacto en probetas verdes	118

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Clasificación de las propiedades físicas según las normas DIN (Norma Alemán de referencia)	198
Anexo B. Clasificación de las propiedades mecánicas según las normas DIN (Norma Alemán de referencia)	199
Anexo C. Clasificación de las propiedades físicas y mecánicas según las normas ASTM (American Society for Testing and Materials; Norma Americana de referencia)	200
Anexo D. Esfuerzos admisibles y Módulo de Elasticidad para maderas del Grupo Andino (Norma Andina de referencia)	201
Anexo E. Propiedades mecánicas de la Bambusa blumeana	202
Anexo F. Propiedades mecánicas de la Guadua Angustifolia y otras maderas	203

GLOSARIO

ANDROCEO: conjunto de órganos masculinos de la flor: estambres.

APICAL: relativo al ápice. Se opone al basal.

ÁPICE: extremo superior o extremo de algo.

BAHAREQUE: material de construcción tradicional elaborado con barro, paja y caña. El bahareque encementado es un sistema estructural de muros que consiste en la fabricación de paredes construidas con un esqueleto o entretejido de cañas (por ejemplo la guadua), o cañas y madera, cubierto con un revoque de mortero de cemento aplicado sobre malla de alambre, clavada en esterilla de caña, que a su vez, se clava sobre el entramado del muro.

BRÁCTEA: en botánica, es el órgano foliáceo en la proximidad de las flores y diferente a las hojas normales y las piezas del perianto. Su función principal es proteger las flores o inflorescencias.

CESPITOSA: plantas de rizomas cortos que crecen dando matas densas y cuyas innovaciones se desarrollan próximas a los tallos del año anterior. También significa que la planta es capaz de formar césped.

CLASE LILIOPSIDA: llamada también las monocotiledóneas. Las palmeras son plantas monocotiledóneas, es decir, el embrión de la semilla posee un solo cotiledón u hoja de reserva, igual que las herbáceas y cereales. Esta circunstancia condiciona de forma total todo su desarrollo.

CULMO: en el caso de los bambúes (familia Gramínea) y algunas palmas (familia Palmae) es apropiado utilizar el término culmo para designar al tallo principal de la planta. Los culmos están formados por nudos y entrenudos; es un sinónimo de tallo.

DIVISIÓN MAGNOLIOPHYTA: denominada también las angiospermas. Son las plantas vasculares con flores que presentan los primordios seminales encerrados por una cubierta protectora denominada carpelo, que al madurar originará un fruto conteniendo las semillas, dichas semillas corresponden a los primordios seminales maduros.

ESTOLÓN: es un sinónimo de rizoma (tallo subterráneo).

ENVÉS DE LÁMINA: es la parte inferior de la hojuela (opuesta al haz), su color es normalmente un verde más oscuro y presenta muchas veces pelillos.

ESTAMINADA: se dice que la flor es estaminada o masculina cuando sólo lleva estambres (parte de la flor donde se produce el polen).

FAMILIA ARECACEAE: llamada también familia Palmae, cuyos miembros de la familia son las palmas (reconocida por este nombre en otros países) o palmeras (reconocida con este nombre en la mayoría de los países de América); cuenta con unas 2400 especies, en su mayoría de regiones cálidas. Es la única familia del orden monocotiledóneo Arecales.

FOLIÁCEO: que tiene aspecto de hoja.

FOLIOLOS: en las hojas compuestas, la lámina foliar esta dividida en varias subunidades llamadas foliolos, articuladas sobre el eje o raquis de una hoja. Según el número de foliolos (cuando hay más de tres foliolos) la hoja puede ser: pinnada o palmaticompuesta.

FURFURÁCEA: fina, laminar.

GINECEO: conjunto de los órganos femeninos de la flor.

GLANDULAR: provisto de glándulas o relativo a ellas.

GRANO: el grano o hilo en la madera es una característica relacionada con la orientación de las fibras de la madera. Tecnológicamente, se refiere a la respuesta que ofrece la madera a trabajos finos de tornería, talla, etc. No debe confundirse con textura. Anatómicamente, responde a la relación relativa entre los diámetros de los distintos elementos longitudinales de la madera. Cuando éstos son muy grandes y fácilmente apreciables a simple vista, se dice que la madera es de grano basto o grueso; por el contrario, se dice que es de grano fino.

HAZ DE LÁMINA: es la parte superior de la hojuela (pinna o foliolo). Suele tener un color verde brillante.

HISTÉRESIS: es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado.

HOJA PALMATICOMPUESTA: folíolos o pinnas dispuestos en el ápice del pecíolo en forma radial, como los dedos de una mano.

HOJA PINNADA: eje principal o raquis indiviso.

HOJA PINNATICOMPUESTA: llamada también hoja pinnado – compuesta, folíolos o pinnas dispuestos a ambos lados del raquis.

HOMORRIZIA: sistema radical en el que no hay raíz principal, y en el cual, todas las raíces tienen una importancia equivalente.

INFLORESCENCIA: conjunto de flores cuyos pedúnculos parten del mismo eje. El término inflorescencia implica ramificación. Existen dos grandes grupos de inflorescencias: las racemosas y las cimosas; a su vez, pueden ser simples o compuestas, según que el eje principal (raquis de la inflorescencia) produzca ramitas unifloras o plurifloras. Por lo general las inflorescencias presentan brácteas y bractéolas de forma, desarrollo, consistencia, y colorido muy variable.

INFLORESCENCIA BISEXUAL: o inflorescencia hermafrodita (con androceo y gineceo situados en la misma flor).

INFLORESCENCIA INTERFOLIAR: nacidas entre las vainas de las hojas inferiores.

LINEAR: prolongado y angosto, de bordes paralelos.

LUMEN: cavidad de los elementos longitudinales. Espacio comprendido entre las membranas de una célula o de un vaso.

MERISTEMO: se llama meristemo o meristema al tejido que se caracteriza por mantenerse siempre joven y poco diferenciado, y a partir del cual nacen y luego se diferencian todos los tejidos y órganos de las plantas superiores. Todo el cuerpo de las plantas se desarrolla a partir de meristemos. Se distingue entre meristemos primarios, de los que depende el desarrollo de nuevos órganos y meristemos secundarios, que producen el engrosamiento de los tallos y las raíces. Los meristemos primarios pueden ser apicales, cuando se localizan en la punta de tallos y raíces y dan lugar al crecimiento de los mismos, o laterales que dan lugar a tallos laterales o a raíces secundarias.

MONOICA: en botánica, se denomina monoicas a las especies en que ambos sexos (flores masculinas y femeninas) se presentan en una misma planta.

ORDEN ARECALES: los Arecales o Príncipes son un orden de plantas de flor monocotiledóneas.

ORTOTRÓPICO: crecimiento recto y vertical.

PARÉNQUIMA: formado por tejido parenquimático que cumple con la función básica de almacenamiento de sustancias de reserva.

PECÍOLO: es el rabillo que une la lámina de una hoja (o limbo) a su base foliar (la vaina) o al tallo. Falta en las hojas sésiles.

PEDICELADA: referente al pedicelo, es decir, que nace sobre una ramilla especial sin hojas. Pedicelo es sinónimo de pecíolo o pedúnculo.

PEDÚNCULO: cabo de una flor, eje y soporte de una inflorescencia. También se le aplica al cabillo que sostiene el fruto.

PERENNE: se refiere a que cuando se tala la planta, nace otra planta. En botánica, su uso más extendido, puede referirse a aquellas plantas que viven durante más de dos años o, en general, florecen y producen semillas más de una vez en su vida y normalmente en períodos anuales. Se dice también vivaz.

PERIANTO: el perianto (del griego perí, alrededor y anthós, flor) es una estructura floral que corresponde a la envoltura que rodea a los órganos sexuales; constituye la parte no reproductiva de la flor.

PESTILADA: se dice que la flor es pestilada o femenina cuando sólo lleva pistilos.

PLUVIELVA: bosque tropical pluvial (o lluvioso). Se encuentra en zonas de baja altitud en los trópicos donde siempre es caliente y húmedo.

PRIMORDIO: conjunto de células del meristema que mediante sucesivas divisiones generan los órganos de las plantas. Por ejemplo, los primordios seminales dan lugar a las semillas.

RACIMO (inflorescencia simple o botrios): constituido por un eje principal, el raquis, con brácteas en cuya axila se encuentran flores pediceladas.

RADÍCULA: extremo basal del eje embrionario, raíz originada en la semilla y que dará la raíz primaria.

RAQUIS: en botánica, se denomina así a las estructuras lineales que forman el eje de una inflorescencia en forma de espiga o nervio central de una hoja compuesta, sobretodo en las palmeras (Arecaceae) y los helechos (Pteridophyta), en las que es una prolongación a veces subleñosa del pecíolo.

REINO PLANTAE: llamado también reino vegetal, cuyos miembros del reino son las plantas o vegetales. Formado por unas 260000 - 300000 especies conocidas de musgos, hepáticas, helechos, plantas herbáceas y leñosas, arbustos, trepadoras, árboles y otras formas de vida que cubren la tierra y viven también en el agua. Son capaces de colonizar los ambientes más extremos, desde las heladas tierras de la antártica hasta los desiertos más secos y cálidos, pasando por toda una gama de sustratos (suelo, rocas, otras plantas, agua).

RIZOMA: es la parte subterránea, generalmente horizontal, de un entretelado de raíces de ciertas plantas que puede cubrir grandes áreas. Puede ramificarse y permitir que desde una parte de ese entramado surjan otros tallos y permite así la multiplicación vegetativa de la planta, su proliferación, a veces muy rápida. El entramado tiene una capacidad de auto – regeneración teniendo así la posibilidad de regenerar un individuo nuevo (gajo) desde una parte de ellos mismos. Estas plantas reciben el nombre de plantas rizomatosas, siendo su reproducción asexual. Los rizomas se pueden dividir en trozos que contengan una yema al menos, y plantar por separado. Las plantas con rizomas son perennes.

SOTOBOSQUE: conjunto de arbustos, matorrales y arbolillos que crecen debajo de la bóveda formada por las altas copas de los árboles del bosque (dosel).

SUBCILÍNDRICAS: semicilíndricas.

SUBCLASE ARECIDAE: incluye plantas muy diferentes en hábito (acuáticas y terrestres). Casi la mitad de las especies que incluye son arborescentes y poseen numerosas flores, pequeñas y agrupadas en inflorescencias rodeadas por una gran bráctea o espata.

SUBDOSEL: pertenece a uno de los varios niveles verticales de la vegetación en la pluviselva. Es el nivel inferior siguiente al dosel (parte frondosa de la selva).

SUBREINO TRACHEOBIONTA: las traqueofitas (Tracheobionta) o plantas vasculares son organismos formados por células vegetales, que poseen un ciclo de vida en el que se alternan las generaciones gametofítica y esporofítica, siendo esta última la fase dominante; cuya fase esporofítica es fotosintética e independiente, y tiene tejidos y sistemas de órganos; está organizada en un “cormo” (sistema que posee vástago aéreo, raíz subterránea, y un sistema de conducción vascular que los vincula).

VAINA: parte basal de la hoja más o menos ensanchada que abraza el tallo (donde el pecíolo se inserta en el tallo), puede ser entera o bífida (partida). También se le denomina así al fruto de las plantas dentro de la familia de las leguminosas.

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PALMA DE LATA*

AUTORES: Ivonne Johana Gil González**, Ronny German Prada Garzón**

PALABRAS CLAVES:

Bactris
Caracterización
Culmo
Lata
Madera tropical
Propiedades físicas
Propiedades mecánicas

CONTENIDO: La palma de lata es una palma perenne que se encuentra en clima tropical, pertenece a la especie *Bactris guineensis* (**Guinea bactris**) ocupando un escalafón dentro de la variedad de especies del género *Bactris* (**Bactris palm**) reconocidas en América (Centro, Suramérica y el Caribe).

En América, existen cerca de doscientos cuarenta (240) especies del género *bactris* y en Colombia predominan las siguientes: *bactris guineensis*, *bactris major*, *bactris gasipaes* (Palma de pejibaye o Chontaduro), entre otras; cuyas diferencias radica en la variación física y organográfica de los tallos, espinas, hojas y frutos.

El tallo (culmo) de la palma de lata posee un recurso maderable que es aprovechable y ha participado en la construcción del patrimonio nacional, combinado junto a otros materiales naturales y técnicas constructivas autóctonas utilizadas en las regiones en donde abunda y es difícil la influencia de la comercialización de productos constructivos industrializados. Además de ser bien conocida su intervención cultural, la palma de lata aún mantiene vivos algunos oficios que se han derivado de sus cualidades, tal como la fabricación de artesanías, instrumentos musicales y herramientas de trabajo para los pescadores locales.

Aunque la lata ha tenido una trayectoria discretamente destacable, los botánicos se han encargado de estudiar y clasificar su jerarquía taxonómica, sin embargo no había sido reconocida hasta ahora su capacidad estructural. Por tanto, la investigación y el reconocimiento formal que se ha elaborado al respecto, pretende retomar la importancia de la palma de lata en la zona donde prospera, cualificar y cuantificar valores aproximados de las propiedades físicas y mecánicas, sumando así datos a los ya existentes. Estos datos son de interés para un proyectista que desea conocer información puntual acerca de un material alternativo que pretenda utilizar en una aplicación requerida y factible con este material.

* Modalidad Proyecto de Grado

** Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías Físicas Mecánicas, Álvaro Rey Soto.

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS AND CHARACTERIZATION OF PHYSICS AND MECHANICALS PROPERTIES OF THE PALMA DE LATA*

AUTHORS: Ivonne Johana Gil González**, Ronny German Prada Garzón**

KEY WORDS:

Bactris
Characterization
Culm
Lata
Tropical wood
Physics properties
Mechanicals properties

DESCRIPTION: The “palma de lata” is a perennial palm that is found in tropical climate, it belongs to the species *Bactris guineensis* (**Guinea bactris**) occupying a ladder within the range of species of the *Bactris* genus (**Bactris palm**) recognized in America (Central America, South America and the Caribbean).

In America, there exist about two hundred forty (240) species of the *Bactris* genus and in Colombia the following type dominates: *Bactris guineensis*, *Bactris major*, *Bactris gasipaes* (Palma de pejibaye or Chontaduro), among others, whose differences lies in the in physical difference and organic differences of the stems, thorns, leaves and fruit.

The stem (culm) from the “palma de lata” has a resource of timber that is profitable and has participated in the construction of the national heritage, combined with other natural materials and indigenous construction techniques used in regions where such tree is abundant and it is difficult to influence the marketing of industrial construction products. In addition to being well known for its cultural intervention, the “palma de lata” still maintains alive a few trades that have been derived from its qualities, such as the manufacture of handcrafts, musical instruments and work tools for local fishermen.

Although the “palma de lata” has had a discretely remarkable journey, botanists have been studying and classifying its taxonomic hierarchy, however its structural capacity had not been recognized until recently. Therefore, the investigation and formal recognition that has been developed in regards to the “palma de lata”, aims to retake its importance in the neighborhood where it prospers, to qualify and quantify approximate values of its physical and mechanical properties, to add to existing data. This data is of interest to a designer who wants to know detailed information about an alternative material that he or she intends to use in a required application and feasible with this material.

* Modalidad Proyecto de Grado

** Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías Físicas Mecánicas, Álvaro Rey Soto.

INTRODUCCIÓN

Muchos elementos de la vegetación natural fueron, son y seguirán siendo importantes para algunas personas en particular. En este sentido y en esta oportunidad es necesario resaltar la contribución de un material maderable que predomina en determinadas regiones de Colombia y que merece un reconocimiento por su participación en el ámbito social y cultural de ciertas comunidades o sociedades colombianas. Se trata de la lata sabanera, palma de corozo, palma de lata o simplemente la lata.

La palma de lata como muchos otros recursos forestales naturales que existen en Colombia ha sido protagonista en la creación del patrimonio colombiano construido y que todavía se mantiene en pie, como por ejemplo en la construcción de viviendas, centros de atención, y otras obras o actividades nativas de las regiones que poseen este recurso. Ambientalmente, la palma de lata comprende aspectos relacionados con la flora, la fauna y la biodiversidad; a mediano plazo también puede llegar a tener relación con el desarrollo local, con la planificación del territorio, con la inversión de recursos, con la aplicación de tecnología pertinente e influir en la riqueza y soberanía en el área de explotación.

Actualmente existe en el mundo una enorme atención por materiales naturales y soluciones constructivas modernas que buscan contrastar con el paisaje urbanístico. En general, éstos materiales tienen unas cualidades en común como lo son: la resistencia, el fácil manejo, adaptabilidad al medio ambiente, economía, belleza, impacto visual, entre otros. La textura y el color de la palma de lata lo convierten en un material significativo dentro del campo de la investigación con un enfoque dirigido hacia una valoración estructural.

Hoy en día, a pesar de la trayectoria que ha tenido la palma de lata, parece que se quisiera dejar a un lado la continuidad en su uso, teniendo en cuenta que algunos residentes locales que de alguna manera conviven cerca al origen de la planta, prefieren ahora reemplazarla completamente por materiales constructivos tradicionales, perdiéndose así la oportunidad de destinar un uso adecuado y rentable a éste recurso natural, que si bien no se observa de la mejor forma, puede convertirse en una planta menospreciada o tildársele de maleza común y corriente presente en las sabanas de la región.

Actualmente en una zona ubicada en el bajo Magdalena (sur) existe una finca cuyo propósito organizacional y funcional se proyecta para convertirse en un modelo autosostenible en donde predomina la utilización y aprovechamiento al máximo de los materiales locales que se encuentran dentro de la misma propiedad. Dentro de todo este esquema de autosostenibilidad aparece e interviene la palma de lata en muchos de los proyectos que se han ejecutado y de los que están en espera. Debido a su particular abundancia se necesita su aprovechamiento y que forme parte del entorno social de una manera más sobresaliente, ahora con el valor agregado que le confiere la presente investigación.

Se verifica así que las comunidades asentadas utilizan los materiales que se encuentran al alcance para poder cubrir sus necesidades, pensando paralelamente en una forma de aprovechamiento, sustentación y renovación de aquellos materiales, tratándose de mantener una armonía con el entorno circundante y a su vez luchando por la construcción del escenario rural y urbano.

El objetivo de esta investigación es caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de la palma de lata comúnmente llamada “la lata”, como también reconocer formalmente que la lata junto a otros materiales naturales o industrializados puede funcionar como un material confiable y aplicable a ciertos usos en el campo de la ingeniería, limitados a su expresión más sencilla en el lugar donde es posible adquirirlo, como por ejemplo, la utilización de las varas de lata como base de cubiertas exteriores para techo, para muros divisorios, para servir de refuerzo al combinarlo con concreto y dar forma básica a ciertos elementos estructurales (vigas, columnas, pisos), para elementos prefabricados sencillos (bebederos, canales, losetas, tanques de almacenamiento), y cualquier otra aplicación que se pueda derivar de aquellas y que relativamente no involucre una solicitud o acción ingenieril compleja.

Es coherente pensar en los beneficios de tipo social, económico, ambiental, que resultan del aprovechamiento e implementación de un recurso forestal natural, de fácil manejo, sostenibilidad económica y renovación abundante, debido a la sencillez de su hábitat y gran adaptación a los climas tropicales.

Dentro de los alcances trazados y que se consideraron pertinentes para el buen desarrollo de la investigación, se involucró el concepto de taxonomía y morfología de ésta planta, análisis y caracterización dependiendo de sus propiedades físicas, mecánicas y elásticas, una pequeña comparación con otras maderas, el curado y protección del material, algunas propuestas de aplicación y finalmente un breve análisis de costos.

Para cumplir con lo mencionado anteriormente surgió la necesidad de una adecuada documentación escrita y gráfica, el reconocimiento de la planta en su entorno natural y los usos actuales; por tanto, se extrajo material y posteriormente se llevó al laboratorio para cumplir con las pruebas experimentales requeridas para el proceso de investigación.

El estudio que se inició con esta investigación propone para el campo de la ingeniería civil una visión estructural nueva en la que pueda predominar o contrastar la utilización de la palma de lata en aplicaciones ingenieriles sencillas; que su exploración sea continua y pensar emplearlo en un futuro en requerimientos estructurales complejos que se acoplen al entorno vanguardista, como se ha venido desarrollando con materiales maderables similares y asequibles a la industria de la construcción.

El presente trabajo esta orientado a demostrar la utilidad de la palma de lata como material con posibilidades de uso en el sector de la construcción, al menos en determinados usos. La palma de lata es un material alternativo “barato”, liviano, trabajable, atractivo, con tradición viva de oficios y resistente en algunas aplicaciones constructivas.

1. EL GÉNERO BACTRIS Y LA ESPECIE BACTRIS GUINEENSIS

El **género Bactris** pertenece al grupo de palmas “cocoides” y presenta las siguientes características:

- Tallos erectos, delgados u ocasionalmente gruesos, múltiples, provistos con espinas cilíndricas o rara vez aplanadas, según la especie.
- Pecíolos más allá de la vaina usualmente espinosos, la vaina partida y siempre espinosa, algunas veces ocreácea (prolongación arriba de la inserción del pecíolo).
- Láminas foliares simples y bífidas a pinnado – compuestas, el raquis normalmente espinoso, las hojuelas iguales o desiguales, lineares, regularmente espaciadas o agrupadas, arregladas en uno o diversos planos, comúnmente espinulosas por lo menos marginalmente.
- Plantas monoicas, las inflorescencias bisexuales, interfoliares o que llegan a ser infrafoliares.
- Pedúnculo usualmente corto, más o menos curvado, usualmente espinoso, con una bráctea basal (espata), con frecuencia espinosa, a menudo expandida.
- Inflorescencias racemoso – ramificadas. Flores unisexuales, dispuestas en espiral, en tríadas bracteadas, a veces también con flores masculinas solitarias o pareadas, en especial distalmente sobre las raquillas.
- Frutos maduros lisos, ovoides a obovoides u oblatos, a veces picudos, anaranjado amarillo a anaranjado rojo o negro purpúreo, con residuo estigmático apical.

La combinación de tallos múltiples y erectos, con los pecíolos y tallos espinosos, distingue a *Bactris* de todas las otras palmas. Existe alrededor de 240 especies de *bactris* en América que están presentes en todos los bosques secos (transición a húmedos) en áreas tropicales, con altitudes bajas a medias sobre el nivel del mar (hasta los 850 m.s.n.m en la vertiente pacífica) donde es común encontrar los individuos formando colonias. Excepto *Bactris gasipaes* (Chontaduro), que es cultivada, todas las demás poseen tallos delgados y son plantas del sotobosque, o del subdosel, rara vez excediendo los 10.0 m. de altura u 8.0 cm. de diámetro.

Todas las *Bactris* tienen espinas subcilíndricas, excepto *Bactris maraja*, que las tiene aplanadas.

La especie en interés, cuyo nombre científico es ***Bactris guineensis*** (**Guinea *bactris***) y que es reconocida a nivel local como palma de lata o como “**la lata**”, es una palma cespitosa de tallo erecto, delgado (esbelto) y de tamaño mediano, que es abundante en zonas tropicales y alcanza su etapa de madurez aproximadamente a los 5 años de edad. En Colombia la lata crece en las costas del Caribe y el Pacífico, hasta elevaciones con preferencia a menos de 100 m.s.n.m y normalmente se encuentran formando montículos, no necesariamente en el sotobosque, es normal también encontrarla emergiendo sobre la planicie de las sabanas.

Dentro de los aspectos físicos a resaltar en la especie ***Bactris guineensis*** se presenta:

- Si la planta se encuentra en un lugar apto y apropiado para su desarrollo presenta tallos cubiertos densamente por espinas, entre 3 – 6 m. de altura y 2.5 – 4 cm. de diámetro.
- Pecíolos más allá de la vaina obsoletos (cortos) o hasta 7 - 12 cm. de largo, moderada a densamente espinosos.
- Las espinas hasta al menos 4 – 5 cm., negras en la base y el ápice, medialmente grises.
- Láminas foliares pinnado – compuestas, 20 – 50 cm. marginalmente espinulosas, el raquis espinoso (como el pecíolo) entre 65 – 80 cm. de longitud; 32 – 48 hojuelas (pinnas) por lado, regularmente espaciadas o débilmente agrupadas en un solo plano.
- Pedúnculos 10 – 20 cm., rectos a apenas curvados, con la bráctea 19.5 – 35 cm., moderadamente amarillento - espinosa.
- Raquis de la inflorescencia 5 – 14 cm.; raquillas de la inflorescencia 9 – 30 cm., 8 – 11.5 cm., densamente glandular - furfuráceas.
- Flores masculinas 4 mm. Flores femeninas 3 – 4 mm.
- El fruto se presenta en racimo, globoso depimido, cuando están maduros son de color negro violáceo, de 1 – 1.5 cm. de diámetro.

Bactris guineensis se reconoce fácilmente en su hábitat por su tamaño relativamente pequeño respecto a sus parientes, pecíolos muy cortos u obsoletos, espinas formidables, hojas pequeñas con las hojuelas más o menos estrechamente espaciadas, y los frutos morados cuando maduros.

Ésta junto con *Bactris major* son las únicas especies del género que crecen en las partes secas al norte de la vertiente del Pacífico, aunque *Bactris guineensis* subsiste en sitios más expuestos.

La *Bactris guineensis* o palma de lata posee características anatómicas y organográficas típicas de una planta tropical (latifoliada o frondosa), que representan un volumen importante en los extensos bosques cálidos de Suramérica, Centroamérica y el Caribe, convirtiéndose en un recurso tentativo para el negocio de la construcción. La parte maderable útil de esta palma es la corteza exterior del tallo, contrario de lo que normalmente se aprovecha en una madera común debido a que no posee una estructura anatómica estándar a diferencia de un tronco de madera normal.

Por tanto, la palma de lata tiene una estructura anatómica heterogénea, constituida por células leñosas blandas, como las traqueidas, de color claro y que tienen la función de conducción del agua y sales minerales, forman el 60 – 65% del área total de la sección del tallo. Las fibras (elementos prosenquimáticos) son células apropiadas para la función mecánica y forman el 40 – 35% del área total de la sección; a menor presencia de fibras menor densidad y por consiguiente menor resistencia mecánica. Si se utilizan los elementos enteramente, el material poroso interno es un factor desfavorable en cuanto a la resistencia mecánica y el potencial ataque de hongos e insectos en el interior del culmo.

Las muestras de palma de lata que fueron escogidas para llevar a cabo la investigación se encuentran sobre un suelo limo – arcilloso existente en un área determinada de la finca Juan León, Municipio de Santa Ana, Departamento del Magdalena, Colombia, de propiedad de la sociedad J L Ltda. Esta propiedad se encuentra ubicada a 25 m.s.n.m, con temperatura promedio de 30 – 35 °C, entre las coordenadas 930.000 y 960.000 oeste del Meridiano Greenwich y 1.530.000 y 1.560.000 N.

1.1 TAXONOMÍA DE LA PALMA DE LATA

Se entiende por taxonomía a la ciencia que describe, nombra y clasifica los organismos, utilizando la flor como la unidad básica para la identificación. Para poder llevar a cabo estudios taxonómicos sobre las plantas, es necesario realizar trabajo de campo y de laboratorio.

Cuadro 1. Taxonomía y Nomenclatura

Palma de lata	
<i>Taxonomía y Nomenclatura</i>	
Reino	Plantae (Planta)
Rango taxonómico	Species (Especies)
Sinónimos	Bactris minor (major), Coco guineensis
Nombre común	Guinea bactris
Estado taxonómico	Aceptado
Indicadores en la calidad de datos	Verificado, estándares encontrados

Cuadro 2. Jerarquía Taxonómica

Palma de lata	
<i>Jerarquía Taxonómica</i>	
Reino	Plantae (Planta)
Subreino	Tracheobionta (Plantas vasculares)
División	Magnoliophyta (Angiospermatophyta)
Clase	Liliopsida (Monocotiledóneas)
Subclase	Arecidae
Orden	Arecales
Familia	Arecaceae (Palmae)
Género	Bactris (Bactris palm)
Especie	Bactris guineensis (Guinea bactris)

Fuente: ITIS REPORT. National Plant Data Center, NRCS, USDA. Baton Rouge, LA 70874-4490 USA. <http://plants.usda.gov>

1.2 MORFOLOGÍA EXTERNA DE LA PALMA DE LATA

La morfología de las plantas es la parte de la botánica que estudia las relaciones de la conformación de los vegetales y se divide naturalmente en:

- Organografía: morfología externa.
- Fitotomía: anatomía vegetal o morfología interna.

Para el caso de la *Bactris guineensis* se reconoce la morfología externa, la cual consiste en las partes orgánicas de la planta como los órganos vegetativos y los de la reproducción.

Figura 1. Palma de lata en su hábitat natural



Fuente: Los autores

1.2.1 El tallo. El tallo o culmo es de tipo no ramificado (estípite). Es abundantemente espinoso, erecto, delgado y de tamaño mediano; se presentan agrupados, ya sea por ramificación basal o por rizomas o estolones. Los tallos no se ramifican en su porción aérea dado que presentan un solo meristemo de crecimiento apical. En Colombia, en la zona de estudio, la altura del tallo comúnmente varía entre 3 – 4 m., pudiéndose encontrar en otros países de la vertiente pacífica o del caribe y sobre un suelo apto rico en nutrientes, algunos ejemplares de entre 3 – 8 m. de altura; en cuanto al grosor, pueden tener desde algo más de 2.5 cm. de diámetro hasta 4 cm. o un poco más, disminuyendo el diámetro a medida que crece el culmo.

La palma de lata, como muchas monocotiledóneas, no presenta una raíz principal debido a la aborción prematura de la radícula durante su desarrollo, presentándose por tanto una homorrizia (raíces fibrosas), por lo general con una ramificación muy limitada.

Figura 2. Tallo de la palma de lata



Tallo

Corte transversal del tallo en estado verde

Fuente: Masís, A., Espinoza, R., Guadamuz, A., Chavarría, F. y Perez, D 1998. Species Page de *Bactris major* (Arecaceae), 13 mayo 1998. Species Home Pages, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. <http://www.acguanacaste.ac.cr>

Figura 3. Corte transversal del tallo en estado seco



Fuente: Los autores

Figura 4. Variación de diámetros en los tallos



Fuente: Los autores

1.2.2 La hoja. Las hojas están distribuidas a lo largo del tallo. En las hojas se distingue la vaina, el pecíolo y la lámina. La vaina de longitud entre 20 – 25 cm. es la porción basal de la hoja y envuelve al tallo, es partida, espinosa y muy fibrosa.

El pecíolo tiene 7 – 12 cm. de longitud, es espinoso y su base es bífida, su prolongación constituye el raquis que es el nervio central de la hoja pinnado – compuesta, cuya longitud varía entre 65 – 80 cm., donde se insertan las pinnas (o foliolos, 32 – 48 pinnas de 20 – 50 cm. a cada lado) regularmente espaciadas. Las láminas de las hojas son del tipo pinnadas.

Las hojas pinnadas tienen un eje principal denominado raquis, del cual salen las láminas parciales que algunos conocen como pinnas, pero que también se les puede denominar segmentos. Los segmentos están implantados en el mismo plano a ambos lados del raquis.

Figura 5. Haz de la lámina



Figura 6. Envés de la lámina



Fuente: Masís, A., Espinoza, R., Guadamuz, A., Chavarría, F. y Perez, D 1998. Species Page de *Bactris guineensis* (Arecaceae), 13 junio 2000. Species Home Pages, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. <http://www.acguanacaste.ac.cr>

Figura 7. Detalle del haz



Figura 8. Detalle del envés



Figura 9. Haz de la hojuela



Figura 10. Envés de la hojuela



Fuente: Masís, A., Espinoza, R., Guadamuz, A., Chavarría, F. y Perez, D 1998. Species Page de *Bactris major* (Arecaceae), 13 mayo 1998. Species Home Pages, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. <http://www.acguanacaste.ac.cr>

Figura 11. Espinas en el raquis



Fuente: Masís, A., Espinoza, R., Guadamuz, A., Chavarría, F. y Perez, D 1998. Species Page de *Bactris major* (Arecaceae), 13 mayo 1998. Species Home Pages, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. <http://www.acguanacaste.ac.cr>

1.2.3 La inflorescencia y la flor. La inflorescencia es un racimo de flores color crema de características interfoliares. El pedúnculo (soporte) de la inflorescencia puede llegar a medir entre 10 – 20 cm. El raquis de la inflorescencia entre 5 – 14 cm. Las raquillas 9 – 30 cm., 8 – 11.5 cm. La inflorescencia esta protegida por encima por una bráctea larga (hoja modificada) de color amarillento. Las flores son de ambos sexos dispuestas en tríadas, una femenina entre dos masculinas. El tamaño de las flores masculinas y femeninas oscila entre 3 – 4 mm., son estaminadas y pestiladas.

Figura 12. Bráctea y la inflorescencia



Fuente: Masís, A., Espinoza, R., Guadamuz, A., Chavarría, F. y Perez, D 1998. Species Page de *Bactris guineensis* (Arecaceae), 13 junio 2000. Species Home Pages, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. <http://www.acguanacaste.ac.cr>

1.2.4 El fruto. El fruto se presenta en forma de racimo. Los frutos inmaduros son de color blanco verdoso, al madurar son de color púrpura rojizo a negro púrpura; lisos, redondos a ovoidales y miden entre 1 – 1.5 cm. de diámetro. Localmente, los frutos maduros son vendidos en cantidades y se utilizan para preparar una agradable bebida refrescante o un vino de color rubí intenso.

Figura 13. Racimo de frutos inmaduros



Fuente: Digital Flora of Texas. Vascular Plant Image library.
www.csd.tamu.edu/FLORA/imaxxare.htm

Figura 14. Bráctea y frutos maduros



Fuente: Masís, A., Espinoza, R., Guadamuz, A., Chavarría, F. y Perez, D 1998. Species Page de *Bactris guineensis* (Arecaceae), 13 junio 2000. Species Home Pages, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.
<http://www.acguanacaste.ac.cr>

Figura 15. Vino de uvita de lata o vino de “corozo”



Fuente: Los autores

2. PROPIEDADES GENERALES DE LA MADERA

2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Básicamente todas las propiedades físicas de la madera están determinadas por los factores inherentes (implantados por naturaleza, innatos) a su organización estructural. Estos factores pueden resumirse en cinco clases:

- La cantidad de sustancia madera (pared celular) presente en un volumen dado de madera.
- La cantidad de agua presente en la pared celular.
- La proporción de los componentes primarios (celulosa, hemicelulosa y lignina) de la pared celular y la naturaleza de los extractivos presentes en la misma.
- El arreglo y orientación del material de las paredes en las células y en los diferentes tejidos.
- La clase, tamaño y arreglo o disposición de las células que forman el tejido xilemático.

El primero de estos factores se determina mediante la densidad de la madera y es el principal indicador para predecir el comportamiento físico de la madera.

El segundo factor afecta profundamente el comportamiento físico de la madera, no solamente porque la adición de agua cambia su densidad y dimensiones sino también porque afecta su plasticidad y su capacidad para transferir energía.

El tercer factor está relacionado con muchas de las propiedades de ciertas maderas así como también de las desviaciones del comportamiento cuantitativo esperado.

Los dos últimos factores son causa de la mayoría de las diferencias que se encuentran en las respuestas físicas de la madera respecto a la dirección del grano.

2.1.1 Contenido de humedad. La madera es una sustancia higroscópica; es decir, tiene gran afinidad por el agua y otros agentes tanto en forma líquida como en forma de vapor. Esta capacidad de la madera para perder o absorber agua depende de la temperatura y de la humedad del medio ambiente que la rodea. En consecuencia, la cantidad de humedad dentro de la madera fluctúa con los cambios en las condiciones atmosféricas.

Conocer el contenido de agua, dónde está localizada, y cómo se mueve el agua a través de la madera, es indispensable para la utilización racional de la madera, ya que afecta su densidad, contracción, resistencia mecánica, conductividad calórica y eléctrica, durabilidad natural, etc. Además, permite operar en óptimas condiciones y con mayor eficiencia durante el proceso de secado y preservación de la madera.

La cantidad total de agua en una pieza de madera se denomina **contenido de humedad (CH)**; se expresa como porcentaje del peso seco al horno de la madera. El método normalizado para determinar la cantidad de agua consiste en secar la madera en un horno a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta obtener peso constante. El peso obtenido bajo estas condiciones se conoce como **peso anhidro**; el peso del agua es la diferencia en peso antes y después del secado. El contenido de humedad se expresa por la ecuación:

$$\text{CH (\%)} = \frac{\text{Peso del agua en la madera (gr.)}}{\text{Peso de la madera anhidra (gr.)}} \times 100$$

La anterior ecuación se puede escribir:

$$\text{C.H (\%)} = \frac{\text{Pv} - \text{Psh}}{\text{Psh}} \times 100$$

donde: **Pv** = peso verde o peso antes del secado al horno.

Psh = peso después del secado al horno.

En el proceso de secado se pierde primero el agua libre (en las cavidades celulares) y después el agua higroscópica (paredes celulares); el agua de constitución (estructura molecular) no se pierde sino por combustión de la madera.

Las fuerzas de atracción entre la madera seca y el agua son tan grandes que es imposible evitar que la madera no adquiera humedad, y, en consecuencia, la madera es un material **higroscópico**.

2.1.2 Cambios dimensionales. La adición de agua a la pared celular hace que la madera se hinche en proporción a la cantidad de líquido adicionado. Ésta expansión continúa hasta que se alcance el PSF (Punto de saturación de las fibras).

Posteriores adiciones de líquido no produce cambios en el volumen de la madera, puesto que el líquido adicionado, una vez alcanzado el PSF, se concentra en las cavidades celulares (lumen).

La expansión (**E**) es el cambio dimensional expresado como un porcentaje de la dimensión de la madera seca, y se calcula por la expresión:

$$E (\%) = \frac{Dv - Ds}{Ds} \times 100$$

donde: **E (%)** = Expansión o hinchamiento.
Dv = Dimensión de la madera verde.
Ds = Dimensión de la madera seca.

Por el contrario, la remoción de la humedad de la madera por debajo del PSF, causa la contracción de la misma. Tales cambios se expresan como un porcentaje de la dimensión verde y se calculan por la expresión:

$$C (\%) = \frac{Dv - Ds}{Dv} \times 100$$

donde: **C (%)** = Contracción.
Dv = Dimensión de la madera verde.
Ds = Dimensión de la madera seca.

Resumiendo, la hinchazón se produce por ganancia de humedad desde la condición anhidra (CH. = 0%) hasta el PSF; y la contracción por pérdida de agua desde el PSF hasta la condición anhidra.

Importante: la hinchazón no debe calcularse como un recíproco del valor de la contracción puesto que en los cálculos se toman bases de referencia diferentes.

Además, ocurren cambios irreversibles en la respuesta dimensional de la madera a las variaciones en la humedad cuando la madera verde ha sufrido un secado previo (Histéresis). Como resultado, todos los cambios dimensionales subsiguientes por variaciones en el contenido de humedad son menores que aquellos que ocurrieron durante el primer ciclo de secado. Este permanente cambio de la respuesta dimensional a la humedad varía marcadamente de una especie a otra.

- **Anisotropía de los cambios dimensionales en la madera.** Al observar los cambios dimensionales de la madera, provocados por la pérdida o ganancia de humedad, es notable que estos son diferentes en las tres direcciones estructurales (longitudinal, radial y tangencial), es decir, la madera presenta **anisotropía**.

La contracción longitudinal en madera normal, desde el estado verde hasta el estado anhidro, es generalmente pequeña, aproximadamente del 0.1 al 1.0%; este cambio es tan pequeño que siempre es desechado en la manufactura y subsiguiente uso del producto. En la dirección radial, desde el PSF hasta la condición seca al aire es del 2% al 5%. En la dirección tangencial la contracción hasta el estado seco al aire es aproximadamente el doble de la contracción radial.

La razón de la contracción tangencial a la contracción radial (T/R) varía desde 1.3 hasta más de 3.0 en maderas nativas, y, junto con los porcentajes de contracción, constituye un medio para evaluar la estabilidad dimensional de cualquier madera.

Las maderas más adecuadas para servicios que requieren gran estabilidad dimensional, son aquellas que presentan una baja relación T/R ($T/R < 1.8$) y bajos cambios dimensionales en el sentido transversal.

2.1.3 Densidad y peso específico. La densidad de un material homogéneo se define como la masa o el peso del material por unidad de volumen:

$$D = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

La densidad (D) se expresa en (gr./cm^3) o en (Kg./m^3)

En la madera, como en todo cuerpo poroso, la densidad sirve como una medida del peso de la madera sin descontar los espacios interiores (**densidad aparente**), o como una medida del peso de la sustancia de las paredes celulares (**densidad real**), por unidad de volumen.

El conocimiento de la **densidad aparente** o **real** es muy importante para lograr el uso adecuado de las maderas. Es un factor importante en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas que caracterizan las diferentes clases de madera.

La cantidad de sustancia madera en un bloque dado es un indicador seguro de sus propiedades de resistencia y hasta cierto punto de su facilidad de trabajo y características de acabado.

La densidad de la madera también tiene influencia predominante en las variaciones dimensionales que tienen lugar en ella por los cambios en el contenido de humedad por debajo del PSF y por esta razón influye en las propiedades básicas de la madera.

Por lo anterior, se deduce que la densidad juega un papel importante cuando se quiere determinar la utilidad de una clase de madera dada y específicamente cuando se quiere dedicar a propósitos definidos. En términos generales, la densidad de la madera depende de:

- El tamaño de las células.
- El espesor de las paredes celulares.
- Las interrelaciones entre el número de células de diferentes clases en términos del tamaño de las células y del espesor de las paredes celulares.

Las fibras son particularmente importantes en la determinación de la densidad, puesto que su pequeña sección transversal permite que un gran número de ellas se coloquen en un pequeño espacio. Si las fibras son de paredes gruesas y presentan lumen pequeño, el total de espacios vacíos será relativamente pequeño y la densidad será alta. Por el contrario, si las paredes son delgadas y el lumen amplio, la densidad será baja.

La densidad que usualmente se determina es la **densidad aparente**, la cual es solamente un índice relativo de los materiales de la pared celular.

El peso de la madera es la suma de: el peso de la sustancia madera, el peso de las sustancias extractivas presentes, y el peso de la humedad presente en la madera.

Aunque la densidad de la madera puede ser determinada a un contenido de humedad cualquiera, los resultados así obtenidos son tan variables, que ha sido necesario establecer una norma que permita hacer comparaciones; por consiguiente, se estableció que la densidad de la madera debe estar basada en: el peso de la madera seca al horno, a menos que otra condición sea establecida, mientras que el volumen puede ser determinado en:

- Base verde (CH. igual o por encima del PSF).
- Base seca al aire (CH. = 12%).
- Base seca al horno.

La densidad basada en el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV) se denomina **densidad básica**, y es uno de los valores más utilizados. El término básico se aplica tanto al volumen verde como al peso seco al horno por ser dos valores constantes y fácilmente reproducibles.

Para la determinación de la densidad de la madera, ya sea la aparente o la real, es necesario conocer su peso y su volumen. El peso puede ser determinado en forma fácil y relativamente con gran exactitud, mediante el empleo de una balanza de precisión. Para la determinación del volumen se tropieza con varias dificultades, a causa de que los diferentes métodos utilizados proporcionan valores diferentes para el volumen específico de la sustancia madera.

2.1.4 Transmisión y absorción del sonido. Una de las ventajas de la madera es su capacidad para absorber vibraciones producidas por ondas sonoras. Esta propiedad está íntimamente relacionada a su estructura fibrovascular, su naturaleza elastoplástica y a su densidad. La capacidad que tiene un cuerpo de absorber ondas sonoras es directamente proporcional a su densidad. La velocidad con la que se propagan las ondas compresionales en un material elástico está dada por la fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{E}{D}}$$

donde: V = Velocidad de las ondas (m/sg.)

E = Módulo de elasticidad

D = Densidad

Cuadro 3. Velocidad de la propagación de ondas

MATERIAL	DENSIDAD	VELOCIDAD (m/sg.)
Corcho	0.25	430 - 530
Madera	0.52	4760
Madera	0.69	4300
Agua	1.00	1435
Vidrio	2.50	5000 - 6000
Acero	7.85	5000

Fuente: JUNAC, 1984.

La madera es menos efectiva en bloquear la transmisión del sonido debido a que esta propiedad depende del peso del material y la madera es más liviana que otros materiales estructurales. Por ello es más conveniente seguir recomendaciones de diseño que permitan aumentar la capacidad de aislamiento acústico de las construcciones a base de madera.

2.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de la madera son una expresión de su comportamiento bajo la acción de fuerzas externas. Este comportamiento depende de la naturaleza de la fuerza aplicada y de la estructura de la madera.

En general, las propiedades mecánicas son las que determinan la aptitud de la madera para propósitos estructurales o de construcción y en otros innumerables usos.

El conocimiento de las propiedades mecánicas se obtiene por medio de pruebas de laboratorio que requieren el uso de aparatos especiales. Desde el punto de

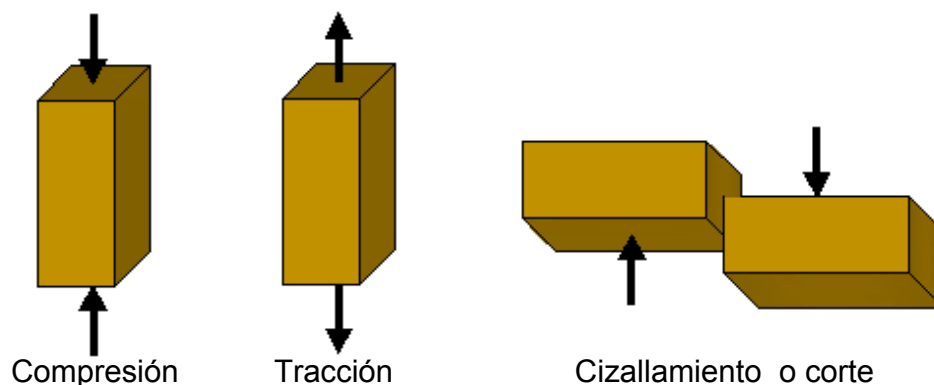
vista de la eficiencia y del tiempo, las pruebas de laboratorio son ventajosas, si se realizan adecuadamente.

En las pruebas de laboratorio es posible establecer métodos normalizados y expresar los resultados en unidades definidas que proporcionan medios prácticos para comparar las diferentes clases de madera y también para determinar las dimensiones específicas del material para ciertos usos. También es posible controlar los factores que disturban y pueden afectar los resultados obtenidos en los ensayos de la madera en servicio.

Uno de los principales objetivos de las pruebas es determinar valores por unidad de área para las diferentes propiedades de resistencia mecánica de la madera. Al considerar las propiedades de la madera se debe tener en cuenta que ésta es un material **orgánico, heterogéneo y anisótropo**, lo cual origina fluctuaciones en las propiedades de la madera. Los factores que más influyen en las propiedades mecánicas de la madera son: la densidad, el contenido de humedad, la dirección de las fibras y los nudos.

2.2.1 Definición de términos. Una fuerza, expresada con base a la unidad de área o de volumen, se conoce como un esfuerzo (σ). Existen tres clases de esfuerzos primarios que pueden actuar sobre un cuerpo.

Figura 16. Esfuerzos primarios que pueden actuar sobre un cuerpo



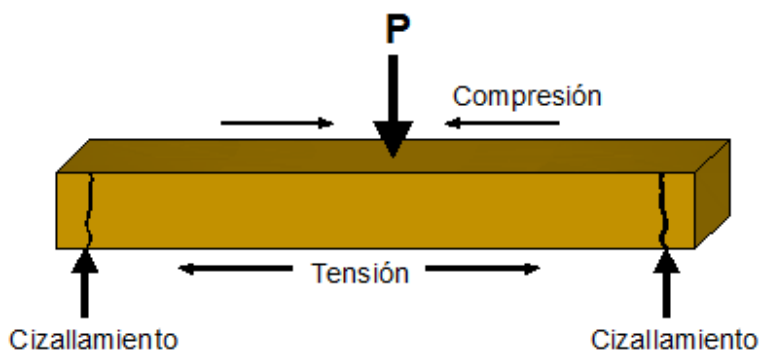
- La fuerza puede actuar en compresión si acorta una dimensión o reduce el volumen del cuerpo; en este caso se dice que hay un **esfuerzo de**

compresión, el cual se define como la fuerza total de compresión dividida por el área de la sección transversal de la pieza sometida al esfuerzo.

- Si la fuerza tiende a aumentar la dimensión o el volumen, entonces la fuerza es de tracción y sobre el cuerpo se ejerce un **esfuerzo de tensión o tracción**.
- Si la fuerza tiende a causar que una parte del cuerpo se mueva con respecto a cualquier otra en una dirección paralela a su plano de contacto, el **esfuerzo es de cizallamiento o corte**.

