

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD
DEL ZULIA
Tercera Época
**Ciencias del Agro,
Ingeniería y Tecnología**

Año 2 Nº 2 Enero-Abril 2011

Fundada en 1947 por el Dr. Jesús Enrique Lossada
Adscrita a la Cátedra Libre HISTORIA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA



PUBLICACIÓN AUSPICIADA
POR FUNDACITE-ZULIA
Y LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Esta revista fue impresa en papel alcalino.
*This publication was printed on acid-free paper that meets
the minimum requirements of the American National Standard
for Information Sciences-Permanence for Paper for
Printed Library Materials, ANSI Z39.48-1984*

**Indizada y/o catalogada electrónicamente
en las siguientes bases de datos:**

**REVENCYT
REVICYHLUZ**

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA
© 2011. Universidad del Zulia
ISSN 0041-8811
Depósito legal pp 76-654

Portada:

Concepto gráfico: Laura González
Diagramación final: Javier Ortiz

Diagramación e impresión: Ediciones Astro Data, S.A.
Teléfono: 0261-7511905. Fax: 0261-7831345
E-mail: edicionesastrodata@cantv.net
Maracaibo - Venezuela

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA.
Calle 67 (prolongación Cecilio Acosta) con Av. 16 (Guajira).
Nueva sede rectoral de la Universidad del Zulia. Edificio Fundadesarrollo.
Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. Teléfono/Fax: 58-261-7831611.
Correos electrónicos: revistauniversidaddelzulia@gmail.com, revistadeluz@gmail.com



Dedicatoria

EL GIRASOL

*La flor que siempre
mira hacia el sol;
simboliza profunda
lealtad y constancia,
impregna alegría y
color...*

AQUILINA MORALES

Esta revista es uno
de tus espacios
naturales.

Contenido

7 Thaís Ferrer de Molero

Presentación

11 Tyrone Clavero

Agroforestería en la alimentación de rumiantes en América Tropical
/// Agroforestry Livestock Feeding Systems in Tropical America

36 Carmen Faría Larrazábal, Javier Suárez Acosta,
Laura Rodríguez de L., Víctor H. González L.

Hospital Universitario de Maracaibo. Ícono de la modernidad
maracaibera */// The University Hospital of Maracaibo. An Icon
of Marabino Modernity*

62 Thaís Ferrer de Molero, Ramón Arrieta P.,
Mayra Guijarro

Gestión tecnológica y desarrollo sustentable en la Arquitectura
contemporánea. Estrategia de alto impacto social */// Technology
Management and Sustainable Development in Contemporary
Architecture. Strategy for High Social Impact*

82 César García, Karina Martínez, Vanesa Joves,
José González, Freddy Andarcia

Caracterización viscosa de mezclas de carbón mineral-agua y
cenizas volantes-agua mediante fluidización en medio acuoso *///
The Viscous Characterization of Mineral Coal-Water and Oil Fly
Ash-Water Mixtures through Fluidization in an Aqueous Medium*

100 Oladis M. Troconis de Rincón y col.

Impacto del ambiente tropical en la durabilidad de las estructuras de concreto armado /// *Impact of the Tropical Environment on the Durability of Reinforced Concrete Structures*

155 Héctor José Bohórquez, Lissette Franchi

Variación de niveles de razonamiento geométrico en estudiantes de Ingeniería /// *Variation in Geometric Reasoning Levels among Engineering Students*

184 Margelys Urdaneta-Fernández, Ángela Urdaneta, Alexander Parra, Everts Chacín, Roger Ramírez-Barrios, Francisco Angulo-Cubillán

Prevalencia y grado de infección de helmintos gastrointestinales en rebaños bovinos doble propósito del municipio Miranda del estado Zulia, Venezuela /// *The Prevalence and Parasitic Burden of Gastrointestinal Nematodes in Dual Purpose Cattle Herds in the Miranda Municipality, State of Zulia, Venezuela*

194 José Atilio Aranguren, María Gabriela Portillo, Carolina Flores Rondón, Yenen Villasmil-Ontiveros, Inioska Rojas, Paola Torres, Gloria Contreras

Frecuencia alélica del gen de la calpastatina en el ganado criollo limonero /// *Allele Frequency of the Calpastatin Gene in Limonero Creole Cattle*

203 Normas para la presentación de trabajos

Presentación

La Universidad venezolana tiene establecida sus funciones en la Ley de Universidades, las cuales son los ejes fundamentales de la dinámica universitaria: docencia, investigación y extensión; a través de ellos se compromete a presentar logros en su producción académica, científica, cultural, social.

En virtud de ello, la inserción de la universidad en el medio sociocultural le permite a éste: informarse sobre el quehacer académico, tener a disposición los conocimientos existente, propiciar las relaciones profesionales e institucionales y, sobre todo, ubicar la institución académica en la específica noción de la búsqueda de la verdad y sus transformaciones, aunada a la de contribuir al desarrollo de la comunidad nacional.

Interpretando esta concepción de la universidad venezolana, la *Revista de la Universidad del Zulia*, renace con su Tercera Época, conservando su carácter patrimonial, como una revista científica y arbitrada, incorporándose a las tecnologías de la información y comunicación social, en su visión de contribuir al reconocimiento de la calidad académica de la Universidad del Zulia, mediante la difusión, el intercambio de conocimientos, así como de proyectos de investigación y avances académicos en las áreas del conocimiento: a) Ciencias Sociales y Arte; b) Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología; c) Ciencias Exactas, Naturales y de la Salud.

El renacer de la *Revista de la Universidad del Zulia*, adscrita a la Cátedra Libre *Historia de la Universidad del Zulia*, ya cuenta con su primer ejemplar, Año 1, N° 1, Tercera Época, publicado para el cuatrimestre Septiembre-Diciembre 2010, y dedicado a las Ciencias Sociales y Arte.

En esta oportunidad, el número 2 de la *Revista de la Universidad del Zulia*, se enfoca en las áreas del conocimiento: Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología. En tal sentido, la Universidad del Zulia, cuenta con cuatro (4) Facultades especializadas en las competencias interpretativas del saber y prospectivas del hacer de estas áreas del conocimiento: Facultad de Ciencias Agronómicas, Facultad de Arquitectura y Diseño Gráfico, Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias veterinarias.

Para este ejemplar, se incluyen ocho (8) artículos enmarcados en las Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología: 1) *Agroforestería en la alimentación de rumiantes en América Tropical*, cuyo autor es Tyron Clavero. 2) *Hospital Universitario de Maracaibo, ícono de la modernidad Maracaibera*, de Carmen Faría, Javier Suárez, Laura Rodríguez, Víctor González. 3) *Gestión tecnológica y desarrollo sustentable en la Arquitectura contemporánea. Estrategia de alto impacto social*, de Thaís Ferrer, Ramón Arrieta, Mayra Guijarro. 4) *Caracterización viscosa de mezclas de carbón mineral-agua y cenizas volantes- agua mediante fluidización en medio acuoso*, de Cezar García, Karina Martínez, Vanesa Joves, José González y Freddy Andarcia. 5) *Impacto del ambiente tropical en la durabilidad de las estructuras de concreto armado*, de Oladis Troconis de Rincón, Miguel Sánchez, Valentina Millano, Rafael Fernández, Emilia Anzola de Partidas, Isabel Martínez, Nuria Rebolledo, Mirta Barboza, Juan C. Montenegro, Rosa Vera, Ana María Carvajal, Ruby Mejía de Gutiérrez, Jorge Maldonado, Carmen Guerrero, Erika Saborio-Leiva, Catalina Villalobos-Gonzalez, José T. Pérez-Quiroz, Andrés Torres-Acosta, Pedro Castro-Borges, Eric I. Moreno, Tezozomoc Pérez-López, Facundo Almeraya-Calderón, Wilfrido Martínez-Molina, Miguel Martínez-Madrid, Manuela Salta, Ana Paula de Melo, Gerardo Rodríguez, Miguel Pedrón, Marité Derrégibus. Debido a los aportes de este trabajo y su desarrollo mediante una red de investigadores, se ha reservado una parte importante del presente número a la exposición de los resultados del mismo. 6) *Variación de niveles de razonamiento geométrico en estudiantes de Ingeniería*, de Héctor José Bohórquez, Lissette Franchi. 7) *Prevalencia y grado de infección de Helminthos gastrointestinales en rebaños bovinos doble propósito del municipio Miranda del estado Zulia, Venezuela*, de Margelys Urdaneta, Angela Urdaneta, Alexander Parra, Everts Chacín, Roger Ramírez, Francisco Angulo. 8) *Frecuencia alélica del gen de la Calpastatina en el ganado criollo limonero*, de José Atilio Aranguren, María Gabriela Portillo,

Paola Torres, Inioska Rojas, Carolina Flores, Gloria Contreras, Yenen Villasmil.

Todos estos artículos de gran impacto y pertinencia contribuyen con lo establecido por la UNESCO (1998), en su declaración mundial sobre la Educación Superior en el Siglo XXI: a la misión de educar, formar y realizar investigación, y con ello el intercambio de conocimiento.

Por otra parte, este número es un especial homenaje a quien fuera alma y corazón de la *Revista de la Universidad del Zulia*, en su Tercera Época: nuestra querida y recordada Aquilina Morales.

Dra. Thaís Ferrer de Molero
Editora Asociada

Agroforestería en la alimentación de rumiantes en América Tropical

*Tyrone Clavero**

RESUMEN

La producción de ganadería ha sido criticada por mucho tiempo debido a su asociación con deforestaciones y subsecuentes degradaciones del medio ambiente y decrecimiento de la producción. Recientemente, se han desarrollado sistemas agroforestales para una producción animal sostenible. Árboles y arbustos están siendo considerados como importantes fuentes de nutrición para animales a pastoreo por sus cualidades tanto de calidad como cantidad. Dentro de los diversos tipos de sistemas agroforestales bajo estudio, los bancos de proteína y los sistemas asociados entre árboles/gramíneas han contribuido al desarrollo de una producción de carne y leche sustentable; dichos sistemas pueden aplicarse a fincas comerciales. En la literatura existe abundante información sobre los efectos del forraje de árboles en la productividad de bovinos, ovinos y caprinos. Los resultados se concentran en mostrar ganancias diarias de peso vivo entre 20-26% mayores cuando los animales ramonean árboles forrajeros en comparación a animales machos en crecimiento que solo recibían pastos en su dieta, producciones diarias de leche de 7-10 kg/vaca representando un 60-65% más leche/vaca, la productividad (l/ha/año) 75% más leche para las asociaciones árboles/gramíneas que en los sistemas tradicionales, ganancias diarias de peso entre 400-525 g en animales de remplazo, lo cual permitió un peso vivo para entrar a reproducción de 290-300 kg, cabras en crecimiento con ganancias de peso vivo de

* Ing. Agrónomo, Ph.D., especialista en pastos y forrajes. Profesor Titular de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia. tclavero@hotmail.com

56% más que los sistemas de gramíneas y ganancias diarias de peso vivo entre 85-100 g en ovejas con un mínimo uso de recursos externos al sistema. Esto puede constituir una solución económicamente viable que no produce daños ambientales y es socialmente aceptada, que producirá beneficios en un corto tiempo con incrementos sostenibles en la producción animal.

PALABRAS CLAVE: Agroforestería, producción animal.

Agroforestry Livestock Feeding Systems in Tropical America

ABSTRACT

Livestock production has been questioned for a long time because of its association with deforestation, subsequent environmental degradation and a decline in productivity. Recently, agroforestry systems for sustainable animal production have been developed. Trees and shrubs are being considered as important sources of nutrition for grazing animals due to their quantity and quality. Among the diverse types of agroforestry systems under study, protein banks and the association of tree/grass systems have contributed a great deal to the development of sustainable dairy and meat production and could be applied to commercial farms. The literature contains abundant information about the effects of tree fodder on the productivity of cattle, sheep and goats. Results show: average daily LW gains 20-26% higher when the animals browse fodder trees as compared to growing young bulls that receive only grass diets; daily milk production of 7-10 kg/cow representing 60-65% more milk/cow; milk productivity (l/ha/year) for the tree/grass system was 75% higher than with the traditional grass system; daily live weight gains between 400-525 g in growing replacement heifers, which allowed a live weight for reproduction of 290-300 kg; growing goats with a live weight gain of 56% more than grass systems; and daily LW gain between 85-100 g in sheep with minimal use of external inputs to the system. This system could constitute an economically viable solution that does not produce environmental damage, is socially accepted and whose short term benefits would be observed in sustainable increments in animal production.

KEY WORDS: Agroforestry, animal production.

Introducción

La deforestación y la conversión de bosques primarios a pastizales es una característica muy severa y ampliamente distribuida en Centro y Sur América. El manejo tradicional de pastizales en áreas deforestadas es frecuentemente insostenible debido a la degradación de las áreas de pastizales en pocos años. Un reporte de la FAO dice que la producción ganadera es una de los principales contribuidores de los problemas ambientales debido a su impacto en el calentamiento global, degradaciones de suelos, contaminaciones del aire y aguas y la pérdida de diversidad (FAO, 1999). De acuerdo a esta institución sobre 13 millones de hectáreas de bosques a nivel mundial se pierden cada año, casi todas en áreas tropicales, las cuales son responsables entre 25-30% de los gases invernaderos liberados en la atmósfera cada año.

En este contexto, la renovación e introducción de apropiados pastizales, adaptados a las condiciones edafoclimáticas locales, unidos con la estratégica incorporación de árboles y arbustos en las áreas de pastoreo conducirán a tecnologías alternativas que pueden contribuir a mejorar la producción de rumiantes disminuyendo el impacto en los ecosistemas donde se desarrollen. De acuerdo a Milera (2006) y Clavero (1996, 1998) esto constituye una solución ecológica viable, la cual no produce daños ambientales y es socialmente aceptada, pues puede producir beneficios en corto tiempo lo cual se reflejará en una producción sustentable en la producción animal.

1. Características nutricionales de árboles forrajeros

Las hojas de los árboles y las ramas pequeñas forman parte natural de las dietas de numerosos rumiantes y han sido utilizadas como una fuente convencional de forrajes para la ganadería en Latinoamérica. La parte de los árboles forrajeros usada comúnmente como alimento está referido a hojas, tallos tiernos, y ramas jóvenes; además pueden utilizarse frutos y vainas.

En años recientes, ha estado creciendo el interés en numerosas regiones de la América tropical en explorar la posibilidad de incluir forraje de árboles y arbustos en la dieta de rumiantes.

En la literatura existe numerosa información relacionada al valor nutritivo de árboles forrajeros (tablas 1 y 2). Los árboles forrajeros deben tener un valor nutricional elevado que puedan utilizarse como suplemento de forrajes de calidad baja. Estos árboles mantienen altos niveles de proteína y minerales durante el crecimiento, superiores a las gramíneas, las cuales declinan muy rápido su calidad a medida que progresa la madurez.

En este orden, los árboles forrajeros con alto valor nutritivo, los cuales tienen proteína de calidad, alta digestibilidad, proporcionan nutrientes que se encuentran deficientes en las dietas y mejoran el crecimiento de la población de microbios del rumen, además son una fuente importante de proteína sobrepasante debido al bajo contenido de taninos. Esto, unido a los niveles de minerales, indica que estos forrajes pueden ser utilizados como un reemplazo parcial de concentrados comerciales reduciendo los costos de alimentación.

Otros árboles forrajeros, especies de bajo valor nutritivo, tienen adecuados niveles de proteína pero presentan altos niveles de taninos condensados, los cuales indirectamente afectan la función del rumen por reducir los niveles de amoníaco debido a la disminución de la degradación de la proteína en el rumen y reducción en la digestibilidad de la fibra.

TABLA1. Valor nutritivo y composición química de especies de alta calidad

Especie	Fracción	CP	ADF	NDF	L	IVDMD	Países	Referencias
<i>Morus alba</i>	Total	24.8	28.5	46.4	-	81	Costa Rica	Ibrahim et al., 2001
<i>Leucaena leucocephala</i>	Total	30.4	27.7	45.7	6.4	68.2	Mexico	Sosa et al., 2004
<i>Albizia lebbbeck</i>	Hojas	20.7	35.4	46.2	8.5	78.8	Cuba	Ojeda et al., 2002
<i>Gliricidia sepium</i>	Total	24.3	20.7	35.2	7.5	77.8	Venezuela	Clavero and Razz, 1999
<i>Cratylia argentea</i>	Hojas	19.5	34.1	60.2	-	61.9	Colombia	Santana and Medina, 2005
<i>Moringa oleifera</i>	Total	26.7	35.2	47.7	-	60.0	Nicaragua	Reyes et al., 2006
<i>Trichanthera gigantea</i>	Total	19.9	40.7	33.9	-	67.4	Costa Rica	Flores et al., 1998

TABLA 2. Valor nutritivo y composición química de especies de baja calidad

Especies	Fracción	CP	ADF	NDF	IVDMD	Países	Referencias
<i>Acacia mangium</i>	Hojas	18.4	28.4	56.1	48.2	Venezuela	Urdaneta, Razz and Clavero, 2001
<i>Erythrina poeppigiana</i>	Hojas	22.5	28.8	43.1	45.3	Cuba	Gonzalez and Caceres, 2002
<i>Pithecellobium dulce</i>	Hojas	21.1	26.5	43.2	54.5	Venezuela	Clavero, 2001
<i>Prosopis juliflora</i>	Vainas	12.5	25.1	44.3	42.5	Venezuela	Casado et al., 2001
<i>Brosimum alicastrum</i>	Hojas	14.6	29.8	41.5	59	Cuba	Delgado and Santos, 2002
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Total	14.8	34.4	52.0	43.8	Guatemala	Hernandez and Benavides, 1995
<i>Calliandra calothyrsus</i>	Total	27.3	24.3	55.4	30.3	Costa Rica	Flores et al., 1998
<i>Acacia pennatula</i>	Hojas	12.5	35.8	59	28.9	México	Pinto et al., 2002
<i>Tithonia diversifolia</i>	Hojas	16.7	30.4	35.6	50.8	Colombia	Mahecha et al., 2007

Como se observa en la tabla 1, el valor nutritivo de las especies de alta calidad tienen un rango de 19.5-30.4% de proteína cruda (CP), 20.7-40.7 de fibra ácido detergente (ADF), 33.3-60.2% de fibra neutro detergente (NDF), 6.4-8.5% de lignina (L), 60-81% de digestibilidad in vitro de la materia seca (IVDMD). La composición varía con las especies, distribución geográfica, partes de la planta y estado de desarrollo.

Esta información de América tropical indica que numerosos árboles forrajeros tienen calidad para ser utilizados en la producción de rumiantes con un valor alimenticio comparado a concentrados comerciales.

En especies de baja calidad, tabla 2, el valor nutritivo de las hojas y ramas jóvenes de estos forrajes se encuentra en los rangos de 12.1-27.3% CP, 25-35.8% ADF, 41.5-59% NDF y 28.9-59% IVDMD. Estos árboles representan una fuente importante de alimento en áreas con inadecuados y fluctuantes suministros de alimentos para rumiantes. Muchos de ellos se

encuentran bien adaptados a condiciones críticas, tales como a regiones áridas y semi áridas y suelos con altos contenidos de aluminios, así como suelos ácidos.

La tabla 3 muestra algunas comparaciones de compuestos secundarios en forrajes de árboles. Muchas especies de árboles tienen altas concentraciones de compuestos fenólicos en sus hojas, siendo los principales los taninos y la lignina. Los niveles de taninos en los follajes de árboles varía grandemente y depende de factores ambientales, así como la especie y el estado de desarrollo (García *et al.* 2003, 2006). Hojas nuevas frecuentemente tienen mayores niveles de taninos que las hojas viejas.

TABLA 3. Factores antinutricionales. Fenoles totales y taninos condensados (% DM)

Especies	Fenoles totales	Taninos
<i>Albizia lebbbeck</i>	2.25	0.46
<i>Albizia caribaea</i>	2.51	2.82
<i>Pithecellobium dulce</i>	2.96	2.62
<i>Pithecellobium saman</i>	2.53	1.42
<i>Gliricidia sepium</i>	2.22	0.46
<i>Gliricidia ulmifolia</i>	6.58	1.53
<i>Prosopis juliflora</i>	3.20	2.65
<i>Prosopis laevigata</i>	3.15	2.00
<i>Cassia fistula</i>	3.10	2.87
<i>Cassia grandis</i>	5.61	3.59
<i>Leucaena leucocephala</i>	-	0.55
<i>Leucaena diversifolia</i>	-	6.50

Fuente: Adaptado de García *et al.*, 2006; González *et al.*, 2006.

Los taninos condensados inhiben la degradación de la proteína de las plantas en el rumen, disminuyendo la disponibilidad de azufre, lo cual decrece la digestibilidad de las paredes celulares. También es posible que los taninos inhiban las enzimas microbiales del rumen y disminuya la disponibilidad de proteínas para la digestión a nivel de los intestinos. Los taninos

pueden asociarse con la pobre aceptabilidad de las hojas jóvenes de los árboles.

Pequeñas cantidades de taninos condensados (0-2% de la dieta) representan un beneficio para los animales, debido a que promueven proteína pasante y la absorción de amino ácidos esenciales en el intestino delgado. Especies con altas concentraciones de compuestos polifenoles no son ramoneadas por rumiantes.

Los niveles en macro y micro minerales en árboles forrajeros se encuentran resumidos en la tabla 4. Además de representar buenas fuentes de proteína, estos materiales también son una importante fuente de minerales tales como calcio con contenidos que se encuentran en un rango de 0.24-1.90, mientras para fósforo el rango es 0.19-0.40, magnesio 0.10-0.47, sodio 0.05-0.14, potasio 0.32-2.75, cobre 17-27, zinc 28-43.1 y manganeso 31-117.2.

De acuerdo a McDowell *et al.*, 1989, la mayoría de los árboles forrajeros contienen suficientes macro y micro minerales para cubrir los requerimientos de la ganadería en las regiones tropicales.

El heno de gramíneas de baja calidad representa frecuentemente la principal disponibilidad de alimento para pequeños rumiantes durante la época seca en países en desarrollo. Árboles forrajeros especialmente del género leguminosas han sido utilizados como suplemento proteico en forrajes de baja calidad resultando un incremento significativo en la productividad. Sin embargo, existen diferencias importantes de acuerdo a la especie utilizada.

En recientes estudios, corderos suplementados con leucaena (especie de alta calidad) presentaron una digestión elevada de la proteína cruda muy superior a lo observado en animales que recibieron suplemento de *Acacia mangium* (tabla 5). La excreción de nitrógeno urinario fue superior en los corderos incluidos en los tratamientos de Acacia resultando en un decrecimiento en la digestibilidad del nitrógeno y la retención del mismo (Clavero *et al.*, 1997). El nitrógeno retenido es considerado como el mejor índice de la nutrición proteica en rumiantes. Las diferencias en las cantidades de nitrógeno excretado y su influencia en el nitrógeno retenido refleja las diferencias en el nitrógeno consumido y el metabolismo. Bajas retenciones de nitrógeno y elevadas excreciones del mismo representan baja digestibilidad de la proteína cruda en las dietas de Acacia, esto puede de-

TABLA 4. Contenido de macro y micro minerales en forrajes de árboles

Especies	Fracción (%)	Ca (%)	P (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Países	Referencias
<i>Acacia mangium</i>	Hojas	0.38	0.24	0.18	0.14	0.96	-	37.1	46.5	Venezuela	Clavero et al., 2001
<i>Albizia lebeck</i>	Total	1.08	0.22	-	-	-	-	-	-	Cuba	Soca et al., 1999
<i>Prosopis juliflora</i>	Vainas	0.33	0.23	0.13	0.05	0.32	27	28.8	31	Brazil	Mendes, 1986
<i>Tithonia diversifolia</i>	Hojas	0.80	0.40	0.10	-	-	-	-	-	Colombia	Mahecha and Rosales, 2005
<i>Trichanthera gigantea</i>	Hojas	0.24	0.25	0.69	-	-	17	41	-	Colombia	Hess and Dominguez, 1999
<i>Leucaena leucocephala</i>	Hojas	0.97	0.25	0.40	0.10	1.41	-	43.1	117.2	Venezuela	Ferrer et al., 1996
<i>Morus alba</i>	Hojas	1.90	0.30	0.47	-	2.07	-	-	-	Costa Rica	Benavides, 2000
<i>Gliricidia sepium</i>	Hojas	1.19	0.19	0.40	-	2.75	-	-	-	Venezuela	Clavero et al., 1999
Nivel crítico		.30	.25	.20	.08	.80					McDowell, et al., 1989

TABLA 5. Metabolismo del nitrógeno en corderos suplementados con árboles leguminosos tropicales

Dieta	Consumo N (g/animal/d)	Retención N (g/animal/d)	% Consumo
60% <i>Brachiaria</i> heno, BH-40% <i>L. leucocephala</i>	16.83	8.7	52.6
80% BH-20% <i>L. leucocephala</i>	10.12	3.3	32.6
60% BH-40 % <i>Acacia mangium</i>	12.5	5.1	40.8
80% BH-20% <i>A. mangium</i>	7.8	1.2	15.3

Fuente: Adaptado de Clavero et al., 1999.

berse a la baja degradación de la proteína cruda en el rumen y poca absorción en los intestinos debido a complejos tanino-proteicos. De forma tal que la suplementación nitrogenada puede ser limitada por efecto de los taninos.