Estos tres esfuerzos pueden actuar simultáneamente produciendo un esfuerzo compuesto denominado **esfuerzo de flexión** o **esfuerzo de pandeo**, el cual causa la flexión o pandeo del cuerpo.

Figura 17. Esfuerzo de flexión

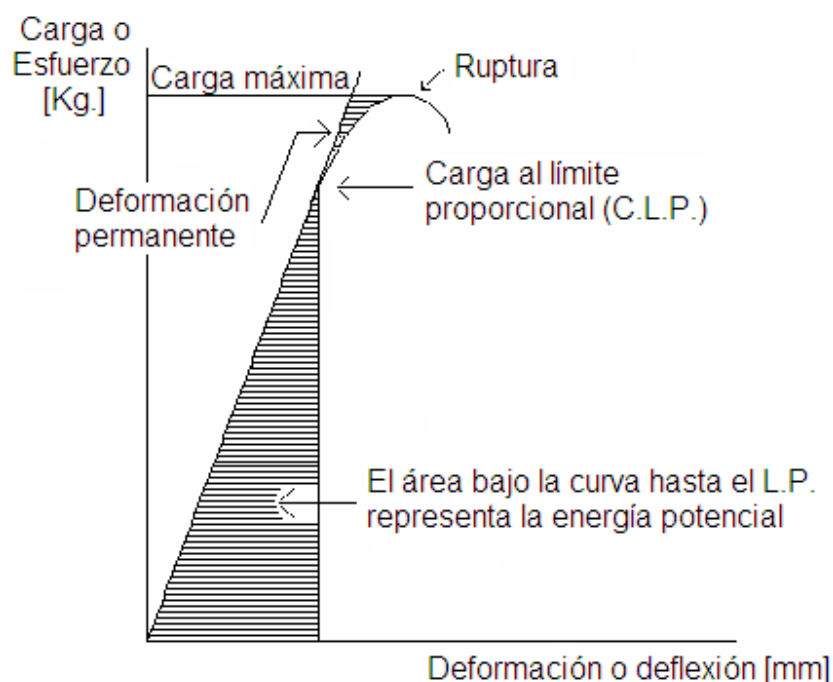


En todos los cuerpos, cualquiera que sea el material, si se aplican fuerzas suficientes, éstas producen un cambio en la forma y el tamaño del cuerpo. Esta distorsión resultante de aplicar fuerzas se conoce como **deformación (ϵ)**, la cual se expresa en términos de deformación por unidad de área o de volumen; así, la deformación por compresión es la reducción en longitud de un cuerpo sometido a compresión, dividida por la longitud del cuerpo antes de aplicar la carga. Cada tipo de esfuerzo produce su correspondiente deformación.

Dentro de ciertos límites (**límite proporcional**) la deformación es directamente proporcional al esfuerzo que la produce, relación establecida por Robert Hooke mediante la ecuación: $\sigma = E \cdot \epsilon$.

La constante de proporcionalidad (E) que relaciona los dos términos se denomina **módulo de elasticidad**, e indica la habilidad del material para recobrar su tamaño y forma originales después de ser removida la carga. El comportamiento elástico de la madera se ilustra mediante la porción de línea recta de la curva para la carga y la deformación, tal como se indica en la figura 18. El área bajo la porción de línea recta de la curva, representa la energía potencial o trabajo recuperable, **y es una medida de la elasticidad del material, no de su resistencia**. La pendiente de la línea elástica es una medida de la magnitud del módulo elástico.

Figura 18. Carga vs. deformación



La falla se presenta cuando se alcanza el límite de resistencia, el cual está indicado por el límite superior de la curva **carga – deformación**. La máxima resistencia a la compresión ($\sigma_{Máx.}$) es una medida de la habilidad de la madera a resistir cargas de compresión hasta el punto de falla. En flexión, la magnitud de la carga requerida para causar la falla se expresa por el **módulo de ruptura (MOR)**.

La resistencia al impacto es otro tipo de esfuerzo al que se somete la madera y es en esencia una medida de la absorción de energía o propiedad de trabajo y tenacidad.

El cizallamiento en la madera se determina únicamente en la dirección paralela al grano, puesto que la madera es débil al cizallamiento en este eje. La resistencia al cizallamiento en la sección transversal al grano es mucho mayor que otras propiedades mecánicas y por tanto no tiene significado práctico.

2.2.2 Compresión. La compresión paralela a las fibras está implicada en muchos usos en la madera, tales como columnas cortas e intermedias, postes, puntales para minas, patas de sillas y mesas, en los cuales la madera está sujeta a cargas que tratan de acortar sus fibras, y en los cuales cualquier exceso de carga produce una falla por compresión. De las pruebas de compresión paralela a las fibras se obtienen datos para el cálculo de:

- **Esfuerzo de las fibras en el límite proporcional ($\sigma_{L.P.}$).** Es el esfuerzo máximo en compresión paralela a las fibras que la madera puede soportar sin deformarse; rara vez se utiliza en la práctica, pues se prefiere el valor dado por la resistencia máxima a la compresión ($\sigma_{Máx.}$), el cual es menos variable y más fácil de obtener. El esfuerzo de las fibras en el límite proporcional se calcula por la fórmula:

$$\sigma_{L.P.} = \frac{P_{L.P.}}{A} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{L.P.}$ = Carga al límite proporcional (Kg.)

A = Área de la sección transversal de la probeta (cm^2)

- **Máxima resistencia a la compresión ($\sigma_{Máx.}$).** Es la medida de la capacidad de una columna corta para resistir una carga aplicada lentamente. El esfuerzo unitario se obtiene dividiendo la carga máxima aplicada en el ensayo, por el área de la sección transversal sobre la cual se distribuyó la carga. Este valor es utilizado para el dimensionamiento de columnas y otros elementos estructurales similares. Se calcula por la siguiente fórmula:

$$\sigma_{Máx.} = \frac{P_{Máx.}}{A} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{Máx.}$ = Carga máxima (Kg.)

A = Área de la sección transversal de la probeta (cm^2)

- **Módulo de elasticidad (E_m).** Expresa la relación de esfuerzos por unidad de área a la correspondiente deformación por unidad de longitud, debiendo estar la deformación dentro del límite de proporcionalidad. El módulo de elasticidad

es un valor indicativo de la rigidez de la madera, no de su resistencia; se aplica a condiciones dentro del límite de proporcionalidad. Se calcula por la fórmula:

$$E_m = \frac{P_{L.P} * L}{A * d} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{L.P}$ = Carga al límite proporcional (Kg.)

L = Longitud de la probeta (cm.)

A = Área de la sección transversal de la probeta (cm²)

d = Deflexión al límite proporcional (cm.)

Las rupturas por compresión se clasifican de acuerdo a la apariencia de las mismas en las superficies que se presenten. A continuación se describen los tipos más comunes de fallas por compresión:

Figura 19. Tipos más comunes de fallas por compresión



- a. **Aplastamiento:** el plano de ruptura es aproximadamente horizontal. Este tipo de falla ocurre cuando los extremos de la probeta están relativamente húmedos.
- b. **Rajadura en forma de cuña:** se combinan las fallas de cizallamiento y hendidura o rajadura.
- c. **Cizallamiento o corte:** el plano de ruptura forma un ángulo agudo con el eje longitudinal de la probeta. Es el tipo de falla normal.
- d. **Hendidura o rajadura:** la falla se caracteriza por un desgarramiento de las fibras a lo largo del plano vertical. Esta falla ocurre ocasionalmente en probetas muy secas.
- e. **Compresión y cizallamiento paralelo al grano:** ocurre usualmente en probetas con grano entrecruzado. Los resultados obtenidos con este tipo de probetas deben ignorarse.

Entre los factores que afectan la resistencia de la madera a la compresión paralela se encuentra la densidad, el contenido de humedad, la temperatura, la composición química.

2.2.3 Tracción. La tensión paralela a las fibras está implicada en muchos usos en la madera, tales como en uniones, elementos para cerchas, en los cuales la madera está sujeta a cargas que tratan de alargar sus fibras, y cualquier exceso de carga produce una falla por tensión.

La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente el doble de la resistencia a la compresión paralela. De las pruebas de tracción paralela a las fibras se obtienen valores para el cálculo de:

- **Esfuerzo máximo ($\sigma_{Máx.}$).**

$$\sigma_{máx.} = \frac{P_{Máx.}}{A} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{Máx.}$ = Carga máxima (Kg.)

A = Área de la sección recta (cm^2)

- **Esfuerzo unitario en el límite proporcional ($\sigma_{L.P.}$).**

$$\sigma_{L.P.} = \frac{P_{L.P.}}{A} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{L.P.}$ = Carga en el límite proporcional (Kg.)

A = Área de la sección recta (cm^2)

- **Módulo de elasticidad (E_m).**

$$E_m = \frac{P_{L.P.} * L}{A * d} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{L.P.}$ = Carga en el límite proporcional (Kg.)

L = Luz entre las cuchillas de las abrazaderas del extensómetro (cm.)

A = Área de la sección recta (cm^2)

d = Deformación de la probeta en el límite proporcional (cm.)

2.2.4 Flexión. En el uso de la madera para construcciones, la resistencia a la flexión es la propiedad más importante. Entre compresión paralela, tracción paralela y flexión, existen las siguientes relaciones: la resistencia a la tracción es más o menos dos veces mayor que la resistencia a la compresión; la resistencia a la flexión es aproximadamente 75% mayor que la resistencia a la compresión.

La flexión se presenta en los miembros estructurales denominados **vigas**. Una viga soporta cargas que actúan en ángulo recto o cualquier otra dirección no paralela a su eje longitudinal. De acuerdo al tipo de apoyo, las vigas se pueden clasificar en: viga simple, viga empotrada, viga continua.

Figura 20. Viga simplemente apoyada



Figura 21. Viga empotrada en los dos extremos

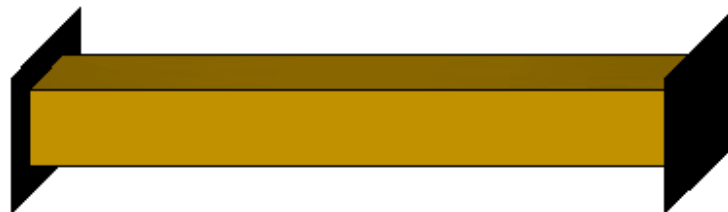


Figura 22. Viga continua



De las pruebas de flexión se obtienen valores para el cálculo de:

- **Esfuerzo de las fibras en el límite proporcional ($\sigma_{L.P}$).** Es el esfuerzo que se produce en las fibras de una viga sometida a tensión (fondo) y compresión (tope) hasta la carga en el límite proporcional, es decir hasta cuando deja de

existir una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación. Para una sección transversal rectangular se calcula por la fórmula:

$$\sigma_{L.P} = \frac{3 * P_{L.P} * L}{2 * a * h^2} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{L.P}$ = Carga al límite de proporcionalidad (Kg.)

L = Distancia entre los soportes (cm.)

a = Ancho de la probeta (cm.)

h = Espesor o altura de la probeta (cm.)

- **Módulo de ruptura (MOR).** Es el esfuerzo computado en el tope y en el fondo de las fibras de una viga sometida a la carga máxima que ocasiona la falla. Es un valor aproximado del verdadero esfuerzo, puesto que la fórmula para su cálculo se basa en suposiciones válidas solamente hasta el límite de proporcionalidad. Para una sección transversal rectangular se calcula por la fórmula:

$$\text{MOR} = \frac{3 * P_{Máx.} * L}{2 * a * h^2} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{Máx.}$ = Carga máxima o carga de ruptura (Kg.)

L = Distancia entre los soportes (cm.)

a = Ancho de la probeta (cm.)

h = Espesor o altura de la probeta (cm.)

- **Módulo de elasticidad (E_m).** Corresponde a la misma definición dada en la prueba de compresión paralela al grano. Para una sección transversal rectangular se calcula por la siguiente fórmula:

$$E_m = \frac{P_{L.P} * L^3}{4 * d * a * h^3} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{L.P}$ = Carga al límite de proporcionalidad (Kg.)

L = Distancia entre los soportes (cm.)

d = Deformación al límite de proporcionalidad (cm.)

a = Ancho de la probeta (cm.)

h = Espesor o altura de la probeta (cm.)

Para una sección resistente, de cualquier geometría:

$$E_m = \frac{P_{L.P} * L^3}{48 * I * Y} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{L.P}$ = Carga en el límite proporcional (Kg.)

L = Distancia entre los soportes (cm.)

I = Momento de inercia de la sección transversal resistente (cm⁴.)

Y = Deflexión o flecha en el límite proporcional (cm.)

2.2.5 Cizallamiento. El esfuerzo de cizallamiento es una medida de la capacidad de la madera para resistir fuerzas que tienden a producir deslizamientos de un plano interno de la madera sobre su plano adyacente. Los esfuerzos de cizallamiento tienen lugar, en mayor o menor grado, en casi todos los usos de la madera, y se clasifican de acuerdo a la dirección en que la fuerza actúa respecto a los planos estructurales de la madera. Usualmente únicamente se determina el valor del esfuerzo de cizallamiento paralelo a las fibras. De las pruebas de cizallamiento se obtienen datos para el cálculo de:

- **Módulo de ruptura debido al cizallamiento.** Se determina por la fórmula:

$$\sigma_{ciz.} = \frac{P_{Máx.}}{A} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde: $P_{Máx.}$ = Carga máxima soportada (Kg.)

A = Área del plano en que se produce el cizallamiento (cm²)

2.2.6 Dureza. Es la resistencia que opone un cuerpo a la penetración de otro cuerpo. Esta resistencia es función de las propiedades mecánicas del material, especialmente de su límite elástico. En la madera, la dureza depende de la abundancia de fibras, de la escasez de vasos, de la finura y número de radios y de la cohesión y entrelazamiento de las fibras. La dureza es una propiedad particularmente importante para evaluar maderas aptas para ser usadas en la construcción de pisos, muebles y otros usos donde se requieren superficies resistentes al desgaste. De las pruebas de dureza se obtienen datos para el cálculo de:

- **La dureza Brinell.** Se calcula por la fórmula:

$$DB = \frac{2P}{D\pi * (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

donde: DB = Dureza Brinell

P = Carga aplicada (Kg.)
 D = Diámetro de la bola (mm.)
 d = Diámetro de la impresión (mm.)

Entre los factores que afectan la resistencia a la dureza se encuentra el contenido de humedad. Entre el 0% y 30% de humedad existe una dependencia lineal; el valor máximo de dureza lo tiene la madera completamente seca.

2.2.7 Tenacidad (Impacto). Por medio de este ensayo se determina la capacidad de la madera para absorber energía o resistir choques al impacto simple, con esfuerzos de muy corta duración, que exceden el límite de proporcionalidad y que producen deformaciones permanentes o fallas parciales.

En esta prueba se utiliza un péndulo dinamométrico, el cual da directamente el valor de la resistencia al impacto o tenacidad de la madera. De las pruebas de tenacidad se obtienen datos para el cálculo de:

- **Impacto.** Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_i = \frac{E_i}{A_i} \quad (\text{Kg*m/cm}^2)$$

donde: $E_i = E_e - E_f$ Energía de impacto (Kg*m)

A_i = Área de la sección recta resistente al impacto (cm²)

E_e = Energía de ensayo (Kg*m)

E_f = Energía de frotamiento (Kg*m)

Entre los factores que afectan la resistencia al impacto se encuentra la densidad y el contenido de humedad.

2.3 PROPIEDADES ELÁSTICAS

Las características elásticas de un material son el **módulo de elasticidad**, el **módulo de corte** y el **módulo de Poisson**. La madera como material ortotrópico tiene tres módulos de elasticidad, tres módulos de corte y seis módulos de Poisson, orientados y definidos según los tres ejes ortogonales. Desde el punto de vista ingenieril puede suponerse que el material maderable es homogéneo y por tanto considerarse sólo tres módulos.

2.3.1 Módulo de elasticidad (MOE – E_m). El E_m puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo – deformación de un ensayo de compresión paralela. Puede ser hallado también por métodos indirectos como en los ensayos a flexión.

Según los resultados obtenidos en maderas tropicales, el módulo de elasticidad E_m en compresión paralela es mayor que el módulo de elasticidad E_m en flexión estática, no obstante, usualmente se toma el segundo como genérico de la especie, por ser las deflexiones en elementos a flexión criterio básico en su dimensionamiento.

2.3.2 Módulo de corte o rigidez (G). El módulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen, $\tau = G * \gamma$. Existen diferentes valores para este módulo en cada una de las direcciones de la madera. Sin embargo el más usual es el que sigue la dirección de las fibras. Los valores reportados para esta propiedad varían entre 1/16 y 1/25 del módulo de elasticidad lineal.

2.3.3 Módulo de Poisson. Se conoce como módulo de Poisson a la relación que existe entre deformación lateral y deformación longitudinal. Para el caso de la madera existen en general 6 módulos de Poisson ya que se relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial y tangencial.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS Y CÁLCULOS TIPO

Algunos de los ensayos recomendados en las Normas Icontec se ajustaron a los procedimientos particulares para cada metodología debido a que esta especie de madera no es una madera típica. Los ensayos de las probetas se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Industrial de Santander.

A continuación se presenta la descripción de los ensayos y cálculos tipo que se realizaron para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de la palma de lata.

3.1 PROPIEDADES FÍSICAS

3.1.1 Contenido de humedad.

- **Procedimiento del ensayo.** Para la determinación del CH. se tomaron probetas de la madera en un recipiente limpio y pesado con anterioridad. El ensayo se realizó para 40 probetas en dos condiciones; la primera consistió en tomar una muestra del material en su estado de humedad verde y la segunda en su etapa de secado. Se introdujo cada una de las probetas al horno a 105 °C hasta obtener un peso constante; se dejó enfriar cada muestra sin dejar pasar mucho tiempo y se pesó de nuevo. Una vez estabilizado el peso de la probeta secada al horno, se afirma que éste es el peso seco del material.
- **Cálculo tipo.** Para calcular el contenido de humedad se procedió a reemplazar los datos en la siguiente fórmula:

$$CH(\%) = \frac{(P_v - P_{sh})}{P_{sh}} * 100$$

donde: **P_v** = el peso verde o peso antes del secado al horno.

P_{sh} = el peso después del secado al horno.

Para la probeta CH1 (estado verde), el cálculo es el siguiente:

$$CH1(\%) = \frac{(25.05 \text{ gr.} - 16.59 \text{ gr.})}{16.59 \text{ gr.}} * 100 = 50.99\%$$

3.1.2 Cambios dimensionales. La expansión y la contracción son los dos parámetros que definen los cambios dimensiones en cualquier clase de madera.

Las variaciones en los cambios dimensionales se analizaron para el eje longitudinal paralelo a las fibras y para el eje radial perpendicular a las fibras.

- **Procedimiento del ensayo para la expansión y la contracción.** Para la determinación de los cambios dimensionales se analizó 40 probetas, a las cuales se les registró diámetro y longitud inicial. Para el ensayo de expansión el material se encontraba en condición seca ($CH \geq CHE$). Posteriormente se sumergió las probetas en agua a temperatura ambiente hasta alcanzar un máximo contenido de humedad (MCH). Este factor se controló cada 4 horas hasta el momento en que el peso saturado de cada una de las probetas fue constante.

Los valores en la variación de diámetro y longitud fueron registrados.

Para el ensayo de contracción se utilizó las anteriores probetas las cuales fueron ingresadas al horno a 105 °C hasta alcanzar un peso seco constante.

Los valores de las dimensiones finales en condición seca al horno (anhidra CH. = 0%) fueron registrados.

- **Cálculo tipo para la expansión.** Los datos obtenidos del ensayo de expansión fueron reemplazados en la siguiente fórmula:

$$E(\%) = \frac{Dv - Ds}{Ds} * 100$$

donde: **E(%)** = Expansión o hinchamiento.

Dv = Dimensión de la madera verde o saturada.

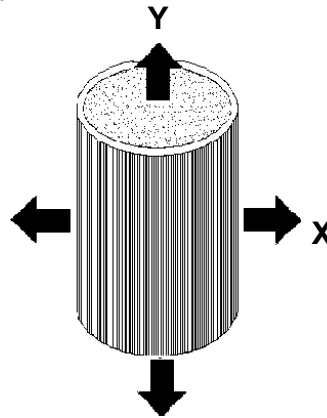
Ds = Dimensión de la madera seca.

Para la probeta E1, el cálculo de la expansión en X y en Y es el siguiente:

$$E1(\%)X = \frac{32.60mm. - 30.40mm.}{30.40mm.} * 100 = 7.24\%$$

$$E1(\%)Y = \frac{59.45mm. - 59.00mm.}{59.00mm.} * 100 = 0.76\%$$

Figura 23. Expansión en la probeta



- **Cálculo tipo para la contracción.** Los datos obtenidos del ensayo de contracción fueron reemplazados en la siguiente fórmula:

$$C(\%) = \frac{Dv - Ds}{Dv} * 100$$

donde: **C(%)** = Contracción.

Dv = Dimensión de la madera verde o saturada.

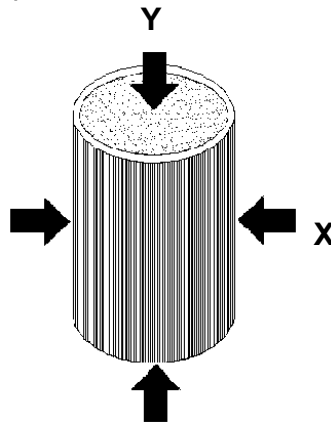
Ds = Dimensión de la madera seca.

Para la probeta C1, el cálculo de la contracción en X y en Y es el siguiente:

$$C1(\%)X = \frac{32.60mm. - 30.85mm.}{32.60mm.} * 100 = 5.37\%$$

$$C1(\%)Y = \frac{59.45mm. - 59.15mm.}{59.45mm.} * 100 = 0.50\%$$

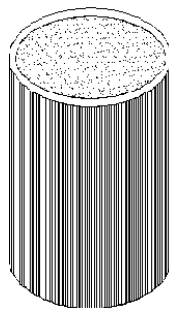
Figura 24. Contracción en la probeta



3.1.3 Densidad y peso específico. Se calculó la densidad seca al aire (DSA) que es la relación que existe entre el peso seco al aire (PSA) y el volumen seco al aire (VSA). No se pudo hallar la densidad básica (DB) porque fue un inconveniente obtener el dato de volumen verde (VV) debido a que no se dispuso de muestras verdes en el momento del ensayo.

- **Procedimiento del ensayo.** Se determinó el peso (PSA) mediante el empleo de una balanza de precisión. La determinación del volumen se realizó por el siguiente método: desplazamiento de fluidos. Este método se basa en el principio de Arquímedes, el cual establece que un cuerpo que flota o se sumerge en un líquido, es empujado hacia arriba con una fuerza igual al peso del líquido desalojado por el objeto. Debido a que esta madera absorbe el agua rápidamente, se pretendió utilizar un líquido no polar (el benceno). Pese a ésta estrategia, no se obtuvo un buen resultado porque el líquido de todas formas penetra en la estructura interna. Se decidió entonces forrar las muestras con un plástico delgado (celofán) para ser sumergidas en agua. Los valores correspondientes al peso del agua desplazada (volumen del cuerpo sumergido) por cada probeta fueron registrados.

Figura 25. Probeta para el cálculo de densidad



- **Cálculo tipo.** Los datos de masa y volumen para cada probeta fueron reemplazados en la siguiente fórmula:

$$D = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

Para la probeta D1, el cálculo de la densidad es el siguiente:

$$D = \frac{24.23\text{gr}}{44.79\text{cm}^3} = 0.541 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

3.1.4 Transmisión y absorción del sonido.

- **Cálculo.** Con el valor del módulo de Elasticidad $E_m \approx 33500 \text{ Kg/cm}^2$ (calculado adelante) y el valor de la densidad promedio $D \approx 0.54 \text{ gr/cm}^3$ se calcula directamente la transmisión y absorción del sonido por medio de la siguiente fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{E}{D}} = \sqrt{\frac{3.35 * 10^8 \text{ Kg} / \text{m}^2}{540 \text{ Kg} / \text{m}^3}} = 787.64 \text{ m} / \text{sg}$$

3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

3.2.1 Compresión. El ensayo a compresión se llevo a cabo para la compresión paralela a las fibras.

- **Procedimiento del ensayo.** Se realizó en la máquina universal TREBEL. Las probetas fueron ajustadas a los requerimientos de la norma Icontec 784 – 785.

Las muestras de madera estaban libres de defectos tales como hongos, perforaciones o picaduras de insectos, grano entrecruzado, nudos, grietas, etc.

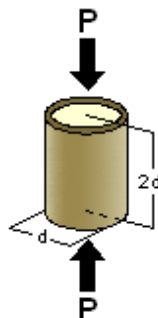
Para el ensayo a compresión las probetas fueron clasificadas así: probetas secas y probetas verdes. Debido a las características anatómicas de la palma de lata, se utilizó probetas con material interno poroso (probetas completas) y sin material interno poroso (probetas huecas) para analizar la diferencia en los resultados.

Cuadro 4. Probetas a compresión paralela

Estado	Probetas completas	Probetas huecas
Secas	20	20
Verdes	20	20

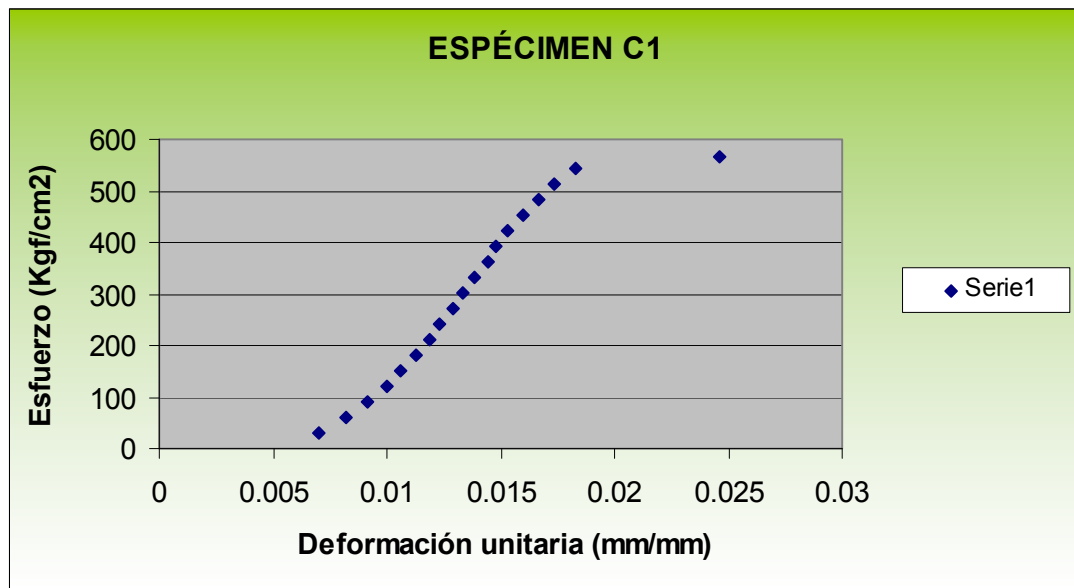
Las dimensiones de las probetas a compresión fueron estandarizadas transversalmente de acuerdo a su diámetro y longitudinalmente a un valor aproximado igual a 2 veces el diámetro de cada probeta (mirar figura 26). Para las probetas huecas se midió el espesor útil para calcular el área efectiva en estas probetas. Después, se sometió cada probeta a una carga de compresión **P** paralela al eje longitudinal del elemento, es decir, la carga axial se aplicó en forma continua sobre la cara de su diámetro.

Figura 26. Compresión paralela



- **Cálculo tipo.** Los valores registrados en el ensayo de compresión paralela fueron los siguientes: deformación y carga. La lectura de deformación se hizo cada 100 Kg. o 200 Kg. de carga hasta alcanzar la falla. A partir de esos datos y usando el área efectiva resistente de la probeta, se elaboró la gráfica Esfuerzo – Deformación unitaria.

Gráfica 1. Compresión paralela en probeta C1 (hueca y seca)



La curva presenta un desajuste entre el origen y el primer registro de datos del ensayo debido a factores técnicos. Se observa que el rango elástico en esta muestra no tiende a estar bien definido. Por tanto, para definir el esfuerzo en el límite proporcional se recurrió a las referencias del manual de diseño para maderas del Grupo Andino donde se observó en laboratorio que para maderas tropicales el esfuerzo en el límite proporcional en compresión paralela es aproximadamente el 75% del esfuerzo máximo.

Carga en el límite proporcional:

$$P_{L.P} = 75\% * C_{Máx}$$

$$P_{L.P} = 0.75 * 1880Kg = 1410Kg$$

Esfuerzo en el límite proporcional:

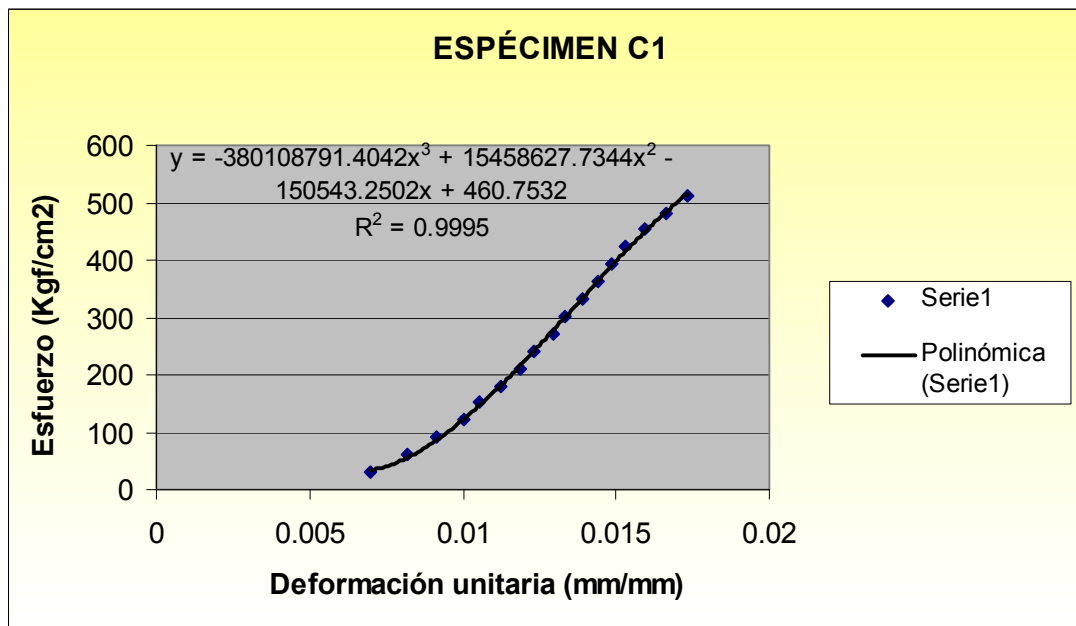
$$\sigma_{L.P} = \frac{P_{L.P}}{A} = \frac{1410\text{kgf}}{3.314\text{cm}^2} = 425.447 \text{ Kgf/cm}^2$$

Resistencia máxima a la rotura:

$$\sigma_{Máx.} = \frac{P_{Máx.}}{A} = \frac{1880\text{Kg}f}{3.314\text{cm}^2} = 567.262 \text{ Kg}f/\text{cm}^2$$

El valor de la deformación en el límite proporcional ($d_{L.P}$) fue calculado a partir de la gráfica 1 teniendo en cuenta un intervalo de datos donde se pudo realizar un ajuste a la gráfica e incluyendo el valor del esfuerzo en el límite proporcional.

Gráfica 2. Ajuste polinomial de la curva esfuerzo vs. deformación unitaria



El ajuste polinomial se logró utilizando Microsoft Excel con una aproximación a 4 posiciones decimales para la ecuación polinómica. Igualando la anterior ecuación al valor del esfuerzo en el límite proporcional y utilizándose el software QuickMath para el despeje de la incógnita X, se obtuvo:

$$X_1 = 0.0002$$

$$X_2 = 0.0154$$

$$X_3 = 0.0249$$

De los tres valores anteriores, el valor de deformación unitaria correspondiente al esfuerzo en el límite proporcional es $X_2 = 0.0154$ mm/mm.

Deformación en el límite proporcional ($d_{L.P}$):

$$d_{L.P} = X * L_i = 0.0154 * 5.915cm = 0.0911cm$$

Módulo de elasticidad:

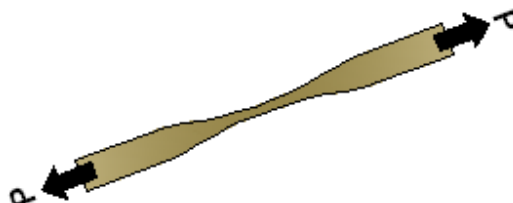
$$E_m = \frac{P_{L.P} * L_i}{A * d_{L.P}} = \frac{1410 \text{ Kg} / \text{cm}^2 * 5.915cm}{3.314cm^2 * 0.0911cm} = 27626.436 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

3.2.2 Tracción. El ensayo a tracción se llevo a cabo para la tensión paralela a las fibras.

- **Procedimiento del ensayo.** El ensayo se realizó en la máquina INSTRON. Las probetas que fueron empleadas en el ensayo tienen la forma indicada en la figura 27 basados en la norma lcontec 944. Éstas fueron elaboradas con el material de la parte maderable útil, es decir, se escogió la parte exterior o corteza del tallo; presentándose una variación respecto a los estándares de la norma. Se utilizó un total de 40 probetas secas.

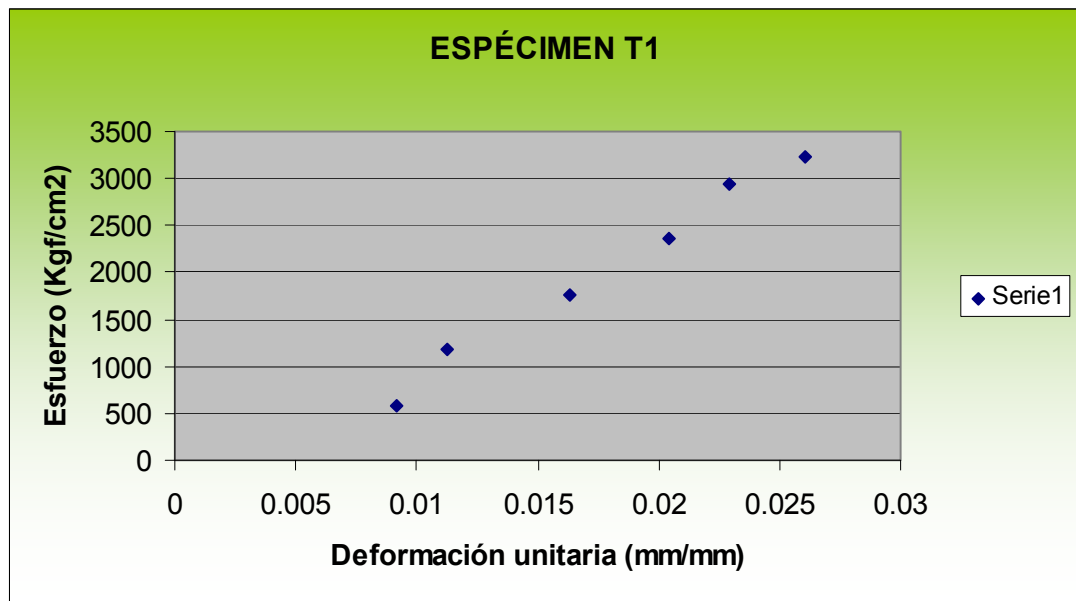
Se sometió cada probeta a una carga axial de tensión **P** paralela al eje longitudinal, en forma continua y a una velocidad de 1.00 ± 0.25 mm/minuto.

Figura 27. Tracción paralela



- **Cálculo tipo.** Los valores registrados en el ensayo de tracción paralela fueron los siguientes: deformación y carga. La lectura de deformación se hizo cada 50 Kg. de carga hasta alcanzar la falla. A partir de esos datos y teniendo en cuenta el área transversal de la sección efectiva, se elaboró la gráfica Esfuerzo – Deformación unitaria.

Gráfica 3. Tracción paralela en probeta T1 (seca)



Al principio de la gráfica se presenta un desajuste debido a factores técnicos. Para la probeta T1 se observa que la porción elástica de la curva Esfuerzo – Deformación unitaria no está bien demarcada y se dificulta la definición exacta del límite de proporcionalidad; sin embargo, la curva tiende hacia un comportamiento lineal y elástico típico de las maderas latifoliadas (duras). Se observa también que la falla o rotura se produjo en forma súbita. Para impedir que el material pueda exceder su límite elástico a tracción se limitó el esfuerzo en el límite proporcional al 75% del esfuerzo de rotura.

Carga en el límite proporcional:

$$P_{L.P} = 75\% * C_{Máx}$$

$$P_{L.P} = 0.75 * 275 \text{Kg} = 206.25 \text{Kg}$$

Esfuerzo en el límite proporcional:

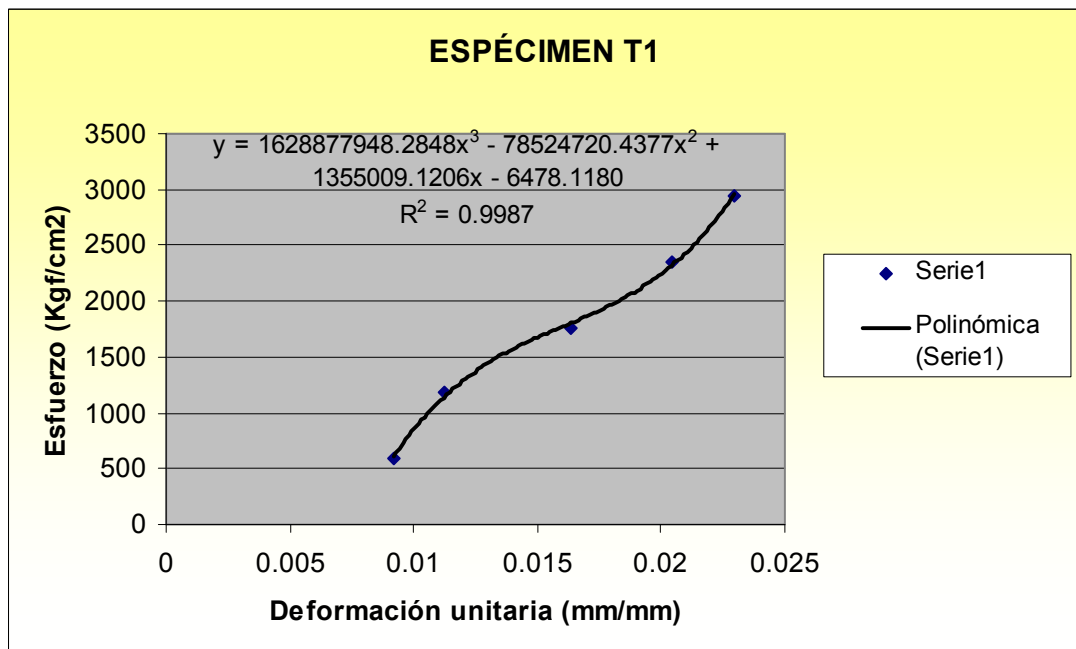
$$\sigma_{L.P} = \frac{P_{L.P}}{A} = \frac{206.25\text{kgf}}{0.085\text{cm}^2} = 2424.531 \text{Kgf/cm}^2$$

Esfuerzo máximo:

$$\sigma_{Máx.} = \frac{P_{Máx.}}{A} = \frac{275\text{Kgf}}{0.085\text{cm}^2} = 3232.708 \text{Kgf/cm}^2$$

El valor de la deformación en el límite proporcional ($d_{L.P}$) fue calculado a partir de la gráfica 3 teniendo en cuenta un intervalo de datos donde se pudo realizar un ajuste a la gráfica e incluyendo el valor del esfuerzo en el límite proporcional.

Gráfica 4. Ajuste polinomial de la curva esfuerzo vs. deformación unitaria



El ajuste polinomial se logró utilizando Microsoft Excel con una aproximación a 4 posiciones decimales para la ecuación polinómica. Igualando la anterior ecuación al valor del esfuerzo en el límite proporcional y utilizándose el software QuickMath para el despeje de la incógnita X, se obtuvo:

$X_1 = \text{imaginaria}$
 $X_2 = \text{imaginaria}$
 $X_3 = 0.0210$

De los tres valores anteriores, el valor de deformación unitaria correspondiente al esfuerzo en el límite proporcional es $X_3 = 0.0210 \text{ mm/mm}$.

Deformación en el límite proporcional ($d_{L.P}$):

$$d_{L.P} = X * L_{\text{útil}} = 0.0210 * 9.80 \text{ cm} = 0.2054 \text{ cm}$$

Módulo de elasticidad:

$$E_m = \frac{P_{L.P} * L_{\text{útil}}}{A * d_{L.P}} = \frac{206.25 \text{ Kg} / \text{cm}^2 * 9.80 \text{ cm}}{0.085 \text{ cm}^2 * 0.2054 \text{ cm}} = 115668.668 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

3.2.3 Flexión.

- Procedimiento del ensayo.** El ensayo fue realizado en la máquina universal AMSLER. Las probetas fueron ajustadas a los requerimientos de la norma Icontec 663 – 918. Para el ensayo se utilizó probetas de sección transversal completa y fueron clasificadas así: 40 probetas secas y 40 probetas verdes, para dos condiciones distintas del material: elementos sin nodo intermedio y elementos con nodo intermedio.

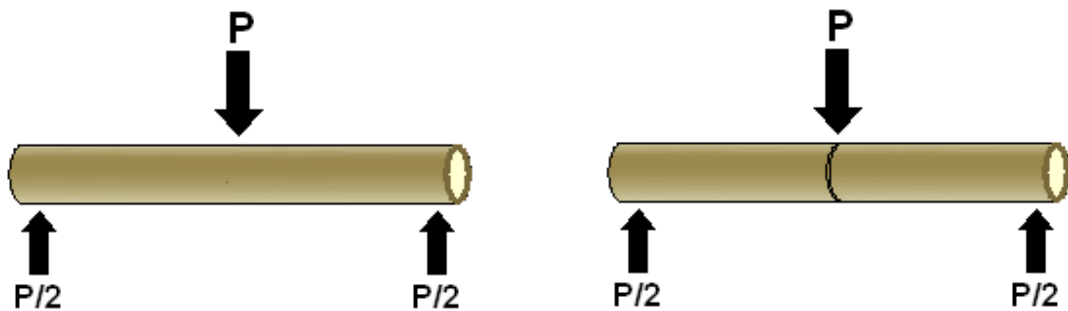
Cuadro 5. Probetas a flexión

Estado	Probetas sin nodo	Probetas con nodo
Secas	20	20
Verdes	20	20

En el ensayo de flexión se midió la resistencia que ofreció el elemento de madera cuando fue sometido a una carga estática concentrada creciente **P** aplicada en el centro de luz, siendo la distancia entre soportes de 24 cm. para las probetas con nodo intermedio y de 15 cm. para las probetas sin nodo intermedio. El elemento también soportó las cargas concentradas de reacción

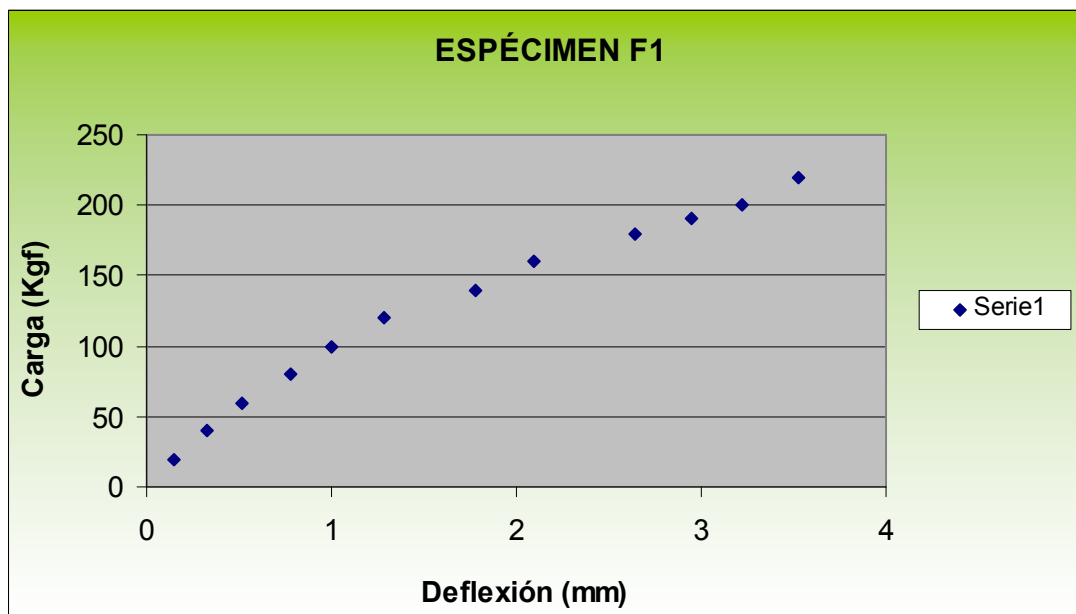
en los extremos (apoyos o soportes) como respuesta a la acción de P. Los soportes presentan forma de rodillo para idealizar la situación simplemente apoyada y reducir los esfuerzos por orce. La carga transversal se leyó por medio de la aguja indicadora del dial. La flexión se midió por medio del extensómetro encargado de indicar el desplazamiento de los apoyos en dirección vertical.

Figura 28. Flexión sin nodo intermedio y con nodo intermedio



- **Cálculo tipo.** Los valores registrados en el ensayo de flexión fueron los siguientes: deformación y carga. A partir de esos datos se elaboró los gráficos Carga – Deflexión.

Gráfica 5. Flexión en probeta F1 (seca y sin nodo intermedio)



Para la probeta F1 se observa que la porción elástica de la curva Carga – Deflexión tiende hacia un comportamiento lineal y elástico típico de las maderas latifoliadas (duras). Se observa también que la rotura ocurrió dúctilmente. Se puede apreciar que la carga en el límite proporcional es aproximadamente el 60% de la carga máxima.

Carga en el límite proporcional:

$$C_{L.P} = 60\% * C_{Máx}$$

$$C_{L.P} = 0.60 * 220Kgf = 132.00Kgf$$

Esfuerzo en el límite proporcional:

$$\sigma_{L.P} = \frac{M * C}{I}$$

$$C = \left(\frac{h}{2}\right) = R$$

$$\sigma_{L.P} = \frac{\left[\frac{(P_{L.P} * L)}{4}\right] * R}{\left[\frac{(\pi * R^4)}{4}\right]}$$

$$\sigma_{L.P} = \frac{(P_{L.P} * L)}{(\pi * R^3)}$$

$$\sigma_{L.P} = \frac{(132.00Kgf * 15cm)}{[\pi * (1.5cm)^3]} = 186.741 \text{ Kfg/cm}^2$$

Módulo de rotura:

$$MOR = \frac{M * C}{I}$$

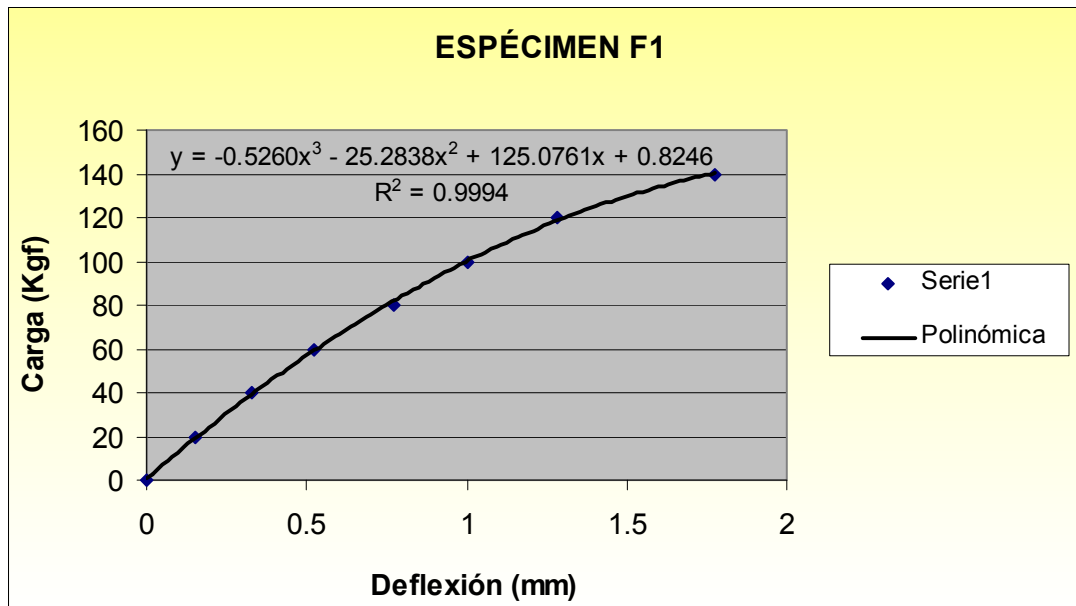
$$MOR = \frac{(P_{Máx.} * L)}{(\pi * R^3)}$$

$$MOR = \frac{(220.00 \text{ Kgf} * 15 \text{ cm})}{[\pi * (1.5 \text{ cm})^3]} = 311.235 \text{ Kfg/cm}^2$$

La posición del eje neutro C y la inercia I han sido calculadas para una sección maciza circular de radio R.