Las investigaciones han soportado la hipótesis que a pesar de mejorarse el balance de nitrógeno, la degradabilidad de las hojas en el rumen es baja, lo cual refleja el incremento en la concentración de compuestos secundarios en las plantas.

2. Potencial de los forrajes de árboles como suplemento para rumiantes

2.1. Pequeños rumiantes

Numerosos estudios se han realizado para evaluar el potencial de los árboles forrajeros en la productividad de pequeños rumiantes. En las tablas 6 y 7 se muestran los efectos de los forrajes de árboles en la alimentación tanto de caprinos como ovinos.

Estas pruebas de alimentación fueron diseñadas para establecer las raciones óptimas de suplementación de la dieta basal o sustitución de material ofrecido. Se ha extendido un concepto equivocado, según el cual la baja productividad de rumiantes en regiones tropicales es básicamente el resultado de baja digestibilidad de los forrajes disponibles.

Existen evidencias que la baja productividad se debe a una ineficiente utilización de los recursos alimenticios causado por una deficiencia de nutrientes en esas dietas. La alimentación de rumiantes con forrajes de baja calidad requiere una suplementación con los nutrientes que se encuentran en deficiencia crítica para optimizar la producción.

Especies de alto valor nutritivo ricas en nitrógeno y minerales tienen alta digestibilidad; cuando se utilizan como suplemento pueden incrementar la eficiencia de utilización de pasturas de baja calidad al incrementar, no sólo la eficiencia de la síntesis de proteína microbial (conduciendo a suministrar mayor aporte de proteína de esta fuente), sino que contribuyen con proteína pasante con aminoácidos de elevada calidad e incrementa el flujo de nitrógeno no amoniacal al intestino delgado.

TABLA 6. Uso de árboles forrajeros en la dieta de cabras

Pasto	Forraje de árbol	Sistema	Nivel de suplementación	Cambios de peso g/d	Referencias
Guinea	Morera (M)	Corte y acarreo	Pastura (P)	56	Gonzalez et al., 2001, Cuba
			P + M 0.5% LW	65	
			P + M 1.5% LW	78.2	
			P + M 2.5% LW	86.3	
Buffel	Leucaena (L)	Ramoneo	Pastura (P)	35.8	Clavero and Razz, 2003, Venezuela
			P + L	48.9	
			P + Concentrado, 20% CP	50.5	

TABLA 7. Producción de corderos

Especies forrajeras	Dieta basal	Sistema	Nivel de suplementación	Ganancia de peso (g/d)	Consumo % PV	Referencias
<i>Morus alba</i>	King grass	Corte y acarreo	PS % PV			
			0	60	3.54	Benavides, 2000
			0.5	75	3.72	
			1.0	85	3.99	
1.5	101	4.34				
<i>Leucaena leucocephala</i>	Pasto buffel	Ramoneo	Pastura (P)	50	-	Clavero et al., 1995
			P + Leucaena	89		
			P + Concentrado, 17% CP	98		

La suplementación con forraje de árboles ha mostrado una mejoría en la tasa de crecimiento de los pequeños rumiantes, debido a un efecto de esos forrajes en el consumo total de materia seca; además de incrementar el metabolismo de la proteína y la energía consumida. Estos resultados indican que la suplementación de pastos tropicales con pequeñas cantidades de forraje de arbóreas mejora la eficiencia en la utilización de las raciones, observándose una respuesta parecida a la obtenida cuando son suplementados con alimentos concentrados comerciales.

2.2. Bovinos

En recientes estudios, una serie de experimentos en diferentes localidades han sido realizados para proveer más información a los productores sobre la utilización de árboles forrajeros como fuente de alimento en regiones tropicales.

La mayoría de las investigaciones reportan que la suplementación con forraje de árboles en la dieta del ganado bovino puede mejorar la utilización de forraje de baja calidad. Estas suplementaciones producen mayor ganancia de peso vivo en becerros y novillos (tablas 8 y 9) que las producidas utilizando dietas basales de forrajes de pobre calidad.

Adicionalmente, la suplementación con arbóreas proporciona una importante fuente de nitrógeno y minerales al rumen con un aparente efecto sinérgico al mejorar la digestibilidad de la dieta basal. En un estudio realizado en Cuba por Lamela *et al.*, 2005, el comportamiento de toros cebú fue evaluado bajo cuatro sistemas de pastoreo con y sin árboles, donde la gramínea utilizada fue guinea cv likoni y las asociaciones de árboles fueron *Leucaena leucocephala*, *Bauhinia purpurea* y *Albizia lebbbeck*. Cargas animales de 3 animales/ha fueron utilizadas, adicional los animales recibieron agua y sales minerales. Los resultados demostraron la superioridad de los sistemas de asociaciones comparado con el sistema tradicional fertilizado; sin embargo, no mostraron diferencias entre asociaciones. Es importante reconocer que la inclusión de otros árboles forrajeros como *A. lebbbeck* y *B. purpurea* evidenció sus altos potenciales para ser utilizadas como alimento en sistemas con baja utilización de recursos externos.

Un largo experimento fue realizado en Costa Rica por Ibrahim *et al.*, 2000, donde evaluaron el uso de poro (*Erythrina berteroana*) como suplemento en animales a pastoreo, incluyendo como fuente energética frutos

TABLA 8. Efecto de árboles forrajeros en bovinos

Dietas	Ganancias diarias de peso vivo (g/d)	Países	Referencias
<i>Brachiaria humidicola</i> (BH)- Tradicional	428	Colombia	Mahecha et al., 2004
BH + <i>Acacia mangium</i>	628		
<i>Cynodon nlemfuensis</i> (SG)	384	Cuba	Lamela et al., 2005
SG + 15% (<i>L. leucocephala</i> + <i>G. sepium</i>)	487		
SG	450	Venezuela	Escobar, 1996
SG + <i>G. sepium</i>	650		

TABLA 9. Valores comparativos de árboles forrajeros en novillos a pastoreo

Dietas	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Cambios en peso vivo (g/d)	Referencias
Dieta basal de pasto guinea	227	362	540	
<i>Leucaena leucocephala</i>	227	427	788	Lamela et al., 2005
<i>Albizia lebeck</i>	227	409	729	
<i>Bauhinia purpurea</i>	226	416	747	
Dieta basal de <i>P. fasciculatum</i> y <i>C. nlemfuensis</i>	-	-	476	Ibrahim et al., 2000
<i>Erythrina berteroana</i> (E)	-	-	598	
E + banana	-	-	700	

verdes de banana. Observaron ganancias de peso vivo mayores al 20% en novillos, ramoneando poro en bancos de proteína en comparación con el control, demostrando el potencial para mejorar la productividad animal en sistemas tradicionales de producción ganadera con la utilización de arbóreas. El peso vivo acumulado por animal fue superior en los sistemas donde además de poro se suministró un suplemento de bananas verdes; esto se atribuye a los altos valores energéticos suministrados por las bananas. Las bananas verdes son ricas en almidón, proporcionando estas dietas altas proporciones de energía pasante a los intestinos, lo cual puede explicar las altas ganancias de peso observadas con esos tratamientos.

Una serie de experimentos han sido realizados con animales doble propósito en crecimiento para evaluar la influencia de la suplementación con arbóreas sobre la ganancia de peso (tabla 10). Los resultados muestran una relación lineal entre los niveles de alimentación con arbóreas y las ganancias de peso. La suplementación incrementa la degradación microbial en el rumen, lo cual se convierte en un incremento del consumo voluntario y en la producción animal (Camero, 1995).

Bajo estas condiciones de manejo, sin la utilización de recursos externos, las ganancias diarias por animal fueron superiores a los 500 g/animal/día en los sistemas de engorde a pastoreo y alcanzó pesos finales de

TABLA 10. Rendimiento de novillos alimentados con varios niveles de forrajes de árboles

Especies de árboles	Dieta basal	Nivel de suplementación (kg MS/100 kg PV)	Consumo voluntario (g/d)	Ganancia de peso vivo (g/d)	Referencias
<i>Morus alba</i>	King grass	0	2.04	390	Ibrahim et al., 2001
		1.0	2.69	690	
		1.9	3.00	940	
		2.8	3.06	950	
<i>Erythrina cochleata</i>	Pasto estrella	0		380	Camero, 1995
		0.3	-	398	
		0.5		524	
<i>P. juliflora</i> , harina de vainas	Pasto alemán	0		455	Fernandez, 1996
		0.5	-	598	
		1.0		807	

alrededor de 450 kg con 24-26 meses de edad y producción de 500-800 kg de carne/ha (Ruiz y Febles, 1999).

Los sistemas silvopastoriles han sido desarrollados para mejorar la productividad de los pastizales por medio de la introducción de especies herbáceas y forrajes de árboles. Entre los diversos sistemas silvopastoriles desarrollados, los bancos de proteína y los sistemas asociados de árboles con gramíneas han sido los que más han contribuido en América tropical, tanto en la producción de carne como de leche, representando actualmente los sistemas que pueden generalizarse e integrarse con propósitos de incrementar la producción ganadera en la región (tablas 11 y 12).

En áreas tropicales, el uso de bancos de proteína con árboles leguminosos y no leguminosos, para proveer forraje suplementario durante el período seco está tomando relativa importancia. El manejo y cuidado del banco de proteína para pastoreo es simple, lo cual es aceptado y admitido por ganaderos con experiencia en producción. En general, los árboles son plantados en altas densidades, generalmente cercano a la vaquera u otros lugares donde se puedan alimentar los animales; las proporciones que usualmente se recomiendan del banco de proteína en relación a la unidad de producción están en 50:50, 70:30 ó 75:25% gramíneas: banco de proteínas, lo cual dependerá del sistema de manejo seleccionado por el productor. Sin embargo, la superioridad de las asociaciones han sido demostradas en relación con mayores ganancias de peso diario, mayor disponibilidad de alimento, remarcado incremento de los niveles de proteína en las asociaciones con gramíneas, mejor balance de nutrientes y mejor composición botánica.

3. Producción y composición de la leche

Es evidente la necesidad de la suplementación proteica en regiones secas o durante el período seco en sistemas sub-húmedos, cuando la calidad de los alimentos es baja y los forrajes son pobres en términos de niveles de proteína. Numerosos experimentos han sido desarrollados para evaluar el efecto de árboles forrajeros como suplementos en la producción de leche.

La mayoría de esos trabajos muestran que la suplementación de pastos tropicales con forrajes de árboles de alta calidad mejoran el promedio

TABLA 11. Rendimiento de novillos pastoreando un banco de proteína de Leucaena

Leucaena área (%)	Pastos	Carga animal	N (kg/ha/año)	Ganancia de peso vivo (g/animal/d)	Rendimiento (kg/ha/año)
30	Guinea	2	-	538	392
50	Guinea	2	-	556	406
30	Estrella	3	-	465	509
30	Estrella	3	90	532	583

Adaptado de Castillo et al., 1998.

TABLA 12. Desarrollo de novillos en pasturas asociadas con leucaena y en bancos de proteína

Dietas	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Ganancia de PV (g/d)	Rendimiento kg/ha/año
Pasturas	149	312	425	310
Banco de proteína	149	357	539	394
Asociación 100% Leucaena	150	384	605	442

Adaptado de Castillo et al., 1998.

de producción de leche comparado a los sistemas tradicionales (tabla 13). Así mismo, los animales presentaron mejor condición corporal y mayor consumo de materia seca. También se han observado importantes incrementos en carga animal, reflejado en el rendimiento de la producción láctea, las cuales fueron 200% mayores al compararlas con vacas a las cuales solo se le ofreció forraje de gramíneas (Urbano *et al.*, 2006).

Otros estudios, en donde se reemplazó concentrado, no se observaron diferencias significativas en la producción de leche (tabla 14) cuando las vacas recibían forraje de arbóreas o concentrado como suplemento proteico. Sin embargo, las variables costos fueron inferiores cuando la fuente de nitrógeno provino de forraje de arbóreas, resultando mayores ganancias netas en los sistemas agroforestales (Benavides, 2000).

Para producción de leche, los mejores resultados al utilizar bancos de proteína han sido alcanzados cuando el área de los bancos representa un 20-25% de la superficie total de pastoreo, con accesos limitados de los animales y tiempos de pastoreo entre dos y cuatro horas por día. Para facilitar el manejo, los bancos deben estar ubicados cercanos a las áreas de ordeño. El banco debe estar cercado para facilitar y garantizar la rotación de pastoreo y el debido período de recuperación para los árboles. En la tabla 15 se presentan los resultados obtenidos en diferentes países de la región en términos de producción de leche, utilizando bancos de proteína de *Leucaena leucocephala*.

La composición de la leche en vacas doble propósito suplementadas con forrajes de arbóreas en diferentes sistemas (corte y acarreo, bancos de proteína, asociaciones, harinas) no muestran efectos apreciables en la calidad de la leche. Las concentraciones de proteína, sólidos totales y concentración de grasa incrementó ligeramente con mayores niveles de forrajes de arbóreas en las dietas (tabla 16). Los altos rendimientos de leche en vacas suplementadas resultó en un incremento altamente significativo en proteína y grasa de la leche (Hernández, 2004; Razz y Clavero, 2007).

Conclusiones

Los estudios realizados han demostrado que los sistemas agroforestales en la alimentación de rumiantes en el trópico constituyen una solución viable, que no produce daños ambientales y es socialmente aceptada por

TABLA 13. Producción de leche utilizando forraje de árboles

Sistemas	Producción	Carga animal	Rendimiento	Países	Referencias
		µa/ha	l/ha/año		
Pasto estrella (SG)	6.3, kg/día	-	-	Venezuela	Torres et al., 2002
<i>Leucaena leucocephala</i> (corte y acarreo) + SG	7.8	-	-		
Pasto estrella	9.66, kg/día	-	-	Cuba	Hernandez, et al., 2004
<i>L. leucocephala</i> (banco de proteína) + SG	13.1	-	-		
<i>B. brizantha</i> heno (BBH)	3.10, kg/día	-	-	Nicaragua	Reyes et al., 2005
BBH + 2 kg DM, <i>Moringa oleifera</i>	4.91	-	-		
BBH + 3 kg DM, <i>M. oleifera</i>	5.07	-	-		
<i>B. brizantha</i> (pastoreo), fertilizado	8.21, l/ha	1.75	5244	Venezuela	Urbano et al., 2006
<i>B. brizantha</i> + <i>L. leucocephala</i> + <i>C. sepium</i>	8.96	4.08	13343		

TABLA 14. Efecto del nivel de suplementación de forraje de árboles en la producción de leche

Especies	Dieta basal	Nivel de suplementación	Consumo	Leche	Referencias
		(kg/día de concentrado)	(kg/día)		
<i>Morus alba</i>	Pasto estrella	Concentrado/Morera			
		100/0	6.4/0	14.2	Benavides, 2000
		60/40	4.2/2.8	13.2	
<i>Tithonia diversifolia</i>	Brachiaria	25/75	1.9/5.5	13.8	
		Concentrado/Tithonia			
		100/0	3.0	11.71	Mahecha et al., 2007
		75/25	2.3	12.00	
		65/35	2.0	12.16	

TABLA 15. Producción de leche usando bancos de proteína

Especies utilizadas	Carga animal	Rata de N (kg/ha/año)	Producción (kg/vaca/día)
Guinea + Leucaena	2.0	-	7.22
Guinea likoni + Leucaena	2.0	-	6.70
Guinea likoni + Leucaena	2.5	140	10.10
Pasto estrella + Leucaena	2.0	-	5.70

Adaptado de: Lamela et al., 2005; Razz et al., 2004.

TABLA 16. Composición de la leche

Dietas	Proteína en leche	Grasa	Sólidos totales	Lactosa	Referencias
Guinea, GG + 3 kg concentrado, CC (20 %CP)	3.65	2.97	-	-	Clavero et al., 1996
GG + 2.5 kg CC + 0.5 kg <i>G. sepium</i> harina, GSM	3.71	3.29	-	-	
GG + 2 kg CC + 1 kg GSM	3.75	3.50	-	-	
Pasto estrella, SG + CC (3 kg)	3.52	3.47	12.03	-	Mahecha et al., 2007
SG + 75% CC + 25 % <i>T. diversifolia</i> , TD, forraje	3.35	3.64	12.16	-	
SG + 65 % CC + 35 % TD	3.84	3.91	12.76	-	
GG + Leucaena forraje, L	2.99	4.19	12.50	4.65	Razz et al., 2007
GG + L + 1 Kg CC	3.10	4.12	12.70	4.53	
SG	2.90	3.50	-	4.60	Hernandez, 2004
SG + L	3.02	3.75	-	4.68	

los productores. Además, puede jugar un importante papel en la recuperación de la producción ganadera, en particular lo referente a carne y leche, dos de los más importantes alimentos requeridos por la población.

Referencias

- Alyson, B., K. Dagang and P.K.R. Nair (2003). Silvopastoral research and adoption in Central America: recent finding and recommendations for future directions. *Agroforestry Systems*. Reino Unido. Vol. 59(2):149-155.
- Benavides, J. (2000). La morera, un forraje de alto valor nutricional para la alimentación animal en el trópico. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 23(1): 1-14.
- Benneker, C. and J. Vargas (1994). Estudio del consumo voluntario de cinco procedencias de matarraton (*Gliricidia sepium*) realizado con ovejas africanas alimentadas con tres dietas diferentes. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 6(1):1-8.
- Camero, A. (1995). Experiencias desarrolladas por el CATIE en el uso del follaje de *Erythrina* sp. Y *Gliricidia sepium* en la producción de carne y leche de bovinos. *Agroforestería de las Américas*. Costa Rica. Vol. 2(8):9-13.
- Camero, A. and M. Franco (2001). Improving rumen fermentation and milk production with legume tree fodder in the tropics. *Agroforestry systems*. England. Vol. 51(2):157-166.
- Casado, C., M. Benezra, O. Colmenares and N. Martínez (2001). Evaluación del bosque seco deciduo como recurso alimenticio para bovinos en los Llanos centrales de Venezuela. *Zootecnia Tropical*. Venezuela. 19(2): 139-150.
- Casanovas, E. A. Carranza, C. Caballero, R. Novoa and R. Valera (2004). Efecto de la inclusión de morera (*Morus alba*) en la producción de leche. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 27(2): 147-152.
- Castillo, E., T. Ruiz, G. Crespo, J. Galindo, B. Chongo and J. Hernández (1998). Efecto de la suplementación con caña/urea en machos bovinos que pastan en áreas de pastos asociados totalmente con leucaena. *Memorias. III Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería"*. EEPF "Indio Hatuey". Cuba. P. 232.
- Chesney, P., and N. Vasquez (2007). Dynamics of non-structural carbohydrate reserves in pruned *Erythrina poeppigiana* and *Gliricidia sepium* trees. *Agroforestry Systems*. England. Vol. 69 (2): 89-105.
- Clavero, T. (1996). Las leguminosas forrajeras arbóreas: Sus perspectivas para el trópico Americano. In. *Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tro-*

- pical. Ed. Tyrone Clavero. Centro de transferencia de tecnología en pastos y forrajes. Maracaibo. Venezuela. Pp. 1-10.
- Clavero, T. (1998). Uso de los árboles forrajeros en la ganadería tropical. In. *Estrategias de alimentación para la ganadería tropical*. Ed. Tyrone Clavero. Centro de Transferencia de Tecnología de Pastos y Forrajes. Maracaibo. Venezuela. pp.101-109.
- Clavero, T. (2001). Valor nutritivo del *Pithecellobium dulce*. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. Venezuela. Vol. 9 Supl. 1:735-738.
- Clavero, T. and R. Razz (1999). Utilización de la *Leucaena leucocephala* como suplemento en cabras en crecimiento. *Revista Científica, FCV-LUZ*. Venezuela. Vol. 9(3): 228-230.
- Clavero, T. and R. Razz (1999). Utilization of *Acacia mangium* as supplement for growing sheep. *Revista Científica, FCV-LUZ*. Venezuela. Vol 9 (4): 311-313.
- Clavero, T. and R. Razz (1999). Valor nutritivo de la *Gliricidia sepium* en condiciones de bosque seco tropical. *Rev. Cubana Cienc. Agric. Cuba*. Vol. 33:97-100.
- Clavero, T. and R. Razz (2003). The performance of goats browsing *Leucaena leucocephala* in the semi-arid areas of northwest Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ*. Venezuela. Vol 13(6): 460-463
- Clavero, T., A. Muller and R. Razz (1995). Comportamiento de ovinos suplementados con *Leucaena leucocephala*. *Revista Argentina de Producción Animal*. Argentina. Vol. 15(2): 413-414.
- Clavero, T., E. Miquilena and A. Rodríguez (2001). Mineral contents of *Acacia mangium* under defoliation conditions. *Rev. Fac. Agron. LUZ*. Venezuela. Vol. 18(3): 217-221.
- Clavero, T., F. Romero, R. Razz and A. Rodríguez (1997). Metabolismo del nitrógeno en ovinos suplementados con *Gliricidia sepium*. *Revista Científica, FCV-LUZ*. Venezuela. Vol 7(2):83-85.
- Clavero, T., J. Perez, R. Razz, M. Lemus and F. Palmar (1997). Consumo voluntario y balance de nitrógeno de diferentes raciones de *Leucaena leucocephala* en ovinos. *Revista Científica, FCV-LUZ*. Venezuela. Vol 7(3): 165-168.
- Clavero, T., O. Bando and R. Van Praag (1996). Efecto de la suplementación con *Gliricidia sepium* en vacas lecheras en producción. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 19(1): 89-92.
- Clavero, T., R. Razz, O. Araujo, J. Morales and A. Rodríguez (1997). Metabolismo del nitrógeno en ovinos suplementados con *Leucaena leucocephala*. *Arch. Latinoam. Prod. Animal*. Venezuela. Vol 5 Supl 1: 226-228.

- Combellas, J., L. Ríos, P. Colombo, R. Alvarez and L. Gabaldón (1996). Influence of *Gliricidia sepium* restricted grazing on live weight gain of growing cattle in star grass pastures. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol 8 (4):1-3.
- Cuellar, P., L. Rodríguez and T. Preston (1992). Uso del pizamo (*Eritrina fusca*) como suplemento proteico en dietas de tallo de caña prensado para terneras de levante. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 4(1): 1-8.
- Cuellar, P., L. Rodríguez and T. Preston (1996). The foliage tree *Erythrina fusca* as a protein supplement for cattle and as a component of an agroforestry system. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 8(1):1-7.
- Delgado, D. and Y. Santos (2002). Determinación del valor nutritivo del follaje de dos árboles forrajeros tropicales: *Brosimum alicastrum* y *Bauhinia galpinic*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. Cuba. Vol 36(4): 391-395.
- Escobar, A. E. Romero and A. Ojeda (1996). *Gliricidia sepium: El matarratón, un árbol multipropósito*. Editorial Exibris, Venezuela.78p.
- FAO (1999). *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. FAO, Roma. Italia.
- Fernández, B. (1994). Evaluación de la vaina de cuji (*Prosopis juliflora*) como suplemento nutricional en bovinos en crecimiento. Tesis de Grado. URU. Venezuela.75 p.
- Ferrer, O., J. Urdaneta, R. Razz and T. Clavero (1996). Evaluación mineral de dos eco tipos de *Leucaena leucocephala* bajo diferentes niveles de fertilización. *Interciencia*. Venezuela. Vol. 21(1):2-6.
- Flores, O., D. Bolivar, J. Botero and M. Ibrahim (1998). Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajero para la suplementación de rumiantes en el trópico. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 10(1):1-7.
- García, D. and M. Medina (2006). Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zootecnia Tropical*. Venezuela. Vol. 24(3):233-250.
- García, D., F. Ojeda and I. Montejo (2003). Evaluación de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de *Morus alba*. I. Análisis cualitativo de metabolitos secundarios. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 26(4):335-346.
- García, D., M. Medina, J. Umbría, C. Domínguez, A. Baldizan, L. Cova and M. Soca (2006). Composición proximal, niveles de metabolitos secundarios y