El valor de la deflexión en el límite proporcional fue calculado a partir de la gráfica 5 teniendo en cuenta un intervalo de datos donde se pudo realizar un ajuste a la gráfica e incluyendo el valor de la carga en el límite proporcional.

Gráfica 6. Ajuste polinomial de la curva carga vs. deflexión



El ajuste polinomial se logró utilizando Microsoft Excel con una aproximación a 4 posiciones decimales para la ecuación polinómica. Igualando la anterior ecuación al valor de la carga en el límite proporcional y utilizándose el software QuickMath para el despeje de la incógnita X, se obtuvo:

$$X_1 = -52.6724$$

$$X_2 = 1.5502$$

$$X_3 = 3.0541$$

De los tres valores anteriores, el valor de la deflexión correspondiente a la carga en el límite proporcional es $X_2 = 1.5502 \text{ mm} = 0.1550 \text{ cm}$.

Módulo de elasticidad (E_m):

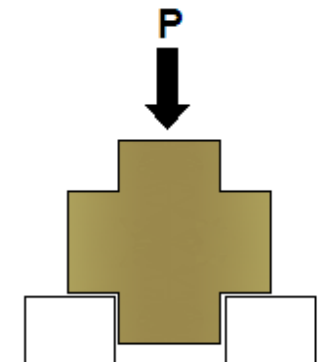
$$E_m = \frac{P_{L.P} * L^3}{48 * I * Y}$$

$$E_m = \frac{(132 \text{ Kgf}) * (15 \text{ cm})^3}{48 * \left[\frac{\pi * (1.5 \text{ cm})^4}{4} \right] * (0.1550 \text{ cm})} = 15057.358 \text{ kgf/cm}^2$$

3.2.4 Cizallamiento.

- **Procedimiento del ensayo.** En el ensayo de cizallamiento se trata de determinar la capacidad de la madera para resistir fuerzas que tienden a producir deslizamientos de un plano interno de la madera sobre el plano adyacente. El ensayo fue realizado en la máquina universal TREBEL. La geometría, la disposición y la forma de aplicar la carga sobre la probeta se indican en la figura 29. Se utilizó un total de 20 probetas secas.

Figura 29. Cizallamiento



- **Cálculo tipo.** El valor obtenido en el ensayo de cizallamiento fue la carga máxima. Teniendo en cuenta el área del plano donde se produjo el deslizamiento, se calculó el esfuerzo de cizallamiento.

El área del plano 1 de cizallamiento para la probeta CZ1 es:

$$A_c = A * L$$

$$A_c = 2.740cm * 2.745cm = 7.521cm^2$$

El valor del esfuerzo de cizallamiento para la probeta CZ1 es:

$$\sigma_c = \frac{P_{Máx.}}{A_c}$$

$$\sigma_c = \frac{380gf}{7.521cm^2} = 50.523 Kgf/cm^2$$

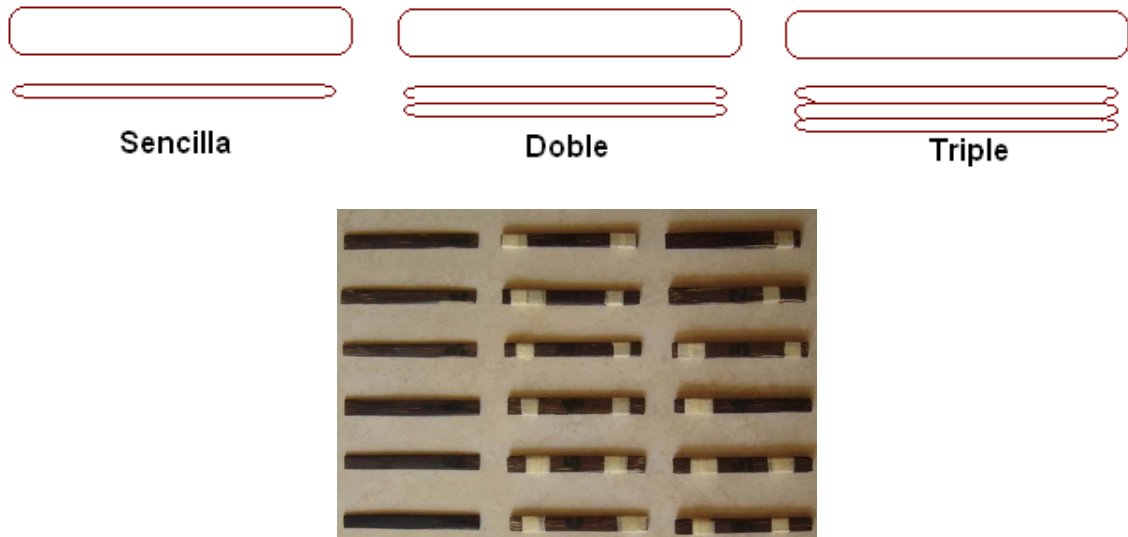
3.2.5 Dureza. Se calculó por medio del ensayo de **dureza Brinell**.

- **Procedimiento del ensayo.** El ensayo se efectuó en la máquina HAUSER. La metodología del ensayo para hallar la dureza se basa en la aplicación lenta de una carga constante a una esfera metálica que se abre paso sobre la superficie lisa de la madera. Una vez retirada la carga, se midió el área de la penetración, la cual se relacionó con la carga impuesta, para así obtener la resistencia a la penetración.

También, para la efectividad del ensayo surgió la necesidad de acondicionar las probetas para distintas disposiciones: disposición sencilla, disposición doble y disposición triple, como se muestra en la figura 30. Se empleó 20 muestras secas con un CH \geq CHE para cada disposición.

Además, las probetas con capa doble y triple fueron fabricadas con láminas sencillas y adheridas con pegante, con el fin de observar la influencia de éste ante la acción de una fuerza de penetración.

Figura 30. Disposición de las probetas utilizadas en el ensayo de dureza



- **Cálculo tipo.** El parámetro obtenido en la prueba de dureza fue el esfuerzo de penetración (Kgf/mm^2), el cual se obtuvo por lectura directa en la máquina HAUSER.

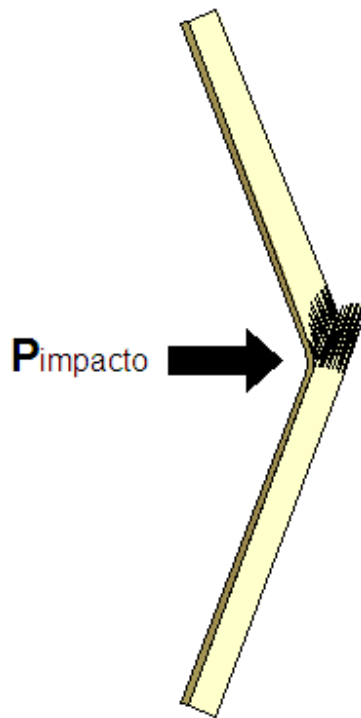
El valor de la dureza para la probeta sencilla D1 se calculó como un promedio de dos esfuerzos de penetración:

$$\sigma_D = \frac{55 \text{ Kgf}/\text{mm}^2 + 60 \text{ Kgf}/\text{mm}^2}{2} = 57.50 \text{ Kgf}/\text{mm}^2$$

3.2.6 Tenacidad (Impacto).

- **Procedimiento del ensayo.** El ensayo fue realizado por medio del péndulo de impacto TREBEL. Para efectuar el ensayo se utilizó 40 muestras en total; 20 muestras secas y 20 muestras verdes. Se colocó cada una de las probetas, luego se liberó el péndulo que impactó directamente sobre el centro de los elementos y se registró la lectura de E_e . Previamente, el péndulo fue liberado independientemente con el fin de registrar la energía de frotamiento. Los parámetros obtenidos en la prueba fueron los siguientes: energía de frotamiento y energía de ensayo.

Figura 31. Impacto



Las probetas fueron seccionadas debido a los inconvenientes para ensayar las probetas enteras, ya que éstas absorbían mayor energía que la suministrada por el péndulo de impacto TREBEL.

- **Cálculo tipo.** Para la probeta I1 se realizaron los siguientes cálculos:

Energía de frotamiento: 0.08 Kgf*m

Energía de ensayo: 0.60 Kgf*m

$$E_i = E_e - E_f$$

Energía de impacto para I1:

$$E_{I1} = 0.60 \text{Kgf} * m - 0.08 \text{Kgf} * m = 0.52 \text{Kgf} * m$$

$$A_i = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi * \left(\frac{2.31 \text{cm}}{2}\right)^2 = 4.190 \text{cm}^2$$

Área resistente al impacto:

$$\frac{A_i}{4} = \frac{4.190 \text{ cm}^2}{4} = 1.047 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_i = \frac{E_i}{\left(\frac{A_i}{4} \right)}$$

Esfuerzo de impacto para I1: $\sigma_{I1} = \frac{0.52 \text{ Kgf} * \text{ m}}{1.047 \text{ cm}^2} = 0.496 \text{ Kgf} * \text{ m} / \text{ cm}^2$

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Un análisis estadístico requiere escoger los métodos estadísticos convenientes.

La primera consideración fue escoger entre usar una prueba paramétrica o no paramétrica en el análisis estadístico. Las pruebas de hipótesis que asumen que los datos tienen una distribución particular (generalmente normal) se llaman **pruebas paramétricas**. Esto es porque la información contenida en los datos se resume por parámetros, normalmente la media y la desviación estándar, y las pruebas estadísticas son calculados usando estos parámetros.

La **pruebas paramétricas** asumen que los datos siguen por lo general una distribución dada, normal o Gaussiana. Antes de usar una prueba paramétrica para evaluar el estado fijo de los datos, una **prueba de normalidad** debe llevarse a cabo para asegurarse que los datos siguen una distribución normal. La prueba para la normalidad es realizada encajando el conjunto de datos a una distribución normal para verificar si éstos están de hecho distribuidos normalmente.

La prueba de normalidad para cada conjunto de datos que involucro cada ensayo en su respectiva muestra se presenta a continuación. La Distribución Normal Ajustada se ha designado con la abreviatura = DNA.

Cuadro 6. DNA para el CH en estado verde

CONTENIDO DE HUMEDAD %	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
37.60	1	0.031	-1.868	43.34	2.455	46.62	40.06
47.74	2	0.080	-1.403	45.27	1.762	48.05	42.49
47.95	3	0.130	-1.128	46.42	1.445	48.93	43.90
48.85	4	0.179	-0.919	47.29	1.250	49.63	44.95
49.67	5	0.228	-0.744	48.01	1.117	50.23	45.80
50.25	6	0.278	-0.589	48.66	1.024	50.77	46.54
50.41	7	0.327	-0.448	49.25	0.957	51.29	47.20
50.75	8	0.377	-0.315	49.80	0.910	51.80	47.80
50.99	9	0.426	-0.187	50.33	0.881	52.30	48.37
51.22	10	0.475	-0.062	50.85	0.867	52.80	48.90
51.59	11	0.525	0.062	51.37	0.867	53.32	49.42
51.82	12	0.574	0.187	51.89	0.881	53.85	49.92
51.95	13	0.623	0.315	52.42	0.910	54.42	50.42
52.05	14	0.673	0.448	52.97	0.957	55.02	50.93

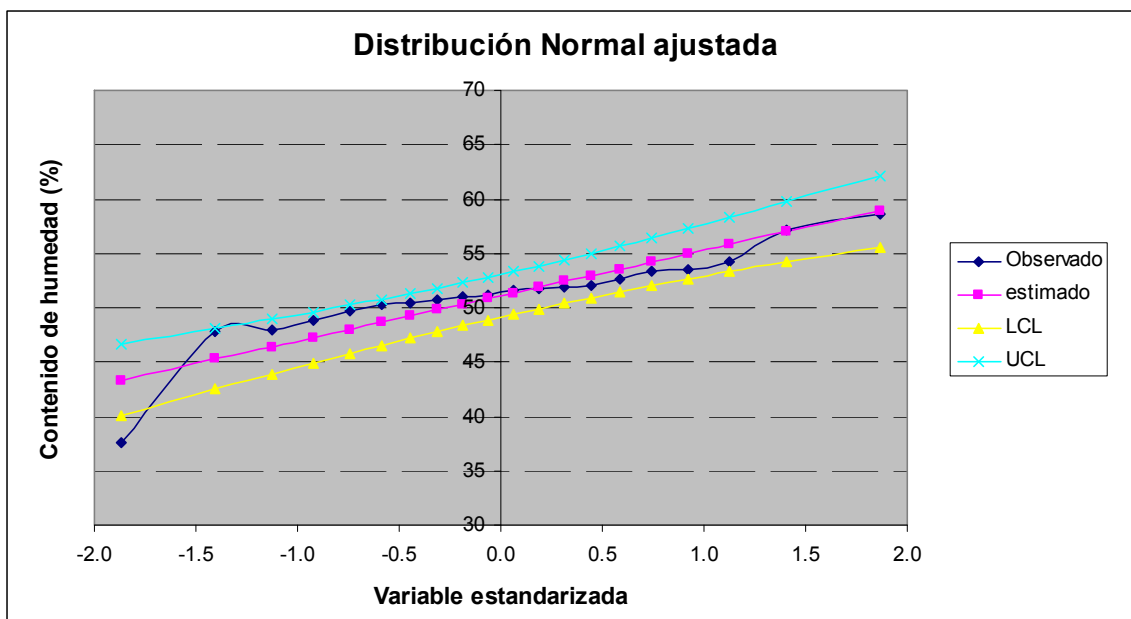
52.68	15	0.722	0.589	53.56	1.024	55.68	51.44
53.33	16	0.772	0.744	54.21	1.117	56.42	51.99
53.44	17	0.821	0.919	54.93	1.250	57.27	52.59
54.25	18	0.870	1.128	55.80	1.445	58.32	53.29
57.09	19	0.920	1.403	56.95	1.762	59.73	54.17
58.57	20	0.969	1.868	58.88	2.455	62.16	55.60

Alfa	0.375
------	-------

n	20
---	----

t de student	2.09
--------------	------

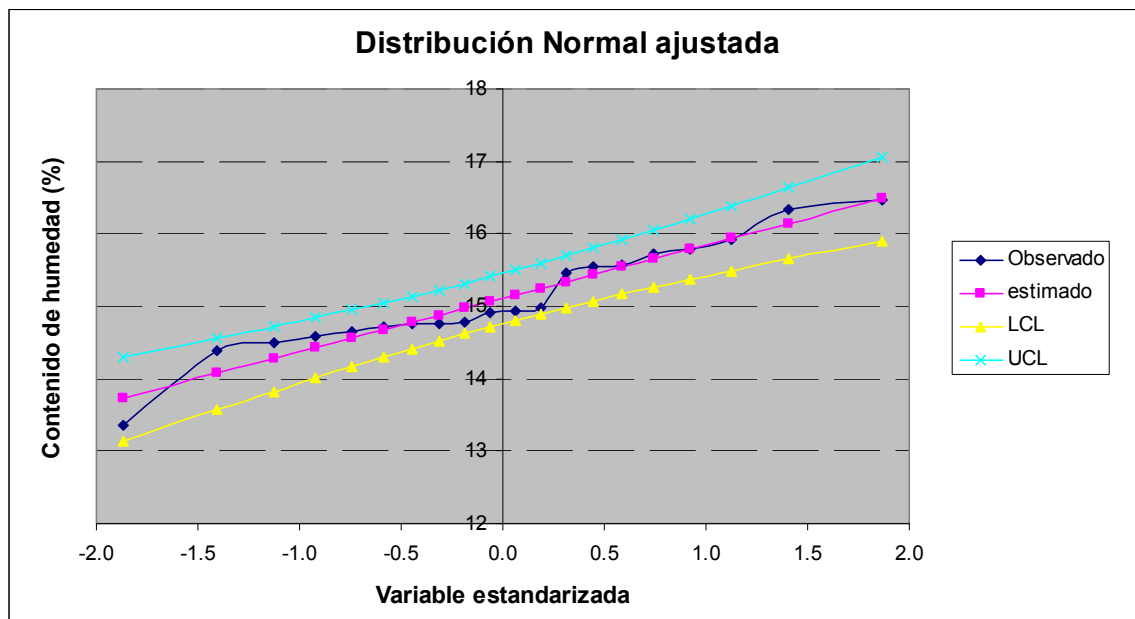
Gráfica 7. DNA para el CH en estado verde



Cuadro 7. DNA para el CH en etapa de secado al aire

CONTENIDO DE HUMEDAD %	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
13.36	1	0.031	-1.868	13.73	0.077	14.31	13.15
14.40	2	0.080	-1.403	14.07	0.055	14.56	13.58
14.51	3	0.130	-1.128	14.27	0.045	14.72	13.83
14.59	4	0.179	-0.919	14.43	0.039	14.84	14.01
14.65	5	0.228	-0.744	14.56	0.035	14.95	14.17
14.71	6	0.278	-0.589	14.67	0.032	15.05	14.30
14.76	7	0.327	-0.448	14.78	0.030	15.14	14.41
14.77	8	0.377	-0.315	14.87	0.029	15.23	14.52
14.78	9	0.426	-0.187	14.97	0.028	15.32	14.62
14.91	10	0.475	-0.062	15.06	0.027	15.41	14.72
14.94	11	0.525	0.062	15.15	0.027	15.50	14.81
14.98	12	0.574	0.187	15.24	0.028	15.59	14.90
15.45	13	0.623	0.315	15.34	0.029	15.69	14.98
15.54	14	0.673	0.448	15.44	0.030	15.80	15.07
15.57	15	0.722	0.589	15.54	0.032	15.92	15.17
15.73	16	0.772	0.744	15.66	0.035	16.05	15.26
15.78	17	0.821	0.919	15.78	0.039	16.20	15.37
15.92	18	0.870	1.128	15.94	0.045	16.38	15.49
16.33	19	0.920	1.403	16.14	0.055	16.63	15.65
16.46	20	0.969	1.868	16.48	0.077	17.07	15.90

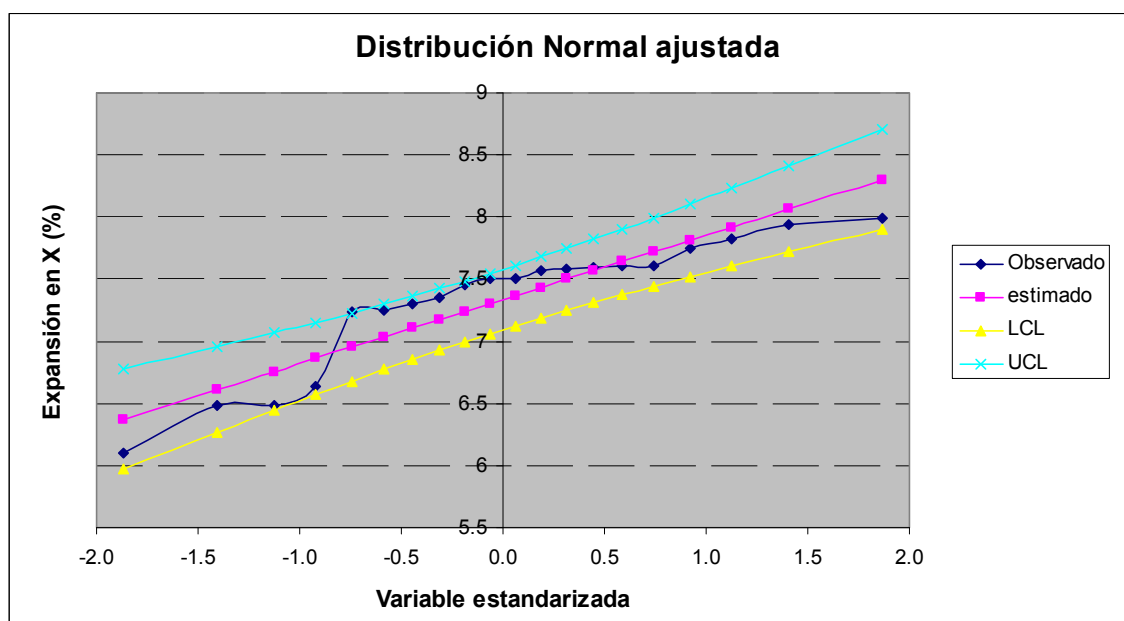
Gráfica 8. DNA para el CH en etapa de secado al aire



Cuadro 8. DNA para la expansión en el eje radial

EXPANSIÓN EN X %	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
6.11	1	0.031	-1.868	6.37	0.04	6.78	5.97
6.48	2	0.080	-1.403	6.61	0.03	6.96	6.27
6.49	3	0.130	-1.128	6.76	0.02	7.07	6.44
6.63	4	0.179	-0.919	6.86	0.02	7.15	6.57
7.24	5	0.228	-0.744	6.95	0.02	7.23	6.68
7.25	6	0.278	-0.589	7.03	0.02	7.30	6.77
7.30	7	0.327	-0.448	7.11	0.01	7.36	6.85
7.35	8	0.377	-0.315	7.18	0.01	7.42	6.93
7.46	9	0.426	-0.187	7.24	0.01	7.49	7.00
7.50	10	0.475	-0.062	7.31	0.01	7.55	7.06
7.51	11	0.525	0.062	7.37	0.01	7.61	7.13
7.57	12	0.574	0.187	7.43	0.01	7.68	7.19
7.58	13	0.623	0.315	7.50	0.01	7.75	7.25
7.59	14	0.673	0.448	7.57	0.01	7.82	7.32
7.60	15	0.722	0.589	7.64	0.02	7.91	7.38
7.61	16	0.772	0.744	7.72	0.02	8.00	7.45
7.75	17	0.821	0.919	7.81	0.02	8.10	7.52
7.82	18	0.870	1.128	7.92	0.02	8.23	7.61
7.93	19	0.920	1.403	8.06	0.03	8.41	7.72
7.99	20	0.969	1.868	8.30	0.04	8.71	7.90

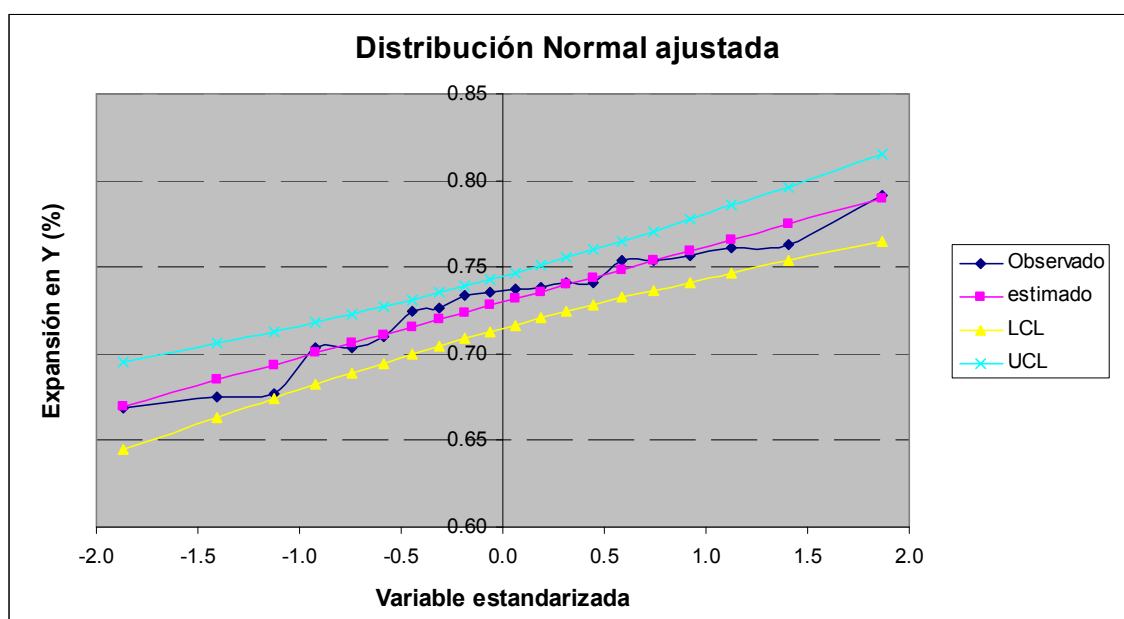
Gráfica 9. DNA para la expansión en el eje radial



Cuadro 9. DNA para la expansión en el eje longitudinal

EXPANSIÓN EN Y %	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
0.67	1	0.031	-1.868	0.67	0.000146	0.70	0.64
0.68	2	0.080	-1.403	0.68	0.000105	0.71	0.66
0.68	3	0.130	-1.128	0.69	0.000086	0.71	0.67
0.70	4	0.179	-0.919	0.70	0.000074	0.72	0.68
0.70	5	0.228	-0.744	0.71	0.000067	0.72	0.69
0.71	6	0.278	-0.589	0.71	0.000061	0.73	0.69
0.72	7	0.327	-0.448	0.72	0.000057	0.73	0.70
0.73	8	0.377	-0.315	0.72	0.000054	0.74	0.70
0.73	9	0.426	-0.187	0.72	0.000053	0.74	0.71
0.74	10	0.475	-0.062	0.73	0.000052	0.74	0.71
0.74	11	0.525	0.062	0.73	0.000052	0.75	0.72
0.74	12	0.574	0.187	0.74	0.000053	0.75	0.72
0.74	13	0.623	0.315	0.74	0.000054	0.76	0.72
0.74	14	0.673	0.448	0.74	0.000057	0.76	0.73
0.75	15	0.722	0.589	0.75	0.000061	0.77	0.73
0.75	16	0.772	0.744	0.75	0.000067	0.77	0.74
0.76	17	0.821	0.919	0.76	0.000074	0.78	0.74
0.76	18	0.870	1.128	0.77	0.000086	0.79	0.75
0.76	19	0.920	1.403	0.77	0.000105	0.80	0.75
0.79	20	0.969	1.868	0.79	0.000146	0.82	0.76

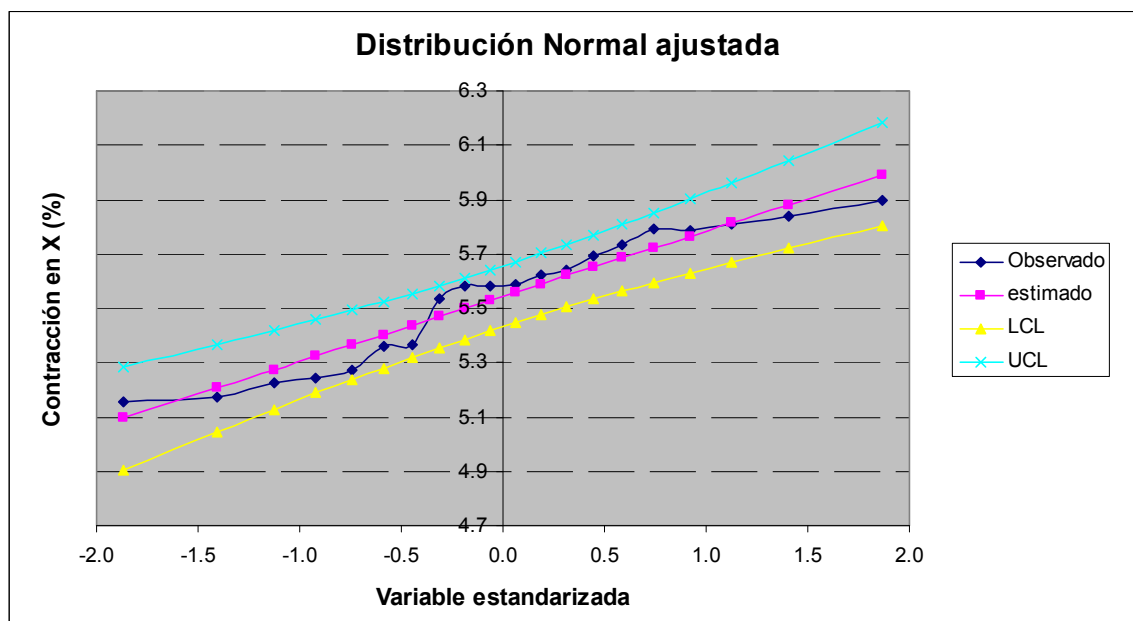
Gráfica 10. DNA para la expansión en el eje longitudinal



Cuadro 10. DNA para la contracción en el eje radial

CONTRACCIÓN EN X %	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
5.16	1	0.031	-1.868	5.10	0.01	5.28	4.91
5.18	2	0.080	-1.403	5.21	0.01	5.37	5.05
5.22	3	0.130	-1.128	5.27	0.00	5.42	5.13
5.24	4	0.179	-0.919	5.32	0.00	5.46	5.19
5.27	5	0.228	-0.744	5.37	0.00	5.49	5.24
5.36	6	0.278	-0.589	5.40	0.00	5.52	5.28
5.37	7	0.327	-0.448	5.44	0.00	5.55	5.32
5.54	8	0.377	-0.315	5.47	0.00	5.58	5.35
5.58	9	0.426	-0.187	5.50	0.00	5.61	5.39
5.58	10	0.475	-0.062	5.53	0.00	5.64	5.42
5.59	11	0.525	0.062	5.56	0.00	5.67	5.45
5.62	12	0.574	0.187	5.59	0.00	5.70	5.48
5.64	13	0.623	0.315	5.62	0.00	5.74	5.50
5.69	14	0.673	0.448	5.65	0.00	5.77	5.53
5.73	15	0.722	0.589	5.69	0.00	5.81	5.56
5.79	16	0.772	0.744	5.72	0.00	5.85	5.60
5.79	17	0.821	0.919	5.77	0.00	5.90	5.63
5.81	18	0.870	1.128	5.82	0.00	5.96	5.67
5.84	19	0.920	1.403	5.88	0.01	6.04	5.72
5.89	20	0.969	1.868	5.99	0.01	6.18	5.80

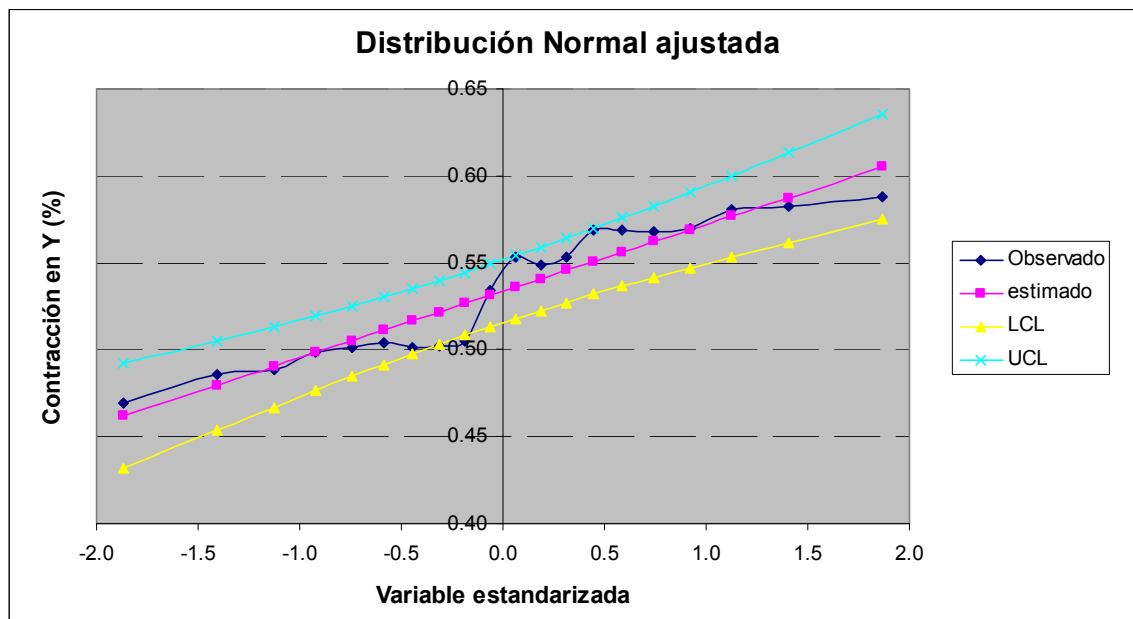
Gráfica 11. DNA para la contracción en el eje radial



Cuadro 11. DNA para la contracción en el eje longitudinal

CONTRACCIÓN EN Y %	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
0.47	1	0.031	-1.868	0.46	0.000209	0.49	0.43
0.49	2	0.080	-1.403	0.48	0.000150	0.51	0.45
0.49	3	0.130	-1.128	0.49	0.000123	0.51	0.47
0.50	4	0.179	-0.919	0.50	0.000106	0.52	0.48
0.50	5	0.228	-0.744	0.51	0.000095	0.53	0.48
0.50	6	0.278	-0.589	0.51	0.000087	0.53	0.49
0.50	7	0.327	-0.448	0.52	0.000081	0.54	0.50
0.50	8	0.377	-0.315	0.52	0.000078	0.54	0.50
0.50	9	0.426	-0.187	0.53	0.000075	0.54	0.51
0.53	10	0.475	-0.062	0.53	0.000074	0.55	0.51
0.55	11	0.525	0.062	0.54	0.000074	0.55	0.52
0.55	12	0.574	0.187	0.54	0.000075	0.56	0.52
0.55	13	0.623	0.315	0.55	0.000078	0.56	0.53
0.57	14	0.673	0.448	0.55	0.000081	0.57	0.53
0.57	15	0.722	0.589	0.56	0.000087	0.58	0.54
0.57	16	0.772	0.744	0.56	0.000095	0.58	0.54
0.57	17	0.821	0.919	0.57	0.000106	0.59	0.55
0.58	18	0.870	1.128	0.58	0.000123	0.60	0.55
0.58	19	0.920	1.403	0.59	0.000150	0.61	0.56
0.59	20	0.969	1.868	0.61	0.000209	0.64	0.58

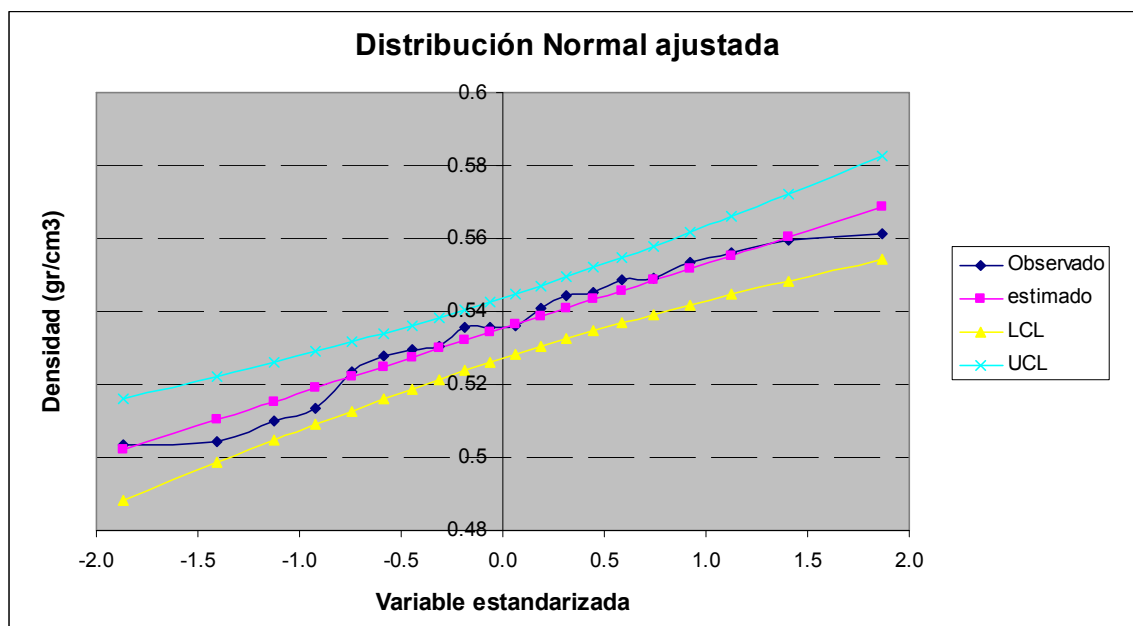
Gráfica 12. DNA para la contracción en el eje longitudinal



Cuadro 12. DNA para la densidad y peso específico

DENSIDAD gr/cm ³	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
0.503	1	0.031	-1.868	0.502	0.0000446	0.516	0.488
0.504	2	0.080	-1.403	0.511	0.0000320	0.522	0.499
0.510	3	0.130	-1.128	0.515	0.0000262	0.526	0.505
0.513	4	0.179	-0.919	0.519	0.0000227	0.529	0.509
0.524	5	0.228	-0.744	0.522	0.0000203	0.532	0.513
0.528	6	0.278	-0.589	0.525	0.0000186	0.534	0.516
0.530	7	0.327	-0.448	0.527	0.0000174	0.536	0.519
0.531	8	0.377	-0.315	0.530	0.0000165	0.538	0.521
0.535	9	0.426	-0.187	0.532	0.0000160	0.540	0.524
0.536	10	0.475	-0.062	0.534	0.0000157	0.543	0.526
0.536	11	0.525	0.062	0.537	0.0000157	0.545	0.528
0.541	12	0.574	0.187	0.539	0.0000160	0.547	0.530
0.544	13	0.623	0.315	0.541	0.0000165	0.550	0.532
0.545	14	0.673	0.448	0.543	0.0000174	0.552	0.535
0.549	15	0.722	0.589	0.546	0.0000186	0.555	0.537
0.549	16	0.772	0.744	0.549	0.0000203	0.558	0.539
0.553	17	0.821	0.919	0.552	0.0000227	0.562	0.542
0.556	18	0.870	1.128	0.555	0.0000262	0.566	0.545
0.559	19	0.920	1.403	0.560	0.0000320	0.572	0.548
0.561	20	0.969	1.868	0.569	0.0000446	0.583	0.555

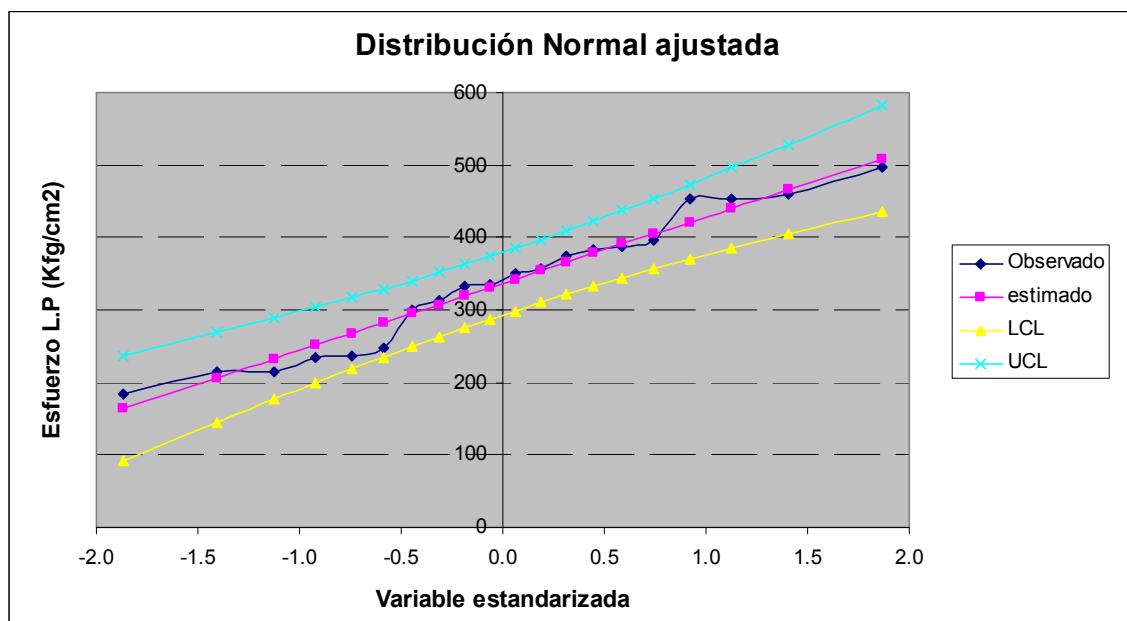
Gráfica 13. DNA para la densidad y peso específico



Cuadro 13. DNA para el ELP a compresión en probetas completas – secas

ESFUERZO L.P Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
184.614	1	0.031	-1.868	163.802	1210.905	236.636	90.969
214.642	2	0.080	-1.403	206.749	869.276	268.459	145.040
214.851	3	0.130	-1.128	232.182	712.730	288.060	176.305
234.331	4	0.179	-0.919	251.493	616.605	303.466	199.520
235.752	5	0.228	-0.744	267.661	551.220	316.801	218.521
246.891	6	0.278	-0.589	281.953	504.878	328.982	234.924
300.863	7	0.327	-0.448	295.044	471.864	340.510	249.579
313.931	8	0.377	-0.315	307.351	449.054	351.704	262.998
333.009	9	0.426	-0.187	319.160	434.659	362.796	275.524
334.674	10	0.475	-0.062	330.693	427.685	373.978	287.408
350.109	11	0.525	0.062	342.137	427.685	385.422	298.852
356.500	12	0.574	0.187	353.670	434.659	397.306	310.034
374.178	13	0.623	0.315	365.479	449.054	409.832	321.126
383.818	14	0.673	0.448	377.786	471.864	423.251	332.320
388.605	15	0.722	0.589	390.877	504.878	437.906	343.847
397.133	16	0.772	0.744	405.169	551.220	454.309	356.028
453.275	17	0.821	0.919	421.337	616.605	473.310	369.364
454.250	18	0.870	1.128	440.648	712.730	496.525	384.770
460.640	19	0.920	1.403	466.080	869.276	527.790	404.371
496.235	20	0.969	1.868	509.027	1210.905	581.861	436.194

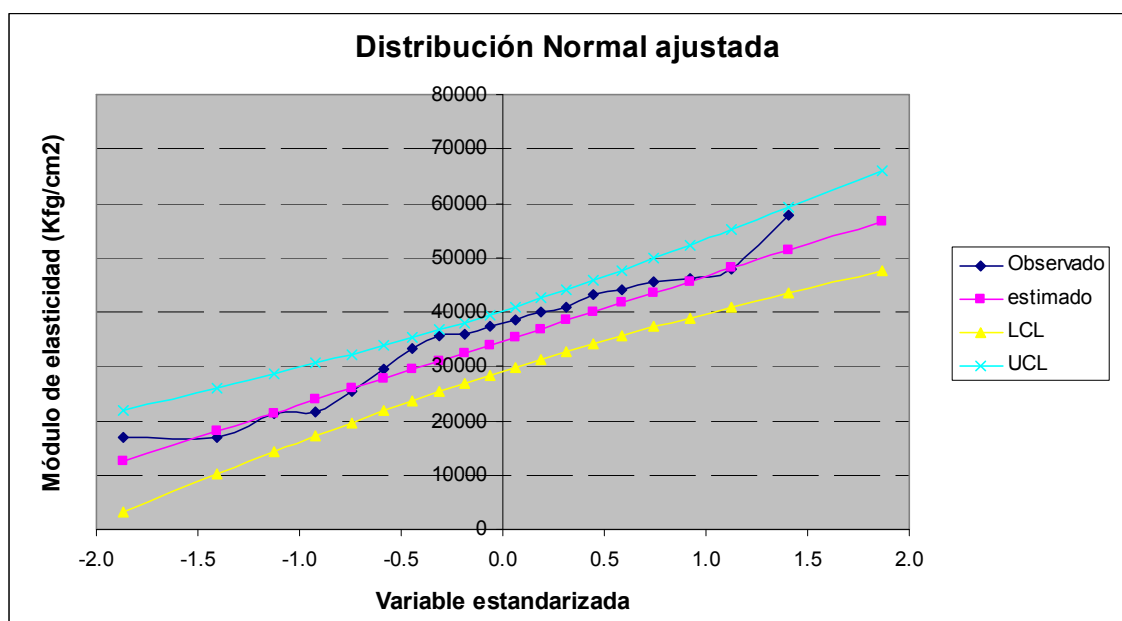
Gráfica 14. DNA para el ELP a compresión en probetas completas – secas



Cuadro 14. DNA para el MOE a compresión en probetas completas – secas

E_m Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
16400.848	1	0.031	-1.868	12662.326	19783043.152	21971.706	3352.945
16843.938	2	0.080	-1.403	18151.715	14201701.150	26039.306	10264.123
16911.887	3	0.130	-1.128	21402.499	11644158.569	28544.637	14260.360
21215.509	4	0.179	-0.919	23870.776	10073729.851	30513.854	17227.698
21478.222	5	0.228	-0.744	25937.350	9005504.112	32218.342	19656.358
25470.731	6	0.278	-0.589	27764.122	8248397.973	33775.292	21752.952
29624.371	7	0.327	-0.448	29437.387	7709031.195	35248.698	23626.076
33311.122	8	0.377	-0.315	31010.354	7336369.069	36679.463	25341.245
35515.430	9	0.426	-0.187	32519.796	7101196.796	38097.302	26942.291
35979.452	10	0.475	-0.062	33993.909	6987268.341	39526.492	28461.326
37315.394	11	0.525	0.062	35456.669	6987268.341	40989.252	29924.086
38538.053	12	0.574	0.187	36930.782	7101196.796	42508.287	31353.277
40137.757	13	0.623	0.315	38440.224	7336369.069	44109.333	32771.115
41007.772	14	0.673	0.448	40013.191	7709031.195	45824.502	34201.880
43280.028	15	0.722	0.589	41686.456	8248397.973	47697.626	35675.286
44088.383	16	0.772	0.744	43513.228	9005504.112	49794.220	37232.236
45503.061	17	0.821	0.919	45579.802	10073729.851	52222.880	38936.724
46224.264	18	0.870	1.128	48048.080	11644158.569	55190.218	40905.941
47914.895	19	0.920	1.403	51298.863	14201701.150	59186.455	43411.272
57744.663	20	0.969	1.868	56788.253	19783043.152	66097.633	47478.872

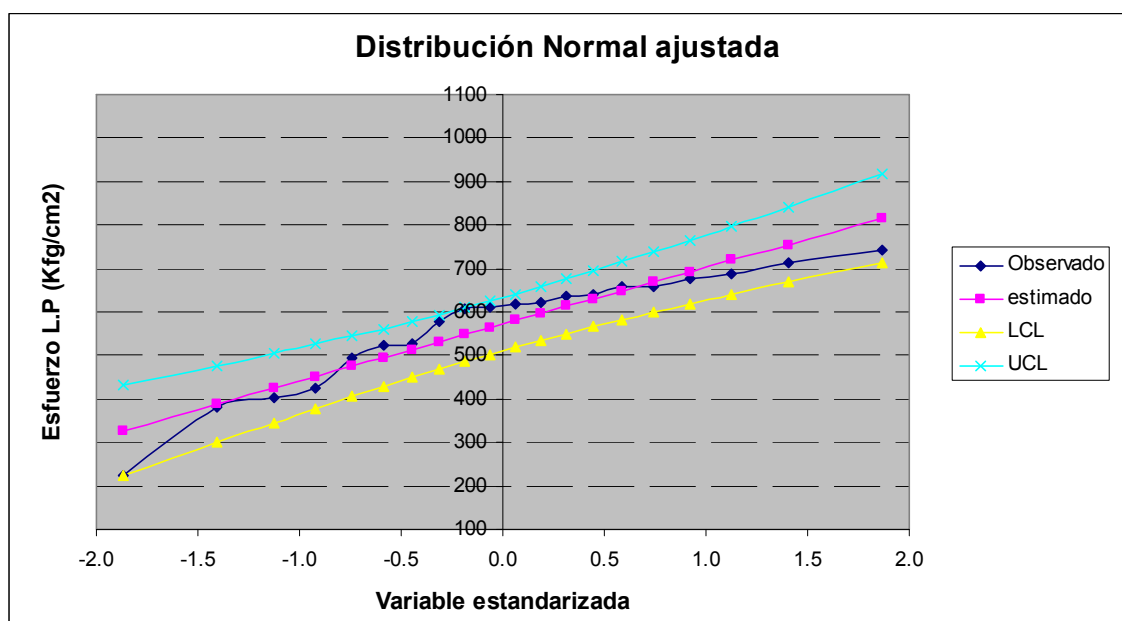
Gráfica 15. DNA para el MOE a compresión en probetas completas – secas