- valor nutritivo del follaje de algunos árboles forrajeros tropicales. *Arch. Zootec. España*. Vol. 55(212):373-384.
- González, E. and O. Cáceres (2002). Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 25(1):15-20.
- González, E., M. Ortega, J. Arece and O. Cáceres (2001). Efecto de diferentes niveles de morera en el consumo y el crecimiento de cabritas destetadas. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 24(4): 347-352.
- González, J. X. Madrigal, A. Ayala, A. Juárez and E. Gutiérrez (2006). Especies arbóreas de uso múltiple para la ganadería en la región de tierra caliente del estado de Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 18(8):1-4.
- González, J., A. Ayala and E. Gutiérrez (2006). Determinación de fenoles totales y taninos condensados en especies arbóreas con potencial forrajero de la región de tierra caliente Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 18(11): 1-9.
- Hernandez, R. and P. Ponce (2004). Efecto del silvopastoreo como sistema sostenible de explotación bovina sobre la composición de la leche. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 16(6).1-4.
- Hernandez, S. and J. Benavides (1995). Potencial forrajero de especies leñosas de los bosques secundarios de El Petén, Guatemala. *Agroforestería de las Américas*. Costa Rica. Vol. 2 (6): 15-22.
- Hess, H. and J. Domínguez (1999). Follaje de nacedero (*Trichanthera gigantea*) como suplemento en la alimentación de ovinos. *Pasturas Tropicales*. Colombia. Vol. 20(3).11-15.
- Hess, H., T.T. Tiemann, F. Noto, S. Franzel, C. Lascano and M. Kreuzer. (2006). The effects of cultivation site on forage quality of *Calliandra calothyrsus* var. Patulul. *Agroforestry Systems*. England. Vol 68(3):209-220.
- Ibrahim, M., A. Schlonveigt, J. Camargo and M. Souza (2001). Multi-strata solvi-pastoral systems for increasing productivity and conservation of natural resources in Central America. Proceeding of the XIX International Grassland Congress. Brazil. P. 645-649.
- Ibrahim, M., F. Holmann, M. Hernandez and A. Camero (2000). Contribution of Erythrina protein banks and rejected bananas for improving cattle production in the humid tropics. *Agroforestry Systems*. England. Vol. 49(3): 245-254.
- Ibrahim, M., M. Franco, D. Pezo, A. Camero and J. Araya (2001). Promoting intake of *Cratylia argentea* as a dry season supplement for cattle grazing Hy-

- parrhenia rufa* in the subhumid tropics. *Agroforestry Systems*. England. Vol. 51(2):167-175.
- Kass, D. and E. Somarriba (1999). Traditional fallows in Latin America. *Agroforestry Systems*. England. Vol. 47(1):13-36.
- Lamela, L. and L. Simon (1998). Utilización de la harina de legumbres de Albizia como suplemento en vacas lecheras. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 21(4): 355-358.
- Lamela, L., C. Maties, C. Fung and R. Valdes (2001). Efecto del banco de proteína de leucaena en la producción de leche. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 24(3):259-264.
- Lamela, L., E. Castillo, J. Iglesias and A. Pérez (2005). Principales avances de la introducción de los sistemas silvopastoriles en las condiciones de producción en Cuba. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 28(1): 47-58.
- Mahecha, L. and M. Rosales (2005). Valor nutritivo del follaje de Botón de Oro (*Tithonia diversifolia*) en la producción animal en el trópico. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 17(9):1-11.
- Mahecha, L., J. Escobar, J. Suarez and L. Restrepo (2007). *Tithonia diversifolia* (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein per Cebu). *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 19(2):1-7.
- Mahecha, L., M. Cardona, D. Henao, L. Restrepo and M. Olivera (2004). Influence of temporary interruption of suckling on weight at weaning in Zebu calves in silvopastoral systems with supplementation. *Livestock Research for rural Development*. Colombia. Vol. 16(5):1 -6.
- McDowell, L.R., J.H. Conrad, G.L. Ellis and J.K. Loosli (1989). *Minerals for grazing ruminants in Tropical Regions*. Academic Press, Inc. New York. USA. 92 p.
- Mendes, B. (1986). Potential offered by *Prosopis juliflora* pods in the Brazilian semi arid region. The current state of knowledge on *Prosopis juliflora*. *II Internacional Conference on Prosopis Recife*, 25-29 Aug. Brazil, pp.61-62.
- Milera, M. (2006). Sistemas de producción de leche a partir de recursos forrajeros herbáceos y arbóreos. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 29(2): 109-134
- Miquilena, E., O. Ferrer, T. Clavero, R. Razz and M. Medina (2000). Frequency and height of defoliation on the nitrogenous fractions of *Acacia mangium*. *Cuban J. of Agric. Sci*. Cuba. Vol. 34 (1):65-71.
- Murgueitio, E. (2000). Sistemas agroforestales para la producción ganadera en Colombia. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 23(3):235-250.

- Navas, A., M. Laredo, A. Cuesta, H. Anzola and J. Leon (1993). Effect of supplementation with a tree legume forage on rumen function. *Livestock Research for rural Development*. Colombia. Vol. 5 (2): 1-13.
- Ojeda, F., I. Montejó and T. Clavero (2002). Evaluación del potencial nutritivo de *Albizia lebbbeck* deshidratada. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 25(4):305-310.
- Palma, J., M. Aguirre, C. Cardenas and A. Moya (1999). Valor nutritivo de tres leguminosas arbóreas en el trópico seco de México. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 22(1):57-64.
- Pinto, R., L. Ramirez, J. Ku-Vera and L. Ortega (2002). Especies arbóreas y herbáceas forrajeras del sureste de México. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 25(3): 171-180.
- Razz, R., T. Clavero, J. Combillas and T. Ruiz (2004). Respuesta productiva y reproductiva de vacas doble propósito suplementadas con concentrado pastoreando *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. *Revista Científica, FCV-LUZ*. Venezuela. Vol 14(6):526-529.
- Razz, R. and T. Clavero (2007). Efecto de la suplementación con concentrado sobre la composición química de la leche en vacas doble propósito pastoreando *Panicum maximum*-*Leucaena leucocephala*. *Revista Científica, FCV-LUZ*. Venezuela. Vol. 17(1):53-57.
- Reyes, N., E. Spornly and I. Ledin (2006). Effect of feeding of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. *Livestock Science*. USA. Vol. 98:2-9.
- Reyes, N., S. Ledin and I. Ledin (2006). Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different management regimes in Nicaragua. *Agroforestry Systems*. England. Vol. 66(3): 231-242.
- Roa, M. H. Muñoz, J. Galeano and D. Céspedes (2000). Suplementación alimenticia de vacas doble propósito con morera, nacedero y pasto king grass en el pie de monte llanero, Colombia. *Agroforestería de las Américas*. Costa Rica. Vol. 7(28):8-11.
- Rosales, M. (1997). *Trichanthera gigantea*: A review. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 9(4):1-9.
- Rosales, M: and M. Gill (1997). Tree mixtures within integrated farming systems. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 9(4): 1-10.
- Sanchez, C. and M. Garcia (1998). Suplementación de *Leucaena leucocephala* en caprinos criados bajo sistemas tradicionales de explotación. *Zootecnia Tropical*. Venezuela. Vol. 16 (1):113-126.
- Santana, M. and M. Medina (2005). Producción de material seca y calidad forrajera de *Cratylia argentea* bajo tres Alturas y edades de corte en bosque húme-

- do tropical. *Livestock Research for Rural Development*. Colombia. Vol. 17(10): 1-13.
- Santana, H., M. Soca, L. Simon and O. Caceres (1998). Efecto del follaje de *Albizia lebbbeck* sobre el valor nutritivo de una dieta de king grass. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 21(1):87-92.
- Soca, M., L. Simon, O. Caceres and A. Francisco (1999). Valor nutritivo del heno de leguminosas arbóreas. I. *Albizia lebbbeck*. *Pastos y Forrajes*. Cuba. Vol. 22(4):353-358.
- Sosa, E., D. Perez, L. Ortega and G. Zapata (2004). Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Tec. Pecu. Mex.* México. Vol. 42(2):129-144.
- Torres, A., A. Zerpa and R. Romero (2002). Análisis fenológico cuantitativo, producción de biomasa y efecto en la calidad de la leche bovina de dos modalidades de siembra de bancos de *Leucaena leucocephala* en la zona baja del Edo. Trujillo. *Revista Científica*. Venezuela. Vol. 12 Supl. 2:497-501.
- Urbano, D., C. Dávila and P. Moreno (2006). Efecto de las leguminosas arbóreas y la suplementación con concentrado sobre la producción de leche y cambio de peso en vacas doble propósito. *Zootecnia tropical*. Venezuela. Vol 24 (1). 1-11.
- Urdaneta, J. R. Razz and T. Clavero (2001). Effect of the frequency and height of defoliation on the nutritive value of *Acacia mangium*. *Cuban Journal of Agricultural Science*. Cuba. Vol. 35(2):119-122.
- Zamora, S., J. Garcia, G. Bonilla, H. Aguilar, C. Harvey and M. Ibrahim. (2001). Uso de frutos y follaje arboreo en la alimentación de vacunos en la época seca en Boaco, Nicaragua. *Agroforestería de las Américas*. Costa Rica. Vol. 8(31): 31-38.

Hospital Universitario de Maracaibo. Ícono de la modernidad maracaibera

*Carmen Faría Larrazábal**
*Javier Suárez Acosta***
*Laura Rodríguez de L.****
*Víctor H. González L.*****

RESUMEN

La investigación: "Hospital Universitario de Maracaibo (HUM) 40 años de historia", agrupó, en el año 2000, a un equipo interdisciplinario que integró diferentes experiencias. Los médicos aportaron su vivencia de la dinámica de los avances científicos y tecnológicos en la prestación de salud. Los arquitectos, su visión conceptual del edificio como hecho arquitectónico, en su dialéctica cotidiana con la sociedad, que cambia y se transforma en el tiempo. Los resultados revelaron que el HUM ha constituido un hito en la historia de la ciudad y sus implicaciones sociales van más allá de la construcción de un monumental edificio, emblema de la arquitectura moderna en Maracaibo; así como de los logros médico-científicos que le otorgaron a la ciudad el galardón de "capital científica de Venezuela". De esta investigación –donde se utilizó el método histórico– señalamos la importancia del uso del testimonio oral como instrumento para reconstruir la historia. El artículo enfoca el edificio como emblema de la época y el significado que ha tenido para la arqui-

Investigadores adscritos al Laboratorio de Historia de la Arquitectura y del Urbanismo Regional, FADLUZ. *kayfaria@yahoo.com, **arqjesa@hotmail.com, ***rodriguezlaura@cantv.net, ****vhgl@yahoo.com.

RECIBIDO: 09-02-11 /// ACEPTADO: 11-03-11

tectura regional; su análisis desde el punto de vista moderno; así como las implicaciones sociales que tuvo la institución en un momento clave para la historia venezolana.

PALABRAS CLAVE: Hospital Universitario de Maracaibo, arquitectura moderna, reconstrucción histórica, servicio de salud.

The University Hospital of Maracaibo. An Icon of Marabino Modernity

ABSTRACT

The study, "University Hospital of Maracaibo (UHM): 40 Years of History," brought together an interdisciplinary team that contributed different experiences in the year 2000. Physicians provided their experiences of the dynamic of scientific and technological advances in health services. Architects rendered their conceptual vision of the building as an architectural fact in its daily dialog with society, which changes and transforms itself over time. Findings revealed that the UHM has been a milestone in the city's history, and its social implications go beyond the construction of a monumental building, emblem of modern architecture in Maracaibo, as well as the medical-scientific accomplishments that bestowed the award of "scientific capital of Venezuela" on the city. The article portrays the building as an emblem of the era and the meaning it has had for regional architecture, its analysis from a modern viewpoint, as well as the social implications the institution had at a key moment in Venezuelan history.

KEY WORDS: University Hospital of Maracaibo, modern architecture, historic reconstruction, health services.

Introducción

El conjunto de edificios que integran el Hospital Universitario de Maracaibo (HUM), es producto de una coyuntura en la cual el ideal modernizador del país era la respuesta al acelerado crecimiento registrado en algunas ciudades. La dinámica exigía modelos arquitectónicos acordes con el

nuevo escenario; una arquitectura que reflejara progreso y desarrollo según el ideal político del momento que, además, pretendía solventar el desfase de casi medio siglo que existía con las grandes capitales del mundo.