Cuadro 15. DNA para el ELP a compresión en probetas huecas – secas

ESFUERZO L.P Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
224.592	1	0.031	-1.868	328.101	2415.278	430.963	225.238
379.860	2	0.080	-1.403	388.755	1733.862	475.908	301.602
404.212	3	0.130	-1.128	424.674	1421.616	503.590	345.758
425.447	4	0.179	-0.919	451.947	1229.885	525.348	378.545
493.760	5	0.228	-0.744	474.781	1099.467	544.182	405.380
524.940	6	0.278	-0.589	494.966	1007.033	561.385	428.546
527.469	7	0.327	-0.448	513.454	941.183	577.665	449.243
578.533	8	0.377	-0.315	530.834	895.685	593.474	468.194
606.958	9	0.426	-0.187	547.513	866.973	609.141	485.885
609.594	10	0.475	-0.062	563.801	853.064	624.932	502.669
619.281	11	0.525	0.062	579.963	853.064	641.095	518.832
622.425	12	0.574	0.187	596.251	866.973	657.879	534.624
636.123	13	0.623	0.315	612.930	895.685	675.570	550.290
641.446	14	0.673	0.448	630.310	941.183	694.521	566.099
660.004	15	0.722	0.589	648.799	1007.033	715.218	582.379
660.028	16	0.772	0.744	668.983	1099.467	738.384	599.582
677.048	17	0.821	0.919	691.818	1229.885	765.219	618.416
689.415	18	0.870	1.128	719.090	1421.616	798.006	640.174
713.845	19	0.920	1.403	755.009	1733.862	842.162	667.857
742.663	20	0.969	1.868	815.664	2415.278	918.526	712.801

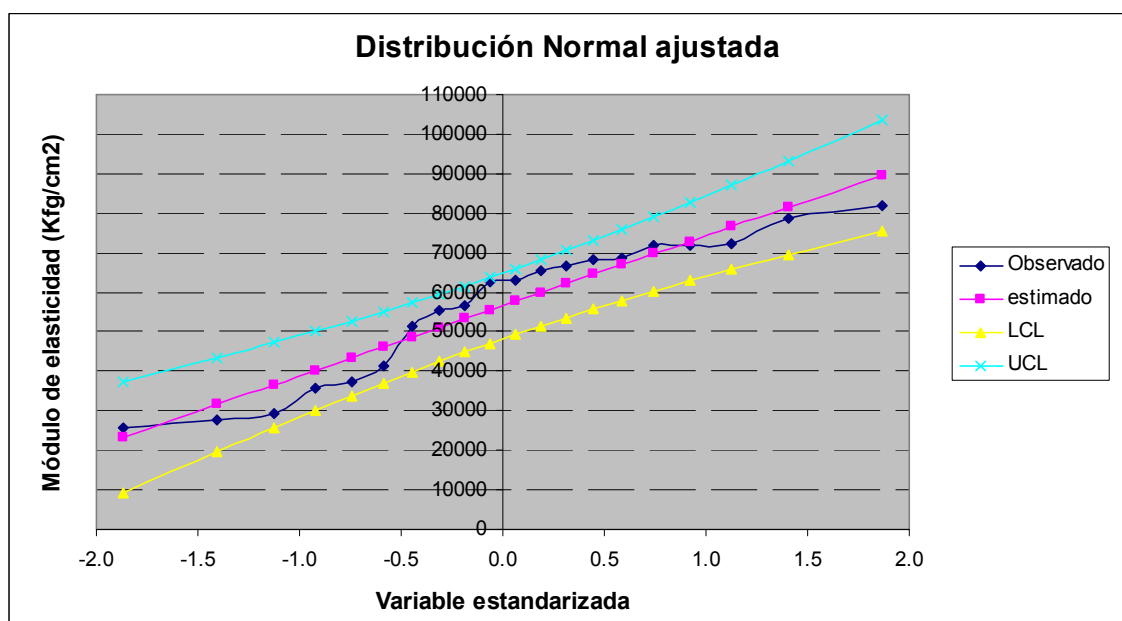
Gráfica 16. DNA para el ELP a compresión en probetas huecas – secas



Cuadro 16. DNA para el MOE a compresión en probetas huecas – secas

E_m Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
25732.336	1	0.031	-1.868	23405.821	44581026.160	37380.738	9430.904
27626.437	2	0.080	-1.403	31646.301	32003489.332	43486.879	19805.724
29167.805	3	0.130	-1.128	36526.265	26240075.088	47247.794	25804.735
35770.962	4	0.179	-0.919	40231.557	22701118.861	50203.914	30259.199
37163.742	5	0.228	-0.744	43333.825	20293875.483	52762.632	33905.019
41209.859	6	0.278	-0.589	46076.112	18587739.155	55099.872	37052.353
51562.778	7	0.327	-0.448	48587.960	17372277.799	57311.697	39864.222
55336.806	8	0.377	-0.315	50949.242	16532484.860	59459.511	42438.973
56506.317	9	0.426	-0.187	53215.165	16002524.874	61587.921	44842.408
62793.914	10	0.475	-0.062	55428.051	15745787.456	63733.372	47122.730
62884.067	11	0.525	0.062	57623.896	15745787.456	65929.217	49318.576
65264.263	12	0.574	0.187	59836.783	16002524.874	68209.539	51464.026
66735.533	13	0.623	0.315	62102.705	16532484.860	70612.974	53592.436
68258.865	14	0.673	0.448	64463.988	17372277.799	73187.725	55740.250
68493.707	15	0.722	0.589	66975.835	18587739.155	75999.594	57952.076
71671.637	16	0.772	0.744	69718.122	20293875.483	79146.928	60289.316
71873.598	17	0.821	0.919	72820.391	22701118.861	82792.748	62848.033
72103.227	18	0.870	1.128	76525.683	26240075.088	87247.213	65804.153
78574.792	19	0.920	1.403	81405.646	32003489.332	93246.224	69565.069
81788.829	20	0.969	1.868	89646.126	44581026.160	103621.044	75671.209

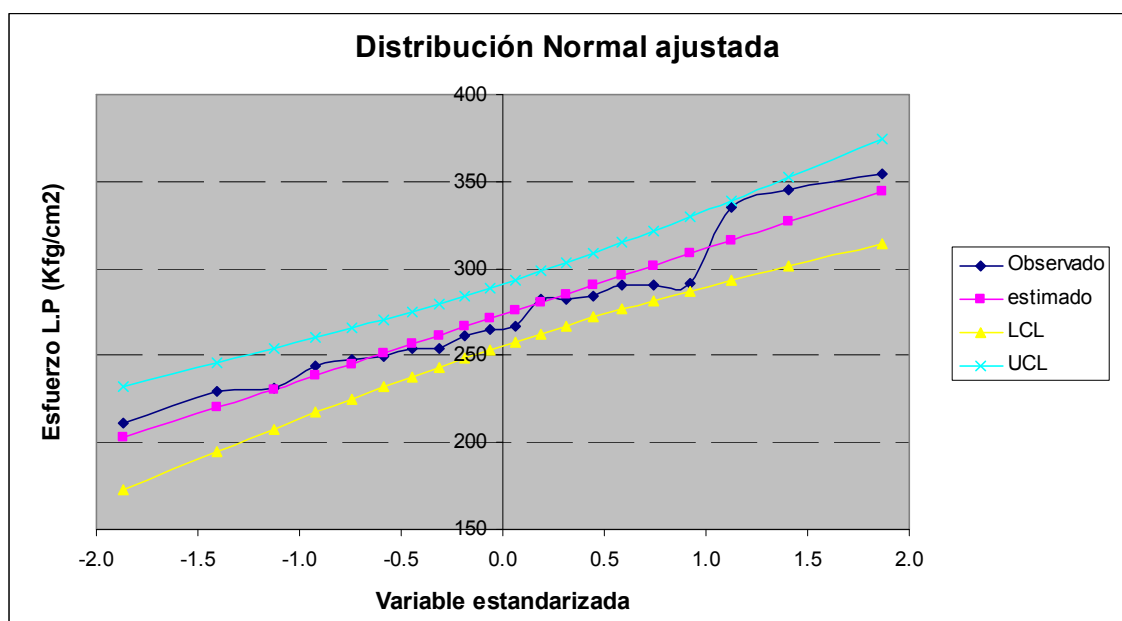
Gráfica 17. DNA para el MOE a compresión en probetas huecas – secas



Cuadro 17. DNA para el ELP a compresión en probetas completas – verdes

ESFUERZO L.P Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
211.182	1	0.031	-1.868	202.548	204.535	232.482	172.615
229.810	2	0.080	-1.403	220.199	146.830	245.561	194.837
230.903	3	0.130	-1.128	230.652	120.388	253.616	207.687
243.580	4	0.179	-0.919	238.588	104.151	259.948	217.228
247.565	5	0.228	-0.744	245.233	93.107	265.429	225.037
249.487	6	0.278	-0.589	251.107	85.279	270.435	231.778
253.728	7	0.327	-0.448	256.487	79.703	275.173	237.801
254.273	8	0.377	-0.315	261.545	75.850	279.773	243.316
261.577	9	0.426	-0.187	266.398	73.419	284.332	248.464
264.527	10	0.475	-0.062	271.138	72.241	288.928	253.349
266.835	11	0.525	0.062	275.842	72.241	293.631	258.052
282.302	12	0.574	0.187	280.581	73.419	298.515	262.647
282.697	13	0.623	0.315	285.435	75.850	303.663	267.206
284.546	14	0.673	0.448	290.493	79.703	309.178	271.807
290.085	15	0.722	0.589	295.873	85.279	315.201	276.544
290.842	16	0.772	0.744	301.747	93.107	321.943	281.551
291.355	17	0.821	0.919	308.392	104.151	329.752	287.031
335.504	18	0.870	1.128	316.328	120.388	339.293	293.363
344.909	19	0.920	1.403	326.781	146.830	352.143	301.419
354.089	20	0.969	1.868	344.431	204.535	374.365	314.498

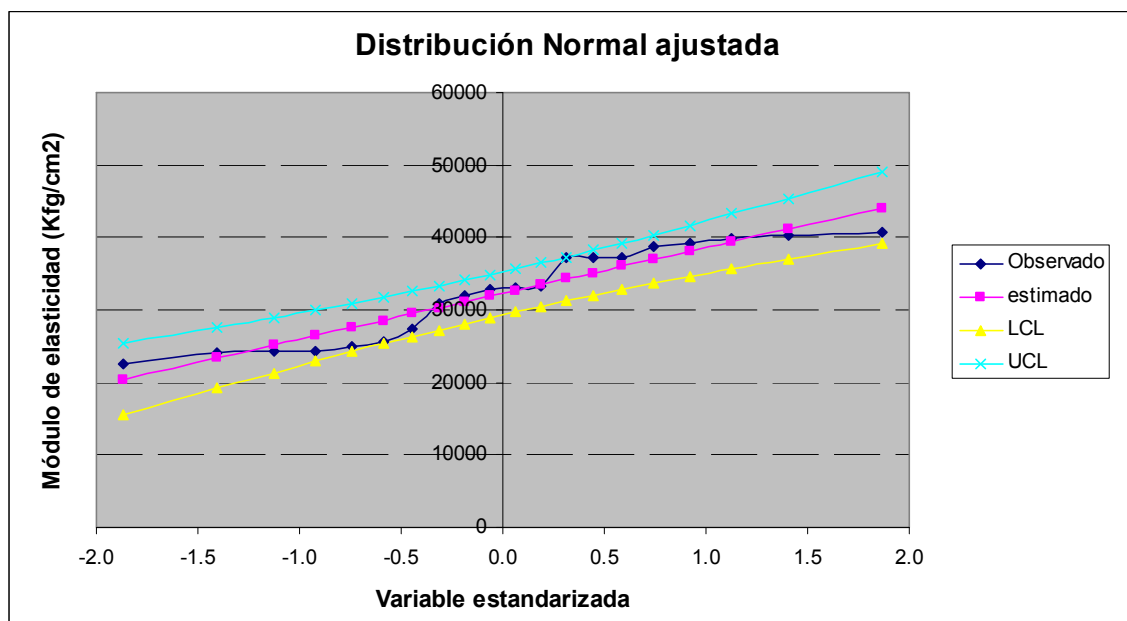
Gráfica 18. DNA para el ELP a compresión en probetas completas – verdes



Cuadro 18. DNA para el MOE a compresión en probetas completas – verdes

E_m Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
22651.468	1	0.031	-1.868	20456.418	5691297.234	25449.628	15463.207
24044.846	2	0.080	-1.403	23400.725	4085625.344	27631.340	19170.110
24400.749	3	0.130	-1.128	25144.326	3349857.095	28975.107	21313.545
24406.561	4	0.179	-0.919	26468.220	2898067.320	30031.323	22905.116
24961.779	5	0.228	-0.744	27576.654	2590754.125	30945.548	24207.760
25701.205	6	0.278	-0.589	28556.468	2372945.568	31780.639	25332.296
27332.597	7	0.327	-0.448	29453.946	2217777.497	32570.920	26336.972
30944.973	8	0.377	-0.315	30297.627	2110567.958	33338.329	27256.925
32039.499	9	0.426	-0.187	31107.237	2042912.275	34098.806	28115.668
32879.446	10	0.475	-0.062	31897.897	2010136.695	34865.371	28930.422
32956.960	11	0.525	0.062	32682.468	2010136.695	35649.943	29714.993
33200.770	12	0.574	0.187	33473.128	2042912.275	36464.697	30481.558
37137.397	13	0.623	0.315	34282.738	2110567.958	37323.440	31242.035
37186.141	14	0.673	0.448	35126.419	2217777.497	38243.393	32009.445
37285.820	15	0.722	0.589	36023.897	2372945.568	39248.068	32799.726
38752.906	16	0.772	0.744	37003.711	2590754.125	40372.605	33634.817
39233.181	17	0.821	0.919	38112.145	2898067.320	41675.249	34549.042
39793.887	18	0.870	1.128	39436.039	3349857.095	43266.820	35605.257
40248.847	19	0.920	1.403	41179.640	4085625.344	45410.255	36949.025
40644.617	20	0.969	1.868	44123.947	5691297.234	49117.157	39130.737

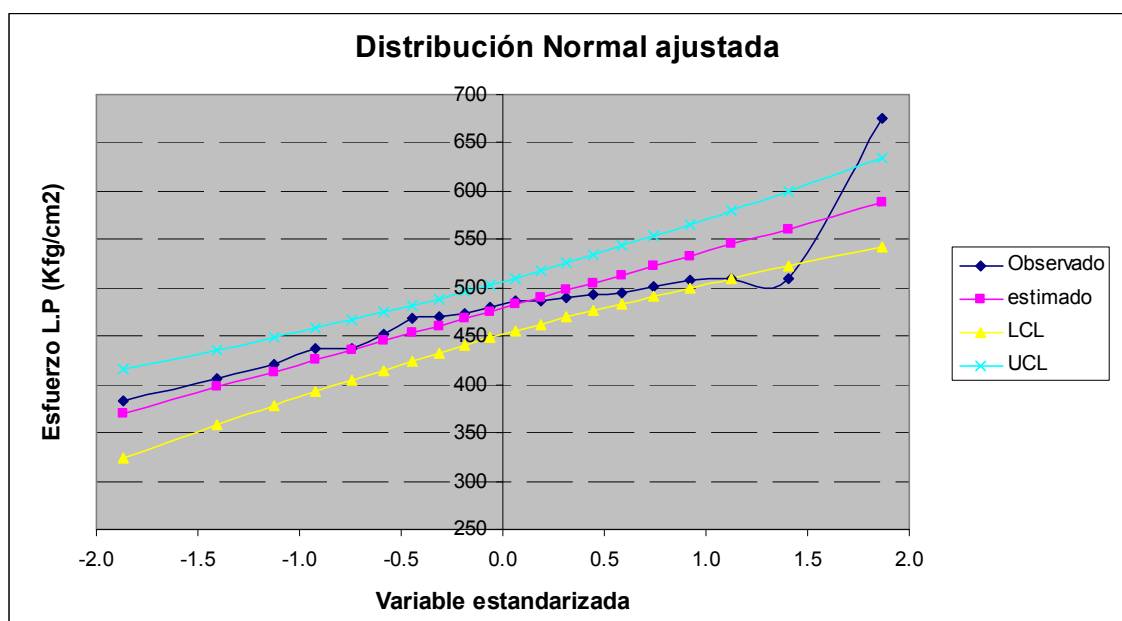
Gráfica 19. DNA para el MOE a compresión en probetas completas – verdes



Cuadro 19. DNA para el ELP a compresión en probetas huecas – verdes

ESFUERZO L.P Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
382.455	1	0.031	-1.868	369.942	484.614	416.017	323.866
405.747	2	0.080	-1.403	397.111	347.891	436.149	358.072
420.764	3	0.130	-1.128	413.200	285.240	448.549	377.851
437.150	4	0.179	-0.919	425.417	246.771	458.296	392.537
437.431	5	0.228	-0.744	435.645	220.603	466.732	404.558
452.537	6	0.278	-0.589	444.686	202.056	474.438	414.935
469.208	7	0.327	-0.448	452.968	188.844	481.730	424.205
470.426	8	0.377	-0.315	460.753	179.715	488.812	432.694
472.832	9	0.426	-0.187	468.224	173.954	495.829	440.619
479.363	10	0.475	-0.062	475.520	171.163	502.903	448.137
486.445	11	0.525	0.062	482.760	171.163	510.143	455.377
486.653	12	0.574	0.187	490.056	173.954	517.661	462.450
490.443	13	0.623	0.315	497.526	179.715	525.585	469.468
492.738	14	0.673	0.448	505.312	188.844	534.074	476.549
494.155	15	0.722	0.589	513.593	202.056	543.345	483.842
501.302	16	0.772	0.744	522.635	220.603	553.722	491.548
508.287	17	0.821	0.919	532.863	246.771	565.742	499.984
509.397	18	0.870	1.128	545.079	285.240	580.429	509.730
510.165	19	0.920	1.403	561.169	347.891	600.208	522.130
675.296	20	0.969	1.868	588.338	484.614	634.414	542.262

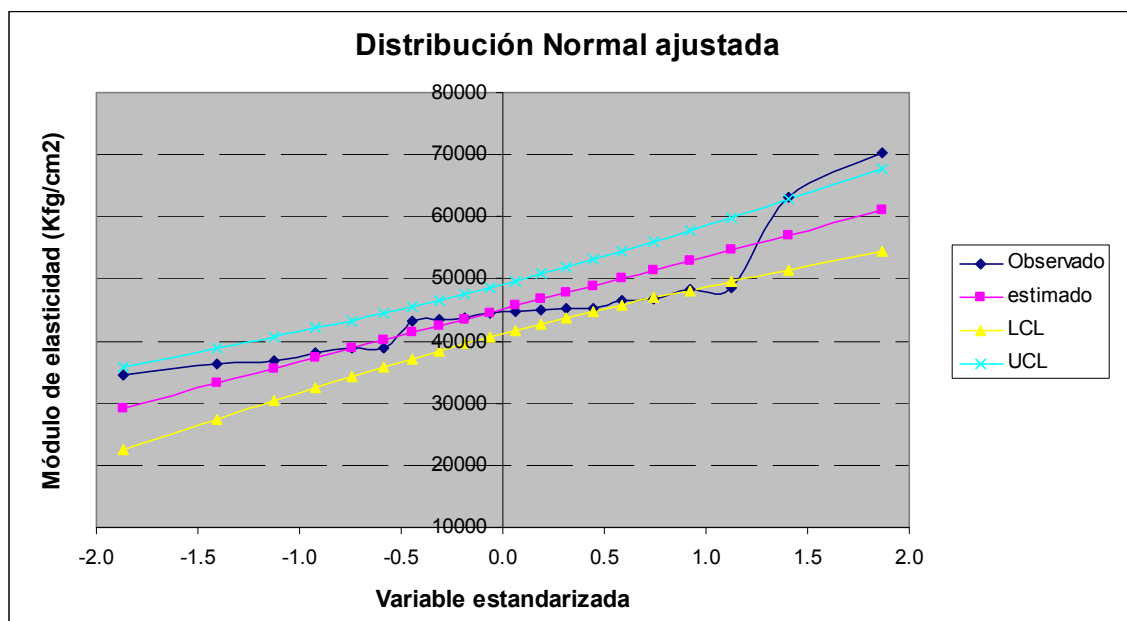
Gráfica 20. DNA para el ELP a compresión en probetas huecas – verdes



Cuadro 20. DNA para el MOE a compresión en probetas huecas – verdes

E_m Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
34582.530	1	0.031	-1.868	29194.382	10328382.913	35920.901	22467.863
36396.713	2	0.080	-1.403	33160.756	7414461.282	38859.957	27461.554
36929.264	3	0.130	-1.128	35509.619	6079212.762	40670.191	30349.046
38014.165	4	0.179	-0.919	37293.080	5259319.229	42093.055	32493.105
38775.470	5	0.228	-0.744	38786.289	4701617.142	43324.637	34247.940
38892.270	6	0.278	-0.589	40106.228	4306345.188	44449.616	35762.840
43089.120	7	0.327	-0.448	41315.251	4024751.170	45514.230	37116.271
43560.773	8	0.377	-0.315	42451.802	3830190.752	46548.033	38355.571
43773.983	9	0.426	-0.187	43542.454	3707411.397	47572.496	39512.412
44364.562	10	0.475	-0.062	44607.578	3647931.331	48605.162	40609.995
44854.829	11	0.525	0.062	45664.500	3647931.331	49662.083	41666.916
45059.921	12	0.574	0.187	46729.624	3707411.397	50759.666	42699.582
45274.726	13	0.623	0.315	47820.276	3830190.752	51916.507	43724.045
45363.483	14	0.673	0.448	48956.828	4024751.170	53155.807	44757.848
46497.421	15	0.722	0.589	50165.850	4306345.188	54509.238	45822.462
46709.627	16	0.772	0.744	51485.790	4701617.142	56024.138	46947.441
48413.762	17	0.821	0.919	52978.998	5259319.229	57778.973	48179.023
48657.469	18	0.870	1.128	54762.459	6079212.762	59923.032	49601.887
63107.391	19	0.920	1.403	57111.322	7414461.282	62810.524	51412.121
70403.302	20	0.969	1.868	61077.696	10328382.913	67804.215	54351.177

Gráfica 21. DNA para el MOE a compresión en probetas huecas – verdes



Cuadro 21. DNA para el ELP a tracción en probetas secas

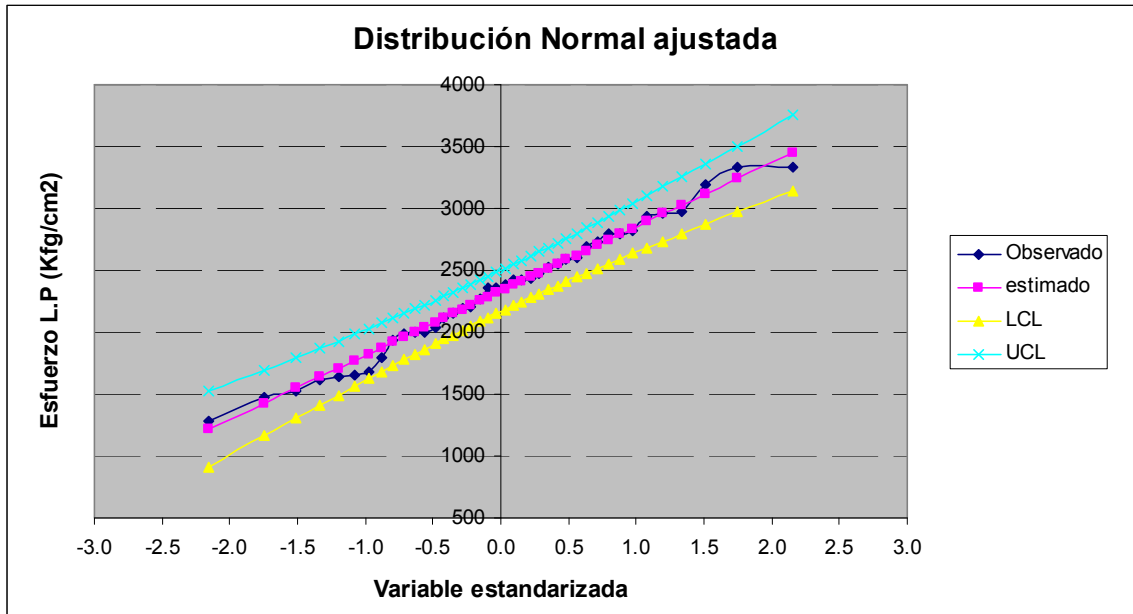
ESFUERZO L.P Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
1284.339	1	0.016	-2.156	1214.242	22755.397	1519.363	909.121
1468.085	2	0.040	-1.746	1426.852	17238.708	1692.423	1161.280
1525.250	3	0.065	-1.512	1548.195	14609.674	1792.678	1303.711
1615.385	4	0.090	-1.340	1637.401	12917.731	1867.292	1407.509
1645.188	5	0.115	-1.201	1709.761	11695.175	1928.503	1491.019
1657.013	6	0.140	-1.081	1771.682	10755.600	1981.453	1561.910
1685.367	7	0.165	-0.976	1826.494	10005.923	2028.823	1624.165
1798.780	8	0.189	-0.880	1876.166	9393.083	2072.201	1680.131
1938.954	9	0.214	-0.792	1921.967	8884.060	2112.616	1731.318
1987.900	10	0.239	-0.709	1964.769	8456.991	2150.780	1778.759
2001.232	11	0.264	-0.631	2005.201	8096.720	2187.206	1823.195
2001.947	12	0.289	-0.557	2043.733	7792.380	2222.285	1865.181
2034.155	13	0.314	-0.485	2080.732	7535.978	2256.322	1905.142
2115.689	14	0.339	-0.417	2116.491	7321.525	2289.564	1943.418
2156.789	15	0.363	-0.350	2151.250	7144.493	2322.219	1980.282
2196.232	16	0.388	-0.284	2185.213	7001.441	2354.461	2015.965
2207.614	17	0.413	-0.220	2218.555	6889.774	2386.448	2050.662
2265.940	18	0.438	-0.156	2251.432	6807.576	2418.321	2084.544
2359.319	19	0.463	-0.094	2283.986	6753.493	2450.210	2117.762
2365.308	20	0.488	-0.031	2316.350	6726.662	2482.244	2150.457
2388.183	21	0.512	0.031	2348.651	6726.662	2514.545	2182.758
2424.531	22	0.537	0.094	2381.015	6753.493	2547.239	2214.791
2426.996	23	0.562	0.156	2413.569	6807.576	2580.457	2246.681
2438.328	24	0.587	0.220	2446.446	6889.774	2614.339	2278.553
2469.636	25	0.612	0.284	2479.788	7001.441	2649.036	2310.540
2530.364	26	0.637	0.350	2513.751	7144.493	2684.719	2342.783
2555.326	27	0.661	0.417	2548.510	7321.525	2721.584	2375.437
2592.209	28	0.686	0.485	2584.269	7535.978	2759.859	2408.680
2605.015	29	0.711	0.557	2621.269	7792.380	2799.821	2442.717
2695.652	30	0.736	0.631	2659.801	8096.720	2841.806	2477.796
2733.454	31	0.761	0.709	2700.232	8456.991	2886.243	2514.222
2791.694	32	0.786	0.792	2743.034	8884.060	2933.684	2552.385
2794.306	33	0.811	0.880	2788.836	9393.083	2984.871	2592.801
2818.552	34	0.835	0.976	2838.508	10005.923	3040.837	2636.179
2932.331	35	0.860	1.081	2893.320	10755.600	3103.091	2683.548
2962.163	36	0.885	1.201	2955.240	11695.175	3173.983	2736.498
2969.697	37	0.910	1.340	3027.601	12917.731	3257.492	2797.710
3188.259	38	0.935	1.512	3116.807	14609.674	3361.290	2872.323
3335.277	39	0.960	1.746	3238.150	17238.708	3503.722	2972.578
3337.572	40	0.984	2.156	3450.759	22755.397	3755.880	3145.639

alfa	0.375
------	-------

n	40
---	----

t de student	2.02
--------------	------

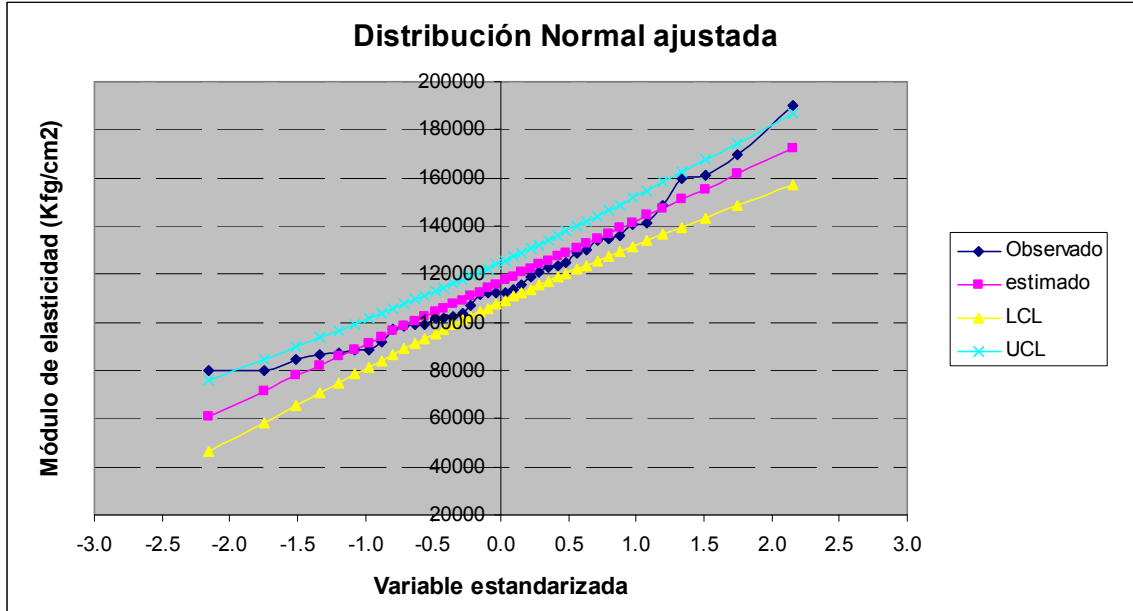
Gráfica 22. DNA para el ELP a tracción en probetas secas



Cuadro 22. DNA para el MOE a tracción en probetas secas

E_m Kg/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
79706.727	1	0.016	-2.156	61170.638	55861318.839	76288.317	46052.960
80271.198	2	0.040	-1.746	71704.698	42318619.138	84862.861	58546.535
84691.809	3	0.065	-1.512	77716.837	35864708.305	89830.156	65603.517
86560.456	4	0.090	-1.340	82136.675	31711223.765	93526.998	70746.353
86959.847	5	0.115	-1.201	85721.882	28710019.004	96559.810	74883.954
88609.876	6	0.140	-1.081	88789.841	26403494.208	99183.302	78396.379
88866.523	7	0.165	-0.976	91505.581	24563142.810	101530.284	81480.879
91622.309	8	0.189	-0.880	93966.661	23058706.180	103679.517	84253.804
97251.710	9	0.214	-0.792	96235.961	21809126.144	105681.976	86789.945
98785.601	10	0.239	-0.709	98356.661	20760729.663	107572.838	89140.483
98973.406	11	0.264	-0.631	100359.897	19876315.729	109377.632	91342.162
99107.700	12	0.289	-0.557	102269.037	19129204.518	111115.670	93422.405
101596.981	13	0.314	-0.485	104102.220	18499771.423	112802.089	95402.352
101655.238	14	0.339	-0.417	105873.953	17973321.572	114449.142	97298.764
102559.632	15	0.363	-0.350	107596.160	17538732.400	116067.041	99125.278
104045.426	16	0.388	-0.284	109278.901	17187559.178	117664.548	100893.253
107093.387	17	0.413	-0.220	110930.881	16913432.331	119249.388	102612.373
111963.025	18	0.438	-0.156	112559.825	16711646.487	120828.561	104291.089
112067.565	19	0.463	-0.094	114172.768	16578881.009	122408.593	105936.943
112203.155	20	0.488	-0.031	115776.285	16513015.108	123995.734	107556.836
112487.821	21	0.512	0.031	117376.688	16513015.108	125596.137	109157.239
113808.093	22	0.537	0.094	118980.205	16578881.009	127216.030	110744.380
115668.669	23	0.562	0.156	120593.148	16711646.487	128861.884	112324.412
119059.592	24	0.587	0.220	122222.092	16913432.331	130540.600	113903.585
121139.923	25	0.612	0.284	123874.072	17187559.178	132259.720	115488.424
122852.227	26	0.637	0.350	125556.813	17538732.400	134027.695	117085.932
123311.803	27	0.661	0.417	127279.020	17973321.572	135854.209	118703.831
125088.268	28	0.686	0.485	129050.753	18499771.423	137750.621	120350.884
128611.001	29	0.711	0.557	130883.935	19129204.518	139730.568	122037.303
130263.852	30	0.736	0.631	132793.076	19876315.729	141810.811	123775.341
134216.078	31	0.761	0.709	134796.312	20760729.663	144012.490	125580.135
134406.240	32	0.786	0.792	136917.012	21809126.144	146363.028	127470.997
136157.516	33	0.811	0.880	139186.312	23058706.180	148899.169	129473.456
140743.932	34	0.835	0.976	141647.392	24563142.810	151672.094	131622.689
141311.015	35	0.860	1.081	144363.132	26403494.208	154756.594	133969.671
148895.458	36	0.885	1.201	147431.091	28710019.004	158269.019	136593.163
159600.883	37	0.910	1.340	151016.298	31711223.765	162406.620	139625.975
161124.512	38	0.935	1.512	155436.136	35864708.305	167549.456	143322.817
169695.522	39	0.960	1.746	161448.275	42318619.138	174606.438	148290.112
190025.480	40	0.984	2.156	171982.335	55861318.839	187100.013	156864.656

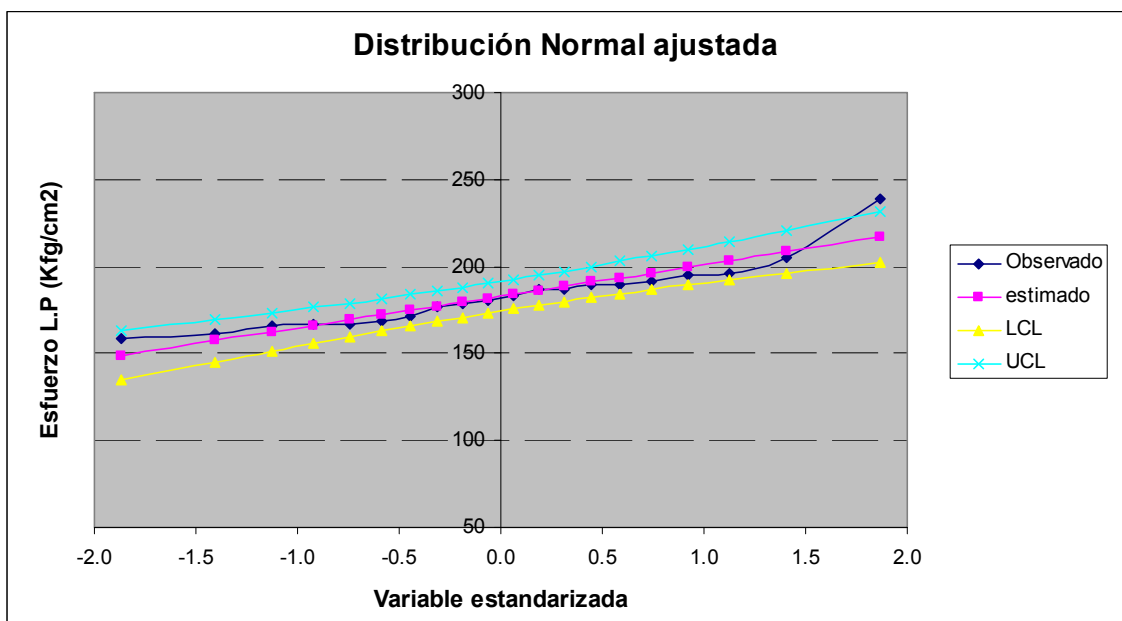
Gráfica 23. DNA para el MOE a tracción en probetas secas



Cuadro 23. DNA para el ELP a flexión sin nodo en probetas secas

ESFUERZO L.P Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
158.745	1	0.031	-1.868	148.854	47.021	163.206	134.502
161.128	2	0.080	-1.403	157.317	33.755	169.477	145.157
165.852	3	0.130	-1.128	162.329	27.676	173.340	151.318
167.225	4	0.179	-0.919	166.134	23.944	176.376	155.893
167.225	5	0.228	-0.744	169.320	21.405	179.004	159.637
168.891	6	0.278	-0.589	172.137	19.605	181.404	162.869
171.625	7	0.327	-0.448	174.716	18.323	183.676	165.757
176.383	8	0.377	-0.315	177.141	17.437	185.881	168.401
178.610	9	0.426	-0.187	179.468	16.878	188.067	170.870
180.293	10	0.475	-0.062	181.741	16.608	190.271	173.211
182.863	11	0.525	0.062	183.996	16.608	192.526	175.467
186.741	12	0.574	0.187	186.269	16.878	194.868	177.670
187.115	13	0.623	0.315	188.596	17.437	197.336	179.856
189.612	14	0.673	0.448	191.021	18.323	199.980	182.062
190.039	15	0.722	0.589	193.601	19.605	202.868	184.333
191.368	16	0.772	0.744	196.417	21.405	206.100	186.734
194.912	17	0.821	0.919	199.603	23.944	209.845	189.361
195.621	18	0.870	1.128	203.408	27.676	214.419	192.397
204.657	19	0.920	1.403	208.420	33.755	220.580	196.260
238.469	20	0.969	1.868	216.883	47.021	231.235	202.531

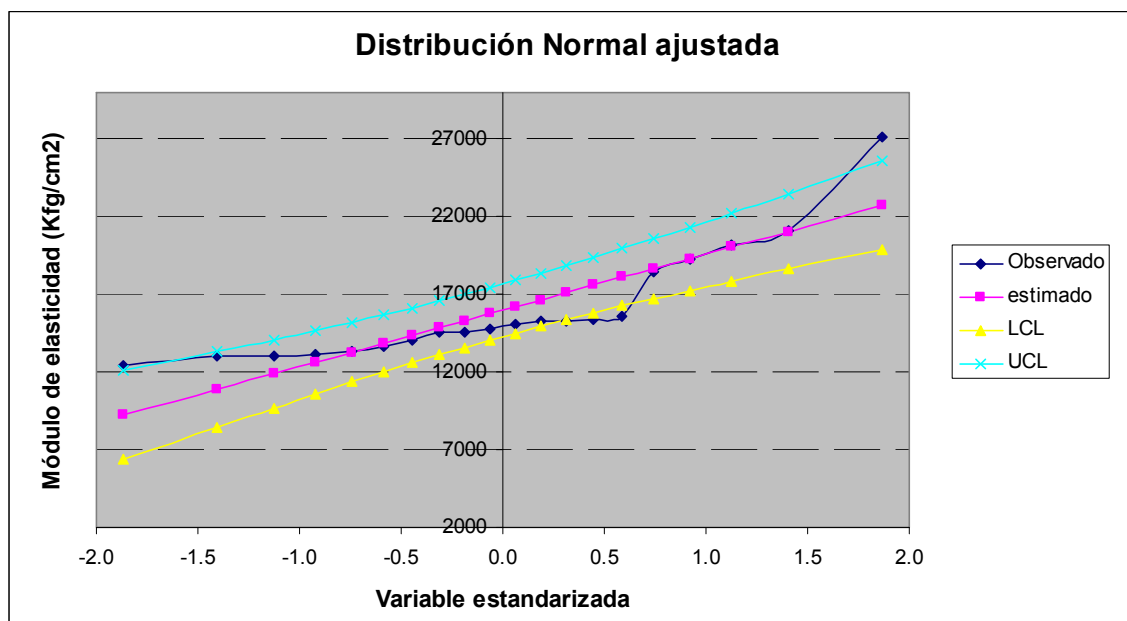
Gráfica 24. DNA para el ELP a flexión sin nodo en probetas secas



Cuadro 24. DNA para el MOE a flexión sin nodo en probetas secas

E_m Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
12393.164	1	0.031	-1.868	9218.074	1857022.977	12070.293	6365.855
12995.794	2	0.080	-1.403	10899.919	1333105.587	13316.529	8483.310
13071.813	3	0.130	-1.128	11895.898	1093030.523	14084.115	9707.682
13147.892	4	0.179	-0.919	12652.132	945615.275	14687.446	10616.818
13376.874	5	0.228	-0.744	13285.291	845341.534	15209.669	11360.914
13642.183	6	0.278	-0.589	13844.980	774272.413	15686.690	12003.271
14103.234	7	0.327	-0.448	14357.637	723642.361	16138.113	12577.161
14540.869	8	0.377	-0.315	14839.564	688660.780	16576.473	13102.656
14608.290	9	0.426	-0.187	15302.029	666585.293	17010.872	13593.187
14788.554	10	0.475	-0.062	15753.670	655890.894	17448.749	14058.590
15057.359	11	0.525	0.062	16201.832	655890.894	17896.911	14506.753
15247.435	12	0.574	0.187	16653.472	666585.293	18362.315	14944.630
15283.981	13	0.623	0.315	17115.937	688660.780	18852.845	15379.029
15402.577	14	0.673	0.448	17597.864	723642.361	19378.341	15817.388
15607.093	15	0.722	0.589	18110.521	774272.413	19952.231	16268.812
18496.735	16	0.772	0.744	18670.210	845341.534	20594.588	16745.832
19298.816	17	0.821	0.919	19303.369	945615.275	21338.683	17268.055
20218.800	18	0.870	1.128	20059.603	1093030.523	22247.820	17871.386
21085.184	19	0.920	1.403	21055.582	1333105.587	23472.192	18638.972
27188.366	20	0.969	1.868	22737.428	1857022.977	25589.647	19885.209

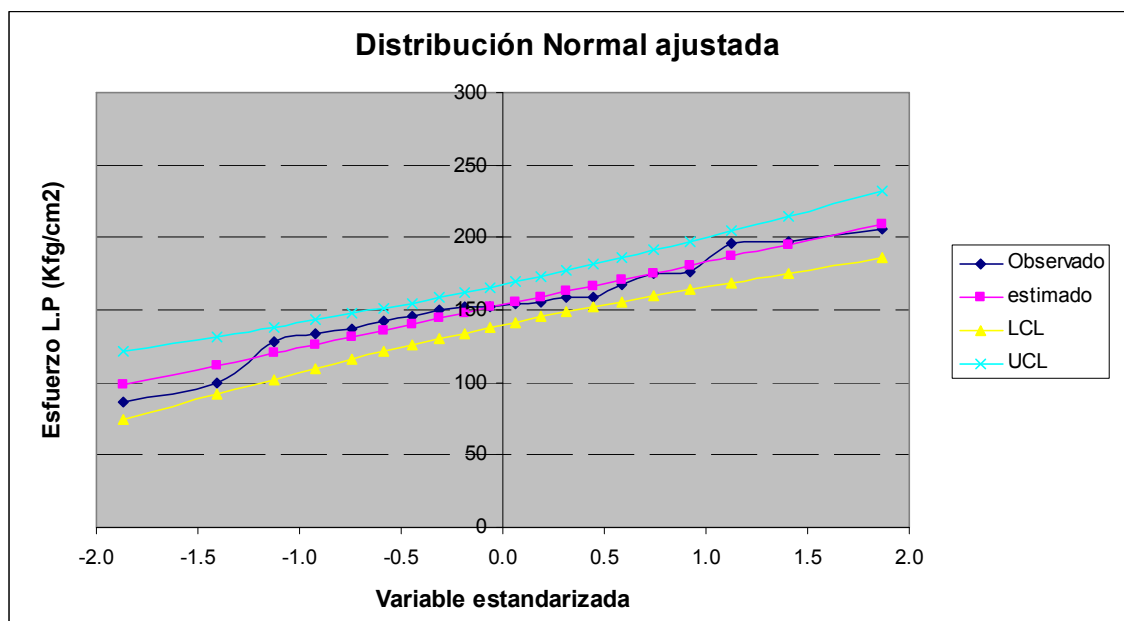
Gráfica 25. DNA para el MOE a flexión sin nodo en probetas secas



Cuadro 25. DNA para el ELP a flexión sin nodo en probetas verdes

ESFUERZO L.P Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
86.516	1	0.031	-1.868	98.301	124.335	121.639	74.962
99.493	2	0.080	-1.403	112.063	89.257	131.837	92.289
128.005	3	0.130	-1.128	120.212	73.183	138.117	102.307
133.965	4	0.179	-0.919	126.400	63.313	143.054	109.746
136.974	5	0.228	-0.744	131.581	56.599	147.327	115.835
142.751	6	0.278	-0.589	136.161	51.841	151.231	121.091
145.222	7	0.327	-0.448	140.355	48.451	154.924	125.787
149.622	8	0.377	-0.315	144.299	46.109	158.511	130.087
151.763	9	0.426	-0.187	148.083	44.631	162.066	134.100
152.115	10	0.475	-0.062	151.779	43.915	165.649	137.909
154.648	11	0.525	0.062	155.446	43.915	169.316	141.576
155.572	12	0.574	0.187	159.141	44.631	173.124	145.159
158.423	13	0.623	0.315	162.925	46.109	177.138	148.713
159.147	14	0.673	0.448	166.869	48.451	181.438	152.300
167.225	15	0.722	0.589	171.064	51.841	186.134	155.994
175.061	16	0.772	0.744	175.643	56.599	191.390	159.897
176.007	17	0.821	0.919	180.824	63.313	197.478	164.170
196.281	18	0.870	1.128	187.012	73.183	204.917	169.107
197.342	19	0.920	1.403	195.162	89.257	214.936	175.388
206.111	20	0.969	1.868	208.924	124.335	232.262	185.585

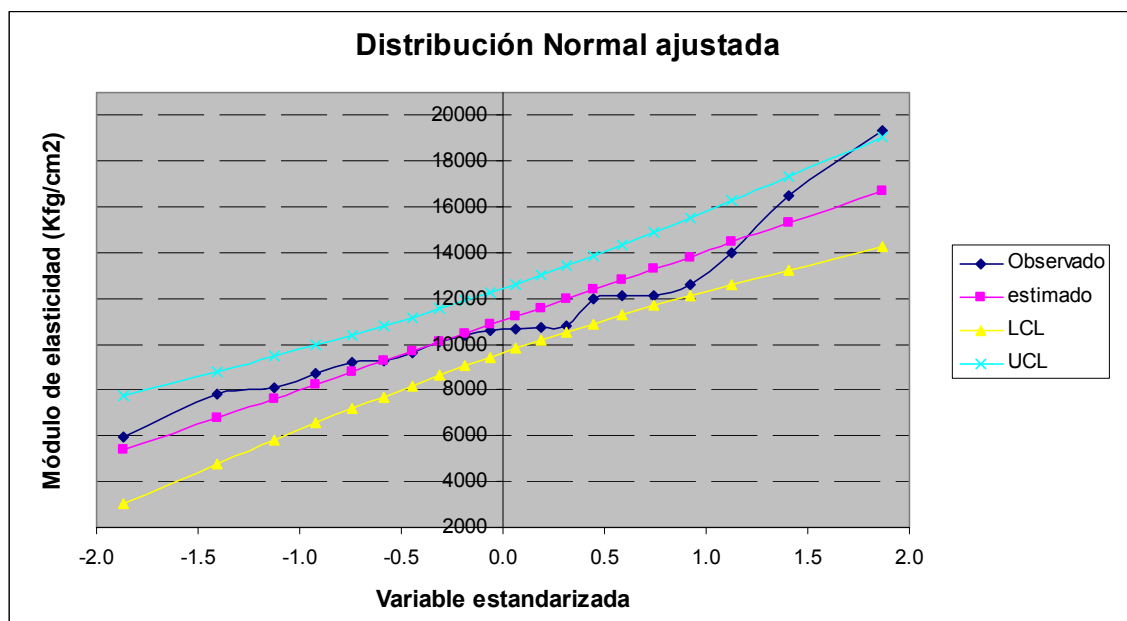
Gráfica 26. DNA para el ELP a flexión sin nodo en probetas verdes



Cuadro 26. DNA para el MOE a flexión sin nodo en probetas verdes

E_m Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
5921.011	1	0.031	-1.868	5388.991	1296473.290	7772.167	3005.816
7823.771	2	0.080	-1.403	6794.260	930702.424	8813.461	4775.058
8116.680	3	0.130	-1.128	7626.451	763094.962	9454.819	5798.084
8729.974	4	0.179	-0.919	8258.324	660177.587	9958.933	6557.714
9191.761	5	0.228	-0.744	8787.361	590171.869	10395.277	7179.444
9283.292	6	0.278	-0.589	9255.009	540555.241	10793.852	7716.167
9652.679	7	0.327	-0.448	9683.361	505208.069	11171.040	8195.681
10136.509	8	0.377	-0.315	10086.036	480785.816	11537.312	8634.759
10424.918	9	0.426	-0.187	10472.449	465373.901	11900.274	9044.623
10627.910	10	0.475	-0.062	10849.817	457907.649	12266.143	9433.492
10654.199	11	0.525	0.062	11224.280	457907.649	12640.606	9807.954
10729.480	12	0.574	0.187	11601.649	465373.901	13029.474	10173.823
10794.473	13	0.623	0.315	11988.062	480785.816	13439.338	10536.786
11986.340	14	0.673	0.448	12390.737	505208.069	13878.416	10903.057
12098.422	15	0.722	0.589	12819.088	540555.241	14357.931	11280.245
12156.306	16	0.772	0.744	13286.737	590171.869	14894.653	11678.820
12610.692	17	0.821	0.919	13815.774	660177.587	15516.383	12115.164
13965.893	18	0.870	1.128	14447.646	763094.962	16276.013	12619.278
16466.628	19	0.920	1.403	15279.837	930702.424	17299.039	13260.636
19370.036	20	0.969	1.868	16685.106	1296473.290	19068.281	14301.930

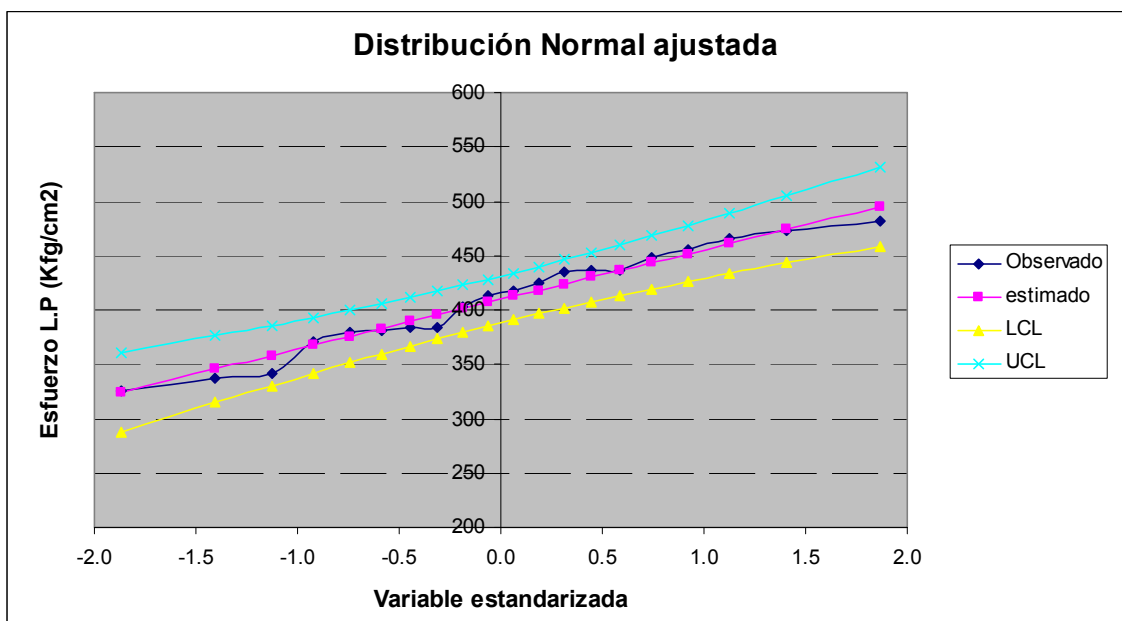
Gráfica 27. DNA para el MOE a flexión sin nodo en probetas verdes



Cuadro 27. DNA para el ELP a flexión con nodo en probetas secas

ESFUERZO L.P Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
325.083	1	0.031	-1.868	324.307	296.373	360.340	288.275
337.352	2	0.080	-1.403	345.554	212.758	376.084	315.025
342.007	3	0.130	-1.128	358.137	174.443	385.781	330.493
371.002	4	0.179	-0.919	367.690	150.916	393.402	341.978
379.800	5	0.228	-0.744	375.689	134.913	400.000	351.378
381.627	6	0.278	-0.589	382.760	123.570	406.026	359.493
383.506	7	0.327	-0.448	389.236	115.490	411.729	366.743
384.147	8	0.377	-0.315	395.324	109.907	417.267	373.382
403.192	9	0.426	-0.187	401.167	106.384	422.755	379.579
412.993	10	0.475	-0.062	406.872	104.677	428.286	385.458
417.388	11	0.525	0.062	412.534	104.677	433.948	391.120
425.136	12	0.574	0.187	418.240	106.384	439.828	396.652
435.316	13	0.623	0.315	424.082	109.907	446.024	402.139
436.127	14	0.673	0.448	430.170	115.490	452.663	407.677
436.530	15	0.722	0.589	436.647	123.570	459.913	413.380
448.094	16	0.772	0.744	443.717	134.913	468.028	419.406
454.808	17	0.821	0.919	451.716	150.916	477.428	426.004
465.325	18	0.870	1.128	461.270	174.443	488.914	433.626
473.421	19	0.920	1.403	473.852	212.758	504.381	443.323
481.209	20	0.969	1.868	495.099	296.373	531.131	459.066

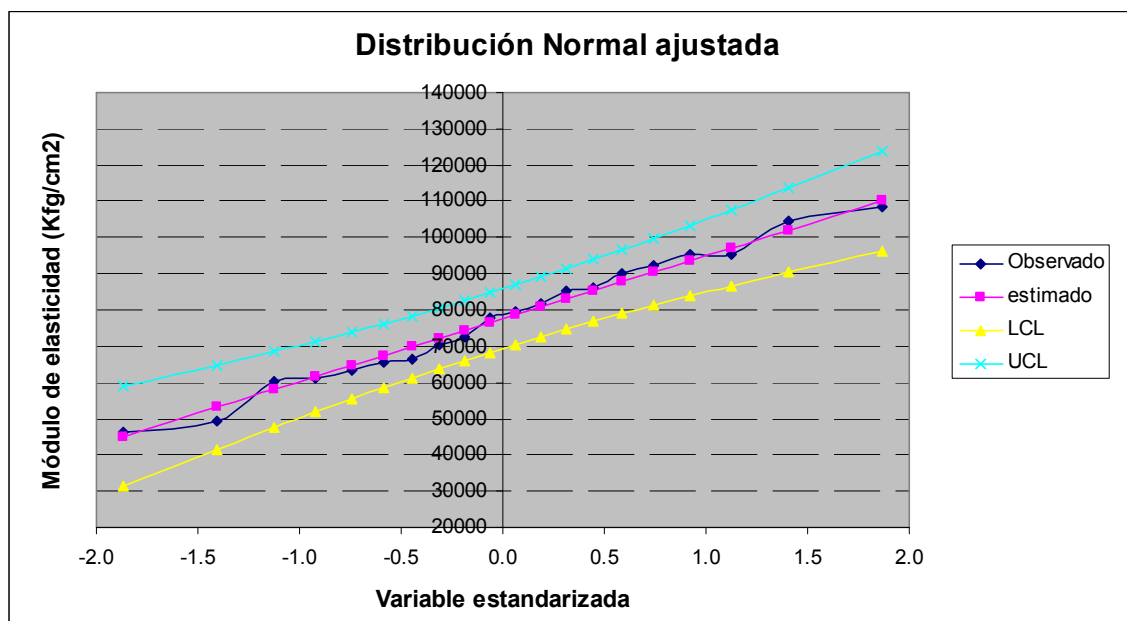
Gráfica 28. DNA para el ELP a flexión con nodo en probetas secas



Cuadro 28. DNA para el MOE a flexión con nodo en probetas secas

E_m Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
46220.109	1	0.031	-1.868	45163.674	42724105.887	58844.449	31482.899
49162.696	2	0.080	-1.403	53230.710	30670457.474	64822.068	41639.351
60508.234	3	0.130	-1.128	58007.960	25147105.016	68503.825	47512.096
61199.198	4	0.179	-0.919	61635.264	21755555.883	71397.725	51872.803
63199.684	5	0.228	-0.744	64672.236	19448580.701	73902.586	55441.886
65712.326	6	0.278	-0.589	67356.804	17813509.564	76190.633	58522.976
66293.484	7	0.327	-0.448	69815.782	16648675.460	78355.904	61275.661
70495.739	8	0.377	-0.315	72127.365	15843862.167	80458.511	63796.219
72675.628	9	0.426	-0.187	74345.595	15335976.447	82542.123	66149.067
77821.428	10	0.475	-0.062	76511.905	15089932.837	84642.416	68381.393
79768.762	11	0.525	0.062	78661.532	15089932.837	86792.044	70531.020
81818.703	12	0.574	0.187	80827.842	15335976.447	89024.370	72631.314
85054.927	13	0.623	0.315	83046.072	15843862.167	91377.218	74714.926
86038.780	14	0.673	0.448	85357.654	16648675.460	93897.776	76817.532
89987.678	15	0.722	0.589	87816.632	17813509.564	96650.461	78982.804
92302.723	16	0.772	0.744	90501.200	19448580.701	99731.550	81270.850
95215.171	17	0.821	0.919	93538.173	21755555.883	103300.634	83775.712
95390.684	18	0.870	1.128	97165.476	25147105.016	107661.341	86669.612
104396.947	19	0.920	1.403	101942.727	30670457.474	113534.086	90351.368
108471.465	20	0.969	1.868	110009.763	42724105.887	123690.538	96328.987

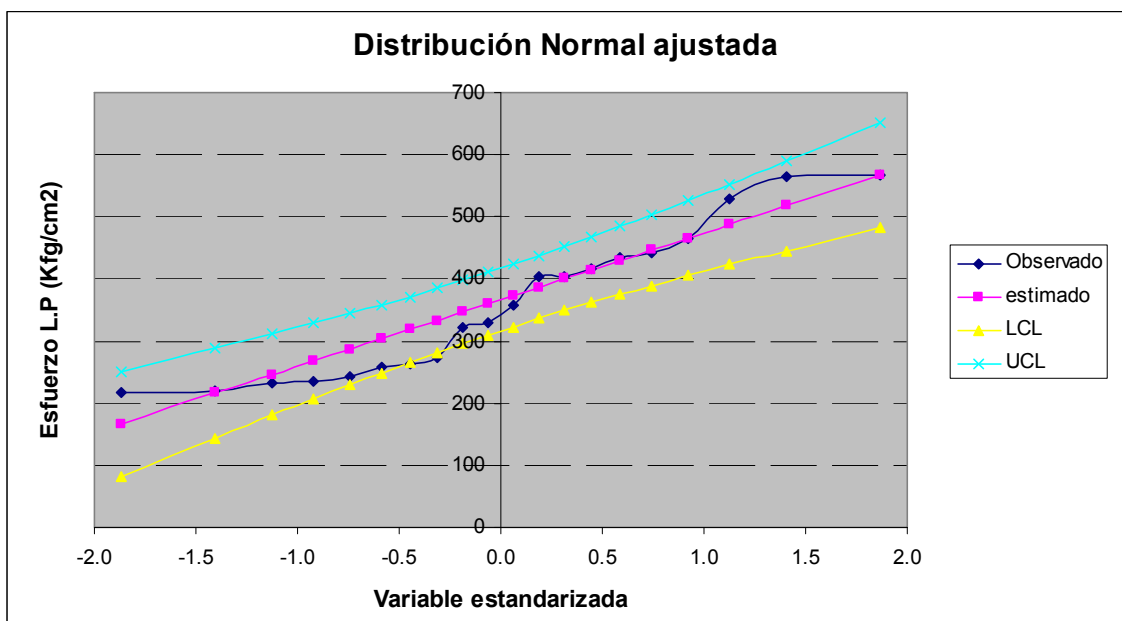
Gráfica 29. DNA para el MOE a flexión con nodo en probetas secas



Cuadro 29. DNA para el ELP a flexión con nodo en probetas verdes

ESFUERZO L.P Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
216.076	1	0.031	-1.868	165.969	1637.727	250.672	81.267
220.622	2	0.080	-1.403	215.915	1175.679	287.681	144.149
233.719	3	0.130	-1.128	245.493	963.955	310.476	180.509
235.893	4	0.179	-0.919	267.950	833.948	328.393	207.508
243.845	5	0.228	-0.744	286.753	745.515	343.902	229.605
257.551	6	0.278	-0.589	303.374	682.839	358.068	248.681
263.326	7	0.327	-0.448	318.599	638.187	371.474	265.724
274.078	8	0.377	-0.315	332.911	607.337	384.491	281.330
322.740	9	0.426	-0.187	346.644	587.868	397.392	295.897
330.675	10	0.475	-0.062	360.057	578.437	410.395	309.718
358.508	11	0.525	0.062	373.366	578.437	423.704	323.027
402.969	12	0.574	0.187	386.778	587.868	437.526	336.031
403.349	13	0.623	0.315	400.512	607.337	452.093	348.931
417.400	14	0.673	0.448	414.824	638.187	467.698	361.949
434.221	15	0.722	0.589	430.048	682.839	484.741	375.355
442.319	16	0.772	0.744	446.669	745.515	503.817	389.521
464.591	17	0.821	0.919	465.472	833.948	525.915	405.029
528.437	18	0.870	1.128	487.930	963.955	552.913	422.946
565.153	19	0.920	1.403	517.507	1175.679	589.273	445.741
567.169	20	0.969	1.868	567.453	1637.727	652.155	482.751

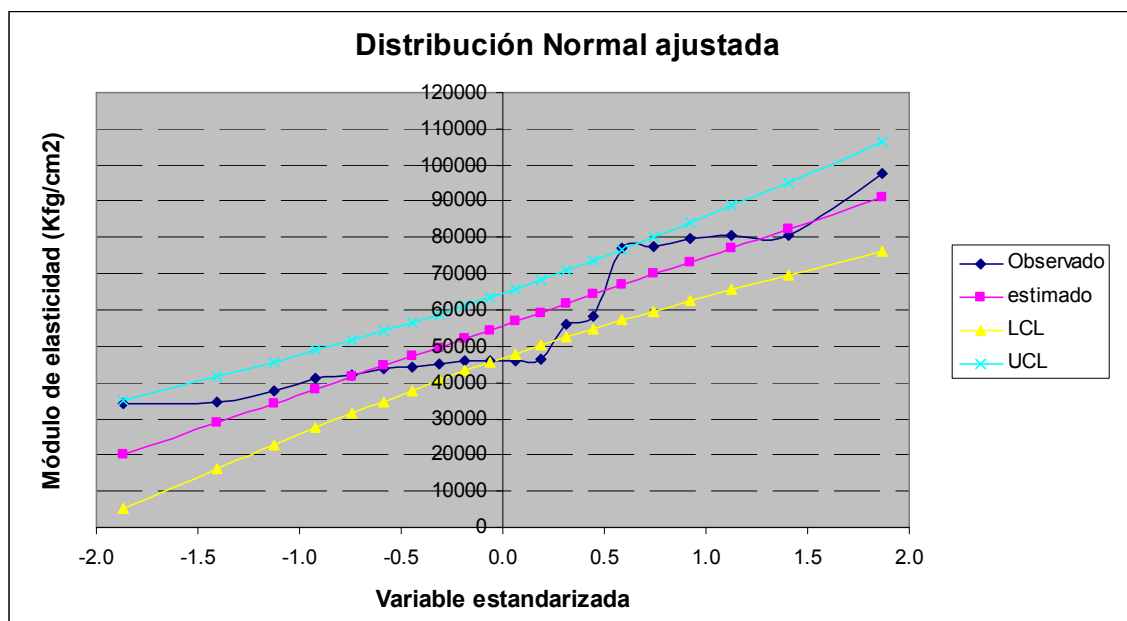
Gráfica 30. DNA para el ELP a flexión con nodo en probetas verdes



Cuadro 30. DNA para el MOE a flexión con nodo en probetas verdes

E_m Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
34116.403	1	0.031	-1.868	20110.640	51453321.562	35124.105	5097.176
34565.498	2	0.080	-1.403	28963.512	36936920.694	41684.024	16243.001
37568.040	3	0.130	-1.128	34206.131	30285059.310	45724.432	22687.830
40991.554	4	0.179	-0.919	38186.782	26200562.642	48900.236	27473.328
42208.873	5	0.228	-0.744	41519.596	23422235.667	51649.105	31390.087
43850.464	6	0.278	-0.589	44465.677	21453093.440	54160.037	34771.316
44142.902	7	0.327	-0.448	47164.192	20050265.166	56536.235	37792.149
45155.693	8	0.377	-0.315	49700.953	19081015.692	58843.664	40558.243
45833.520	9	0.426	-0.187	52135.268	18469360.826	61130.247	43140.289
45969.639	10	0.475	-0.062	54512.605	18173046.586	63435.137	45590.074
46021.598	11	0.525	0.062	56871.635	18173046.586	65794.167	47949.104
46494.747	12	0.574	0.187	59248.972	18469360.826	68243.951	50253.993
55935.666	13	0.623	0.315	61683.287	19081015.692	70825.998	52540.577
58085.579	14	0.673	0.448	64220.049	20050265.166	73592.092	54848.005
77164.250	15	0.722	0.589	66918.564	21453093.440	76612.925	57224.203
77451.016	16	0.772	0.744	69864.644	23422235.667	79994.153	59735.135
79736.706	17	0.821	0.919	73197.458	26200562.642	83910.913	62484.004
80390.961	18	0.870	1.128	77178.110	30285059.310	88696.411	65659.808
80676.110	19	0.920	1.403	82420.728	36936920.694	95141.239	69700.217
97483.186	20	0.969	1.868	91273.600	51453321.562	106287.065	76260.135

Gráfica 31. DNA para el MOE a flexión con nodo en probetas verdes



Cuadro 31. DNA para el esfuerzo de cizallamiento en probetas secas

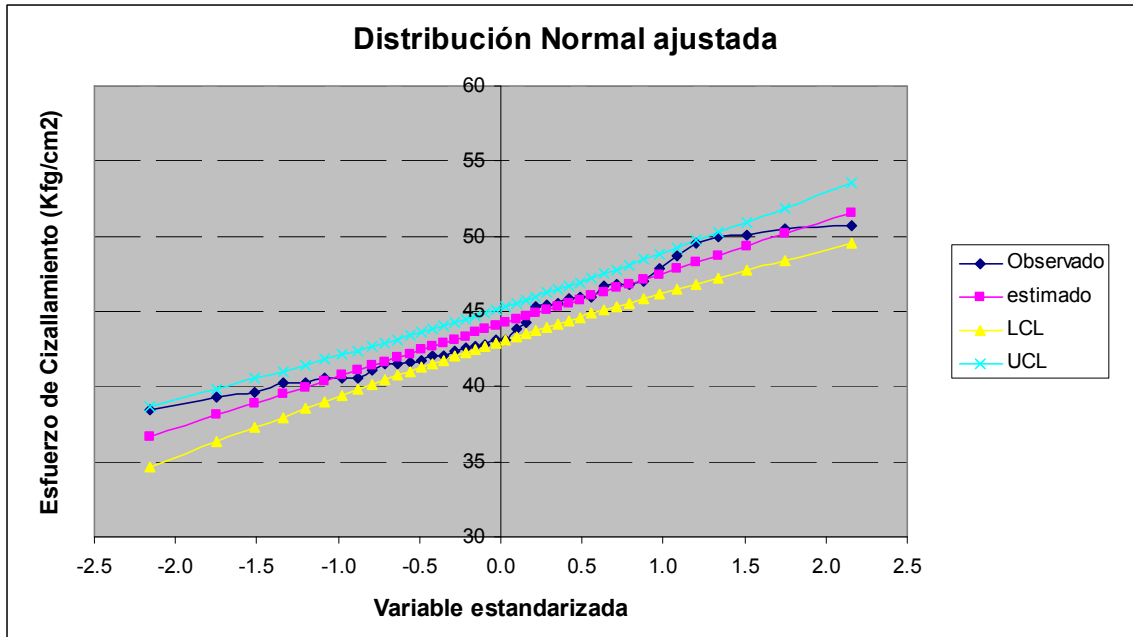
CIZALLAMIENTO Kgf/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
38.4615	1	0.016	-2.156	36.687	1.004	38.714	34.660
39.3113	2	0.040	-1.746	38.099	0.761	39.863	36.335
39.5916	3	0.065	-1.512	38.905	0.645	40.529	37.281
40.2576	4	0.090	-1.340	39.498	0.570	41.025	37.971
40.2607	5	0.115	-1.201	39.979	0.516	41.432	38.526
40.5338	6	0.140	-1.081	40.390	0.475	41.783	38.996
40.5588	7	0.165	-0.976	40.754	0.441	42.098	39.410
40.5649	8	0.189	-0.880	41.084	0.414	42.386	39.782
41.0893	9	0.214	-0.792	41.388	0.392	42.654	40.122
41.4694	10	0.239	-0.709	41.672	0.373	42.908	40.437
41.4834	11	0.264	-0.631	41.941	0.357	43.150	40.732
41.6243	12	0.289	-0.557	42.197	0.344	43.383	41.011
41.7748	13	0.314	-0.485	42.443	0.332	43.609	41.276
41.9938	14	0.339	-0.417	42.680	0.323	43.830	41.531
42.0082	15	0.363	-0.350	42.911	0.315	44.047	41.775
42.3339	16	0.388	-0.284	43.137	0.309	44.261	42.012
42.5641	17	0.413	-0.220	43.358	0.304	44.473	42.243
42.7144	18	0.438	-0.156	43.577	0.300	44.685	42.468
42.8014	19	0.463	-0.094	43.793	0.298	44.897	42.689
43.1344	20	0.488	-0.031	44.008	0.297	45.110	42.906
43.1365	21	0.512	0.031	44.222	0.297	45.324	43.120
43.8007	22	0.537	0.094	44.437	0.298	45.541	43.333
44.2287	23	0.562	0.156	44.653	0.300	45.762	43.545
45.3487	24	0.587	0.220	44.872	0.304	45.987	43.757
45.4309	25	0.612	0.284	45.093	0.309	46.218	43.969
45.5534	26	0.637	0.350	45.319	0.315	46.455	44.183
45.8399	27	0.661	0.417	45.550	0.323	46.699	44.400
45.9414	28	0.686	0.485	45.787	0.332	46.954	44.621
45.9607	29	0.711	0.557	46.033	0.344	47.219	44.847
46.6798	30	0.736	0.631	46.289	0.357	47.498	45.080
46.8340	31	0.761	0.709	46.558	0.373	47.793	45.322
46.8384	32	0.786	0.792	46.842	0.392	48.108	45.576
47.0430	33	0.811	0.880	47.146	0.414	48.448	45.844
47.8688	34	0.835	0.976	47.476	0.441	48.820	46.132
48.7118	35	0.860	1.081	47.840	0.475	49.234	46.447
49.5267	36	0.885	1.201	48.251	0.516	49.704	46.798
49.9555	37	0.910	1.340	48.732	0.570	50.259	47.205
50.1194	38	0.935	1.512	49.325	0.645	50.949	47.701
50.5232	39	0.960	1.746	50.131	0.761	51.895	48.367
50.7265	40	0.984	2.156	51.543	1.004	53.570	49.516

alfa	0.375
------	-------

n	40
---	----

T de student	2.02
--------------	------

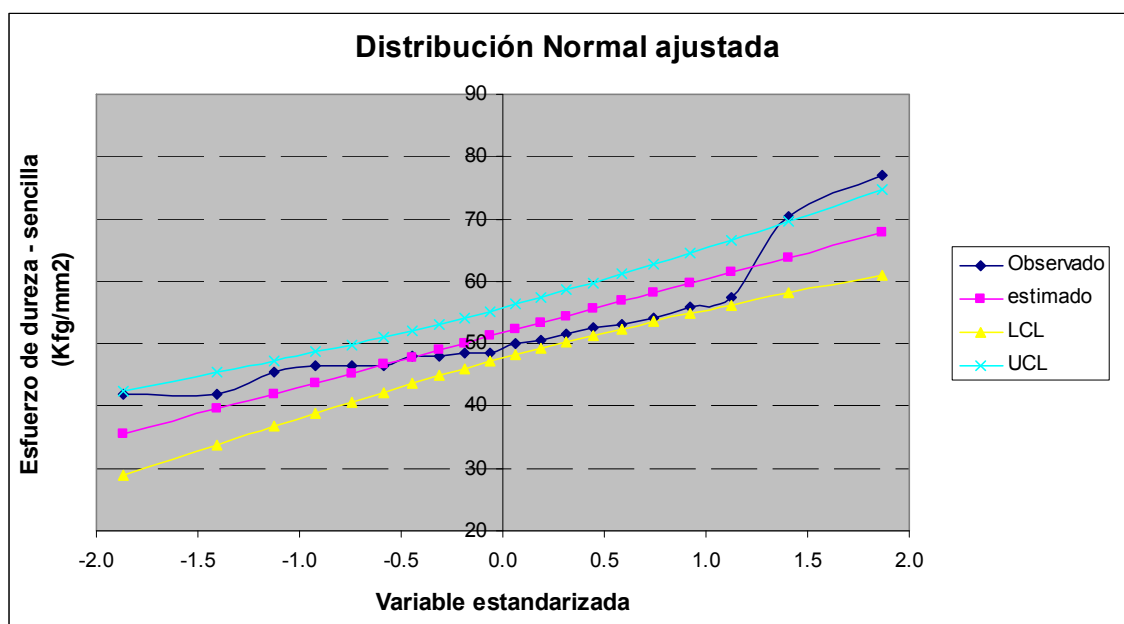
Gráfica 32. DNA para el esfuerzo de cizallamiento en probetas secas



Cuadro 32. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – sencillas

SENCILLA Kgf/mm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
42.0	1	0.031	-1.868	35.61	10.55	42.41	28.81
42.0	2	0.080	-1.403	39.62	7.57	45.38	33.86
45.5	3	0.130	-1.128	42.00	6.21	47.21	36.78
46.5	4	0.179	-0.919	43.80	5.37	48.65	38.95
46.5	5	0.228	-0.744	45.31	4.80	49.89	40.72
46.5	6	0.278	-0.589	46.64	4.40	51.03	42.25
48.0	7	0.327	-0.448	47.86	4.11	52.11	43.62
48.0	8	0.377	-0.315	49.01	3.91	53.15	44.87
48.5	9	0.426	-0.187	50.11	3.79	54.19	46.04
48.5	10	0.475	-0.062	51.19	3.73	55.23	47.15
50.0	11	0.525	0.062	52.26	3.73	56.30	48.22
50.5	12	0.574	0.187	53.34	3.79	57.41	49.26
51.5	13	0.623	0.315	54.44	3.91	58.58	50.30
52.5	14	0.673	0.448	55.59	4.11	59.83	51.34
53.0	15	0.722	0.589	56.81	4.40	61.20	52.42
54.0	16	0.772	0.744	58.14	4.80	62.73	53.56
56.0	17	0.821	0.919	59.65	5.37	64.50	54.80
57.5	18	0.870	1.128	61.45	6.21	66.67	56.24
70.5	19	0.920	1.403	63.83	7.57	69.59	58.07
77.0	20	0.969	1.868	67.84	10.55	74.64	61.04

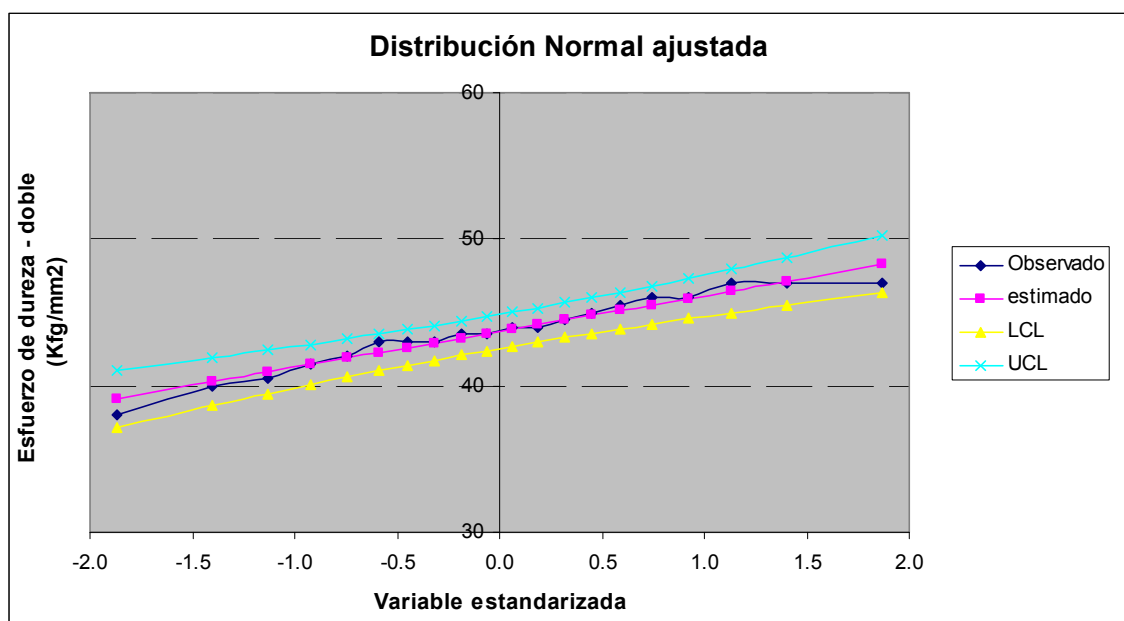
Gráfica 33. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – sencillas



Cuadro 33. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – dobles

DOBLE Kgf/mm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
38.0	1	0.031	-1.868	39.11	0.86	41.05	37.17
40.0	2	0.080	-1.403	40.25	0.61	41.89	38.61
40.5	3	0.130	-1.128	40.93	0.50	42.41	39.44
41.5	4	0.179	-0.919	41.44	0.44	42.82	40.06
42.0	5	0.228	-0.744	41.87	0.39	43.18	40.56
43.0	6	0.278	-0.589	42.25	0.36	43.50	41.00
43.0	7	0.327	-0.448	42.60	0.33	43.81	41.39
43.0	8	0.377	-0.315	42.93	0.32	44.11	41.75
43.5	9	0.426	-0.187	43.24	0.31	44.40	42.08
43.5	10	0.475	-0.062	43.55	0.30	44.70	42.40
44.0	11	0.525	0.062	43.85	0.30	45.00	42.70
44.0	12	0.574	0.187	44.16	0.31	45.32	43.00
44.5	13	0.623	0.315	44.47	0.32	45.65	43.29
45.0	14	0.673	0.448	44.80	0.33	46.01	43.59
45.5	15	0.722	0.589	45.15	0.36	46.40	43.90
46.0	16	0.772	0.744	45.53	0.39	46.84	44.22
46.0	17	0.821	0.919	45.96	0.44	47.34	44.58
47.0	18	0.870	1.128	46.47	0.50	47.96	44.99
47.0	19	0.920	1.403	47.15	0.61	48.79	45.51
47.0	20	0.969	1.868	48.29	0.86	50.23	46.35

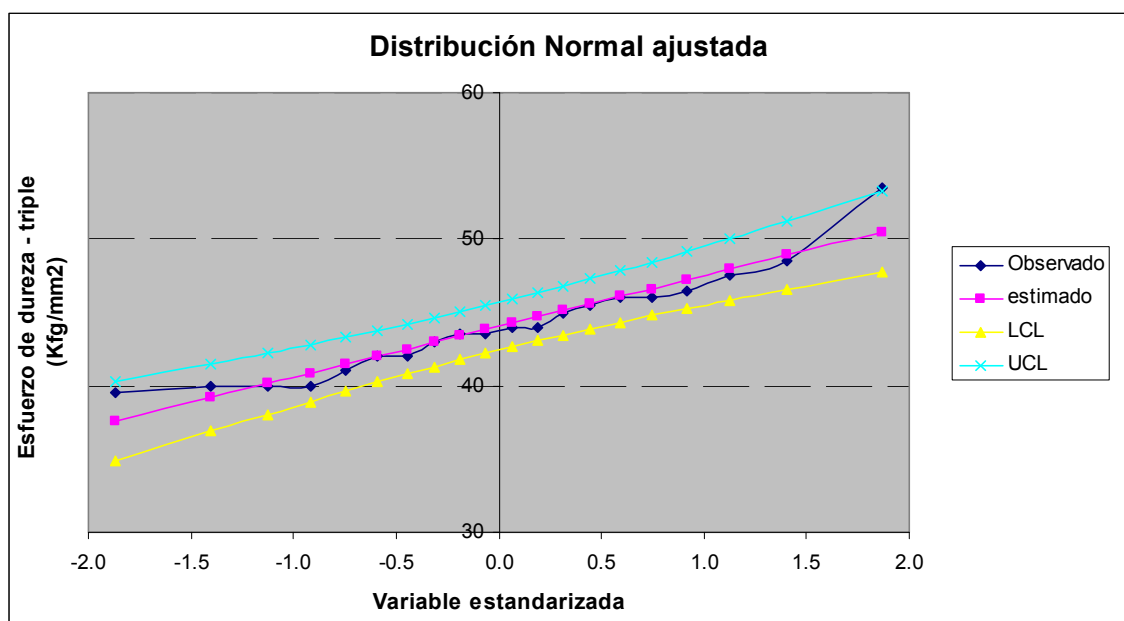
Gráfica 34. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – dobles



Cuadro 34. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – triples

TRIPLE Kgf/mm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
39.5	1	0.031	-1.868	37.59	1.69	40.32	34.87
40.0	2	0.080	-1.403	39.20	1.22	41.51	36.89
40.0	3	0.130	-1.128	40.15	1.00	42.24	38.06
40.0	4	0.179	-0.919	40.87	0.86	42.82	38.93
41.0	5	0.228	-0.744	41.48	0.77	43.32	39.64
42.0	6	0.278	-0.589	42.01	0.71	43.77	40.25
42.0	7	0.327	-0.448	42.50	0.66	44.20	40.80
43.0	8	0.377	-0.315	42.96	0.63	44.62	41.30
43.5	9	0.426	-0.187	43.40	0.61	45.04	41.77
43.5	10	0.475	-0.062	43.84	0.60	45.46	42.22
44.0	11	0.525	0.062	44.26	0.60	45.88	42.64
44.0	12	0.574	0.187	44.70	0.61	46.33	43.06
45.0	13	0.623	0.315	45.14	0.63	46.80	43.48
45.5	14	0.673	0.448	45.60	0.66	47.30	43.90
46.0	15	0.722	0.589	46.09	0.71	47.85	44.33
46.0	16	0.772	0.744	46.62	0.77	48.46	44.78
46.5	17	0.821	0.919	47.23	0.86	49.17	45.28
47.5	18	0.870	1.128	47.95	1.00	50.04	45.86
48.5	19	0.920	1.403	48.90	1.22	51.21	46.59
53.5	20	0.969	1.868	50.51	1.69	53.23	47.78

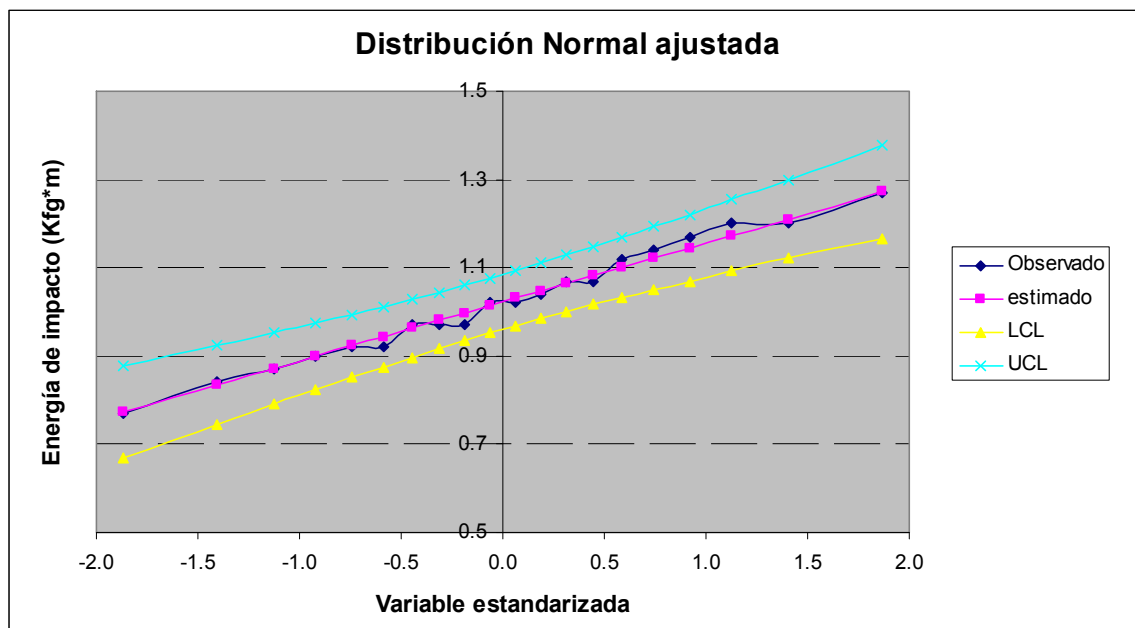
Gráfica 35. DNA para el esfuerzo de dureza en probetas secas – triples



Cuadro 35. DNA para la energía de impacto en probetas secas

E_i Kgf*m	Rango i	F_i	Y_i	X_{est}	Var X_{est}	UCL	LCL
0.77	1	0.031	-1.868	0.77	0.0025	0.88	0.67
0.84	2	0.080	-1.403	0.84	0.0018	0.92	0.75
0.87	3	0.130	-1.128	0.87	0.0015	0.95	0.79
0.90	4	0.179	-0.919	0.90	0.0013	0.97	0.82
0.92	5	0.228	-0.744	0.92	0.0012	0.99	0.85
0.92	6	0.278	-0.589	0.94	0.0011	1.01	0.88
0.97	7	0.327	-0.448	0.96	0.0010	1.03	0.90
0.97	8	0.377	-0.315	0.98	0.0009	1.04	0.92
0.97	9	0.426	-0.187	1.00	0.0009	1.06	0.93
1.02	10	0.475	-0.062	1.01	0.0009	1.08	0.95
1.02	11	0.525	0.062	1.03	0.0009	1.09	0.97
1.04	12	0.574	0.187	1.05	0.0009	1.11	0.98
1.07	13	0.623	0.315	1.06	0.0009	1.13	1.00
1.07	14	0.673	0.448	1.08	0.0010	1.15	1.02
1.12	15	0.722	0.589	1.10	0.0011	1.17	1.03
1.14	16	0.772	0.744	1.12	0.0012	1.19	1.05
1.17	17	0.821	0.919	1.15	0.0013	1.22	1.07
1.20	18	0.870	1.128	1.17	0.0015	1.25	1.09
1.20	19	0.920	1.403	1.21	0.0018	1.30	1.12
1.27	20	0.969	1.868	1.27	0.0025	1.38	1.17

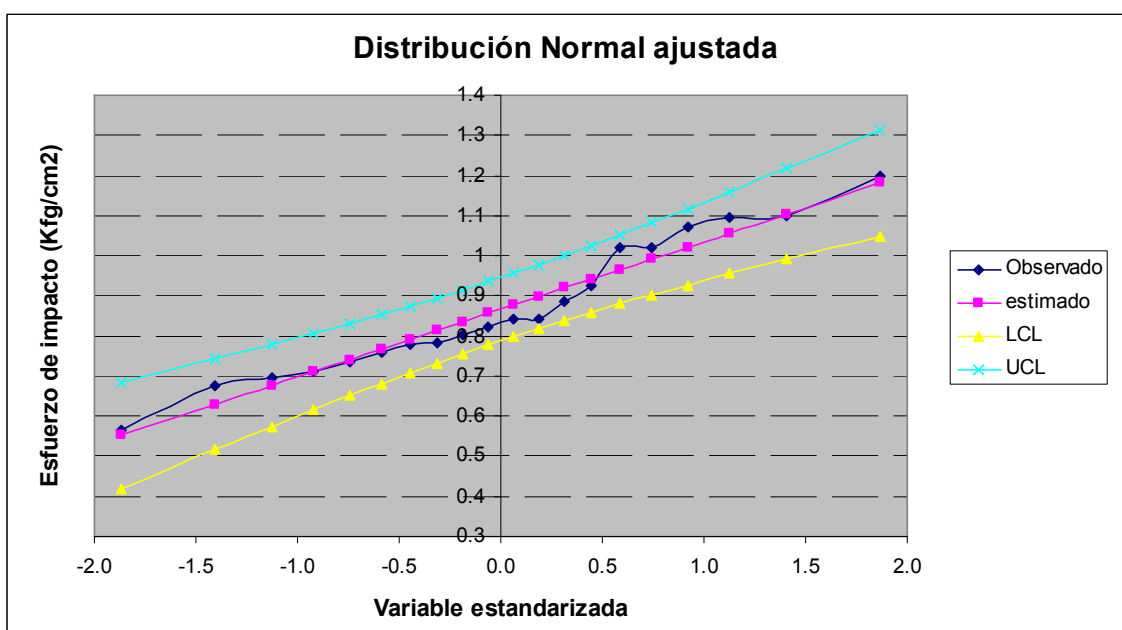
Gráfica 36. DNA para la energía de impacto en probetas secas



Cuadro 36. DNA para el esfuerzo de impacto en probetas secas

ESFUERZO DE IMPACTO Kgf*m/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
0.565	1	0.031	-1.868	0.552	0.0040	0.685	0.419
0.678	2	0.080	-1.403	0.630	0.0029	0.743	0.517
0.695	3	0.130	-1.128	0.676	0.0024	0.778	0.574
0.713	4	0.179	-0.919	0.712	0.0021	0.807	0.617
0.735	5	0.228	-0.744	0.741	0.0018	0.831	0.651
0.760	6	0.278	-0.589	0.767	0.0017	0.853	0.681
0.780	7	0.327	-0.448	0.791	0.0016	0.874	0.708
0.782	8	0.377	-0.315	0.814	0.0015	0.895	0.733
0.802	9	0.426	-0.187	0.835	0.0014	0.915	0.756
0.823	10	0.475	-0.062	0.856	0.0014	0.935	0.777
0.841	11	0.525	0.062	0.877	0.0014	0.956	0.798
0.841	12	0.574	0.187	0.898	0.0014	0.978	0.819
0.887	13	0.623	0.315	0.920	0.0015	1.001	0.839
0.926	14	0.673	0.448	0.942	0.0016	1.025	0.859
1.021	15	0.722	0.589	0.966	0.0017	1.052	0.880
1.021	16	0.772	0.744	0.992	0.0018	1.082	0.903
1.073	17	0.821	0.919	1.022	0.0021	1.117	0.927
1.094	18	0.870	1.128	1.057	0.0024	1.159	0.955
1.097	19	0.920	1.403	1.103	0.0029	1.216	0.991
1.200	20	0.969	1.868	1.182	0.0040	1.315	1.049

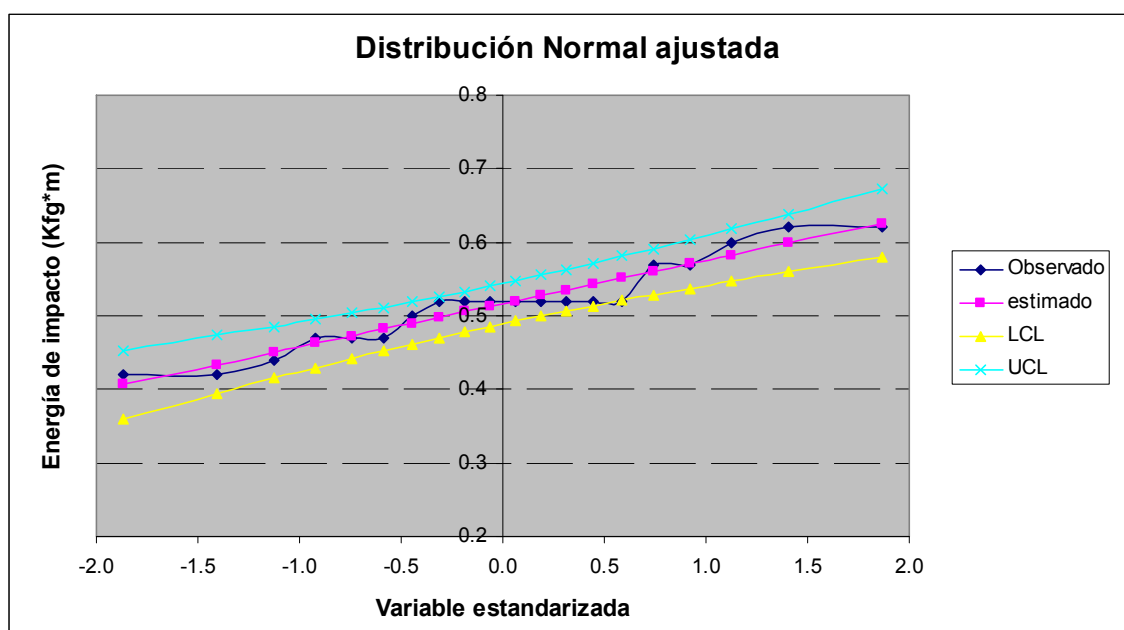
Gráfica 37. DNA para el esfuerzo de impacto en probetas secas



Cuadro 37. DNA para la energía de impacto en probetas verdes

E_i Kgf*m	Rango i	F_i	Y_i	Xest	Var Xest	UCL	LCL
0.42	1	0.031	-1.868	0.41	0.0005	0.45	0.36
0.42	2	0.080	-1.403	0.43	0.0004	0.47	0.39
0.44	3	0.130	-1.128	0.45	0.0003	0.49	0.41
0.47	4	0.179	-0.919	0.46	0.0002	0.50	0.43
0.47	5	0.228	-0.744	0.47	0.0002	0.50	0.44
0.47	6	0.278	-0.589	0.48	0.0002	0.51	0.45
0.50	7	0.327	-0.448	0.49	0.0002	0.52	0.46
0.52	8	0.377	-0.315	0.50	0.0002	0.53	0.47
0.52	9	0.426	-0.187	0.51	0.0002	0.53	0.48
0.52	10	0.475	-0.062	0.51	0.0002	0.54	0.49
0.52	11	0.525	0.062	0.52	0.0002	0.55	0.49
0.52	12	0.574	0.187	0.53	0.0002	0.56	0.50
0.52	13	0.623	0.315	0.53	0.0002	0.56	0.51
0.52	14	0.673	0.448	0.54	0.0002	0.57	0.51
0.52	15	0.722	0.589	0.55	0.0002	0.58	0.52
0.57	16	0.772	0.744	0.56	0.0002	0.59	0.53
0.57	17	0.821	0.919	0.57	0.0002	0.60	0.54
0.60	18	0.870	1.128	0.58	0.0003	0.62	0.55
0.62	19	0.920	1.403	0.60	0.0004	0.64	0.56
0.62	20	0.969	1.868	0.63	0.0005	0.67	0.58

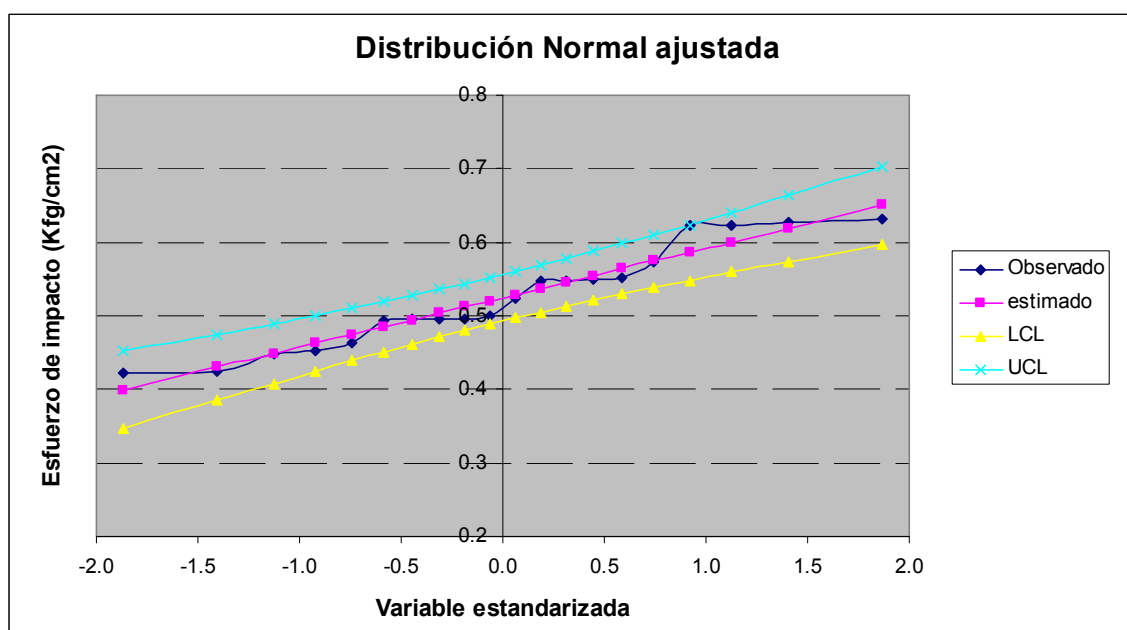
Gráfica 38. DNA para la energía de impacto en probetas verdes



Cuadro 38. DNA para el esfuerzo de impacto en probetas verdes

ESFUERZO DE IMPACTO Kgf*m/cm ²	Rango i	Fi	Yi	Xest	Var Xest	UCL	LCL
0.423	1	0.031	-1.868	0.399	0.0006	0.452	0.346
0.424	2	0.080	-1.403	0.430	0.0005	0.475	0.385
0.449	3	0.130	-1.128	0.449	0.0004	0.489	0.408
0.452	4	0.179	-0.919	0.463	0.0003	0.501	0.425
0.463	5	0.228	-0.744	0.475	0.0003	0.510	0.439
0.495	6	0.278	-0.589	0.485	0.0003	0.519	0.451
0.496	7	0.327	-0.448	0.494	0.0002	0.528	0.461
0.496	8	0.377	-0.315	0.503	0.0002	0.536	0.471
0.496	9	0.426	-0.187	0.512	0.0002	0.544	0.480
0.501	10	0.475	-0.062	0.520	0.0002	0.552	0.489
0.523	11	0.525	0.062	0.529	0.0002	0.560	0.497
0.547	12	0.574	0.187	0.537	0.0002	0.569	0.505
0.547	13	0.623	0.315	0.546	0.0002	0.578	0.513
0.549	14	0.673	0.448	0.555	0.0002	0.588	0.522
0.551	15	0.722	0.589	0.564	0.0003	0.598	0.530
0.573	16	0.772	0.744	0.575	0.0003	0.610	0.539
0.624	17	0.821	0.919	0.586	0.0003	0.624	0.548
0.624	18	0.870	1.128	0.600	0.0004	0.641	0.560
0.628	19	0.920	1.403	0.619	0.0005	0.664	0.574
0.631	20	0.969	1.868	0.650	0.0006	0.703	0.597

Gráfica 39. DNA para el esfuerzo de impacto en probetas verdes



Se observa en las graficas anteriores que los datos pueden describirse por una distribución normal, y es por tanto una distribución estadística apropiada para representar las muestras de cada ensayo.