Es así como se ejecutaron edificios y se propusieron ciudades con un ideal basado en el desarrollo y el progreso; factores que a su vez encierran un total rechazo hacia las formas del pasado, hacia la historia misma, alegando que estos modelos eran signo de retraso, de problemas de insalubridad, de caos y confusión, que atentaban contra el avance científico y el bienestar social que debía existir en el siglo XX.

La mayoría de estas obras forman parte de un repertorio arquitectónico conocido como Movimiento Moderno. Estilo que surge a finales del siglo XIX, en Europa, estimulado principalmente por el interés de promover una forma de hacer arquitectura y ciudad, acorde con la aspiración de industrialización y progreso para el nuevo siglo que se avecina. El movimiento se difunde a lo largo de toda Europa en el período de entre guerras, época en la cual se rebautiza con el nombre de Estilo Internacional, y es hacia el final de la Segunda Guerra Mundial cuando se instaura en Latinoamérica, específicamente en Brasil, México, Argentina, Colombia y Venezuela.

Durante la década de los años cincuenta el perfil de la ciudad de Maracaibo comienza a moldearse vertiginosamente por estas nuevas formas. En torno a esto, el trabajo titulado *La Otra Ciudad* (Machado *et al.*, 1994:125) afirma que, “en este período se realiza la introducción definitiva de la arquitectura moderna en Maracaibo”. El crecimiento urbano de la ciudad es materializado bajo los preceptos del nuevo estilo. Se construyen nuevas tipologías de edificios principalmente residenciales, comerciales y asistenciales, todos caracterizados por presentar formas planas y geométricas.

Son ejemplos de este período además del Hospital Universitario de Maracaibo (1952-60), el edificio General Electric (1949), edificio Matema (1955-57), Centro Comercial Villa Inés (1956), edificio Montielco (1956), edificio Don Matías (1959), entre otros.

Después de 40 años, se inició la labor de reconstruir el proceso histórico-arquitectónico de la Institución, analizando el impacto social y urbano que ésta ha generado. Esto, a través del proyecto de investigación: Hospital Universitario de Maracaibo. 40 años de historia, adscrito al Laboratorio de Historia de la Arquitectura y el Urbanismo Regional de la Facultad



FIGURA 1. Conjunto de edificios HUM.

Fuente: Archivo fotográfico Proyecto: HUM. 40 años de historia.

de Arquitectura y Diseño de LUZ; llevado a cabo por un equipo interdisciplinario que integró diferentes experiencias del campo médico y de la arquitectura.

El trabajo intenta aproximarse a la historia de la Institución y a la arquitectura del HUM. Presenta una reseña del proceso que explica su origen dentro del marco socio-político y la visión médico hospitalaria del momento, y una referencia que pretende ayudar a entender la solución arquitectónica adoptada como concreción de la estética moderna, proceso de orden cultural que logra materializarse en la arquitectura hospitalaria de mediados del siglo XX, en su sentido más puro con el HUM. Ambos aspectos testimonian la importancia que ha tenido y la trascendencia de las implicaciones sociales y culturales, que lo convirtieron en un hito en la historia de la ciudad.

1. El HUM, una materialización del Nuevo Ideal Nacional

El momento histórico donde se inserta la construcción del Hospital Universitario de Maracaibo, década del 50, corresponde a una etapa dominada por la renta petrolera y la modernización del estado, dentro de un panorama político nacional liderado por la figura política de Marcos

Pérez Jiménez. Su régimen (1948-1958)¹ se caracterizó por la búsqueda de la modernización de Venezuela, con la cual se pretendía superar el estado de miseria y atraso que –según su propia evaluación– caracterizaba al país.

La Venezuela que enfrentó Pérez Jiménez tenía un carácter bastante deprimido. La proliferación de enfermedades –paludismo, malaria, disentería– se debía, en gran parte, a la falta de agua potable, a las pésimas condiciones higiénicas, y a la carencia de adecuados mataderos, recolectores de basura, entre otros. Existían todavía muchas poblaciones con calles de tierra sin aceras ni alcantarillado, sin alumbrado público, acueductos ni cloacas. Los poblados agrícolas no estaban comunicados con las fuentes de consumo pues algunas ciudades se encontraban aisladas del resto del país.

Las escuelas no eran suficientes para la población venezolana y las construidas estaban en malas condiciones. Los servicios hospitalarios y los dispensarios también estaban en estado deplorable o no existían en poblaciones que así lo requerían. No se contaba con una estructura hotelera que fomentara el turismo y permitiera explotar los recursos que ofrecía el país. Alrededor de las principales ciudades ya existían cordones de miseria, producto de la migración del campo a la ciudad; el rancho, vivienda marginal y antihigiénica, se extendía descontroladamente en la periferia urbana.

La imagen de la mayoría de las ciudades era la heredada del siglo XIX, con algunas extensiones estimuladas por la instalación de los campos petroleros o por el crecimiento espontáneo con intervenciones puntuales de cierta envergadura promovidas por el gobierno gomecista. Para enfrentar esta realidad el Gobierno emprendió el Nuevo Ideal Nacional, un fastuoso plan modernizador de obras públicas que pretendía equiparar a Venezuela con las naciones más avanzadas.

1 Aun cuando Pérez Jiménez ejerció la presidencia desde 1952-1958, los años en los cuales la Junta de Gobierno se encargó del poder a través de Carlos Delgado Chalbaud y Suárez Flamerich, su figura tuvo una influencia tan fundamental que los historiadores acostumbran a denominar este período completo como perezjimenezismo (Nota de los Autores).

Esta modernización, según Castillo (1990:203)

...tiende a privilegiar los aspectos socioeconómicos del proyecto Perezjimenista, concibiendo una noción de desarrollo, progreso y bienestar, que se mide por kilómetros construidos, toneladas de cemento y cabillas utilizadas, noción ésta que soslaya o reduce a su mínima expresión los aspectos políticos, valores y derechos dentro de una democracia que no se asienta en la participación y en la convivencia política, sino en la exclusión, a cambio de los beneficios materiales.

Sería esta magna obra la que justificaba el régimen, legitimaba su acción y le servía de propaganda oficial, tanto en el interior como en el exterior del país. Venezuela de esta forma –aunque solo en apariencia– dio el salto a la modernidad, comenzó a tener una imagen similar a la de las grandes potencias.

En este momento se realizaron, la mayoría de los planes reguladores de las principales ciudades del país y se planificaron las ciudades. Las obras fueron proyectadas bajo los parámetros de la Arquitectura Moderna, estilo que irrumpía fuertemente en el país y que se convirtió en el paradigma a seguir por los arquitectos más relevantes del momento, como Carlos Raúl Villanueva, Tomás Sanabria y José Miguel Galia, entre otros. En fin, el progreso y la transformación del mundo moderno tenían una imagen en la nueva nación que se formaba.

De esta época, Maracaibo hereda grandes obras de carácter público: la urbanización Rafael Urdaneta del Arq. Carlos Raúl Villanueva, ejemplo de arquitectura apropiada al clima local; la urbanización Zapara realizada por el Banco Obrero, testimonios ambas de la política habitacional del momento; el Hotel del Lago expresión de la inversión en la industria hotelera con la creación de la CONAHOTU; el Puente sobre el Lago, orgullo de la regionalidad, que con su majestuosidad y audacia tecnológica permitió comunicar por vía terrestre a Maracaibo con el resto del país, superando el aislamiento que la había caracterizado desde su fundación.

2. La política asistencial da paso a la modernidad

Para garantizar el sagrado derecho a la salud, se creó en 1949 la Dirección de Edificaciones Médico Asistenciales dentro del Ministerio de Obras Públicas que tendría a su cargo el estudio, proyecto y construcción

de obras asistenciales; institución que fue justificada por la complejidad de las edificaciones, la magnitud de las mismas y el requerimiento de atención técnica especializada.

El plan Médico-Hospitalario Nacional comprendía Centros de Salud Integral (25 y 75 camas), Hospitales Distritales (100 y 250 camas), ligados al Hospital zonal o regional, y Hospitales Generales, que abarcaban medicina general, cirugía, traumatología, aislamiento, maternidad y pediatría. Aparte, se encontraban las clínicas psiquiátricas y hospitales de tuberculosos.

Dentro de la clasificación de Hospital General surgió el hoy Hospital Universitario de Maracaibo, con capacidad para más de 600 camas, junto con otros hospitales en el resto del país, como el Hospital Central de Valencia, el Hospital General de Barquisimeto, el Hospital General de San Cristóbal, el Hospital General de Valera, el Hospital General de Ciudad Bolívar y el Hospital General de Porlamar.

3. El hospital quirúrgico, su antecedente inmediato

En la Maracaibo de mediados del siglo XX, la salud pública era atendida por instituciones de tradición como el Hospital Central y el Hospital Chiquinquirá, ubicadas en el núcleo primigenio de la ciudad. Hacia el norte funcionaban algunas clínicas privadas como la Clínica Amado y la Falcón, así como instituciones de salud como el Caribbean Hospital y el Hospital Coromoto, construidas por las compañías petroleras para atender a sus empleados. De carácter público, sólo existían el Hospital Quirúrgico y de Maternidad (1943) y el Hospital Psiquiátrico (1912).

El primero de éstos, construido mediante acuerdo entre las petroleras y el Ejecutivo Federal, para la atención a la población en general, no cubría la creciente demanda. Contaba con algunas habitaciones privadas, llamadas piezas especiales, dedicadas a la generación de ingresos adicionales a los de la Junta de Beneficencia Pública.

El Hospital Quirúrgico y de Maternidad comenzó a funcionar el 1° de marzo de 1943. La importancia de este hospital se evidenció cuando en 1945 los periodistas de la revista *Elite* realizaron una visita a sus instalaciones y refiriéndolo como imponente instituto comentaron que contaba:

FIGURA 2. Hospital Chiquinquirá.
Fuente: Archivo fotográfico
Proyecto: HUM. 40 años de historia.



FIGURA 3.
Hospital
Caribe.
Fuente: Archivo
fotográfico
Proyecto: HUM.
40 años de
historia.



FIGURA 4. Hospital Quirúrgico y de Maternidad.
Fuente: Archivo fotográfico Proyecto: HUM. 40 años de historia.

con una dotación de 180 camas distribuidas así: 150 para insolventes y 30 denominadas especiales y un personal integrado por veinte médicos, diez enfermeras graduadas y cuatro prácticas, así como veinte auxiliares de enfermería (Revista *Elite* 1945:37).

No obstante, la concentración acelerada de la población hacia el norte, para 1950, lo hacía insuficiente pues la ciudad requería, de acuerdo al Plan Médico-Hospitalario Nacional llevado adelante por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, de un Hospital General; por lo que la Junta de Gobierno se planteó la creación de un Hospital Clínico u Hospital General para Maracaibo, como parte central de la zona hospitalaria del Zulia, en la ciudad capital.

4. Su ubicación en la ciudad

En la década de 1950 Maracaibo se encontraba dividida en su traza en dos asentamientos urbanos: el casco tradicional y un naciente conglomerado iniciado por las colonias petroleras de Bella Vista y Las Delicias, pertenecientes a la Shell; la colonia La Lago, de la Lago Petroleum Corporation (Creole); y la colonia Mene Grande, de la Gulf Oil Company. Las avenidas Delicias y Bella Vista conectaban ambos sectores, mientras la Av. 5 de Julio se convertía en el eje vial principal del nuevo asentamiento.

Si la Maracaibo inicial concentraba las principales funciones urbanas: gubernamentales, asistenciales, comerciales, culturales y habitacionales, fue en esta década que el nuevo asentamiento recibió un mayor impacto, no sólo desde el punto de vista residencial que lo había caracterizado, sino con el traslado de los servicios y equipamientos urbanos que tradicionalmente se habían concentrado en el núcleo de origen.

Aparecieron así las sucursales de las firmas comerciales existentes en el casco urbano, los nuevos centros comerciales, como el Centro Comercial TODOS del Paraíso, el Centro comercial Villa Inés, el edificio América y la nueva tipología habitacional de torres y bloques como el edificio Yonekura y el edificio Don Matías.