Los límites de confianza del 95% se definieron primero, arreglando los datos en orden ascendente de magnitud. La probabilidad de no excedencia (F_i) se determina de acuerdo a la fórmula de Blom (con $\alpha = 0.375$) y se convierten entonces a variable estandarizada (Y_i) usando una de hoja de cálculo como Excel.

Los ajustes que se hicieron a los datos se lograron teniendo en cuenta los parámetros de una distribución normal, como lo son: **a**, parámetro de la escala que es igual a la desviación normal y **c**, la ubicación, parámetro que se representa por la media de la muestra.

Los cuantiles estimados o los valores estimados de los datos usando la distribución normal y las varianzas de estas estimaciones son calculadas con las ecuaciones típicas para el ajuste de la distribución normal.

Los límites de confianza basados en el 95% de los niveles de confianza (dos pruebas seguidas) se obtienen usando una t de Student de valor 2.09 para una probabilidad de 0.05 y 19 ($n - 1$) grados de libertad, cuando $n = 20$; y una t de Student de valor 2.02 para una probabilidad de 0.05 y 39 ($n - 1$) grados de libertad, cuando $n = 40$. Todo este proceso probabilístico se agilizó usando Excel.

Con límites de confianza fijados en el 95%, se esperó que el 95% de los datos estuvieran dentro del límite de confianza fijado y esta tendencia fue evidente.

3.4 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS CALCULADOS PARA CADA ENSAYO

Cuadro 39. Contenido de humedad en estado verde

CONTENIDO DE HUMEDAD EN ESTADO VERDE					
PROBETA	Intervalo de tiempo				CONTENIDO DE HUMEDAD %
	0 Hr	16 Hr	20 Hr	24 Hr	
CH1	25.05	16.64	16.59	16.59	50.99
CH2	27.03	18.03	18.00	17.99	50.25
CH3	28.69	20.89	20.86	20.85	37.60
CH4	24.15	16.04	15.99	16.02	50.75
CH5	27.00	18.30	18.28	18.25	47.95
CH6	29.83	19.95	19.94	19.93	49.67
CH7	26.24	17.33	17.31	17.31	51.59
CH8	24.54	16.63	16.61	16.61	47.74
CH9	24.08	16.04	16.02	16.01	50.41
CH10	26.75	17.65	17.63	17.62	51.82
CH11	25.82	16.87	16.85	16.84	53.33
CH12	24.83	16.46	16.42	16.42	51.22
CH13	25.23	16.98	16.96	16.95	48.85
CH14	24.60	16.23	16.20	16.19	51.95
CH15	26.73	17.45	17.43	17.42	53.44
CH16	27.75	18.76	18.00	17.99	54.25
CH17	26.46	17.34	17.33	17.33	52.68
CH18	25.27	16.65	16.62	16.62	52.05
CH19	25.48	16.23	16.22	16.22	57.09
CH20	25.72	16.25	16.22	16.22	58.57

MEDIA	51.11
DESV. ESTÁNDAR	4.16
COEF. DE VARIACIÓN %	8.14

Cuadro 40. Contenido de humedad en etapa de secado al aire

CONTENIDO DE HUMEDAD EN ETAPA DE SECADO AL AIRE					
PROBETA	Intervalo de tiempo				CONTENIDO DE HUMEDAD %
	0 Hr	16 Hr	20 Hr	24 Hr	
CH1	24.65	21.56	21.49	21.48	14.76
CH2	23.84	20.91	20.83	20.84	14.40
CH3	23.95	20.98	20.91	20.90	14.59
CH4	25.18	22.00	21.93	21.94	14.77
CH5	25.12	22.00	21.93	21.91	14.65
CH6	24.08	21.04	20.98	20.98	14.78
CH7	24.55	22.34	21.45	21.44	14.51
CH8	24.88	22.15	21.65	21.55	15.45
CH9	25.25	22.45	21.85	21.96	14.98
CH10	23.76	21.88	20.98	20.96	13.36
CH11	23.85	21.75	20.76	20.75	14.94
CH12	23.16	21.08	20.04	20.04	15.57
CH13	23.42	20.89	20.12	20.11	16.46
CH14	23.15	20.78	19.99	19.97	15.92
CH15	25.89	23.55	22.58	22.57	14.71
CH16	25.13	22.56	21.75	21.75	15.54
CH17	23.65	21.08	20.34	20.33	16.33
CH18	22.15	20.96	19.15	19.14	15.73
CH19	23.55	21.10	20.36	20.34	15.78
CH20	23.97	21.82	20.88	20.86	14.91

MEDIA	15.11
DESV. ESTÁNDAR	0.74
COEF. DE VARIACIÓN %	4.88

Cuadro 41. Expansión transversal y longitudinal

ESTADO SECO → ESTADO SATURADO						
PROBETA	INICIALES (mm)		FINALES (mm)		E	E
	DIÁM.	LONG.	DIÁM.	LONG.	EN X %	EN Y %
E1	30.40	59.00	32.60	59.45	7.24	0.76
E2	30.76	59.25	32.80	59.65	6.63	0.68
E3	31.53	61.00	34.05	61.45	7.99	0.74
E4	30.25	59.45	32.55	59.90	7.60	0.76
E5	30.05	59.10	32.00	59.50	6.49	0.68
E6	31.46	60.95	33.92	61.40	7.82	0.74
E7	30.63	59.70	32.50	60.15	6.11	0.75
E8	30.85	59.38	32.85	59.85	6.48	0.79
E9	30.00	59.85	32.25	60.25	7.50	0.67
E10	30.25	61.15	32.65	61.60	7.93	0.74
E11	30.12	59.10	32.32	59.55	7.30	0.76
E12	30.55	59.22	32.87	59.65	7.59	0.73
E13	30.85	59.38	33.15	59.82	7.46	0.74
E14	30.34	59.41	32.57	59.85	7.35	0.74
E15	29.85	59.18	32.11	59.60	7.57	0.71
E16	30.35	59.70	32.55	60.15	7.25	0.75
E17	31.44	61.12	33.80	61.55	7.51	0.70
E18	30.86	61.30	33.20	61.75	7.58	0.73
E19	30.46	59.32	32.82	59.75	7.75	0.72
E20	30.76	59.68	33.10	60.10	7.61	0.70

MEDIA	7.34	0.73
DESV. ESTÁNDAR	0.52	0.03
COEF. DE VARIACIÓN %	7.04	4.40

Cuadro 42. Contracción transversal y longitudinal

ESTADO SATURADO → ESTADO SECO						
PROBETA	INICIALES (mm)		FINALES (mm)		C	C
	DIÁM.	LONG.	DIÁM.	LONG.	EN X %	EN Y %
C1	32.60	59.45	30.85	59.15	5.37	0.50
C2	32.80	59.65	30.95	59.32	5.64	0.55
C3	34.05	61.45	32.15	61.15	5.58	0.49
C4	32.55	59.90	30.65	59.58	5.84	0.53
C5	32.00	59.50	30.35	59.15	5.16	0.59
C6	33.92	61.40	31.95	61.05	5.81	0.57
C7	32.50	60.15	30.65	59.85	5.69	0.50
C8	32.85	59.85	31.15	59.55	5.18	0.50
C9	32.25	60.25	30.45	59.90	5.58	0.58
C10	32.65	61.60	30.90	61.25	5.36	0.57
C11	32.32	59.55	30.45	59.25	5.79	0.50
C12	32.87	59.65	31.05	59.32	5.54	0.55
C13	33.15	59.82	31.25	59.48	5.73	0.57
C14	32.57	59.85	30.65	59.55	5.89	0.50
C15	32.11	59.60	30.25	59.32	5.79	0.47
C16	32.55	60.15	30.85	59.82	5.22	0.55
C17	33.80	61.55	31.90	61.20	5.62	0.57
C18	33.20	61.75	31.45	61.45	5.27	0.49
C19	32.82	59.75	31.10	59.45	5.24	0.50
C20	33.10	60.10	31.25	59.75	5.59	0.58

MEDIA	5.54	0.53
DESV. ESTÁNDAR	0.24	0.04
COEF. DE VARIACIÓN %	4.33	7.19

Cuadro 43. Densidad y peso específico

PROBETA	MASA (gr)	PESO DEL AGUA DESPLAZADA (gr)	PESO ESPECÍFICO
D1	24.23	44.79	0.541
D2	23.45	43.77	0.536
D3	23.55	44.62	0.528
D4	24.76	46.75	0.530
D5	24.67	46.07	0.535
D6	23.57	42.37	0.556
D7	24.45	44.56	0.549
D8	23.43	46.55	0.503
D9	24.53	43.85	0.559
D10	23.58	46.25	0.510
D11	24.71	44.65	0.553
D12	24.58	43.78	0.561
D13	23.55	44.38	0.531
D14	24.46	44.56	0.549
D15	24.48	46.75	0.524
D16	23.48	45.74	0.513
D17	23.89	44.56	0.536
D18	23.31	46.23	0.504
D19	24.52	44.98	0.545
D20	24.68	45.35	0.544
DENSIDAD gr/cm³			0.535

MEDIA	0.535
DESV. ESTÁNDAR	0.018
COEF. DE VARIACIÓN %	3.311

Cuadro 44. Compresión paralela en probetas completas (probetas secas)

COMPRESIÓN PARALELA EN PROBETAS COMPLETAS - PROBETAS SECAS									
PROBETA	CARGA MÁX. (Kgf)	CARGA L.P (Kgf)	LONG. cm	ÁREA cm²	DEF. UNIT. mm/mm	DEF. L.P cm	ESF. L.P Kgf/cm²	ESF. MÁX. Kgf/cm²	Em Kgf/cm²
C1	4800	3600.0	6.4350	7.9422	0.0095	0.0609	453.2749	604.3665	47914.8955
C2	4800	3600.0	6.6750	9.6211	0.0082	0.0549	374.1776	498.9035	45503.0613
C3	4750	3562.5	6.4100	7.8426	0.0105	0.0673	454.2499	605.6665	43280.0284
C4	4850	3637.5	6.8000	9.1594	0.0099	0.0673	397.1330	529.5107	40137.7568
C5	4900	3675.0	6.6900	9.4569	0.0088	0.0590	388.6051	518.1402	44088.3827
C6	4750	3562.5	6.8550	7.7338	0.0112	0.0770	460.6403	614.1871	41007.7723
C7	4920	3690.0	6.5600	7.4360	0.0086	0.0564	496.2345	661.6460	57744.6629
C8	3500	2625.0	6.5700	8.7249	0.0179	0.1174	300.8630	401.1507	16843.9377
C9	1900	1425.0	5.9550	6.6325	0.0131	0.0780	214.8511	286.4681	16400.8482
C10	1980	1485.0	5.7500	6.2990	0.0139	0.0802	235.7517	314.3356	16911.8871
C11	2150	1612.5	5.7750	6.8813	0.0092	0.0531	234.3307	312.4410	25470.7307
C12	1850	1387.5	5.9200	7.5157	0.0087	0.0515	184.6135	246.1514	21215.5092
C13	2850	2137.5	5.7120	5.9958	0.0077	0.0441	356.4995	475.3327	46224.2638
C14	2600	1950.0	5.1420	5.5697	0.0099	0.0507	350.1086	466.8115	35515.4301
C15	3600	2700.0	6.2560	8.1079	0.0089	0.0558	333.0085	444.0114	37315.3941
C16	1980	1485.0	5.8680	6.9185	0.0072	0.0425	214.6419	286.1892	29624.3715
C17	3900	2925.0	6.1100	7.6208	0.0179	0.1092	383.8180	511.7573	21478.2218
C18	3200	2400.0	5.8900	7.6450	0.0094	0.0555	313.9307	418.5742	33311.1218
C19	2250	1687.5	6.0700	6.8350	0.0069	0.0417	246.8910	329.1880	35979.4524
C20	3050	2287.5	5.9000	6.8350	0.0087	0.0512	334.6745	446.2326	38538.0527

MEDIA	336.4149	448.5532	34725.2890
DESV. ESTÁNDAR	92.3931	123.1907	11809.4806
COEF. DE VARIACIÓN %	27.46	27.46	34.01

Cuadro 45. Compresión paralela en probetas huecas (probetas secas)

COMPRESIÓN PARALELA EN PROBETAS HUECAS - PROBETAS SECAS									
PROBETA	CARGA MAX. (Kgf)	CARGA L.P (Kgf)	LONG. cm	ÁREA cm²	DEF. UNIT. mm/mm	DEF. L.P cm	ESF. L.P Kgf/cm²	ESF. MÁX. Kgf/cm²	Em Kgf/cm²
C1	1880	1410.0	5.9150	3.3142	0.0154	0.0911	425.4471	567.2628	27626.4369
C2	700	525.0	5.7550	2.3376	0.0077	0.0443	224.5921	299.4561	29167.8047
C3	2400	1800.0	5.1820	3.4125	0.0084	0.0435	527.4689	703.2918	62793.9142
C4	1820	1365.0	5.5900	3.5934	0.0053	0.0296	379.8597	506.4796	71671.6371
C5	2900	2175.0	6.2400	4.1433	0.0204	0.1273	524.9396	699.9195	25732.3356
C6	1820	1365.0	5.8600	3.3769	0.0113	0.0662	404.2119	538.9492	35770.9617
C7	3400	2550.0	6.1850	3.8635	0.0084	0.0520	660.0283	880.0377	78574.7925
C8	4400	3300.0	6.3100	4.6229	0.0129	0.0814	713.8448	951.7931	55336.8063
C9	4950	3712.5	6.5300	5.3850	0.0101	0.0660	689.4145	919.2194	68258.8647
C10	4700	3525.0	6.7450	4.7464	0.0103	0.0695	742.6632	990.2176	72103.2265
C11	4700	3525.0	6.5050	5.3409	0.0128	0.0833	660.0036	880.0047	51562.7780
C12	4550	3412.5	6.6100	5.5980	0.0089	0.0588	609.5940	812.7920	68493.7070
C13	4350	3262.5	6.3600	5.6393	0.0092	0.0585	578.5334	771.3779	62884.0675
C14	4750	3562.5	6.5100	5.8694	0.0093	0.0605	606.9576	809.2769	65264.2630
C15	4580	3435.0	6.2400	5.400	0.0095	0.0595	636.1231	848.1641	66735.5326
C16	4350	3262.5	6.7870	6.607	0.0120	0.0813	493.7600	658.3467	41209.8589
C17	4630	3472.5	6.8940	5.414	0.0173	0.1190	641.4462	855.2616	37163.7417
C18	4530	3397.5	6.8160	5.458	0.0087	0.0590	622.4254	829.9005	71873.5981
C19	4610	3457.5	7.4130	5.583	0.0110	0.0812	619.2810	825.7080	56506.3169
C20	4840	3630.0	7.2450	5.362	0.0083	0.0600	677.0479	902.7306	81788.8290

MEDIA	571.8821	762.5095	56525.9736
DESV. ESTÁNDAR	130.4872	173.9829	17727.9810
COEF. DE VARIACIÓN %	22.82	22.82	31.36

Nota: las probetas secas se encuentran a un contenido de humedad cercano al contenido de humedad de equilibrio (CH ≥ CHE).

Cuadro 46. Compresión paralela en probetas completas (probetas verdes)

COMPRESIÓN PARALELA EN PROBETAS COMPLETAS - PROBETAS VERDES									
PROBETA	CARGA MAX. (Kgf)	CARGA L.P (Kgf)	LONG. cm	ÁREA cm²	DEF. UNIT. mm/mm	DEF. L.P cm	ESF. L.P Kgf/cm²	ESF. MÁX. Kgf/cm²	Em Kgf/cm²
C1	3000	2250.00	5.500	7.907	0.0104	0.0573	284.5460	379.3947	27332.5974
C2	2150	1612.50	5.500	7.636	0.0093	0.0513	211.1824	281.5765	22651.4676
C3	3050	2287.50	5.535	6.460	0.0087	0.0482	354.0894	472.1192	40644.6171
C4	2100	1575.00	5.660	6.821	0.0093	0.0524	230.9034	307.8713	24961.7786
C5	3000	2250.00	5.430	6.523	0.0093	0.0502	344.9091	459.8788	37285.8203
C6	2700	2025.00	5.920	7.655	0.0085	0.0506	264.5266	352.7021	30944.9725
C7	2350	1762.50	5.750	6.605	0.0111	0.0638	266.8353	355.7804	24044.8465
C8	2250	1687.50	5.950	6.651	0.0077	0.0458	253.7277	338.3036	32956.9597
C9	2900	2175.00	5.720	6.483	0.0083	0.0477	335.5043	447.3391	40248.8473
C10	2100	1575.00	5.827	6.853	0.0089	0.0521	229.8104	306.4139	25701.2050
C11	2700	2025.00	5.974	7.163	0.0072	0.0430	282.6970	376.9294	39233.1810
C12	2250	1687.50	5.990	6.928	0.0076	0.0455	243.5796	324.7729	32039.4989
C13	2800	2100.00	6.006	7.239	0.0078	0.0469	290.0854	386.7805	37137.3967
C14	2400	1800.00	5.996	6.881	0.0107	0.0643	261.5768	348.7690	24406.5609
C15	2900	2175.00	6.043	7.465	0.0078	0.0473	291.3549	388.4732	37186.1411
C16	2300	1725.00	6.022	6.784	0.0104	0.0628	254.2729	339.0305	24400.7487
C17	2650	1987.50	5.933	7.040	0.0071	0.0421	282.3018	376.4024	39793.8866
C18	2220	1665.00	5.909	6.674	0.0076	0.0448	249.4866	332.6488	32879.4463
C19	2850	2137.50	5.974	7.349	0.0075	0.0448	290.8421	387.7895	38752.9062
C20	2250	1687.50	6.005	6.816	0.0075	0.0448	247.5645	330.0860	33200.7696

MEDIA	273.4898	364.6531	32290.1824
DESV. ESTÁNDAR	37.9724	50.6298	6334.1724
COEF. DE VARIACIÓN %	13.88	13.88	19.62

Cuadro 47. Compresión paralela en probetas huecas (probetas verdes)

COMPRESIÓN PARALELA EN PROBETAS HUECAS - PROBETAS VERDES									
PROBETA	CARGA MAX. (Kgf)	CARGA L.P (Kgf)	LONG. cm	ÁREA cm²	DEF. UNIT. mm/mm	DEF. L.P cm	ESF. L.P Kgf/cm²	ESF. MÁX. Kgf/cm²	Em Kgf/cm²
C1	2200	1650.00	5.560	2.443	0.0096	0.0533	675.2958	900.3944	70403.3025
C2	2800	2100.00	5.865	4.804	0.0090	0.0530	437.1496	582.8662	48413.7617
C3	2400	1800.00	5.690	4.706	0.0104	0.0589	382.4548	509.9397	36929.2641
C4	2700	2025.00	5.600	4.305	0.0107	0.0602	470.4259	627.2345	43773.9831
C5	2950	2212.50	5.565	4.353	0.0140	0.0777	508.2874	677.7165	36396.7130
C6	3000	2250.00	5.625	4.488	0.0115	0.0647	501.3017	668.4023	43560.7725
C7	3050	2287.50	5.885	4.772	0.0076	0.0447	479.3631	639.1508	63107.3905
C8	3100	2325.00	5.535	4.778	0.0113	0.0625	486.6528	648.8704	43089.1204
C9	2900	2175.00	5.840	4.806	0.0131	0.0764	452.5366	603.3822	34582.5302
C10	2720	2040.00	5.765	4.348	0.0106	0.0610	469.2085	625.6113	44364.5624
C11	3120	2340.00	5.778	4.771	0.0109	0.0632	490.4427	653.9236	44854.8288
C12	3150	2362.50	5.831	4.795	0.0109	0.0633	492.7381	656.9842	45363.4826
C13	3000	2250.00	5.792	4.410	0.0110	0.0635	510.1650	680.2201	46497.4205
C14	2800	2100.00	5.825	4.801	0.0090	0.0524	437.4311	583.2415	48657.4689
C15	3100	2325.00	5.885	4.705	0.0106	0.0623	494.1552	658.8735	46709.6272
C16	2920	2190.00	5.817	4.299	0.0134	0.0779	509.3974	679.1966	38014.1653
C17	2700	2025.00	5.739	4.283	0.0105	0.0602	472.8318	630.4424	45059.9213
C18	2500	1875.00	5.784	4.621	0.0104	0.0603	405.7475	540.9967	38892.2702
C19	2600	1950.00	5.779	4.634	0.0109	0.0627	420.7643	561.0190	38775.4699
C20	3100	2325.00	5.762	4.780	0.0107	0.0619	486.4452	648.5936	45274.7258

MEDIA	479.1397	638.8530	45136.0390
DESV. ESTÁNDAR	58.4497	77.9329	8532.9738
COEF. DE VARIACIÓN %	12.20	12.20	18.91

Nota: las probetas verdes se encuentran a un contenido de humedad mayor al contenido de humedad de equilibrio (CH > CHE).

Cuadro 48. Tracción paralela en probetas secas

TRACCIÓN PARALELA - PROBETAS SECAS									
PROBETA	CARGA MÁX. (Kgf)	CARGA L.P (Kgf)	LONG. cm	ÁREA cm²	DEF. UNIT. mm/mm	DEF. L.P cm	ESF. L.P Kgf/cm²	ESF. MÁX. Kgf/cm²	Em Kgf/cm²
T1	275.0	206.25	9.80	0.0851	0.0210	0.2054	2424.5310	3232.7080	115668.6686
T2	252.5	189.38	9.80	0.1242	0.0154	0.1513	1525.2497	2033.6662	98785.6009
T3	317.5	238.13	9.80	0.1007	0.0272	0.2666	2365.3078	3153.7438	86959.8465
T4	272.5	204.38	9.80	0.0800	0.0208	0.2038	2555.3263	3407.1018	122852.2275
T5	310.0	232.50	9.80	0.0863	0.0216	0.2112	2695.6522	3594.2029	125088.2679
T6	250.0	187.50	9.80	0.0773	0.0163	0.1597	2426.9960	3235.9946	148895.4578
T7	115.0	86.25	9.80	0.0400	0.0114	0.1112	2156.7892	2875.7189	190025.4799
T8	217.5	163.13	9.80	0.0720	0.0174	0.1705	2265.9397	3021.2530	130263.8525
T9	230.0	172.50	9.80	0.1041	0.0167	0.1641	1657.0128	2209.3504	98973.4062
T10	260.0	195.00	9.80	0.0974	0.0165	0.1619	2001.2315	2668.3087	121139.9229
T11	335.0	251.25	9.80	0.0899	0.0208	0.2037	2794.3057	3725.7410	134406.2402
T12	294.0	220.50	9.80	0.0692	0.0226	0.2211	3188.2591	4251.0121	141311.0145
T13	142.5	106.88	9.80	0.0832	0.0160	0.1568	1284.3392	1712.4522	80271.1984
T14	328.0	246.00	9.80	0.1120	0.0211	0.2069	2196.2325	2928.3100	104045.4264
T15	298.5	223.88	9.80	0.1101	0.0229	0.2243	2034.1547	2712.2063	88866.5233
T16	315.0	236.25	9.80	0.0708	0.0197	0.1927	3337.5715	4450.0954	169695.5216
T17	275.5	206.63	9.80	0.1032	0.0219	0.2141	2001.9474	2669.2633	91622.3088
T18	295.5	221.63	9.80	0.0939	0.0296	0.2901	2359.3191	3145.7588	79706.7267
T19	340.0	255.00	9.80	0.0905	0.0177	0.1731	2818.5516	3758.0688	159600.8831
T20	315.5	236.63	9.80	0.1118	0.0178	0.1741	2115.6890	2820.9186	119059.5924
T21	295.0	221.25	9.80	0.1230	0.0203	0.1989	1798.7805	2398.3740	88609.8762
T22	310.0	232.50	9.80	0.1199	0.0224	0.2195	1938.9542	2585.2723	86560.4561
T23	195.5	146.63	9.80	0.0999	0.0131	0.1284	1468.0851	1957.4468	112067.5654
T24	305.0	228.75	9.80	0.0926	0.0217	0.2127	2469.6356	3292.8475	113808.0934
T25	350.0	262.50	9.80	0.1013	0.0255	0.2499	2592.2086	3456.2781	101655.2377
T26	360.5	270.38	9.80	0.1604	0.0199	0.1950	1685.3670	2247.1560	84691.8087

T27	375.0	281.25	9.80	0.1274	0.0227	0.2225	2207.6138	2943.4851	97251.7099
T28	325.0	243.75	9.80	0.0831	0.0228	0.2234	2932.3308	3909.7744	128611.0012
T29	240.0	180.00	9.80	0.1094	0.0166	0.1627	1645.1878	2193.5838	99107.70034
T30	220.5	165.38	9.80	0.1024	0.0131	0.1284	1615.3846	2153.8462	123311.8027
T31	230.0	172.50	9.80	0.0868	0.0146	0.1431	1987.8997	2650.5330	136157.5165
T32	294.0	220.50	9.80	0.0743	0.0211	0.2068	2969.6970	3959.5960	140743.9322
T33	250.0	187.50	9.80	0.0741	0.0226	0.2215	2530.3644	3373.8192	111963.0253
T34	290.5	217.88	9.80	0.0780	0.0208	0.2038	2791.6944	3722.2592	134216.0783
T35	305.0	228.75	9.80	0.0686	0.0207	0.2029	3335.2774	4447.0365	161124.5117
T36	320.0	240.00	9.80	0.0878	0.0243	0.2381	2733.4541	3644.6054	112487.8214
T37	300.0	225.00	9.80	0.0760	0.0264	0.2587	2962.1633	3949.5511	112203.1553
T38	280.5	210.38	9.80	0.0881	0.0223	0.2185	2388.1825	3184.2434	107093.3875
T39	330.0	247.50	9.80	0.1015	0.0240	0.2352	2438.3276	3251.1034	101596.9814
T40	320.0	240.00	9.80	0.0921	0.0254	0.2489	2605.0147	3473.3529	102559.6320

MEDIA	2332.5007	3110.0010	116576.4865
DESV. ESTÁNDAR	518.5872	691.4496	25694.2062
C. VARIACIÓN %	22.23	22.23	22.04

Nota: las probetas secas se encuentran a un contenido de humedad cercano al contenido de humedad de equilibrio (CH ≥ CHE).

Cuadro 49. Flexión sin nodo en probetas secas

FLEXIÓN SIN NODO - PROBETAS SECAS									
PROBETA	CARGA MAX. (Kgf)	CARGA L.P (Kgf)	LONG. cm	DEFLEX. cm	DIÁM. cm	RADIO cm	ESF. L.P Kgf/cm²	MOR Kgf/cm²	MOE Kgf/cm²
F1	220	132	15	0.155	3.000	1.500	186.7414	311.2356	15057.3587
F2	125	75	15	0.115	2.610	1.305	161.1277	268.5461	20218.7998
F3	205	123	15	0.148	3.030	1.515	168.8914	281.4857	14103.2341
F4	185	111	15	0.126	2.610	1.305	238.4689	397.4482	27188.3655
F5	180	108	15	0.132	2.962	1.481	158.7446	264.5743	15247.4355
F6	215	129	15	0.165	2.962	1.481	189.6116	316.0193	14540.8687
F7	200	120	15	0.151	2.962	1.481	176.3829	293.9715	14788.5539
F8	195	117	15	0.165	2.964	1.482	171.6254	286.0424	13147.8915
F9	190	114	15	0.137	2.964	1.482	167.2248	278.7080	15402.5773
F10	190	114	15	0.155	2.964	1.482	167.2248	278.7080	13642.1834
F11	210	126	15	0.200	2.865	1.433	204.6572	341.0953	13376.8739
F12	195	117	15	0.118	2.865	1.433	190.0388	316.7314	21085.1844
F13	200	120	15	0.138	2.865	1.433	194.9116	324.8527	18496.7351
F14	185	111	15	0.122	2.865	1.433	180.2932	300.4887	19298.8162
F15	195	117	15	0.159	2.998	1.499	165.8522	276.4204	13071.8133
F16	215	129	15	0.150	2.998	1.499	182.8627	304.7712	15283.9811
F17	220	132	15	0.150	2.998	1.499	187.1153	311.8589	15607.0933
F18	225	135	15	0.184	2.998	1.499	191.3680	318.9466	12995.7944
F19	230	138	15	0.168	2.998	1.499	195.6206	326.0343	14608.2902
F20	210	126	15	0.180	2.998	1.499	178.6101	297.6835	12393.1640

MEDIA	182.8687	304.7811	15977.7507
DESV. ESTÁNDAR	18.2067	30.3445	3618.2026
COEF. DE VARIACIÓN %	9.96	9.96	22.65

Cuadro 50. Flexión sin nodo en probetas verdes

FLEXIÓN SIN NODO - PROBETAS VERDES									
PROBETA	CARGA MAX. (Kgf)	CARGA L.P (Kgf)	LONG. cm	DEFLEX. cm	DIÁM. cm	RADIO cm	ESF. L.P Kgf/cm²	MOR Kgf/cm²	MOE Kgf/cm²
F1	185	111	15	0.235	2.740	1.370	206.1112	343.5187	11986.3403
F2	170	102	15	0.200	2.950	1.475	151.7625	252.9375	9652.6787
F3	100	60	15	0.184	2.981	1.491	86.5159	144.1931	5921.0106
F4	115	69	15	0.154	2.981	1.491	99.4932	165.8220	8116.6803
F5	165	99	15	0.142	2.981	1.491	142.7512	237.9186	12610.6922
F6	176	106	15	0.245	2.982	1.491	152.1148	253.5246	7823.7709
F7	180	108	15	0.224	2.982	1.491	155.5719	259.2865	8729.9744
F8	155	93	15	0.162	2.982	1.491	133.9647	223.2745	10424.9183
F9	165	99	15	0.170	2.780	1.390	176.0075	293.3458	13965.8932
F10	120	72	15	0.186	2.780	1.390	128.0055	213.3424	9283.2916
F11	185	111	15	0.248	2.780	1.390	197.3417	328.9029	10729.4796
F12	165	99	15	0.143	2.785	1.393	175.0612	291.7687	16466.6278
F13	150	90	15	0.111	2.785	1.393	159.1466	265.2443	19370.0359
F14	185	111	15	0.245	2.785	1.393	196.2808	327.1346	10794.4728
F15	170	102	15	0.187	2.964	1.482	149.6222	249.3703	10136.5085
F16	165	99	15	0.172	2.964	1.482	145.2215	242.0359	10654.1995
F17	180	108	15	0.166	2.964	1.482	158.4235	264.0391	12098.4215
F18	190	114	15	0.199	2.964	1.482	167.2248	278.7080	10627.9099
F19	175	105	15	0.213	2.960	1.480	154.6481	257.7468	9191.7614
F20	155	93	15	0.143	2.960	1.480	136.9740	228.2900	12156.3057

MEDIA	153.6121	256.0202	11037.0486
DESV. ESTÁNDAR	29.6061	49.3435	3023.1941
COEF. DE VARIACIÓN %	19.27	19.27	27.39

Cuadro 51. Flexión con nodo en probetas secas

FLEXIÓN CON NODO - PROBETAS SECAS									
PROBETA	CARGA MAX. (Kgf)	CARGA L.P (Kgf)	LONG. cm	DEFLEX. cm	DIÁM. cm	RADIO cm	ESF. L.P Kgf/cm²	MOR Kgf/cm²	MOE Kgf/cm²
F1	202	121	24	0.138	2.835	1.418	325.0826	541.8044	79768.7624
F2	236	142	24	0.194	2.835	1.418	379.7995	632.9992	66293.4841
F3	222	133	24	0.154	2.723	1.362	403.1918	671.9863	92302.7228
F4	300	180	24	0.194	2.892	1.446	454.8079	758.0131	77821.4277
F5	260	156	24	0.152	2.820	1.410	425.1357	708.5596	95215.1708
F6	250	150	24	0.145	2.735	1.368	448.0945	746.8242	108471.4655
F7	210	126	24	0.142	2.718	1.359	383.5063	639.1772	95390.6844
F8	205	123	24	0.249	2.814	1.407	337.3519	562.2532	46220.1090
F9	220	132	24	0.154	2.765	1.383	381.6268	636.0447	86038.7795
F10	255	153	24	0.229	2.829	1.415	412.9932	688.3220	61199.1982
F11	242	145	24	0.214	2.848	1.424	384.1466	640.2443	60508.2338
F12	232	139	24	0.255	2.841	1.421	371.0017	618.3361	49162.6963
F13	262	157	24	0.205	2.805	1.403	435.3157	725.5261	72675.6277
F14	285	171	24	0.221	2.883	1.442	436.1265	726.8776	65712.3261
F15	265	159	24	0.159	2.738	1.369	473.4206	789.0343	104396.9470
F16	275	165	24	0.173	2.848	1.424	436.5302	727.5504	85054.9267
F17	215	129	24	0.141	2.846	1.423	342.0073	570.0122	81818.7025
F18	248	149	24	0.227	2.793	1.397	417.3885	695.6475	63199.6837
F19	252	151	24	0.234	2.708	1.354	465.3247	775.5412	70495.7389
F20	285	171	24	0.184	2.790	1.395	481.2091	802.0152	89987.6784

MEDIA	409.7031	682.8384	77586.7183
DESV. ESTÁNDAR	45.7092	76.1819	17354.8450
COEF. DE VARIACIÓN %	11.16	11.16	22.37

Cuadro 52. Flexión con nodo en probetas verdes

FLEXIÓN CON NODO - PROBETAS VERDES									
PROBETA	CARGA MAX. (Kgf)	CARGA L.P (Kgf)	LONG. cm	DEFLEX. cm	DIÁM. cm	RADIO cm	ESF. L.P Kgf/cm²	MOR Kgf/cm²	MOE Kgf/cm²
F1	325	195	24	0.203	3.330	1.665	322.7396	537.8993	45833.5201
F2	257	154	24	0.181	3.220	1.610	282.2715	470.4526	46494.7466
F3	180	108	24	0.150	3.110	1.555	219.4284	365.7141	45155.6932
F4	194	116	24	0.116	3.203	1.602	216.4873	360.8122	55935.6656
F5	330	198	24	0.208	3.320	1.660	330.6749	551.1249	45969.6391
F6	345	207	24	0.228	3.280	1.640	358.5083	597.5138	46021.5983
F7	315	189	24	0.281	3.080	1.540	395.3302	658.8837	43850.4639
F8	300	180	24	0.250	2.690	1.345	565.1530	941.9216	80676.1101
F9	295	177	24	0.242	3.140	1.570	349.4095	582.3491	44142.9021
F10	285	171	24	0.225	2.960	1.480	402.9687	671.6145	58085.5788
F11	290	174	24	0.232	2.720	1.360	528.4366	880.7276	80390.9611
F12	290	174	24	0.232	3.359	1.680	280.5883	467.6472	34565.4983
F13	260	156	24	0.197	2.783	1.392	442.3187	737.1979	77451.0162
F14	275	165	24	0.214	2.610	1.305	567.1694	945.2823	97483.1861
F15	300	180	24	0.178	2.937	1.469	434.2212	723.7020	79736.7059
F16	290	174	24	0.232	3.370	1.685	277.8497	463.0828	34116.4028
F17	310	186	24	0.268	3.134	1.567	369.2889	615.4816	42208.8729
F18	320	192	24	0.197	2.934	1.467	464.5915	774.3191	77164.2497
F19	254	152	24	0.188	3.282	1.641	263.4630	439.1049	40991.5541
F20	314	188	24	0.191	3.523	1.762	263.3257	438.8762	37568.0395

MEDIA	366.7112	611.1854	55692.1202
DESV. ESTÁNDAR	107.4497	179.0828	19045.4376
COEF. DE VARIACIÓN %	29.30	29.30	34.20

Cuadro 53. Cizallamiento paralelo a las fibras en probetas secas

CIZALLAMIENTO - PROBETAS SECAS				
PROBETA	PLANO INTERNO	CARGA Kgf	ÁREA cm²	ESFUERZO Kgf/cm²
CZ1	Plano 1	380	7.521	50.5232
	Plano 2	380	7.491	50.7265
CZ2	Plano 1	410	9.685	42.3339
	Plano 2	410	9.270	44.2287
CZ3	Plano 1	475	10.176	46.6798
	Plano 2	475	9.477	50.1194
CZ4	Plano 1	445	9.686	45.9414
	Plano 2	445	10.691	41.6243
CZ5	Plano 1	390	9.622	40.5338
	Plano 2	390	9.851	39.5916
CZ6	Plano 1	410	9.887	41.4694
	Plano 2	410	9.760	42.0082
CZ7	Plano 1	400	10.400	38.4615
	Plano 2	400	10.175	39.3113
CZ8	Plano 1	415	10.004	41.4834
	Plano 2	415	9.750	42.5641
CZ9	Plano 1	430	10.046	42.8014
	Plano 2	430	9.817	43.8007
CZ10	Plano 1	460	9.208	49.9555
	Plano 2	460	9.610	47.8688
CZ11	Plano 1	450	10.432	43.1365
	Plano 2	450	10.433	43.1344
CZ12	Plano 1	425	10.174	41.7748
	Plano 2	425	9.950	42.7144
CZ13	Plano 1	450	9.086	49.5267
	Plano 2	450	9.608	46.8340
CZ14	Plano 1	430	10.465	41.0893
	Plano 2	430	10.240	41.9938
CZ15	Plano 1	420	10.432	40.2607
	Plano 2	420	10.433	40.2576
CZ16	Plano 1	440	9.703	45.3487
	Plano 2	440	9.573	45.9607
CZ17	Plano 1	455	9.672	47.0430
	Plano 2	455	10.015	45.4309
CZ18	Plano 1	450	9.238	48.7118
	Plano 2	450	9.608	46.8384
CZ19	Plano 1	465	10.144	45.8399
	Plano 2	465	10.208	45.5534

CZ20	Plano 1	405	9.986	40.5588
	Plano 2	405	9.984	40.5649

MEDIA	44.1150
DESV. ESTÁNDAR	3.4446
COEF. DE VARIACIÓN %	7.81

Cuadro 54. Dureza en probetas secas

DUREZA - PROBETAS SECAS									
PROBETA	SENCILLA			DOBLE			TRIPLE		
	Kgf/mm²			Kgf/mm²			Kgf/mm²		
	ESFUERZO	PROMEDIO	PROMEDIO	ESFUERZO	PROMEDIO	PROMEDIO	ESFUERZO	PROMEDIO	PROMEDIO
D1	55	60	57.5	41	42	41.5	39	56	47.5
D2	43	50	46.5	45	43	44.0	45	52	48.5
D3	76	78	77.0	43	37	40.0	37	43	40.0
D4	58	50	54.0	43	51	47.0	47	60	53.5
D5	55	50	52.5	37	39	38.0	48	44	46.0
D6	46	47	46.5	47	42	44.5	39	45	42.0
D7	72	69	70.5	42	44	43.0	40	42	41.0
D8	49	47	48.0	45	42	43.5	42	46	44.0
D9	47	50	48.5	47	44	45.5	38	42	40.0
D10	51	49	50.0	41	45	43.0	41	45	43.0
D11	52	51	51.5	39	42	40.5	44	43	43.5
D12	57	55	56.0	38	46	42.0	48	45	46.5
D13	41	43	42.0	42	48	45.0	39	41	40.0
D14	44	40	42.0	40	46	43.0	40	44	42.0
D15	55	51	53.0	46	48	47.0	38	41	39.5
D16	47	50	48.5	49	45	47.0	45	42	43.5
D17	52	49	50.5	47	41	44.0	44	46	45.0
D18	44	47	45.5	41	46	43.5	48	43	45.5
D19	45	48	46.5	44	48	46.0	46	46	46.0
D20	49	47	48.0	45	47	46.0	43	45	44.0

MEDIA	51.73	MEDIA	43.70	MEDIA	44.05
DESV. ESTÁNDAR	8.624	DESV. ESTÁNDAR	2.457	DESV. ESTÁNDAR	3.456
COEF. VARIACIÓN %	16.67	COEF. VARIACIÓN %	5.62	COEF. VARIACIÓN %	7.85

Cuadro 55. Impacto en probetas secas

IMPACTO - PROBETAS SECAS					
PROBETA	ENERGÍA			ÁREA cm ²	ESFUERZO DE IMPACTO Kgf*m/cm ²
	ENSAYO (Kgf*m)	FROTAMIENTO (Kgf*m)	IMPACTO (Kgf*m)		
I1	1.00	0.08	0.92	1.0936	0.8413
I2	0.98	0.08	0.90	1.0936	0.8230
I3	1.00	0.08	0.92	1.0936	0.8413
I4	1.28	0.08	1.20	1.0936	1.0973
I5	1.05	0.08	0.97	1.0477	0.9258
I6	0.92	0.08	0.84	1.0477	0.8017
I7	1.15	0.08	1.07	1.0477	1.0212
I8	0.85	0.08	0.77	1.0477	0.7349
I9	1.20	0.08	1.12	1.4314	0.7825
I10	1.05	0.08	0.97	1.4314	0.6777
I11	1.10	0.08	1.02	1.4314	0.7126
I12	1.35	0.08	1.27	1.4314	0.8872
I13	1.25	0.08	1.17	1.5394	0.7600
I14	1.28	0.08	1.20	1.5394	0.7795
I15	1.15	0.08	1.07	1.5394	0.6951
I16	0.95	0.08	0.87	1.5394	0.5652
I17	1.10	0.08	1.02	0.9503	1.0733
I18	1.22	0.08	1.14	0.9503	1.1996
I19	1.12	0.08	1.04	0.9503	1.0944
I20	1.05	0.08	0.97	0.9503	1.0207

MEDIA	1.023	MEDIA	0.867
DESV. ESTÁNDAR	0.134	DESV. ESTÁNDAR	0.169
COEF. DE VARIACIÓN %	13.06	COEF. DE VARIACIÓN %	19.46

Cuadro 56. Impacto en probetas verdes

IMPACTO - PROBETAS VERDES					
PROBETA	ENERGÍA			ÁREA cm²	ESFUERZO DE IMPACTO Kgf*m/cm²
	ENSAYO (Kgf*m)	FROTAMIENTO (Kgf*m)	IMPACTO (Kgf*m)		
I1	0.60	0.08	0.52	1.0477	0.4963
I2	0.60	0.08	0.52	1.0477	0.4963
I3	0.60	0.08	0.52	1.0477	0.4963
I4	0.55	0.08	0.47	1.0477	0.4486
I5	0.60	0.08	0.52	0.9503	0.5472
I6	0.60	0.08	0.52	0.9503	0.5472
I7	0.55	0.08	0.47	0.9503	0.4946
I8	0.68	0.08	0.60	0.9503	0.6314
I9	0.50	0.08	0.42	0.9940	0.4225
I10	0.60	0.08	0.52	0.9940	0.5231
I11	0.70	0.08	0.62	0.9940	0.6237
I12	0.70	0.08	0.62	0.9940	0.6237
I13	0.60	0.08	0.52	0.9076	0.5729
I14	0.65	0.08	0.57	0.9076	0.6280
I15	0.50	0.08	0.42	0.9076	0.4627
I16	0.58	0.08	0.50	0.9076	0.5509
I17	0.55	0.08	0.47	1.0387	0.4525
I18	0.52	0.08	0.44	1.0387	0.4236
I19	0.60	0.08	0.52	1.0387	0.5006
I20	0.65	0.08	0.57	1.0387	0.5488

MEDIA	0.517	MEDIA	0.525
DESV. ESTÁNDAR	0.059	DESV. ESTÁNDAR	0.067
COEF. DE VARIACIÓN %	11.36	COEF. DE VARIACIÓN %	12.80

3.5 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS CALCULADAS PARA LA PALMA DE LATA

PROPIEDADES FÍSICAS

Cuadro 57. Propiedades físicas calculadas para la palma de lata

PROPIEDADES FÍSICAS					
ENSAYO	CONDICIÓN	PARÁMETRO			
		CH (%)			
CH EN ESTADO VERDE	COMPLETAS	51.11			
CH EN ETAPA DE SECADO AL AIRE	COMPLETAS	15.11			
ENSAYO	CONDICIÓN	PARÁMETRO			
		E. EN X (%)	E. EN Y (%)	C. EN X (%)	C. EN Y (%)
CAMBIOS DIMENSIONALES	COMPLETAS	7.34	0.73	5.54	0.53
ENSAYO	CONDICIÓN	PARÁMETRO			
		DENSIDAD (gr/cm³)		PESO ESPECÍFICO	
DENSIDAD	COMPLETAS	0.54		0.54	

Transmisión y absorción del sonido ≈ 787.64 m/sg. Este valor se calculó directamente por medio de la aplicación de una fórmula que depende de E_m y de la densidad (mirar página 50).

PROPIEDADES MECÁNICAS

Cuadro 58. Propiedades mecánicas calculadas para la palma de lata

PROPIEDADES MECÁNICAS				
ENSAYO	CONDICIÓN	PARÁMETRO		
		ESF. L.P (Kgf/cm ²)	ESF. MÁX. (Kgf/cm ²)	Em (Kgf/cm ²)
COMPRESIÓN EN PROBETAS SECAS	COMPLETAS	336.41	448.55	34725.29
	HUECAS	571.88	762.51	56525.97
COMPRESIÓN EN PROBETAS VERDES	COMPLETAS	273.49	364.65	32290.18
	HUECAS	479.14	638.85	45136.04
ENSAYO	CONDICIÓN	PARÁMETRO		
TRACCIÓN EN PROBETAS SECAS	CORTEZA EXTERIOR	ESF. L.P (Kgf/cm ²)	ESF. MÁX. (Kgf/cm ²)	Em (Kgf/cm ²)
		2332.50	3110.00	116576.49
ENSAYO	CONDICIÓN	PARÁMETRO		
FLEXIÓN EN PROBETAS SECAS	COMPLETAS - SIN NODO	ESF. L.P (Kgf/cm ²)	MOR (Kgf/cm ²)	MOE (Kgf/cm ²)
	COMPLETAS - CON NODO	182.87	304.78	15977.75
FLEXIÓN EN PROBETAS VERDES	COMPLETAS - SIN NODO	409.70	682.84	77586.72
	COMPLETAS - CON NODO	153.61	256.02	11037.05
CIZALLA. EN PROBETAS SECAS	COMPLETAS	366.71	611.19	55692.12
		PARÁMETRO		
		ESF. MÁX. (Kgf/cm ²)		
		44.12		
ENSAYO	CONDICIÓN	PARÁMETRO		
DUREZA EN PROBETAS SECAS	CORTEZA EXT. - SENCILLA	ESF. MÁX. (Kgf/mm ²)		
		51.73		
		CORTEZA EXT. - DOBLE		
		43.70		
		CORTEZA EXT. - TRIPLE		
		44.05		

ENSAYO	CONDICIÓN	PARÁMETRO	
		<i>I (Kgf*m)</i>	<i>ESF. DE I (Kgf*m/cm²)</i>
IMPACTO EN PROBETAS SECAS	SIN NODO	1.02	0.87
IMPACTO EN PROBETAS VERDES	SIN NODO	0.52	0.53

Nota: las propiedades mecánicas de tracción, cizallamiento y dureza se obtuvieron para probetas secas con un contenido de humedad cercano al contenido de humedad de equilibrio ($CH \geq CHE$).

3.5.1 Módulo de Elasticidad E_m calculado para la especie *Bactris Guineensis*.

Mediante los resultados anteriores solo se ha logrado un amplio rango de los posibles valores que sirven para caracterizar este parámetro, debido a las diferentes condiciones para las cuales se elaboraron los ensayos. Sería erróneo o equivocado decir con certeza cual es el valor exacto o aproximado, por consiguiente se procede a tomar el valor del **Módulo de Elasticidad E_m** que más encuadre con las condiciones reales factibles para la palma de lata.

Según los estudios realizados a otras especies maderables, el escogimiento del E_m debe hacerse para la condición verde de la madera, al considerarse ésta una situación típica, posible y desfavorable que se involucra hacia el uso de la madera en un momento dado, al no tenerse absoluta confianza referente al estado de humedad real al momento de adquirirse para un determinado uso. Otro criterio importante se basa en el fenómeno de flexión estática paralela al grano, ya que el diseño de miembros de madera a flexión debe seguir los mismos procedimientos básicos usados para otros materiales estructurales, donde es bien sabido que el factor deflexión es una condición que se debe controlar para cumplir con la funcionalidad de determinado elemento estructural.

Además, la selección del E_m debe dirigirse también hacia la misma situación real debida a la condición física y anatómica de la palma de lata, es decir, los listones de palma de lata se encuentran en forma naturalmente completa y con la presencia de nudos repartidos longitudinalmente.

Centrándose la atención sobre el ensayo de flexión en probetas verdes – secas para la condición de elementos completos y con nudo, se obtiene:

$$55692.12 \text{ Kg/cm}^2 \leq E_m < 77586.72 \text{ Kg/cm}^2.$$

Se debe presentar también el posible valor de E_m a compresión paralela en probetas verdes – secas para la condición de elementos completos. Se obtiene el siguiente rango de valores:

$$32290.18 \text{ Kg/cm}^2 \leq E_m < 34725.29 \text{ Kg/cm}^2$$

En las maderas tropicales por lo general se cumple que el módulo de elasticidad obtenido por flexión estática es menor que el módulo de elasticidad obtenido por compresión paralela. Para que esto se cumpla las condiciones físicas y anatómicas del elemento ensayado deben ser similares para los dos ensayos.

Si se compara el anterior rango de módulos con el rango para el ensayo de flexión en probetas verdes – secas para la condición de elementos completos y sin nodo, se obtiene:

$11037.05 \text{ Kg/cm}^2 \leq E_m < 15977.75 \text{ Kg/cm}^2$. Se cumple así lo dicho anteriormente.

Para seleccionar el valor del E_m se compara entre el primer y segundo rango.

El tercer rango de valores para E_m se descarta porque se considera que no representa una condición comparable con la condición en que se encuentra la palma de lata respecto a los nodos intermedios, es decir, el elemento entero en su estado natural realmente si tiene nodos intermedios en toda su longitud, situación que no se considera en el rango tres.

El valor del E_m debe estar contenido en el rango dos: $32290.18 \text{ Kg/cm}^2 \leq E_m < 34725.29 \text{ Kg/cm}^2$ que para este caso pertenece a los valores del ensayo a compresión paralela y son menores que los del rango uno. Entonces se decide redondear éste valor calculado a un valor intermedio $E_m \approx 33500 \text{ Kg/cm}^2$.

A causa de la escasez de material verde, el ensayo a tracción paralela únicamente se pudo realizar para especímenes en estado seco ($CH \geq CHE$). Respecto al Módulo de Elasticidad E_m a tracción se puede conocer la siguiente aproximación: $E_m \approx 116576.49 \text{ Kg/cm}^2$.

Se concluye que los valores de los E_m genéricos para la especie de *Bactris Guineensis* son los siguientes:

$E_m \approx 33500 \text{ Kg/cm}^2$ (E_m para compresión y flexión paralela)

$E_m \approx 116500 \text{ Kg/cm}^2$ (E_m para tracción paralela – estado seco)

3.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.6.1 Prueba de hipótesis para el parámetro E_m . Esta prueba es para una media poblacional con muestra mediana y desviación estándar poblacional desconocida.

No obstante, en la mayor parte de los casos se desconoce la desviación estándar σ de la población. La desviación estándar se estima al calcular S, la desviación estándar de la muestra. Si se supone que la población es normal, la distribución en el muestreo de la media seguiría una distribución t con $n - 1$ grados de libertad.

$H_0 : \mu = 30000$: Hipótesis nula
 $H_a : \mu \neq 30000$: Hipótesis alternativa

Nivel de confianza o significancia del 95%.
 $\alpha = 0.05$

En la práctica, se ha encontrado que siempre y cuando el tamaño de la muestra no sea muy pequeño y la población no este muy sesgada, la distribución t da una buena aproximación a la distribución de muestra de la media. La prueba estadística para determinar la diferencia entre la media de la muestra y la media de la población cuando se utiliza la desviación estándar S de la muestra, se expresa con:

$$t_{n-1} = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Para una muestra de $n = 40$ especímenes, si se selecciona un nivel de significancia de 0.05, el valor crítico de la distribución t con $40 - 1 = 39$ grados de libertad es calculado por medio de Excel y es igual a 2.02. Como esta prueba es de dos colas (prueba bilateral), la región de rechazo de 0.05 se vuelve a dividir en dos partes iguales de 0.025 cada una. El área en la que no se rechaza H_0 esta entre las dos colas, es por consiguiente 0.95. Los valores críticos son -2.02 y $+2.02$.

Media de la muestra = 33500

Desviación estándar muestral = 9315.88

$$t_{39} = \frac{33500 - 30000}{9315.88 / \sqrt{40}} = 2.38$$

Entonces, la regla para la decisión es: rechazar H_0 si $t_{39} > +2.02$ ó si $t_{39} < -2.02$. De lo contrario, no rechazar H_0 .

Dado que el estadístico de prueba calculado $t_{39} = +2.38$, es visible que $+2.02 < +2.38$, entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 a favor de H_a . Por tanto no se confirma el supuesto para el E_m promedio.

Con el fin de tener en cuenta la posibilidad de un error de tipo I, es decir que la hipótesis nula fue rechazada cuando era verdadera y debió haber sido aceptada, se puede decir: “hay pruebas de que la E_m promedio a compresión y tracción paralela de las palmas de lata sea diferente a 30000 Kg/cm^2 en los especímenes que se analizaron en los ensayos”.

Conclusiones:

- El E_m promedio a compresión y tracción paralela $\neq 30000 \text{ Kg/cm}^2$
- Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a) a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. La prueba resultó ser significativa.
- La evidencia estadística no permite aceptar la hipótesis nula.

3.6.2 Análisis de los resultados de las pruebas

Se verificó que existe una gran diferencia en el contenido de humedad entre la condición verde y la condición seca, comprobándose que el material pierde una cantidad significativa de agua antes de alcanzar el contenido de humedad de equilibrio (CHE) o “contenido de humedad de la madera seca al aire”. No existe certeza respecto al tiempo en que pueda alcanzar el CHE; según las referencias del PADT – REFORT, en lo relacionado a los criterios en el CH, el PSF para una madera varía de 25 – 35% y generalmente el CHE varía entre 12 – 15% para la mayoría de las especies. Siendo así, puede decirse que las varas de palma de lata alcanzan un valor de CHE $\approx 15.11\%$ en condiciones normales de humedad y temperatura del medio ambiente, valor que realmente puede ser menor en la región de origen.

Los resultados respecto al contenido de humedad son coherentes debido a que la madera comienza desde una condición verde, con un CH elevado y por encima del PSF. Esto se debe a que la madera empieza a perder progresivamente agua libre contenida en el lumen de la fibra o célula leñosa, hasta perderse la totalidad de esta agua libre (este punto se conoce como punto de saturación de la fibra) y comenzar a perder el agua higroscópica contenida en la pared de la fibra, en este punto el CH oscila de acuerdo a la temperatura del medio.

Los resultados obtenidos en el ensayo de cambios dimensionales demuestran que la expansión se presenta debido a la saturación en las paredes celulares de la madera. Aunque realmente la saturación fue completa, es decir, en las paredes y cavidades celulares de la madera, se sabe que adiciones de agua por encima del PSF no causa variaciones volumétricas. La expansión en X (eje radial perpendicular a las fibras) es relativamente pequeña y aceptable (se encuentra por debajo del 10%). La expansión en Y (eje longitudinal paralelo a las fibras) es un valor casi nulo (menor al 1.0%) y difícilmente perceptible. Entonces, el material sufre una expansión transversal apreciable.

La reducción de las dimensiones en las probetas demuestra la contracción o disminución de las paredes celulares de la madera debido a la pérdida de agua.

El fenómeno de expansión se manifiesta de modo ligeramente brusco comparado con el de contracción, al haberse obtenido valores experimentales más altos que el valor de contracción. No se puede pensar en la reciprocidad.

La contracción en X (eje radial perpendicular a las fibras) no se puede despreciar (se encuentra un poco por encima del 5%). La contracción en Y (eje longitudinal paralelo a las fibras) es un valor muy pequeño (entre el 0.1% – 1.0%) que puede despreciarse.

En el ensayo de contracción también se confirmó la carencia de lignina o material cementante de las células fibrosas internas de la palma de la lata, ya que se observó un desprendimiento y resquebrajamiento del material blando que internamente conforma un buen porcentaje del alma del tallo.

En definitiva, el material sufre una contracción transversal que comparada con la contracción longitudinal es mucho más significativa.

La densidad de la palma de lata puede aproximarse a un valor de **0.54 gr./cm³** y según las referencias existentes para maderas, puede catalogarse como una madera blanda ($0.40 \text{ gr./cm}^3 < \text{densidad} < 0.70 \text{ gr./cm}^3$). El método que se usó para el cálculo de volumen de la probeta sirvió para obtener datos lo más precisos posibles; se pudo verificar también por medio de un cálculo directo del volumen en probetas bien elaboradas y geometría bien definida.

En el sistema métrico la densidad y el peso específico (Pe) tienen el mismo valor, con la diferencia que este último no tiene unidades. La gravedad específica es equivalente al peso específico. Por consiguiente, el Pe de la palma de lata es 0.54.

Según las referencias del PADT – REFORT y a lo que respecta a la transmisión y absorción del sonido, el material maderable de la palma de lata puede compararse con el comportamiento de un corcho o una madera típica ($530 \text{ m/sg} < 787.64 \text{ m/sg} < 4760 \text{ m/sg}$). Este valor se aproxima más al comportamiento de un material de baja densidad. A baja densidad, poca capacidad para absorber ondas compresionales. Vale la pena aclarar que para el cálculo de la transmisión y absorción del sonido se utilizó una fórmula sencilla, ya que dentro de los objetivos específicos del presente trabajo no estaba el cálculo experimental de este valor.

Respecto al ensayo de compresión paralela a las fibras, la gráfica Esfuerzo – Deformación unitaria mostró un comportamiento frágil típico de las maderas tropicales y luego dúctil en su porción previa a la falla. La deformación es notoria al superarse el límite elástico. La rotura por compresión se describe de acuerdo con la apariencia en la superficie de cada probeta como se muestra en la figura 32. Por ejemplo, la falla por compresión en el cuerpo de la probeta C1 se pudo clasificar como un cizallamiento.

Cuadro 59. Descripción de las roturas por compresión paralela a las fibras

TIPO DE FALLA	CARACTERÍSTICAS
Aplastamiento	El plano de rotura en la mayoría de probetas es aproximadamente horizontal, este tipo de falla ocurre cuando los extremos de la probeta tienen un contenido de humedad más alto que el resto de la probeta.
Cizallamiento o Corte	El plano de ruptura forma un ángulo aprox. de 45° con el eje horizontal de la probeta. Es el tipo de falla normal.

Figura 32. Aplastamiento y cizallamiento



Aplastamiento



Cizallamiento o corte

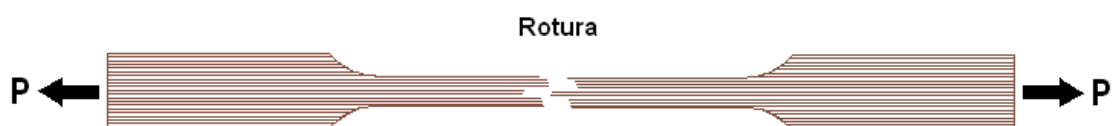
En el ensayo de tracción paralela a las fibras la manifestación de la deformación producida por la carga constante fue muy poco notoria. La probeta al alcanzar el esfuerzo máximo se rompió abruptamente debido a su naturaleza frágil.

En general, la falla por tracción en las probetas fue satisfactoria, es decir, la posición de la rotura se presentó dentro de su longitud útil (figura 33).

Figura 33. Posición típica de las fallas a tracción paralela



Figura 34. Rotura típica a tracción paralela



Como resultado de la aplicación de la fuerza puntual sobre la viga y que produce flexión, se presentan y desarrollan los tres esfuerzos fundamentales: compresión, tracción y cizallamiento, los cuales actúan en una dirección paralela al grano.

El módulo de rotura se describe como un esfuerzo nominal porque la distribución de esfuerzos de una viga pequeña al momento de rotura, no es una distribución lineal como la ecuación requiere. Las vigas usualmente fallan sólo cuando algunas fibras en la zona de compresión han fallado y la distribución de esfuerzo es no lineal. Por lo tanto es un valor aproximado del verdadero esfuerzo que resulta en esfuerzos mayores que los de compresión y menores que los de tracción.

El módulo E_m calculado por el método indirecto de flexión sirve para compararlo con el módulo E_m calculado directamente en compresión paralela a la fibra.

Respecto a la posición de la rotura en la probeta, las fallas son producidas a lo largo del material (grieta longitudinal en el elemento) teniendo en cuenta que la posición más crítica de la carga se encuentra en el centro de luz entre apoyos.

La presencia de nudos longitudinales en el elemento sometido a flexión favorece el aumento de la resistencia a flexión y la disminución de la deflexión.

Figura 35. Falla típica a flexión



Probetas sin nudo intermedio

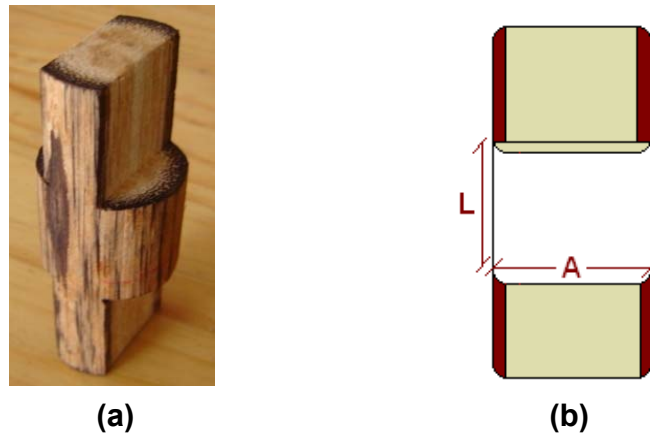


Probetas con nudo intermedio

Entre los factores que afectan la resistencia de la madera a los esfuerzos de flexión es importante principalmente la densidad; a mayor densidad, mayor resistencia.

Entre los factores que influyen en la resistencia de la madera al cizallamiento se encuentran principalmente la densidad y el contenido de humedad. En la figura 36 (a) se observa el acondicionamiento de la probeta para el ensayo y en (b) se muestra las dimensiones del plano representativo para este ensayo.

Figura 36. Cizallamiento paralelo y área resistente



En el ensayo de dureza se observó que la influencia del pegamento entre las laminillas de palma de lata no es favorable para mejorar la resistencia al esfuerzo de dureza, posiblemente el pegamento ayuda a amortiguar el esfuerzo para estos elementos. Por tanto, el esfuerzo máximo de dureza lo obtuvieron las laminillas en forma sencilla.

Es evidente que la tenacidad de la palma de lata es bien alta, debido a que los elementos absorbieron gran cantidad de energía de impacto.

Figura 37. Falla típica en las probetas a impacto



3.7 COMPARACIÓN CUALITATIVA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PALMA DE LA LATA CON LAS NORMAS ASTM

- Densidad: mediana
- Contracción volumétrica: muy baja
- Compresión paralela (E.F.L.P): mediano
- Compresión paralela (MOR): mediano
- Flexión (E.F.L.P): bajo
- Flexión (MOR): bajo
- Flexión (E_m): muy bajo
- Cizallamiento: bajo
- Dureza: muy alta
- Tenacidad: mediano

Mirar el Anexo C.

3.8 COMPARACIÓN CON OTRAS MADERAS

Cuadro 60. Comparación de la lata con la bambusa blumeana (seca)

PROPIEDADES MECÁNICAS EN ESTADO SECO					
MATERIAL	COMPRESIÓN PARAL. MÁX. Kgf/cm²	FLEXIÓN L.P Kgf/cm²	E_m Kgf/cm²	TRACCIÓN PARAL. MÁX. Kgf/cm²	CIZALLA. PARAL. MÁX. Kgf/cm²
Lata	448.55	409.70	77586.72	3110.00	44.12
Bambusa	825.00	856.00	203873.00	2038.00	23.00

Cuadro 61. Comparación de la lata con la bambusa blumeana (verde)

PROPIEDADES MECÁNICAS EN ESTADO VERDE				
MATERIAL	COMPRESIÓN PARAL. MÁX Kgf/cm²	FLEXIÓN L.P Kgf/cm²	E_m Kgf/cm²	MOR Kgf/cm²
Lata	364.65	366.71	55692.12	611.19
Bambusa	294.00	431.00	59000.00	757.00

Cuadro 62. Comparación de la lata con el caracolí (seco)

PROPIEDADES MECÁNICAS EN ESTADO SECO					
MATERIAL	COMPRESIÓN PARAL. MÁX Kgf/cm²	FLEXIÓN L.P Kgf/cm²	E_m Kgf/cm²	MOR Kgf/cm²	ESF. AL IMPACTO Kgf*m/cm²
Lata	448.55	409.70	77586.72	682.84	0.87
Caracolí	235.10	357.59	72000.00	524.00	0.33

Cuadro 63. Comparación de la lata con la guadua angustifolia (verde)

PROPIEDADES MECÁNICAS EN ESTADO VERDE						
MATERIAL	COMPRESIÓN PARAL. MÁX. Kgf/cm²	FLEXIÓN L.P Kgf/cm²	E_m FLEXIÓN Kgf/cm²	MOR Kgf/cm²	TRACCIÓN PARAL. MÁX. Kgf/cm²	E_m TRACCIÓN Kgf/cm²
LATA	364.65	366.71	55692.12	611.19	3110.00	116500.00
GUADUA ANG.	650.00	740.00	179000.00	549.00	430.00	190000.00

Nota: para efectos de las anteriores comparaciones, los módulos de elasticidad E_m para la lata corresponden a los módulos nominales obtenidos para diferentes estados de humedad, no corresponde al módulo genérico definitivo.

Mirar los Anexos E y F.

4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LA PALMA DE LATA

Cuadro 64. Ventajas del uso de la palma de lata

Factor	Ventajas
Costo	Debido a su particular abundancia en las sabanas tropicales, el costo comercial en la zona de influencia es bajo.
Producción	Es un recurso natural y económicamente sostenible en la región donde se obtiene.
Trabajabilidad	Es buena, se necesita de herramienta básica y adecuada para manipularlo con seguridad.
Resistencia	Es una propiedad que es destacable y puede obtenerse provecho para determinados usos.
Durabilidad	Es buena. Como cualquier otra madera, debe protegerse para aumentar su vida útil.
Dureza	Esta propiedad es notable en la corteza exterior del culmo y es un indicador de su naturaleza frágil y resistente.
Flexibilidad	Es un material flexible cuando se trabaja en forma de tirillas, se humedece y se amarra para lograr determinadas formas.
Consistencia	La consistencia de la corteza exterior es estable, disminuyendo los ataques de hongos e insectos xilófagos.
Ductilidad	Es alta si el material se encuentra verde.
Peso	Es un material ligero (liviano).
Longitud	La longitud y esbeltez de los varas son características sobresalientes.

Cuadro 65. Desventajas del uso de la palma lata

Factor	Desventajas
Abundancia	Como cualquier otro recurso natural que se explota en exceso y no se compensa, corre el riesgo de escasear o desaparecer.
Textura	La superficie exterior de la vara es lisa y por tanto es un problema para lograr la adherencia a otro material.
Ubicación	Debido a su hábitat característico, se requiere del lugar adecuado para encontrar elementos tentativos para un posible uso.
Tiempo	La fabricación de los armazones y mallas, demanda un tiempo extra, que desfavorece la dinámica del oficio.
Maleabilidad	Es imposible de lograrla, se restringe entonces el dobléz y figurado de las tirillas maderables.

5. CURADO Y PRESERVACIÓN DE LA PALMA DE LATA

El curado y la protección del material madera son objetivos intrínsecamente relacionados con la estabilidad, apariencia y sanidad de las maderas. La palma de lata al igual que las otras maderas, puede sufrir ataques de coleópteros, isópteros (termes) y hongos, existiendo también varias maneras de protegerla y mitigar estos daños causados por estos ataques.

5.1 CURADO

Con el propósito de mejorar la durabilidad de los tallos a utilizarse, después del corte del tallo, la madera debe someterse a un tratamiento de curado, que tiene como fin reducir o descomponer el contenido de almidón, o a un tratamiento con preservativos químicos contra los insectos y hongos. El curado no es tan eficiente como el tratamiento con preservativos, pero debido a su bajo costo, es el más utilizado en las zonas rurales. Existe varias formas de hacer el curado como son: en la mata, por inmersión en agua, al calor y al humo.

5.1.1 Corte. Para cortar la palma de lata se utiliza el machete, que debe emplearse en forma adecuada. El corte debe hacerse a ras y por encima del primero o segundo nudo localizado sobre el nivel del suelo. Los elementos que se escogen deben considerarse maduros, ciclo que cumplen alrededor de los cinco años; y su aspecto debe ser el mejor, tanto en color, textura y apariencia del tallo o culmo. Para esto existen unos indicadores naturales en el tallo que sirven de referencia para tener el criterio de proceder al corte del mismo, como lo son el resquebrajamiento de la capa espinosa y existencia de líquenes en aquellas superficies libres de la corteza exterior. Posterior al corte se procede con el machete al despeje de las espinas que rodean la corteza y al corte de las vainas de las hojas, en forma cuidadosa, ya que esta actividad puede resultar peligrosa para la piel. Una vez alisada la vara debe evitarse el ataque por insectos xilófagos en la parte interna del tallo que es de característica húmeda, blanda y porosa.

Entonces, posterior al corte debe ejecutarse el curado por inmersión en agua en el menor tiempo posible.

5.1.2 Curado por inmersión en agua. Si se práctica sin ninguna modificación aceptable, no es un método completamente eficiente y recomendable. Consiste en que los tallos recién cortados se sumergen en agua, en un estanque, a temperatura ordinaria, por un tiempo de 5 días. Este proceso también ayuda a la eliminación de material que produce alergias y a lograr la homogeneidad y conservación en el color de los tallos, convirtiéndose así en unos elementos maderables manejables y atractivos para el usuario.

Paralelamente a la tarea de curado por inmersión en agua, se disuelve en el agua preservantes químicos que mejoran la vida útil de los tallos escogidos.

Para la palma de lata se ha empleado el curado por inmersión en agua con preservador inorgánico **Multisal (Tipo CCB)**.

Cuando se cumple con el período de inmersión, posteriormente se requiere el período de escurrimiento y secado al aire, aproximadamente entre 1 – 2 meses.

5.2 PRESERVACIÓN

La durabilidad natural de la madera es la resistencia que opone éste material a la pudrición por hongos o al ataque de insectos u otros agentes destructores. Ciertas clases de maderas son notables por su resistencia biológica. Su empleo debe ser recomendado para las situaciones más expuestas. Otras maderas son de buena o regular durabilidad y finalmente, hay maderas que son conocidas por su facilidad para ser atacadas.

La densidad de la madera es un índice de durabilidad, sin embargo en cada caso es necesario determinar la durabilidad real de la especie.

La durabilidad natural se puede aumentar mediante procedimientos artificiales, ya sea por un simple secado o por tratamientos preservadores especiales.

La preservación de la madera es la respuesta moderna de la técnica para satisfacer los requisitos tecnológicos actuales y futuros, frente al agotamiento de los bosques naturales con maderas naturalmente durables, reemplazados paulatinamente por especies de crecimiento rápido.

5.3 TIPOS DE PRESERVANTES

La preservación o inmunización de la madera tiene por objeto modificar la composición química de éste material, haciéndolo no apetecible a los organismos biológicos, objetivo que se logra volviendo a la madera perjudicable o repelente a los agentes biológicos que potencialmente pueden atacarla.

Los preservantes pueden ser compuestos químicos puros o mezclas de ellos, presentándose diferentes alternativas y un alto rango de eficiencia en su influencia protectora. Generalmente se consiguen compuestos sólidos que necesitan de un medio solvente para poder disolverse y el procedimiento sea más fácil. Según el medio solvente, los preservantes pueden ser de tipo hidrosolubles y oleosolubles.

Para que un preservante cumpla con su efecto tóxico, debe haber compatibilidad entre la mezcla y las características organológicas de los agentes nocivos.

También se requiere que el medio soluble facilite la entrada o penetración del preservador en todos los espacios interiores del material maderable. Para garantizarse una protección eficaz, la impregnación de la madera debe ser integral, tanto de la superficie exterior como del contenido interior de todo el elemento. Los principales tipos de preservantes son:

Creosotas	<ul style="list-style-type: none">- Ordinaria para preservación- Líquida a temperatura ordinaria- Mezclas de creosota
Orgánicos	<ul style="list-style-type: none">- Pentaclorofenol (soluble en aceite)- Pentaclorofenato de sodio (soluble en agua)- Naftenatos
Inorgánicos	<ul style="list-style-type: none">- Sal simple- Sal doble- Multisal

- **Creosota.** Consiste principalmente en hidrocarburos aromáticos sólidos y líquidos; contiene notables cantidades de ácidos y bases de alquitrán. Debe manejarse bajo consideraciones de normas técnicas.

- **Pentaclorofenol.** Es un compuesto químico cristalino, formado por reacción del cloro sobre el fenol; no volátil y químicamente estable. Es soluble en los aceites de petróleo de ebullición elevada; es insoluble en agua. Es altamente irritante de la piel y mucosas, por tanto su manipulación requiere de precauciones debidas. La concentración aconsejada para su uso en solución de aceites es del 5% en peso. Es eficaz contra el ataque por hongos e insectos xilófagos.
- **Naftenatos.** Son compuestos cerosos o gomosos. Los más usados en el proceso de preservación de la madera son los naftenatos de cobre y zinc.
- **Hidrosolubles o inorgánicos.** Son preservantes muy eficaces. El uso de sales simples, como los productos de arsénico, cobre y otros, esta obsoleto a causa de la ineficiencia (fáciles de lixiviarse) al menor contacto con el agua del medio circundante de la madera, por tanto se recomienda donde la madera es utilizada para espacios interiores. La combinación de sales simples, para formar las sales dobles es utilizada para reforzar el efecto tóxico, pero con la desventaja de ser combinaciones ácidas y por consiguiente corrosivas.

Las mezclas de ácido bórico y tetraborato de sodio son buenas, pero sólo para espacios interiores porque al contacto con el agua se lixivian con facilidad. Se puede contrarrestar este efecto agregando cromo a todas las anteriores formulaciones, lo que ha dado origen a las llamadas multisales, las cuales son mezclas efectivas, que no desprenden olores y permiten el acabado de la madera; su presentación es en forma sólida, necesitan agua como solvente y son utilizadas en la madera para las condiciones más desfavorables.

De las multisales se conoce sus componentes activos y se destacan las multisales del grupo CCA (Cobre – Cromo – Arsénico) y las CCB (Cobre – Cromo – Boro): **sales CCA, sales CCB.**

5.4 MÉTODOS DE PRESERVACIÓN

Para aplicar un adecuado tratamiento a la madera se requiere que ésta se encuentre en condiciones especiales, dependiendo del método de preservación que se ha escogido. Algunos procedimientos (ósmosis y difusión) exigen que la madera conserve toda la humedad posible antes del tratamiento, mientras que la mayoría de los otros procedimientos necesitan que la madera esté seca (15 % – 25% de humedad). Se resalta que cuando se tiene maderas difíciles de preservar por ser “impermeables”, debe realizarse incisiones superficiales para mejorar la impregnación con preservantes, sobretodo en las zonas críticas de la madera, según el uso al que se destine (por ejemplo en las zonas de empotramiento).

En general, los métodos de preservación se pueden dividir en **tratamientos sin presión** y **tratamientos con presión**.

Tratamientos sin presión	<ul style="list-style-type: none">- Brocha- Pulverización- Inmersión- Baño caliente y frío
Tratamientos con presión	<ul style="list-style-type: none">- Célula llena- Célula vacía

6. LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

El uso de la madera en la construcción se remonta a la época de la conquista, pero en los años de la guerra de la industrialización se declinó su uso principalmente en los centros urbanos de las grandes ciudades debido a la implementación de tecnologías modernas que motivaron el desarrollo de nuevos sistemas industrializados para materiales que fueron muy competentes frente a los componentes realizados con madera que no estaban a la altura de la necesidad funcional y de seguridad que se requería para erigir determinada obra de construcción.

Debido al exponencial crecimiento de la población y las exigencias de un mundo globalizado, se requirió de la modernización en los procesos de acopio y producción y la necesidad de aprovechamiento de otros recursos. La ejecución de proyectos de reforestación y sostenibilidad de los bosques nativos sirven de fuente para las grandes industrias madereras, ayudándose a mantener el equilibrio ecológico y amortiguar el impacto ambiental que conlleva una explotación desenfrenada y ecológicamente no remunerada.

Actualmente, la situación es diferente porque la tecnología y la innovación en el sector industrial de la madera ha impulsado las investigaciones, el reconocimiento, la manipulación y el correcto funcionamiento de especies maderables que son relevantes para el mercado de la construcción y que propician el espacio para la implementación de nuevos sistemas constructivos a base de componentes de madera o contrastado con otros materiales fuertemente industrializados.

Las maderas usadas en el sector de la construcción o cualquier otra aplicación de la madera que demande requerimientos de resistencia estructural y confiabilidad para una sociedad servida, deben regirse por los estándares de calidad, las recomendaciones y normas mínimas que declara cada país para cumplir con su correcta selección, manipulación y funcionamiento.

A continuación se da a conocer algunos aspectos relacionados con la trayectoria histórica de la palma de lata.

6.1 HISTORIA DEL USO DE LA PALMA DE LATA

Quizá el aspecto más importante y rescatable que se distingue de la historia del uso de la palma de lata en sus inicios y que ocupa un valor patrimonial regional en el lugar donde existe, tiene que ver con su implementación como material maderable utilizado en la construcción antigua.

Figura 38. Vivienda antigua – detalles del muro en bahareque y varas de lata



Fuente: Los autores

Figura 39. Armazón de un muro con varas de lata



Figura 40. Vivienda antigua con muro en bahareque y varas de lata



Figura 41. Amarre con bejuco del armazón de un muro



Fuente: Los autores

Otros usos a través de la historia:

- **Guacharaca.** Instrumento musical destacable en la región de origen que forma parte de la riqueza del folclor nacional. Entonces, se aprovecha las propiedades de resistencia a la abrasión y al desgaste que se necesita para utilizar esta clase de instrumento musical.
- **Lanzas para cazar.** Han sido artefactos utilizados y aún mantenidos en la tradición de algunas comunidades aborígenes para poder cazar o defenderse del enemigo. Son herramientas efectivas si el material que las constituye es duro y resistente; éstas son características propias de la palma de lata.
- **Usado por los pescadores.** Los pescadores han llevado las varas de lata en sus canoas y éstas han servido para empujar o desencallar en un momento determinado. Así, las varas de lata demostraron cierta capacidad para soportar flexión.

6.2 USOS ACTUALES DE LA PALMA DE LATA

El uso tradicional que ha tenido la palma de lata en soluciones constructivas antiguas ahora ofrece su mayor viraje debido a que se requiere para otras aplicaciones que pueden pasar a formar parte del entorno paisajístico exterior o interior y que cumplen con una determinada función. Como se resalta en el principio del presente trabajo, actualmente en una determinada región del país, situada en el Departamento de Magdalena, existe la finca Juan León, que es un lugar circundado de vastas sabanas en donde en ciertas áreas se propicia el ambiente y las circunstancias para el nacimiento y crecimiento de las palmas de lata.

Los propietarios de la finca Juan León han buscado la manera de aprovechar las palmas de lata dentro del destino autosostenible propuesto en las obras que se ejecutan en la nombrada finca y también evitar la quema de las colonias de palmas de lata al considerarse una maleza para sus terrenos.

Limitando los usos de la palma de lata dentro de las actividades actuales en la finca Juan León, se destacan los siguientes:

6.2.1 Cubiertas. La protección exterior superior de las viviendas suele recibir el nombre de techo, técnicamente llamado cubierta. La función principal de estas estructuras es proteger el espacio interior de la vivienda contra las condiciones del clima y para ello debe cumplir con ciertas especificaciones de diseño, como escoger los parámetros de diseño adecuado (configuración estructural, materiales, pendiente, tipo de teja), impermeabilidad, resistencia, etc.

Ingenierilmente hablando, el techo está constituido por diferentes sistemas estructurales a base de material natural (madera) o industrializado (acero, concreto, sintéticos) que constituyen el llamado entramado o “armazón” estructural; ahora, la cubierta está constituida por dos elementos, una base que es de entablado o de “cañas” que se coloca sobre las viguetas o correas del techo y una cubierta exterior que puede ser de distintos materiales, entre los más usados están las tejas de arcilla, tejas de madera, tejas asfálticas, tejas de fibro – cemento, tejas laminares de acero, etc. Las varas de lata que sirven de base para la cubierta se amarran adecuadamente con alambre negro N° 18.

Para la cubierta se utiliza una mezcla de suelo – cemento (con suelo franco – arenoso) reforzado con fibras sintéticas de flexatex que se aplica en dos capas para disminuir las fisuras por retracción por fraguado y temperatura.

Figura 42. Base de la cubierta (varas de lata) en vista inferior



Figura 43. Vista lateral de la cubierta



Figura 44. Detalle en las capas de la cubierta



Figura 45. Vista general de la cubierta



Fuente: Los autores

6.2.2 Pisos. Se utiliza mallas que se fabrican con tirillas que se obtienen de las varas de lata, cuya dimensión es 1.00 x 1.00 m., hueco de 15 x 15 cm. y que se funde junto al concreto por tramos de piso. Las intersecciones para armar la malla de lata se amarran con alambre negro N° 18.

El enmallado rigidiza la estructura del piso y resulta muy útil para construir los pisos de la vivienda, de los establos y de las porquerizas de la finca. Se ha observado un buen comportamiento final, ya que no se reconocen fisuras ni desprendimiento del concreto.

Figura 46. Piso de la vivienda



Figura 47. Malla de refuerzo a base de tirillas de palma de lata

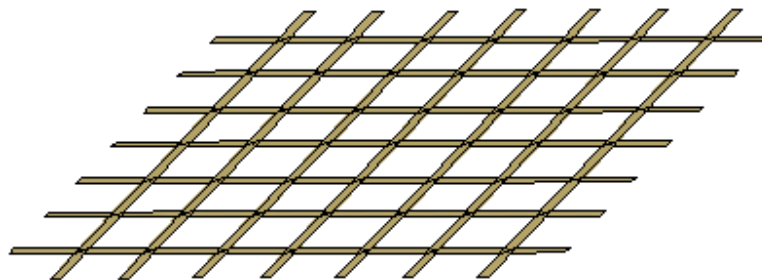
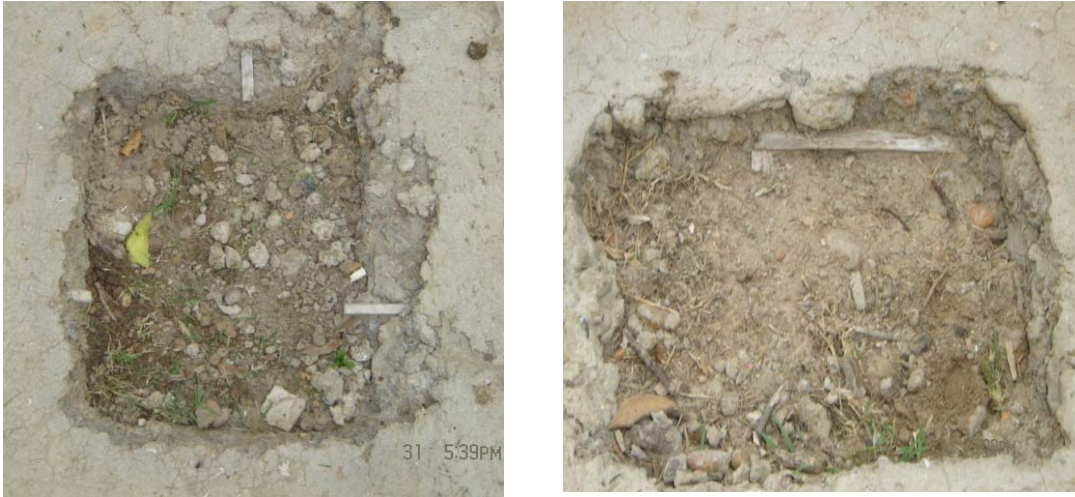


Figura 48. Detalle del piso reforzado con tirillas de palma de lata



Fuente: Los autores

6.2.3 Losetas. Se elaboran como unidades prefabricadas para luego destinar su uso, por ejemplo, para servir de tapas a los obstáculos o para delimitar el área de cultivo de lombriz “lombricultura”. El esquema del refuerzo es igual al anterior.

Figura 49. Losetas



Figura 50. Malla de refuerzo para las losetas

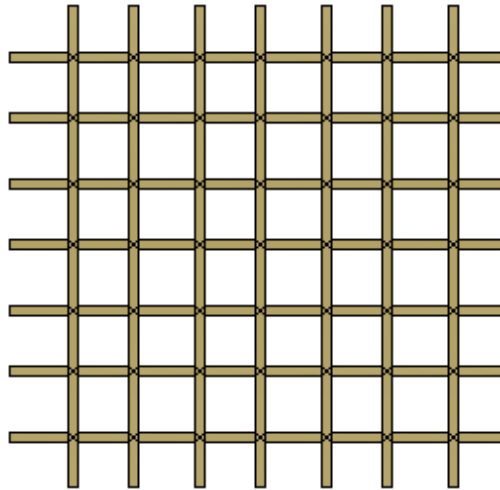


Figura 51. Detalle de la malla de refuerzo en la loseta



Fuente: Los autores

6.2.4 Bebederos. El hecho de producir bebederos prefabricados surge de la necesidad de proporcionar agua y saciar la sed de los rumiantes, como el ganado, los caballos y burros que habitan en los terrenos de la finca.

Las unidades que sirven de reserva de agua se fabrican en locaciones cercanas al campamento de la finca, utilizando concreto y refuerzo con tiras de varas de lata, a manera de “canasta”. Para lograr la forma circular requerida para la “canasta”, las tirillas de lata se humedecen por un tiempo considerable previamente a su manipulación; también se incrustan unas orejas de acero en el borde del bebedero para facilitar después su levantamiento. Luego, los bebederos son transportados a su ubicación final en determinados lugares del predio.

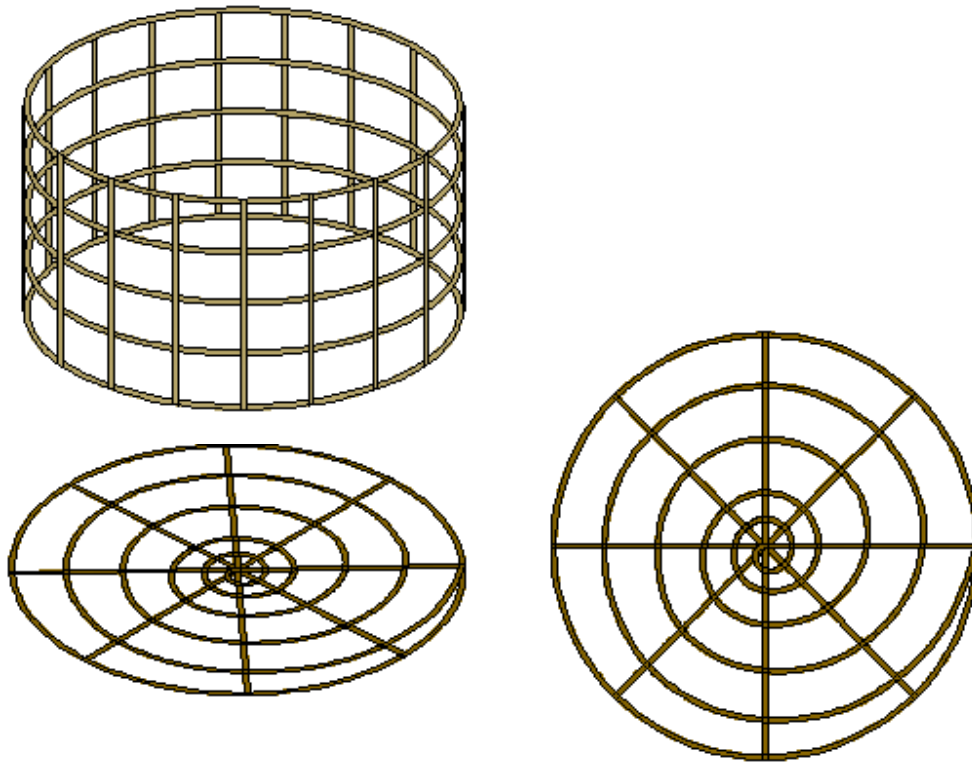
Durante este oficio de colocación los bebederos son trasladados giratoriamente y es inevitable que los elementos se golpeen contra los obstáculos que se encuentran en el camino. Bajo éstas circunstancias, los bebederos demuestran buena resistencia y no presentan fracturas al recibir los golpes.

Las dimensiones aproximadas de estos bebederos son: radio = 1.20 m., profundidad = 0.70 m., y espesor = 0.08 m.

Figura 52. Bebedero prefabricado



Figura 53. Esquemas de refuerzo para los bebederos



6.2.5 Tanques para almacenamiento de agua. Son elementos fundidos en situ indispensables para la reserva y abastecimiento de agua, supliendo los requerimientos de consumo y aseo en las labores que a diario se realizan en la finca. Debido a la escasez del recurso hídrico en la zona, estas baterías de tanques cumplen con una función muy importante. La fuente de agua que abastece los tanques proviene directamente de las aguas lluvias que ocasionalmente ocurren en el sector y se capta a través de las canales de la cubierta. Por tanto, existe un sistema de conducción que facilita la recolección y transporte del líquido hacia los tanques. En la figura 54 se observa un tanque de almacenamiento de agua que se encuentra ubicado cerca a la vivienda de la finca, cuya profundidad es de 5 m. a nivel del suelo.

Figura 54. Tanque para almacenamiento de agua



6.2.6 Tanques para pozos sépticos. Son tanques fundidos in situ indispensables para el adecuado tratamiento de las aguas servidas. El proceso constructivo se lleva a cabo por etapas, primero los anillos de concreto con mallas de lata (8 cm. de espesor) son fundidos y después se introduce los elementos constituyentes del sistema sanitario (tuberías, gravas, lodos activados EM). El esquema de refuerzo es similar al mostrado para los bebederos. La profundidad del tanque primario es 3.75 m. a nivel del suelo y radio 1.20 m. El falso fondo tiene 50 cm. de profundidad. Existen 4 capas de material filtrante de 57,5 cm. cada una. Observar la figura 55 (dimensiones en cm.).

Figura 55. Tanque para pozo séptico y esquemas de componentes

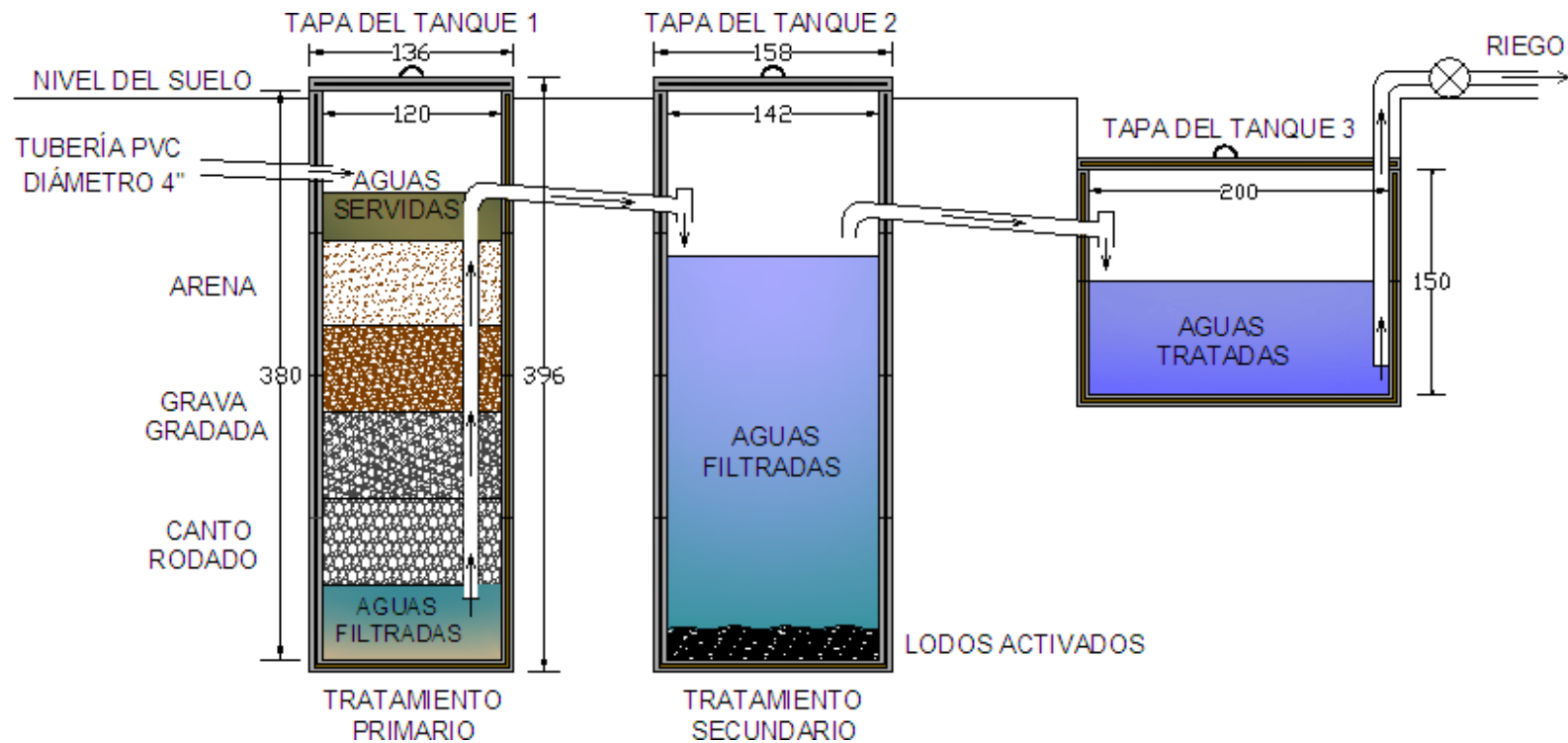


Figura 56. Tanques para pozo séptico al lado derecho de la porqueriza



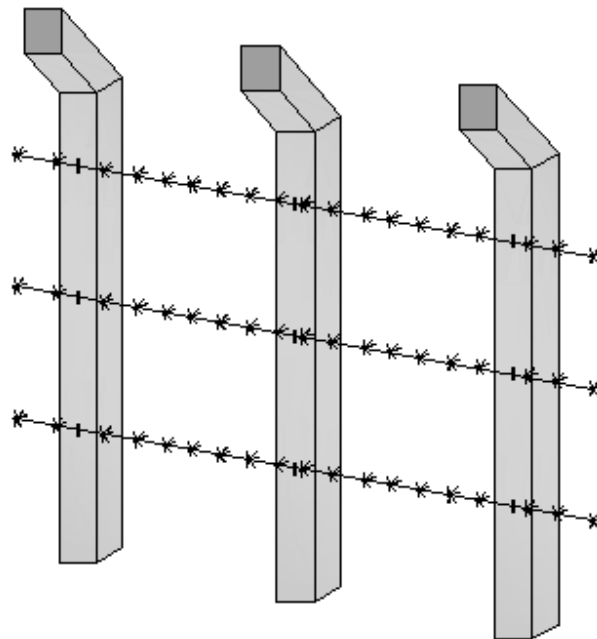
Fuente: Los autores

6.3 PROPUESTAS DE APLICACIÓN

6.3.1 Constructiva

- **Postes para cerca.** Son postes en concreto que se pueden reforzar con varas de lata en sentido longitudinal en su porción vertical. Empotrándose en el suelo y empleándose alambre de púas sirven para cercar o delimitar áreas de trabajo y propiedades raíces. De este modo, se puede evitar construir cercas con otros materiales maderables que son escasos, costosos o que pueden utilizarse de otra manera.