La salida masiva de la población y los servicios urbanos del centro histórico, impulsada básicamente por la expansión petrolera, se instaló con

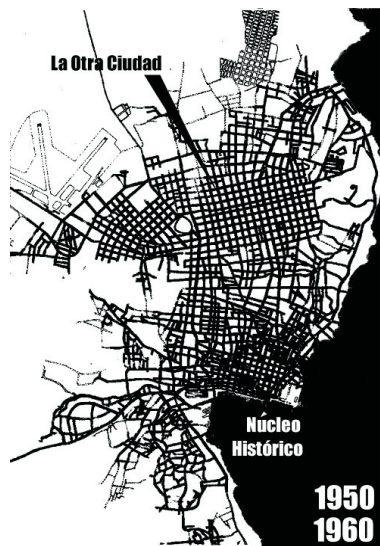


FIGURA 5. Plano de Maracaibo 1950. La otra ciudad. Fuente: Archivo fotográfico Proyecto La otra ciudad Plano de Maracaibo Compañía Shell.

mayor énfasis al noroeste, en la avenida 5 de Julio, Las Delicias, Rafael María Baralt y El Paraíso; donde se manifestaba a su vez, el desarrollo del comercio exportador y las finanzas. A cierta distancia, las clases socioeconómicas humildes, mediante invasiones de terrenos, ponían a prueba la elasticidad del límite urbano.

Se produjo así una adaptación de la configuración de la ciudad al crecimiento demográfico, lo cual tuvo como evidencia importante la consolidación y desarrollo de lo que se ha llamado la Otra Ciudad², definida por la avenida El Milagro, la calle Falcón (calle 85), el aeropuerto de Grano de Oro y la avenida Universidad; acotando los bordes de un asentamiento autónomo, distinto

al antiguo recinto histórico, que confirma lo que empíricamente muchos años antes la misma población describía (Machado *et al.*; 1994, 21):

...con ello estaremos evocando la costumbre de los viejos maracuchos, la gente antigua que decía cuando estaba fuera del recinto histórico: “voy a Maracaibo”, es decir, iban a su ciudad, a la que no hay necesidad de volver porque precisamente se está allí, se está fuera de Maracaibo.

En 1952 la prensa reseñaba las inauguraciones de las avenidas Los Haticos, Dr. Quintero, Dr. Portillo, Las Delicias (entre avenida 19 y El Carmen), 5 de Julio (entre Sears y el Cuartel Libertador). Estos avisos referían

2 Este término es utilizado por las profesoras María Machado de C., Elisa Quijano y Ethel Rodríguez en el trabajo: *La Otra Ciudad. Génesis de la ciudad petrolera de Maracaibo* (1994), Facultad de Arquitectura de LUZ-CONDES, para definir el sector de Maracaibo que acoge el nuevo crecimiento urbano a partir de 1920.

también la inauguración de Sears, la primera tienda por departamentos de la ciudad y el cambio de residencia de los profesionales que atendían sus consultorios en el núcleo histórico, hacia El Paraíso y Bella Vista.

En 1956, la compañía Shell de Venezuela editó un plano de la ciudad de Maracaibo donde aparecen diferentes elementos urbanos que anticipaban la consolidación del sector noroeste de la ciudad: Aeropuerto de Grano de Oro, Hospital Quirúrgico y Maternidad, escuela de Enfermeras, las facultades de Odontología y Medicina, escuela de Ingeniería de Petróleo, liceo Baralt, Estadio Olímpico; con una ocupación del suelo urbano no muy distinta de la de otros sectores, como los que seguían al eje de Bella Vista, que tradicionalmente habían mantenido una evidente estabilidad.

A partir de 1958, la Universidad del Zulia experimentó una notable expansión. Los nuevos paradigmas y la realidad institucional obligaron a sus autoridades a iniciar gestiones para obtener terrenos y ampliar su planta física. En agosto de ese año, la Gaceta Oficial de la República de Venezuela, signada con el número 25.737, delimitó el área afectada por la construcción de la zona universitaria, la cual demarcaba ya los terrenos del Hospital General de Maracaibo.

De acuerdo con lo anterior, no pareciera aleatorio que la ubicación del Hospital Universitario de Maracaibo tuviera lugar en terrenos adya-



FIGURA 6. Plano de Maracaibo. Compañía Shell. Fuente: Archivo Laboratorio de Historia de la Arquitectura y del Urbanismo Regional FADLUZ.

centes al aeropuerto de la ciudad, a la Ciudad Universitaria y, especialmente, conectado a uno de los ejes más dinámicos del crecimiento urbano de los últimos 50 años: la Avenida 5 de Julio.

5. El proyecto y la construcción

El Proyecto fue diseñado en Suecia por la empresa: SVENSKA ENTREPRENAD AB "SENTAB"³ y el paquete incluía no sólo el diseño arquitectónico y de las instalaciones, sino también el de la estructura y probablemente de los equipos. Suecia tuvo una trayectoria importante hasta, aproximadamente, 1970 como país exportador de paquetes asistenciales y entre sus servicios, si era requerido, preparaban al personal.

La fecha de inicio del proyecto se desconoce, pero ya para 1948 existe intercambio de correspondencia entre la empresa sueca y el MOP, sobre detalles constructivos y de especificaciones técnicas. Si se toma en cuenta que estos aspectos se resuelven en general durante las últimas etapas de proyecto, cabe suponer la posibilidad de una contratación previa al régimen perezjimenista. Hipótesis que valida una revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela, de 1951, donde aparece una descripción del proyecto y señala que, por su complejidad, tardó más de dos años en ejecutarse.

La empresa desarrolló el proyecto basado en un programa de necesidades planteado por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, en el cual destacaba, como premisa general para el diseño del nuevo Hospital, que el mismo debía conceptualizarse como (Revista del Colegio de Ingenieros 1951:11): "un centro médico educacional –de la Escuela de Medicina de la Universidad del Zulia–, un centro de investigación, un instituto asistencial para el tratamiento de toda clase de enfermedades y capaz para servir a una zona muy extensa, sede de varias instituciones médico-asistenciales".

Basado en estos principios, el arquitecto coordinador del proyecto Hakon Ahlberg Sar planteó el conjunto en cuatro partes principales (Revista del Colegio de Ingenieros: 1951:11):

3 Información extraída de los archivos de la empresa SVENSKA ENTREPRENAD AB "SENTAB", consultados a través de la embajada de Suecia en Venezuela.

La primera: Enfermos Adultos (cirugía, medicina, maternidad y aislamiento); la segunda: Pediatría; la tercera: Diagnóstico, Terapia e Investigación, y la cuarta correspondía a los servicios. En conjunto ocuparían un área de construcción de 46.372 m², repartidos en 80.5 m² por cama, ...de acuerdo con las exigencias más estrictas en tal clase de construcciones.

El proceso de construcción fue llevado a cabo en tres etapas, la última de las cuales fue iniciada el 29 de abril de 1960 con los trabajos de instalación eléctrica y albañilería del bloque D, destinado al servicio de Pediatría⁴. A pesar de los retrasos presentados, el 18 de noviembre de ese año, día de Nuestra Señora de la Chiquinquirá, durante el gobierno de Rómulo Betancourt fue inaugurado el HUM; momento en el cual el Ministerio de Sanidad hizo entrega oficial de la obra a la Universidad del Zulia, la cual se encargaría de la parte docente del mismo.

El problema de corrosión del acero estructural detectado durante el proceso de construcción de la obra, no fue obstáculo para que la nueva y confortable mole del norte de la ciudad, iniciara sus labores asistenciales

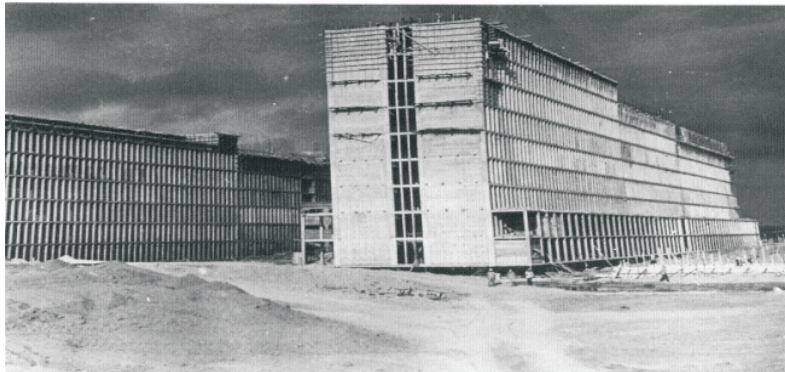


FIGURA 7. Construcción edificio HUM.

Fuente: Archivo fotográfico Proyecto: HUM. 40 años de historia.

4 Informe que presenta la comisión para el estudio de las condiciones médico asistenciales nacionales en el Estado, a la Junta Directiva del Colegio de Médicos del Estado Zulia sobre la apertura del Nuevo Hospital General para Maracaibo.

como hospital de referencia, bajo la dirección del Dr. Juan Montezuma Ginnari, con capacidad de 605 camas: 170 para pediatría, 254 para cirugía y sus especialidades, y 181 para medicina y sus especialidades. El costo total de la obra fue 110 millones de bolívares, incluyendo equipos y demás instrumentos.

Transcurrió así, cerca de una década para que el proyecto se hiciera una realidad en la ciudad y se consolidara como el centro asistencial más importante del Estado Zulia que, por la diversidad de funciones y sus diferentes elementos ofrece una máxima eficiencia. Se abre entonces, una nueva página en la historia urbana y asistencial de Maracaibo.

6. El HUM, emblema de la estética moderna maracaibera

Abordar un problema de orden estético en la arquitectura debe comenzar, en principio, por acercarse a una definición capaz de introducirnos al objeto de este análisis. Pateta (1975:49) señala:

El arquitecto Viollet Le Duc Sullivan, hacia 1863, presenta una tesis que pareciera adecuada a los fines presentes, y como aproximación a la esencia del problema, al establecer que el estilo: Es en una obra de arte, la manifestación de un ideal basado en un principio...

Cabe entonces preguntarse, ¿cuál es el ideal?, ¿cuál es el principio, en la arquitectura que se nos presenta en el HUM? Atender estas interrogantes nos conduce a revisar los ideales y principios de la arquitectura moderna, contexto cultural que enmarca de modo significativo su edificación.

El impacto de la revolución industrial en las ciudades europeas del siglo XIX produjo graves problemas como la sobrepoblación, la progresiva degradación del ambiente urbano, así como la instalación de un número importante de servicios de orden industrial. Esto marcó su fisonomía y es, en parte, la herencia que el siglo de la industrialización legó al siglo XX.

Ante esto, un grupo de arquitectos animados por la idea de un futuro mejor, concibió una arquitectura que utilizara el progreso científico y tecnológico para resolver los problemas que esta dinámica había ocasionado; es así como la visión mecanicista e industrial se incorporó a la arquitectura, suerte de sincretismo de ideas que por más de dos siglos había circulado hasta materializarse en la producción arquitectónica del siglo XX.

Por lo tanto, el estilo es también el resultado del intento de resolver planteamientos personales que representan una tendencia suprapersonal, lo cual planteó la tarea de manejar la esfera de los aportes que el estilo recibe de algunos arquitectos notables, maestros de la estilística moderna de la arquitectura del siglo XX, aportes que también serán abordados en este breve análisis.

7. El funcionalismo: la forma sigue la función

El pensamiento funcionalista destaca dentro de la dinámica de procesos de orden cultural que afectaron la filosofía de la arquitectura moderna del siglo XX, al establecer una metodología de diseño que induce al arquitecto, como gestor de la organización del espacio construido, a llevarlo a cabo partiendo del análisis de las funciones básicas que el edificio debe cubrir. Ello conduce a la idea de que las formas deben derivar de una respuesta a las necesidades funcionales.

El tema es conocido en la historia de la arquitectura como el funcionalismo arquitectónico, cuyo espíritu queda descrito en la frase del arquitecto Sullivan, citado por Pateta (1975:49): “Es ley de todas las cosas orgánicas e inorgánicas, físicas y metafísicas, humanas y sobrehumanas, de todas las manifestaciones de la cabeza, del corazón y del alma, que la vida sea reconocible en su expresión, que la forma siga siempre la función”.

El proyecto debe ser dirigido, por tanto, hacia la satisfacción de una necesidad –su utilidad práctica y social– que, en el caso del HUM, sería un HOSPITAL GENERAL que ofreciera los servicios básicos propios de este tipo de asistencia, para dar cobertura a la población del norte de la ciudad que carecía de una institución general de salud.