Figura 57. Postes para cerramiento



- **Muros.** Se propone la construcción de muros exteriores y muros interiores divisorios no portantes, para cumplir principalmente con una función de cerramiento o de “relleno”. Estos muros tienen un entramado propio que facilita su revestimiento y que está diseñado únicamente para darle la suficiente rigidez. Los muros tienen como armazón un entramado de madera.

El revestimiento se coloca en uno o en ambos lados del muro, es de revoque, que puede ser de barro, mortero de yeso, mortero de cemento, sobre las “cañas” de

lata. Éstas “cañas” deben estar abiertas (picadas), clavadas con clavos anticorrosivos galvanizados y sujetas con alambre negro, que al rellenarse facilitan el proceso de resane. También puede ser una alternativa usar las tirillas de lata para formar un entretejido en dos direcciones a manera de estera y así servir de base para el enlucido.

Los pie – derechos deben estar relativamente cerca (40 – 50 cm.) para permitir un revestimiento de menor espesor. Este espesor puede variar entre 1.0 – 2.0 cm. y debe fabricarse en dos capas; depende de los materiales que se mezclan y las proporciones de los mismos. Por ejemplo si se utiliza “cañas” de lata y el revoque es un mortero cemento – yeso (1:3) o cemento – arena fina (1:5), sirve un espesor entre 1.0 – 1.5 cm. Si se utiliza la estera y el revoque es de barro sirve un espesor de 2.0 cm.

Se resalta que para los muros exteriores es necesario utilizar revestimientos no vulnerables a la humedad y para los muros interiores que sean resistentes al fuego, en este sentido se recomienda revestimientos a base de materiales inertes como yeso, mortero de cemento o cal, mortero de suelo – cemento. Se propone el esquema que se muestra en la figura 58.

Figura 58. Esquema y componentes de un muro con lata

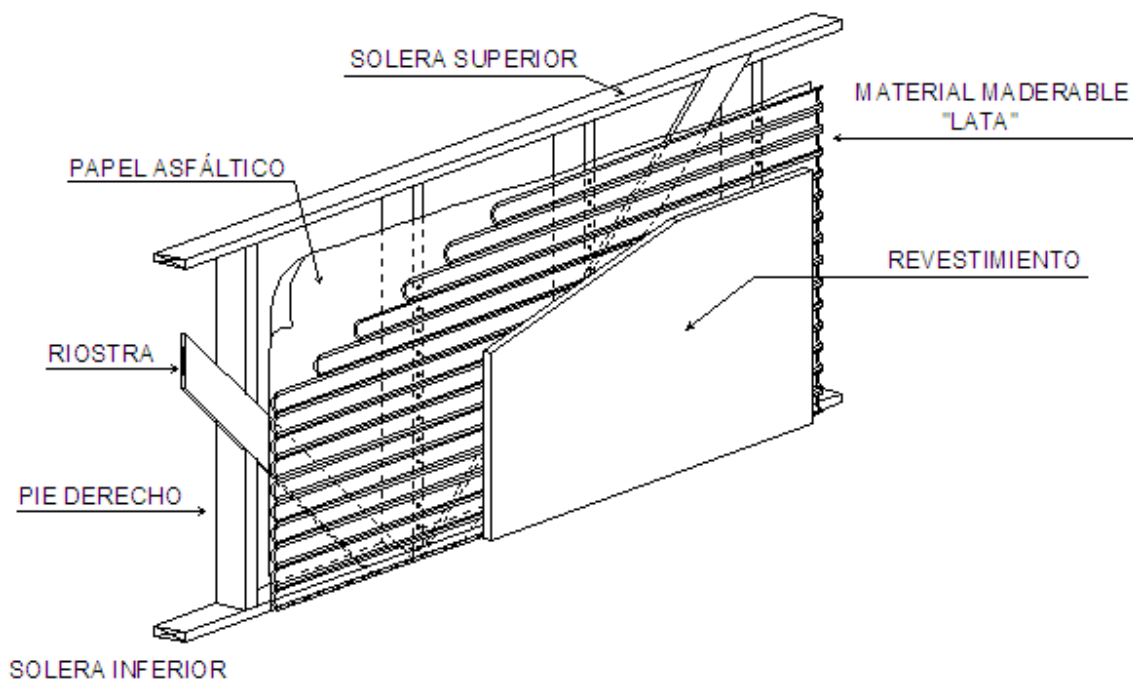


Figura 59. Detalle del entretejido de lata para un muro



- **Refuerzo en elementos estructurales (vigas y columnas).** Ésta propuesta tiene su origen en las aplicaciones que se han hecho en el caso de los muros en guadua – bahareque como una alternativa en la solución habitacional.

El refuerzo con varas de lata en las vigas podría reemplazar ocasionalmente el acero longitudinal y combinarse con el acero tradicional para atender el esfuerzo cortante.

El refuerzo en las columnas podría colocarse como varas enteras ubicadas longitudinalmente a lo largo de la columna soportando principalmente fuerzas a compresión, embebidas en la masa de concreto y combinándose igualmente con acero tradicional para cumplir con los estribos requeridos. De hecho, esta forma de aprovechamiento experimental se ha logrado para los elementos estructurales de las porquerizas en la finca, al saberse que los requerimientos de resistencia para este caso no son exigentes.

Figura 60. Viga reforzada longitudinalmente con varas de lata

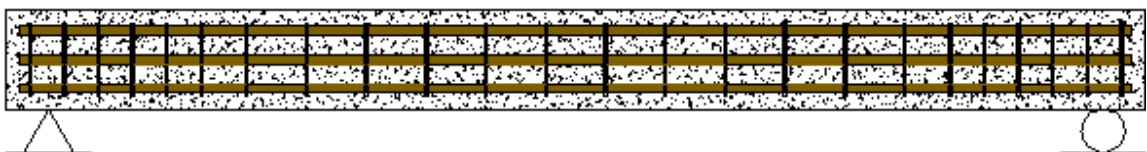


Figura 61. Vigas reforzadas con lata y posibles esquemas de refuerzo

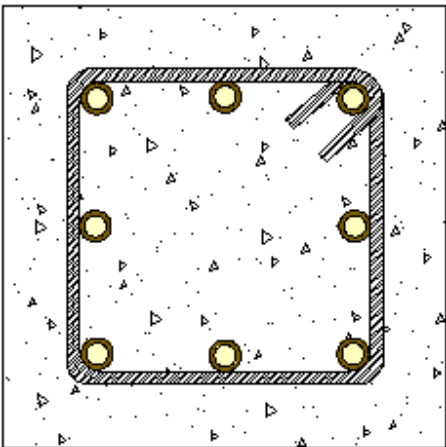
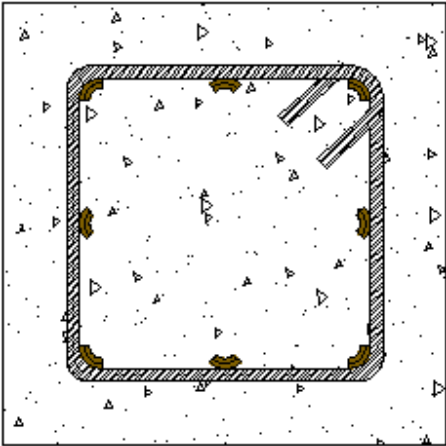
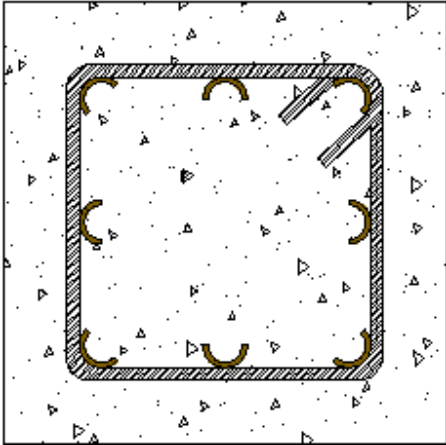


Figura 62. Columnas reforzadas con lata y posibles esquemas de refuerzo

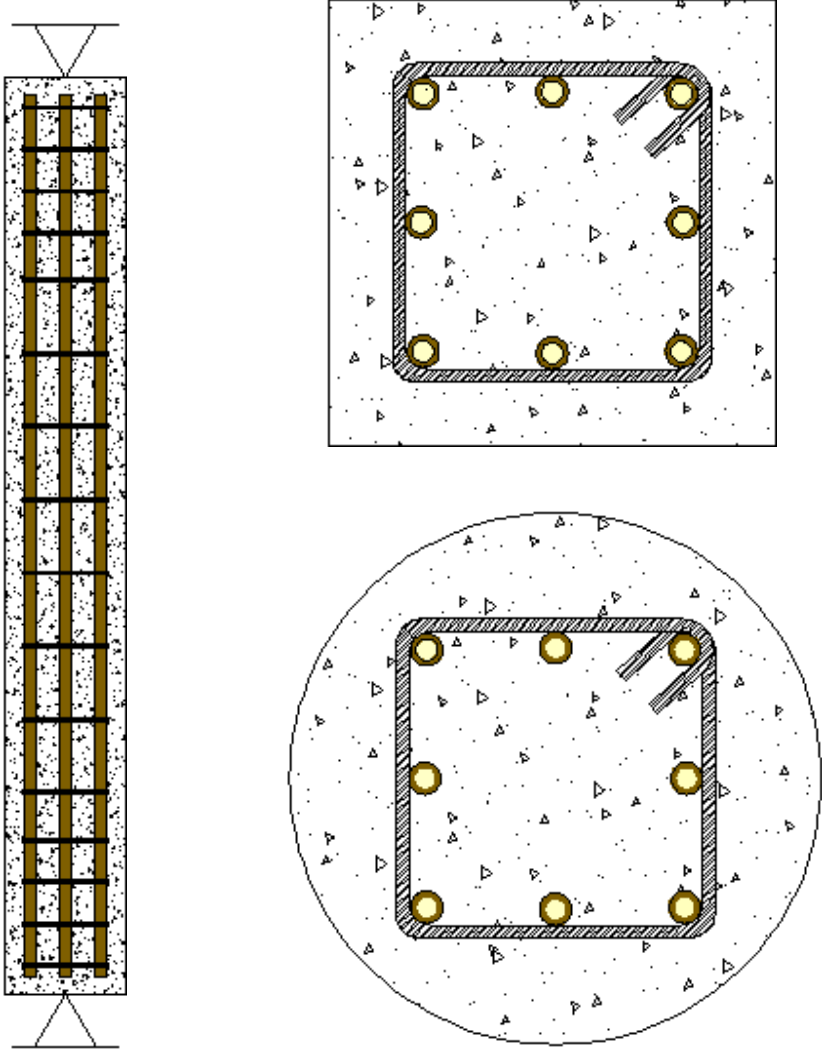
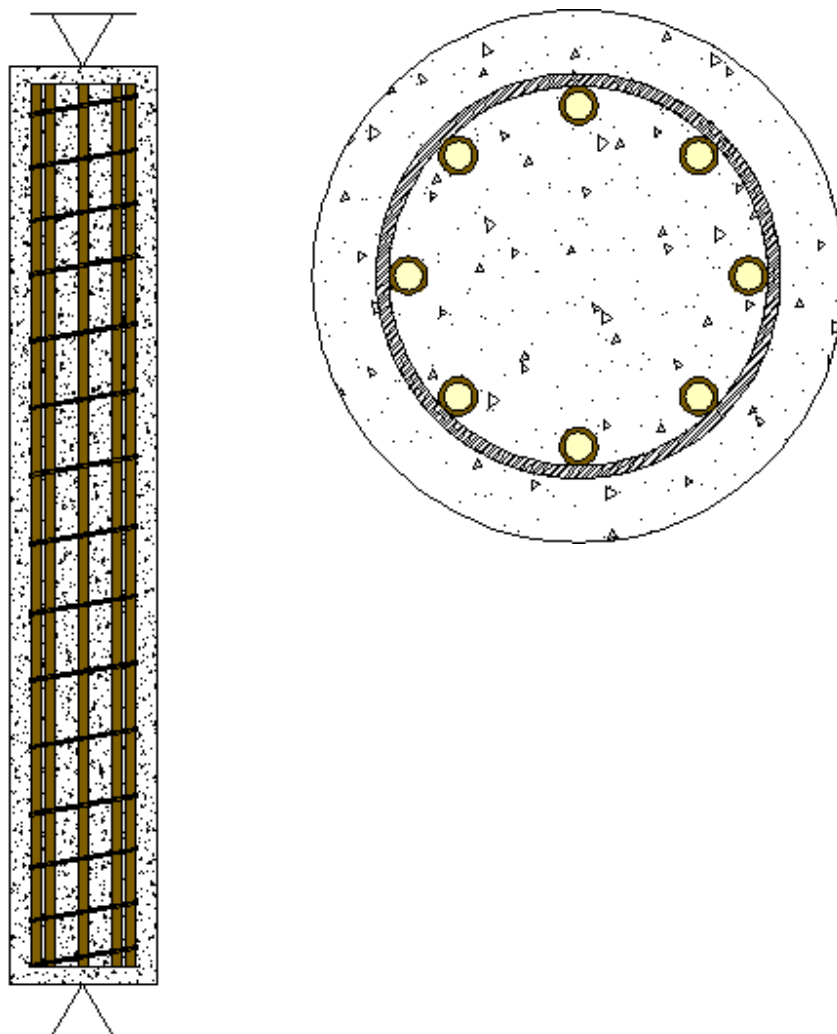
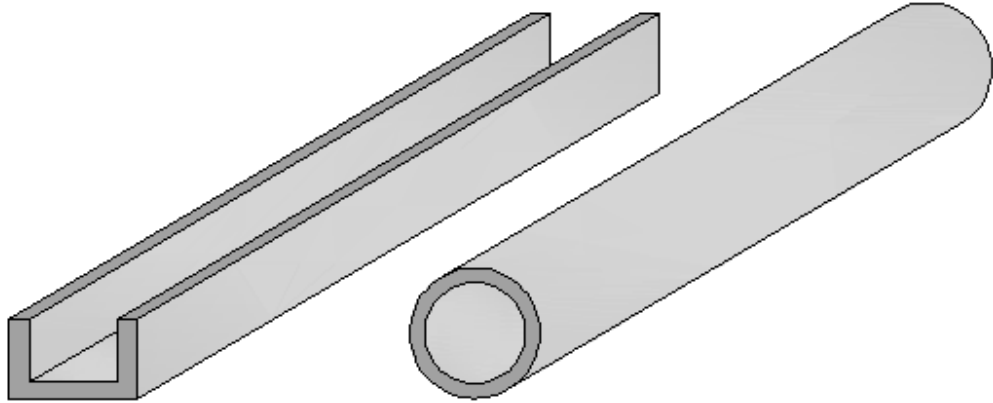


Figura 63. Columna circular reforzada con lata y posible esquema de refuerzo



- **Canales y tuberías prefabricadas.** Elementos que se necesitan para cumplir con el trabajo de canalización o encauzamiento del agua de las quebradas que se encuentran lejos del lugar donde se requiere y así aprovechar su abundancia en determinado momento. Los esquemas de refuerzo utilizando la lata junto al concreto son similares a los esquemas ya presentados para los bebederos en el caso de las tuberías y similares a los esquemas de las losetas en el caso de los canales.

Figura 64. Canal y tubería prefabricada



- **Establos.** El proyecto de los establos busca mejorar la calidad de vida del ganado y de los caballos, incentivando así su rendimiento y producción. El establo es una estructura que es necesaria para proteger los animales y para aliviar las molestias ocasionadas por las fuertes condiciones climáticas que predominan en la región. Se reconoce la participación de la guadua para el sistema estructural y elementos maderables de palma de lata en la base de la cubierta, sobre la cual descansa una mezcla de suelo – cemento. Estos elementos trabajando en conjunto, deben resistir los esfuerzos necesarios para su adecuado funcionamiento.

Figura 65. Maqueta del establo



Figura 66. Proyección del establo

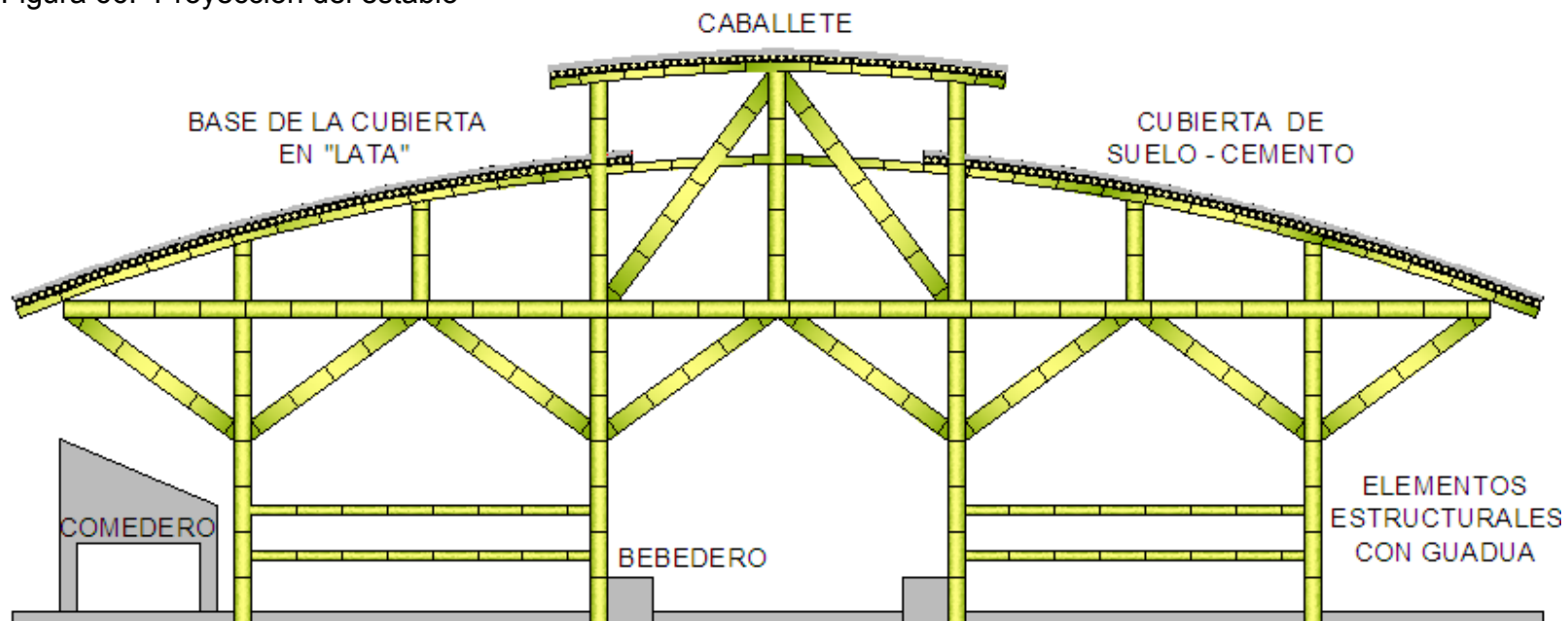
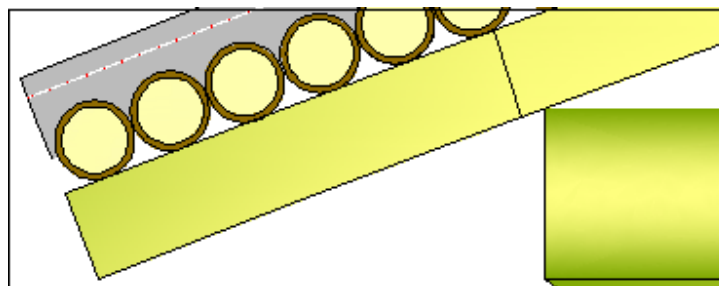


Figura 67. Detalle en el alero de la cubierta



6.3.2 Arquitectónica

Las palmas de lata pueden convertirse en un objeto decorativo y arquitectónico para mejorar los espacios interiores de una vivienda, si se logra plasmar en ellas un juego de disposiciones y formas atractivas.

6.3.3 Artesanal

En este aspecto se resalta y se reconoce la labor artesanal como actividad de los pueblos nativos que se caracteriza por la intervención manual de quienes la ejecutan, utilizando técnicas ingeniosas y materiales naturales, industrializados o desechables, y presentados en forma rústica o tenuemente terminados.

- **Artesanías.** Las artesanías en general son una aplicación que tiene un futuro prometedor, observándose la cantidad de cualidades que la lata posee, comenzando desde su misma apariencia y la relativa facilidad en su manejabilidad para poder lograr una cantidad de producciones artesanales que representen la idiosincrasia de la cultura. Debido a las características externas de la lata, se puede convertir en un material potencialmente explotable y competitivo en el campo artesanal si se logra un buen acabado y presentación.
- **Esteras.** Debido a la manejabilidad que tienen las tirillas para formar un entretejido, se propone la fabricación de esteras mediante un trabajo manual que permita un acabado final elegante, siendo una buena alternativa para aislar el sol si se utiliza como una persiana rústica en los espacios interiores de las viviendas.
- **Mesas.** Puede pensarse en la organización de elementos de lata en forma de mesa para lugares decorativos o para un uso doméstico.
- **Muebles.** Si se utilizan técnicas para poder lograr curvar las varas de lata, es una propuesta totalmente viable.

7. COMPARACIÓN DE COSTOS

7.1 CON EL MACHIMBRE

Las aplicaciones que han sido descubiertas para la palma de lata, nos permite realizar un breve análisis de costos en el que se muestra como una alternativa para ser utilizada en el campo de la construcción así como otras maderas han sido utilizadas hoy en día. A continuación se presenta en forma idealizada un ejemplo para determinar un costo probable de una cubierta utilizando la palma de lata, y tomando como referencia el costo del machimbre comúnmente utilizado.

Se calcula una parte de la cubierta que será de 3.0 m. x 4.0 m., que tendrá una pendiente aproximada de 30% y comprende elementos como: vigas y viguetas en madera estructural, entablado machihembrado, capa impermeable (de polietileno negro, cartón o lona sintética), mortero de pega, malla electrosoldada, y cobertura en teja S de arcilla. Para efectos prácticos sólo se tendrá en cuenta el machihembrado.

En la cubierta se colocará machimbre de 1 cm. de espesor, 8 cm. de ancho (no incluye traslapo) y 3.0 m. de longitud. De acuerdo con las especificaciones dadas anteriormente se calcula el número de listones de machimbre a necesitar para esta área, teniendo en cuenta el valor comercial de \$11000 que incluye el secado, inmunización y lijado.

Área analizada = 3.0 m. x 4.0 m. = 12 m².

Machimbre

Longitud efectiva del machimbre = 3.0 m.

4.0 m. / 8 cm. (ancho del machimbre) = 4.0 m. / 0.08 m. = 50 listones de machimbre requiere esta dimensión.

Se cotiza el valor: 50 listones a utilizar x \$11000 = \$550000 (Costo total de machimbre requerido).

Figura 68. Proyección de la cubierta con machimbre



Fuente: Federación Nacional de Industrias de la Madera. www.fedemaderas.com

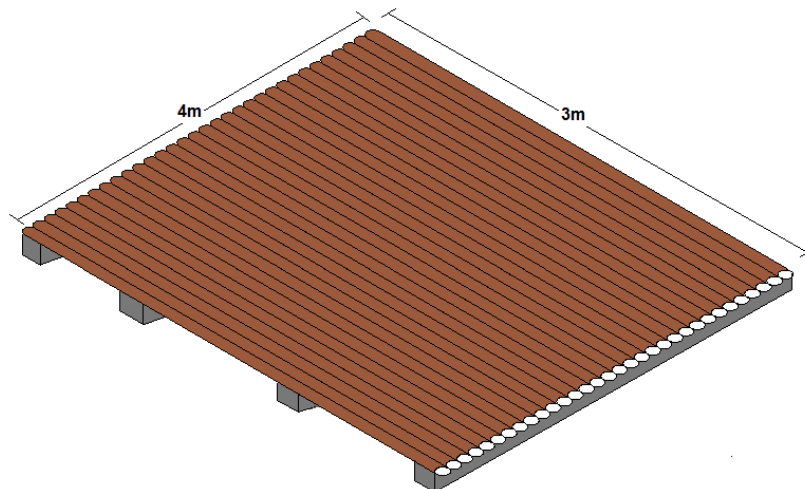
Palma de Lata

La longitud efectiva promedio de las varas de lata es de 2.5 m. a 4.0 m. y su costo comercial varia de \$2500 a \$4000 según la longitud de la misma. En cuanto a su diámetro, oscila entre 2.5 cm. a 3.5 cm.

4.0 m. / 3 cm. (diámetro promedio de la palma de lata) = 4.0 m. / 0.03 m. = 134 listones aproximadamente de palma de lata requiere esta dimensión.

Para el área se cotiza el valor de los 134 listones de palma de lata a utilizarse = 134 listones x \$2500 = \$335000 (Costo total de la palma de lata requerida).

Figura 69. Proyección de la cubierta con palma de lata



Análisis

\$550000 de machihembrado – \$335000 de palma de lata = \$215000 que corresponde aproximadamente a un 40% con respecto al precio del machimbre requerido.

Después de observar cada uno de los resultados, independientemente de la calidad del trabajo terminado y los atributos característicos de cada material maderable, los costos se reducen en un 40%, económicamente tomando ventaja la utilización de la palma de lata sobre el machimbre.

7.2 CON EL ACERO TRADICIONAL

A continuación se presenta un breve cálculo como ejemplo para determinar un costo probable de una malla construida con la palma de lata, utilizando como referencia el costo de una malla electrosoldada de acero mallasan grafil \varnothing 4 mm. y dimensiones 6.00x2.4 m., hueco 15x15 cm. que actualmente tiene un costo comercial de \$50000.

Para elaborar una malla de lata de similares dimensiones, es necesario armar 1 malla de 3.15x2.4 m. (asumiéndose 0.15 m. para traslapo) y 1 malla de 3.00x2.4 m. que son equivalentes a la malla de referencia, debido a las limitaciones en la longitud de las varas. La longitud promedio de las varas de lata es 2.50 – 4.00 m. y el costo comercial de una vara de lata oscila entre los \$2500 - \$4000 según la longitud de la misma.

Para fabricar la malla de 3.15x2.4 m. se necesita 15 tiras de 3.15 m. + 20 tiras de 2.40 m. Para fabricar la malla de 3.00x2.4 m. se necesita 15 tiras de 3.15 m. + 19 tiras de 2.40 m.

Total de tiras = 30 tiras de 3.15 m. + 39 tiras de 2.40 m.

Supóngase que se compra varas de aproximadamente 2.50 m. y 3.20 m. de longitud a un costo de \$2500 y \$3500 respectivamente.

Cada vara se puede dividir en ocho partes o tiras iguales. Entonces para las tiras de 2.40 m. se necesita $39/8 \approx 5$ varas de \$2500. Para las tiras de 3.15 m. se necesita $30/8 \approx 4$ varas de \$3500.

Entonces, la inversión para armar las dos mallas sería de: $(5*2500) + (4*3500) = \$26500 + \$$ alambre Negro N° 18. $\approx \$27500$. El costo es inferior al de una malla electrosoldada equivalente.

\$ por unidad de área de las mallas de lata = $\$27500/(6.00*2.40 \text{ m}^2) \approx \$1910/\text{m}^2$

\$ por unidad de área de una malla de acero = $\$50000/(6.00*2.40 \text{ m}^2) \approx \$3473/\text{m}^2$

El dinero que puede ahorrar un comprador particular si fabrica las mallas será $\$3473/m^2 - \$1910/m^2 \approx \$1563/m^2$.

Ahora, si se asume que un comprador adquiere las dos mallas de lata fabricadas, por ejemplo a un costo \$32500 (teniendo en cuenta el sobrecosto de \$5000 por mano de obra), entonces:

$$\text{\$ por unidad de área de las mallas de lata} = \$32500/(6.00*2.40 \text{ m}^2) \approx \$2257/m^2$$

El dinero que puede ahorrar un comprador particular si compra las mallas será $\$3473/m^2 - \$2257/m^2 \approx \$1216/m^2$.

Si el fabricante de las mallas de lata es el propietario de las varas, entonces:

$$\text{\$ por unidad de área del alambre Negro N° 18.} = \$1000/(6.00*2.40 \text{ m}^2) \approx \$70/m^2$$

$$\text{\$ por mano de obra} = \$5000/(6.00*2.40 \text{ m}^2) \approx \$347.30/m^2$$

El dinero que puede ahorrar el propietario de las varas será $\$3473/m^2 - \$70/m^2 + \$347.30/m^2 \approx \$3750.30/m^2$ donde se requiera utilizar estas mallas.

8. CONCLUSIONES

- La palma de lata tiene características organográficas y de adaptación (hábitat) típicas de una planta de clima tropical, más su estructura anatómica no pertenece propiamente a la de una madera tropical dura (latifoliada) estandarizada y reconocida a nivel estructural. Pese a estas condiciones, se requirió entender como funciona la conformación de los constituyentes maderables presentes en la anatomía de la palma y tener muy presente la influencia de este factor para todos los efectos esperados.

- En la estructura anatómica de la sección transversal del tallo o culmo es notable un mayor porcentaje de tejido de almacenamiento y distribución de sustancias de reserva (elementos parenquimáticos longitudinales y elementos prosenquimáticos o vasculares), mientras que el tejido fibroso encargado de la resistencia mecánica que se ha considerado “maderable” comprende la corteza exterior y se presenta en menor proporción.

- Es evidente que la constitución anatómica de la palma de lata obedece a su adaptación a las rigurosas e inestables circunstancias hídricas y ambientales que la rodean, y son características propias de la especie, siendo natural y necesario que la planta conforme su particular sistema de almacenamiento y además que éste sea predominante y notorio en su estructura anatómica (tejido parenquimático).

- Debido a que la palma de lata goza de características particulares en su estructura anatómica (mirar la sección transversal), surgió la necesidad de restringir algunos ensayos estándar para caracterizar las propiedades físicas y adecuar metodologías que se ajustaron a los requerimientos de los procedimientos de laboratorio, convirtiéndose las normas en simples referencias, de lo contrario los resultados hubiesen sido incoherentes o erróneos.

- El comportamiento estructural registrado en las pruebas de laboratorio fue muy variable, dependió de las condiciones físicas de las probetas de laboratorio, debido a la inquietud de averiguar que sucedía para diferentes condiciones y configuraciones del material maderable que estuvieran al alcance (estado seco, estado verde, sección completa, sección hueca) al momento de realizarse los diferentes ensayos y analizarse los resultados obtenidos.

- Para las probetas en etapa de secado al aire, el 15.11% en contenido de humedad de equilibrio (CHE) es un valor que se encuentra dentro del rango ingenieril (10 – 20%) establecido a partir de las pruebas realizadas a otras maderas y que han sido clasificadas dentro de los grupos maderables reconocidos en la región andina.

- El agua higroscópica influye notablemente en los cambios dimensionales y en sus propiedades mecánicas, ya que para contenidos de humedad superiores al de equilibrio la resistencia mecánica empieza a disminuir.

- Los valores promedios en los cambios dimensionales estuvieron sujetos a la idealización asumida (humedad extrema y temperatura extrema), debido a las condiciones del medio en el que se encuentra el material al momento de realizarse los ensayos.

- Se pudo verificar la diferencia entre los valores para la expansión y contracción al observarse que no existe reciprocidad, además, similar a lo que ocurre con las maderas típicas, el valor de la expansión en las dos direcciones principales es ligeramente mayor que el valor de contracción en las mismas dos direcciones.

- La densidad que se usa con mayor frecuencia es la densidad básica (DB) y es la menor de las cuatro densidades que se pueden distinguir para una misma muestra de madera, pero debido a la carencia del material en el departamento de Santander y la dificultad para registrar el volumen verde, entonces la densidad que fue calculada para la palma de lata (0.54 gr./cm³) corresponde a la densidad seca al aire (DSA).

- La capacidad que tiene el material para bloquear la transmisión del sonido es baja, en general, ésta es una característica inherente de la madera, debido a que son materiales relativamente más livianos que otros materiales estructurales.

- Los valores establecidos de las resistencias en el límite proporcional obtenidas en el laboratorio están dentro de un criterio de resistencia típico de las maderas tropicales que tiene que ver con las correlaciones existentes entre compresión, tracción y flexión paralela a la fibra. Para el caso de la palma de lata no se pudo observar en el laboratorio un valor claro obtenido directamente por observación gráfica debido a su comportamiento no homogéneo; por consiguiente, los valores de resistencias en el límite proporcional fueron limitados como un porcentaje del

esfuerzo máximo para cada situación de esfuerzo (75% del esfuerzo último para compresión y tracción paralela y 60% del esfuerzo último para flexión paralela).

➤ Después de un cuidadoso análisis en los diferentes resultados obtenidos para el módulo de elasticidad E_m , teniendo en cuenta las condiciones físicas en que se estudio el material y su influencia en el comportamiento estructural, el módulo de elasticidad E_m promedio calculado que se ha caracterizado y que se considera genérico de la especie *Bactris Guineensis* tiene un valor $E_m \approx 33500 \text{ Kg/cm}^2$ (E_m a compresión y flexión), que fue el valor promedio hallado por medio del ensayo de compresión paralela a las fibras.

➤ Con referencia al PADT – REFORT (Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el área de los Recursos Forestales Tropicales) y comparándose el módulo de elasticidad E_m de la palma de lata, se observa que se encuentra por debajo del E_m de una madera estructural del GRUPO C (menor rango estructural) cuyo E_m mínimo = 55000 Kg/cm^2 . Esta es una diferencia razonable debido a que la norma Andina para las maderas ha sido exigente con esta clasificación y lo que tiene que ver al respecto.

➤ El esfuerzo nominal a tensión de la palma de lata es representativo comparado con el esfuerzo a tensión de otras maderas, comprobándose así la gran capacidad en su comportamiento frente a las sollicitaciones a tracción.

➤ A partir de los datos promedios del valor del módulo de rotura que se calculó en flexión se puede afirmar que las probetas tomadas sin nodo intermedio tienen menor resistencia a la flexión que las que tienen nodo intermedio; sin embargo, las probetas en estado seco presentaron un módulo mayor que las probetas en estado verde.

➤ Al tratarse de un material maderable con una sección transversal no completamente útil y que ocupa un área significativa, la palma de lata ha demostrado ser un material apto para ciertas aplicaciones constructivas debido a sus propiedades resistentes y elásticas relativamente aceptables bajo esas condiciones.

➤ En teoría y estructuralmente hablando, es inconveniente o desfavorable utilizar las varas de lata con el material o tejido interno que predomina en su estructura anatómica, debido a que los resultados de las fórmulas para los cálculos de ciertas propiedades mecánicas se alteraron o distorsionaron notablemente al

considerarse equívocamente el área porosa de la sección transversal como el área de una sección maciza que supuestamente aporta rigidez y resistencia al elemento, como si ocurre en el caso de las maderas típicas. Debido a esta circunstancia surgió la necesidad de comparar valores para diferentes condiciones del material.

- En el ensayo de impacto con la palma de lata se observó condiciones favorables cuando el material o tejido blando interno estaba presente, debido a que éste actuó como un amortiguador, absorbiendo altas energías de impacto.

- Se observó que los especímenes ensayados con un contenido de humedad muy por encima del contenido de humedad de equilibrio (CHE) demostraron un comportamiento dúctil, absorbiendo mayor cantidad de energía potencial.

- Respecto a la dureza, se concluye que la corteza exterior útil o cascarón maderable posee rangos altos de resistencia, siendo una característica favorable y que le permitiría ser utilizado como un material sometido a los efectos de abrasión y fricción.

9. RECOMENDACIONES

- Las propiedades mecánicas establecidas a partir de las pruebas de laboratorio en las probetas pequeñas libres de defectos son parámetros que idealizan el comportamiento estructural de la palma de lata; se sugiere la investigación en elementos maderables a una escala real y verificarse así la influencia de los defectos naturales en la rigidez y resistencia.

- No se debe olvidar aspectos relacionados con adherencia y anclaje, ya que las varas y por consiguiente tirillas de lata no poseen una textura natural que se asemeje al corrugado necesario para aumentar la adherencia del material con el concreto.

- El anclaje se idealiza como elementos rectos debido a la dificultad o casi imposibilidad para lograr el anclaje requerido como elemento sometido a tracción.

- Debido a la experiencia que se adquirió en el presente trabajo de grado y consiguiente aporte obtenido, se recomienda que se continúe con el desarrollo de ésta investigación y se incluyan nuevos factores y parámetros característicos del material, dejándose abierta la posibilidad de inscribir técnicamente la palma de lata como un nuevo material alternativo en el campo de la construcción y aplicable a ciertos usos.

- El uso que se puede enfocar a la palma de lata es muy similar al que se ha dado a la guadua. Por consiguiente, la palma de lata se podría utilizar de manera parecida en cuanto la configuración o arreglo estructural lo permita.

- Se recomienda tener cuidado con la influencia de la humedad en las tirillas maderables de lata embebidas en el concreto, ya que se deben humedecer previamente y así evitar hinchamientos que posteriormente estallen el concreto.

- Se debe realizar un tratamiento de preservación que mitigue la acción de los agentes xilófagos y así prolongar la vida útil de la palma de lata en sus posibles aplicaciones.

- Para la preservación eficiente de los culmos de lata se puede tener en cuenta los productos utilizados para preservar la guadua y el bambú de acuerdo a su uso final.

- Es bien importante sugerir que la calidad y/o confiabilidad de los datos de laboratorio incluidos y posteriores resultados obtenidos en este trabajo de investigación dependieron en gran parte de la calidad y estado de los instrumentos que sirvieron para la medición, ya que los procedimientos y metodologías concernientes a cada ensayo fueron elaborados concienzudamente por los autores.

BIBLIOGRAFÍA

PIQUÉ, Javier; y otros. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. Editado por la junta del acuerdo de Cartagena. Paseo de la república y avenida Aramburú. Lima, Perú. 1984.

ARANGO LONDOÑO, Alberto. Introducción a la ingeniería de la madera; Ibagué, Colombia. Universidad del Tolima. Octubre de 2003. 220 p.

ANGELONE CÁRDENAS, Mario; HERNÁNDEZ, Rafael. Tesis "Estudio de las propiedades físico – mecánicas de algunas maderas de la región de Santander y sus usos en la construcción. Bucaramanga, Colombia. UIS.1985.

GALEANO, Gloria; BERNAL, Rodrigo. Palmas del departamento de Antioquia. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional. ISBN 958-17-0005-6. 1987.

Expert: Mark W. Skinner
Notes: USDA - NRCS, National Plant Data Center
Reference for: *Bactris guineensis*

Source: The PLANTS Database, database (version 5.1.1)
Acquired: 2000
Notes: National Plant Data Center, NRCS, USDA. Baton Rouge, LA 70874-4490 USA. <http://plants.usda.gov>
Reference for: *Bactris guineensis*

Henderson, A. 2000. *Bactris* (Palmae). Fl. Neotrop. Monogr. 79: 1–181. Ca. 65 spp., S Méx. (Oax., Ver.) a Guyanas, Trin., SE Bras., Parag., Bol., Antillas Mayores (Cuba, La Española, Jam.); 17 spp. en CR.

Bactris guineensis (L.) H. E. Moore, Gentes Herb. 9: 251. 1963. *Cocos guineensis* L., Mant. pl. 137. 1767; *B. minor* Jacq., nom. illeg.; *B. oraria* L. H. Bailey. Huiscoyol, Vizcoyol.

Moore, Harold E., Jr. "The types and lectotypes of some palm genera"; *Gentes Herbarium* 9:251. L.H. Bailey Hortorium of the New York State Collage of Agriculture, Cornell University, Ithaca, N.Y. USA.

Digital Flora of Texas. Vascular Plant Image library.
www.csd.tamu.edu/FLORA/imaxxare.htm

Herbario nacional colombiano. www.fairchildgarden.org/pa

ANEXOS

Anexo A. Clasificación de las propiedades físicas según las normas DIN (Norma Alemán de referencia)

1. DENSIDAD ANHIDRA (gr./cm.³)

Muy liviana	Menor de 0.35
Liviana	0.36 - 0.55
Medianamente pesada	0.56 - 0.75
Pesada	0.76 - 1.00
Muy pesada Mayor de	1.00

2. CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA (%)

CLASIFICACION	Total (Verde a anhidra)	Parcial(CH = 15% a anhidra)
Pequeña	Menor de 10	Menor de 4.5
Moderada	10 - 15	5.0 - 7.0
Alta	15 - 20	7.5 - 9.0
Muy alta	Mayor de 20	Mayor de 11.0

3. RELACIÓN: CONTRACCIÓN TANGENCIAL / CONTRACCIÓN RADIAL

CLASIFICACION	RELACION
Muy estable	Menor de 1.5
Estable	1.5 - 1.8
Moderadamente estable	1.8 - 2.4
Inestable	Mayor de 2.5

Anexo B. Clasificación de las propiedades mecánicas según las normas DIN (Norma Alemán de referencia)

CLASIFICACIÓN	MUY BAJO	BAJO	MEDIANO	ALTO	MUY ALTO
DENSIDAD ANHIDRA (gr./cm ³)	< 0.35	0.36 - 0.55	0.56 - 0.75	0.76 - 1.00	> 1.01
FLEXIÓN (kg./cm ²) Resistencia máxima	<.800	800 - 1000	1000 - 1450	1450 - 2050	> 2050
COMPRESIÓN PARALELA (kg./cm ²) Resistencia máxima.	< 450	450 - 550	550 - 725	725 - 1000	>1000
COMPRESIÓN PERPENDICULAR (kg./cm ²) Resistencia máxima.	<.40	40 - 65	65 - 105	105 - 175	>175
DUREZA LATERAL (kg./cm ²)	< 150	150 - 500	500 - 700	700 - 1400	>1400
DUREZA EXTREMOS (kg./cm ²)	< 350	350 - 500	500 - 650	650 - 1000	>1000
CIZALLAMIENTO (kg./cm ²)	< 50	50 - 80	80 - 110	110 - 160	>160
IMPACTO (m.kg/cm ²)	< 0.35	0.35 - 0.49	0.50 - 0.84	0.85 - 1.44	>1.45

Anexo C. Clasificación de las propiedades físicas y mecánicas según las normas ASTM (American Society for Testing and Materials; Norma Americana de referencia)

CLASIFICACION	MUY BAJO	BAJO	MEDIANO	ALTO	MUY ALTO
DENSIDAD (gr./cm ³) Seca al aire (CH = 12%)	< 0.35	0.36 - 0.50	0.51 - 0.75	0.76 - 1.00	> 1.01
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA (%) De verde a seco al horno	< 7.5	7.6 - 10	11 - 15	16 - 19	> 20
FLEXIÓN (kg./cm ²) E.F.L.P. Esfuerzo al límite de proporcionalidad	< 250	251 - 500	501 - 750	751 - 1000	> 1001
FLEXIÓN (kg./cm ²) Módulo de ruptura	< 400	401 - 900	901 - 1350	1351 - 1800	> 1801
FLEXIÓN (1000 kg./cm ²) Módulo de elasticidad	< 70	71 - 100	101 - 150	151 - 200	> 201
COMPRESIÓN PARALELA (kg./cm ²) E.F.L.P. Esfuerzo límite proporcionalidad	< 200	201 - 300	301 - 450	451 - 600	> 601
COMPRESIÓN PARALELA (kg./cm ²) Módulo de ruptura	< 300	301 - 450	451 - 700	701 - 950	> 951
COMPRESIÓN PERPENDICULAR (kg./cm ²) E.F.L.P.	< 36	36 - 75	76 - 120	121 - 175	> 176
DUREZA (kg.) Lados	< 200	201 - 400	401 - 800	801 - 1200	> 1201
DUREZA (kg.) Extremos	< 250	251 - 500	501 - 1000	1001 - 1500	> 1501
CIZALLAMIENTO (kg./cm ²)	< 40	41 - 85	86 - 120	121 - 175	> 176
TENACIDAD (m.kg.)	< 0.5	0.6 - 1.5	1.6 - 2.5	2.6 - 3.5	> 3.6
TENACIDAD (m.kg./cm ²)	< 0.19	0.25 - 0.60	0.61 - 1.00	1.01 - 1.40	> 1.41

Anexo D. Esfuerzos admisibles y Módulo de Elasticidad para maderas del Grupo Andino (Norma Andina de referencia)

**ESFUERZOS ADMISIBLES Y MODULO DE ELASTICIDAD PARA
MADERAS**

DEL GRUPO ANDINO (kg./cm.²)*. (Fuente: JUNAC, 1984)

PROPIEDAD	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C
Densidad básica (gr/cm ³)	0.71-0.90	0.56-0.70	0.40-0.55
Flexión (f_m) (Kg/cm ²)	210	150	100
Tracción paralela (f_t) (Kg/cm ²)	145	105	75
Compresión paralela ($f_{c//}$) (Kg/cm ²)	145	110	80
Compresión perpendicular ($f_{c\perp}$) (Kg/cm ²)	40	28	15
Corte paralelo (f_v) (Kg/cm ²)	15	12	8
Módulo de elasticidad mínimo ($E_{mín}$) (Kg/cm ²)	95.000	75.000	55.000
Módulo de elasticidad promedio (E_{prom}) (Kg/cm ²)	130.000	100.000	90.000

(*) Estos valores son para madera húmeda y pueden ser usados para madera seca.

Anexo E. Propiedades mecánicas de la *Bambusa blumeana*

Tabla 2. Propiedades mecánicas de *Bambusa blumeana* en condición seca

Resistencia a compresión (kg/cm ²)	825
Resistencia a flexión (kg/cm ²)	856
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	203 873
Resistencia en cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	23
Resistencia a tensión (kg/cm ²)	2 038 - 3 058

Tomado de Janssen (1980).

Tabla 3. Promedio de las propiedades mecánicas de *Bambusa blumeana*, en condición verde

PROPIEDAD	EDAD								
	1 año			2 años			3 años		
	B	M	E	B	M	E	B	M	E
Cortante (kg/cm ²)	41	46	47	44	47	48	47	50	51
Compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)	200	213	226	228	272	283	258	283	294
Esfuerzo en el límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	216	241	235	238	244	403	243	245	431
Módulo de elasticidad x 1000 (kg/cm ²)	29	30	45	31	33	46	35	36	59
Módulo de ruptura (kg/cm ²)	1043	755	477	1345	931	638	1631	1141	757

Tomado de: Mohmod, *et al.* (1993)

Anexo F. Propiedades mecánicas de la Guadua Angustifolia y otras maderas

Unidades en kg/cm ²	Módulo de elasticidad a tracción	Módulo de elasticidad a compresión	Módulo de elasticidad a flexión
MATERIAL			
Guadua	190.000	184.000	179.000
Otras maderas	<i>Entre 90.000 y 180.000</i>	<i>Entre 96.000 y 169.000</i>	<i>Entre 108.000 y 128.000</i>

En el caso del bambú, las propiedades mecánicas dependen de las características físicas del material que en particular sea utilizado construcción y no corresponden a valores absolutos o comparables con otras muestras, ya que las condiciones varían notablemente. Estos gráficos corresponden sólo a un esquema comparativo general ya que casi siempre, para un mismo material sus resistencias pueden variar.

Unidades en kg/cm ²	Resistencia a Tracción	Resistencia a Compresión		Resistencia a Flexión
		Perpendicular a la fibra	Paralelo a la fibra	
MATERIAL				
Guadua	430	560	650	740
Aliso	108	68	357	460
Arboloco	Entre 500 y 1500	132	405	390
Otras maderas	<i>1.000</i>	<i>Entre 50 y 144</i>	<i>400</i>	<i>Entre 500 y 720</i>