La necesidad primaria del hospital es, entonces, el apoyo conceptual del proyecto arquitectónico; la función justifica su existencia y determina sus formas. En este sentido, la memoria descriptiva del proyecto establece en sus principios básicos que:

Las necesidades fundamentales del hospital podrían resolverse en dos disposiciones, una concentrando todos los servicios en una sola estructura elevada, y la otra escoger una estructura mas extendida, habiéndose preferido esta última. La concentración de la parte clínica y de la parte de hospitalización en una sola estructura hubiera obligado

a los proyectistas a elevar los edificios a doce o trece plantas, disposición no aconsejable en el presente caso. Es mejor separar las áreas destinadas a diagnóstico de las de tratamiento y especialización, así como es aconsejable también separar la sección de niños de la de adultos. Así se planeó el hospital en cuatro partes principales:

- Enfermos adultos (cirugía, medicina, maternidad y aislamiento).
- Pediatría
- Diagnóstico, terapia e investigación.
- Servicios (Revista del Colegio de Ingenieros, 1951:11).

La forma queda, así, determinada por sus funciones y utilidad, concepción funcional que no ha impedido su adaptación a nuevas funciones requeridas a través del tiempo. Los servicios básicos y de especialización aumentaron hasta convertirse en un centro docente, asistencial y de investigaciones de gran prestigio para la región y el país. En 1965 se amplía el edificio con la incorporación del bloque de servicios al extremo Oeste del conjunto y luego, en 1973, se anexan las áreas de mantenimiento.

Posteriormente, según Gaceta Oficial del año 1993, a la estructura organizativa de los Hospitales Generales se les adiciona la función de Emergencia y Medicina Crítica, ello llevó a una serie de reformas en la emergencia de adultos, entre 1988 y 1989. Al mismo tiempo, se reacondicionaron algunas áreas exteriores del hospital como los accesos vehiculares y peatonales, estacionamientos, jardines y helipuerto.

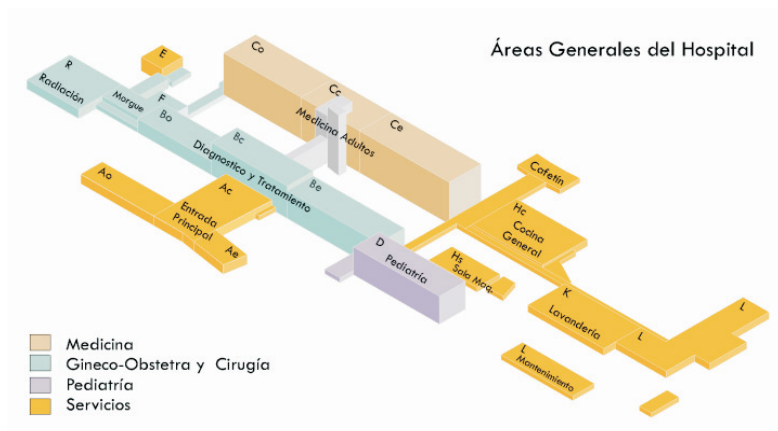


FIGURA 8. Isometría volumétrica del Conjunto.
Fuente: Archivo Proyecto: HUM. 40 años de historia.

En el año 2001, el Servicio Autónomo Hospital Universitario de Maracaibo (SAHUM), como se denomina en el presente, acondicionó el edificio de residencia de enfermeras ubicado al Norte del terreno para ampliar el área de consulta externa, función no prevista en el programa original.

En síntesis, desde la óptica del funcionalismo el resultado de la forma arquitectónica –volúmenes, espacios y estructuras– debe solucionar las exigencias de la edificación, es decir, la belleza de la forma es producto de la solución correcta de las necesidades que son diversas y complejas; todo lo cual constituye una metodología de diseño adecuada para resolver este tipo de programa arquitectónico.

El método también está presente cuando se determina la ubicación del hospital dentro del conjunto arquitectónico de servicios asistenciales al noroeste de la ciudad, junto al Hospital Quirúrgico, la Escuela de Enfermeras y la Facultad de Medicina; conjunto que a su vez integraba un área de servicios urbanos conformado también por otros servicios urbanos importantes para el crecimiento organizado de la ciudad como el Aeropuerto Grano de Oro, el Estadio Alejandro Borges, el Hipódromo, entre otros; muestra de lo que en el momento constituía la zonificación moderna.

8. La estética hospitalaria moderna, su negación al pasado

Si bien el origen de sus formas y su concepción urbana se apoyan en el funcionalismo arquitectónico, más allá de todo ello, el Hospital debe entenderse como expresión de los cambios que se pretendían en el momento. La estética moderna fue el resultado de un proceso ideológico que apuesta, como se mencionó anteriormente, a la racionalidad, la funcionalidad y al futuro signado por la búsqueda de lo nuevo; donde lo importante es la sustitución de los valores tradicionales por otros modernos, imagen de un orden dinamizador que impulse hacia el futuro. Esta nueva idea se sustenta en la necesidad de eliminar toda conexión con arquitecturas antiguas por considerarlas irracionales. No en balde el arquitecto austríaco Adolf Loos tildó de delito la utilización de ornamentos en los edificios.

A este delito se enfrenta la estética edilicia hospitalaria de la época, dominada –en primer lugar– por una serie de edificaciones como la Casa de la Beneficencia, posterior Hospital Central; el Hospitalito llamado luego Hospital Chiquinquirá; y el Instituto Pro Infancia, más tarde Hospital de

Niños; todos ellos, ejemplos de los estilos historicistas inspirados en las arquitecturas antiguas, y que marcan la estética de las edificaciones de la ciudad de finales del siglo XIX y principios del XX.

En segundo lugar se cuentan las edificaciones hospitalarias petroleras: Hospital Quirúrgico, Hospital Shell, actual Centro Médico de Occidente y Hospital Coromoto; resultado de la expansión de la ciudad hacia el norte y la instalación de los consorcios petroleros. Todos responden a la estética de la arquitectura petrolera identificada, recursos de adaptación al clima como los techos inclinados con grandes aleros, las balconerías corridas con antepechos en madera o metálicos, donde aún persisten algunos códigos decorativos e historicistas.

Un cambio destacado en la estética de los hospitales surge con la construcción del Hospital Antituberculoso en el año 1948, que evidencia la concreción de las nuevas propuestas en la ciudad. Este edificio presenta una geometría purista con paredes sin decoración, pero que remarca su acceso en la planta baja con un pórtico de arcos, reminiscencia del Estilo Neo-colonial, que también domina en la primera mitad del siglo XX, ensayado en 1941 por el arquitecto Carlos Raúl Villanueva (1900-1975) en las remodelaciones de El Silencio en Caracas.

Otro ejemplo de tropicalización del estilo, lo constituye el Hospital Universitario de Caracas, diseñado también por Villanueva, en 1945, como una versión asimilada de la arquitectura hospitalaria moderna, con códigos que exhibirá el hospital realizado luego en Maracaibo.

Así, en 1960, con la puesta en servicio del HUM los centros asistenciales de la ciudad se acogen, en su concepción más ortodoxa, al movimiento moderno de la arquitectura. Es la materialización de una visión que se expresa en el cambio del antiguo Hospital Quirúrgico hacia otro nuevo que sustituye el historicismo del pórtico clásico con frontón decorado, por la moderna estética de paredes prefabricadas, estructuras de concreto y techos planos; acorde con las funciones de un gremio científico y profesional que aspira las mejores y más nuevas tecnologías que la industria médica podía ofrecer.

El reciente lenguaje será luego adoptado por las edificaciones asistenciales públicas y privadas construidas en la ciudad, como la Clínica Falcón, la Policlínica Maracaibo y la remodelación del Hospital Chiquinquirá,



FIGURA 9. Hospital Antituberculoso. Fuente: Archivo fotográfico Jacqueline Alcalá.

entre otros. Esta arquitectura es el reflejo del espíritu de una época que tiene su cúspide hacia mediados del siglo XX en la ciudad.

Conclusiones

El Hospital Universitario de Maracaibo, como institución de salud pública, ha ejercido la vanguardia en sus diferentes ámbitos de acción; en él se han llevado a cabo las más exigentes e innovadoras prácticas quirúrgicas, además de invenciones de aparatos, aplicaciones de nuevos procedimientos médicos, entre otros muchos aportes; con beneficio para la colectividad y para el avance médico. Sus luchas y crisis han permitido acuñar profesionales de mérito, grupos de vanguardia, que legitiman su fecundidad científica en los diferentes momentos; y es esto lo que otorga al HUM un fundamental espacio de memoria y el rol de soporte del tejido social en el quehacer venezolano.

La imagen de avances científicos que se asocian a la institución médico-asistencial tiene su contraparte en la arquitectura, dado que su estructura también puede ser interpretada como símbolo de la asimilación de la arquitectura hospitalaria moderna; la fuerza de la volumetría en el sereno perfil de la Maracaibo de mediados del siglo XX, se instauró como la clásica referencia urbana, el hito que hasta hace poco podía visualizarse desde diferentes puntos de la ciudad.

Su construcción trasladó a Maracaibo tecnología de punta no conocida hasta el momento y anticipó la llegada del Movimiento de Arquitectura Moderna satisfaciendo, en el imponente edificio, los requerimientos de complejidad funcional que comporta este difícil tema de diseño. Lo sofisticado de los sistemas de infraestructuras y equipos complementarios, y la dotación de equipos médicos de alta tecnología obligó a proveedores suizos y alemanes a trasladar expertos para adiestrar el personal encargado de su manejo y operación.

Otro factor que, sin duda, es determinante para comprender y valorar la estilística del HUM es la que introduce la visión arquitectónica europea del suizo Le Corbusier quien propondrá una nueva doctrina de composición plástica de la arquitectura y de la ciudad a partir de la máquina, idea que surge de la subordinación del arte a la ciencia y al nuevo orden industrial.

Esto representa la convergencia de las fuerzas de vanguardia en un movimiento capaz de agredir la producción constructiva y modificar globalmente el ambiente donde el hombre vive y trabaja. En su obra formula teorías que constituyeron la apertura para algunas generaciones y doctrina para la arquitectura moderna; legó un sistema de proporciones nuevo, el manejo de los volúmenes puros y fachadas trabajadas como texturas moduladas a modo de grandes parrillas, la inquietud por la producción y por la industria; y lo que denominó la estética de la máquina.

Esta concepción estética expresada en la arquitectura del HUM, puede sintetizarse en los siguientes puntos:

- La forma en que surge la edificación

El proyecto, importado de Suecia, comprado como paquete, testimonia que el producto arquitectónico se entiende como obra de arte, mercancía y tecnología, reproducible e industrializable. Como arquitectura que se implanta en cualquier sitio sin obedecer a una geografía determinada; más allá de ello, es una arquitectura ya preparada para quien la requiera, se compra y se siembra, cualquiera sea su condición climática y ambiental. De allí la internacionalización e industrialización de modelos, que conducen a la uniformidad de las ciudades.

- La concepción urbana, una referencia para el crecimiento de la ciudad

Destaca la manera de emplazar el conjunto de edificios en el terreno, dispuestos a modo de abrirse en busca de los elementos naturales y la relación que establece el edificio con la ciudad, aislado de otras edificaciones y separado por las vías que actúan a la vez como vínculo entre los servicios urbanos. Junto con otras edificaciones cercanas: Escuela de Enfermería, Hospital Quirúrgico y Facultad de Medicina; suerte de zonificación reflejo de la visión moderna separatista, conforma un núcleo que concentra funciones compatibles pero separadas de las otras de la ciudad.

Constituye una referencia para las construcciones surgidas con posterioridad, inclusive en la planificación de la Ciudad Universitaria que, para 1961, obtiene la expropiación de los terrenos próximos al Aeropuerto Grano de Oro; en torno a esto sus planificadores manejan el siguiente criterio (*Revista Maracaibo Estribor*, 1962:59): “Un aspecto de grande importancia en el Proyecto General fue la necesidad de acondicionar el diseño a hechos establecidos”. Uno de ellos fue el Hospital Universitario. El actual emplazamiento del Hospital forzó la solución de manera que la Facultad de Medicina adquirió una posición de suma integración con aquel edificio. La tendencia actual en la enseñanza de la medicina es hacia el adiestramiento práctico en el Hospital, razón por la cual, la Facultad de Medicina necesariamente se ubicará en sus inmediaciones.

- La estructura y los materiales

Entender la belleza de este conjunto arquitectónico supone el acto racional de asociación de las formas percibidas con su sentido utilitario o práctico, que se evidencia en el orden racional de la composición de las estructuras aporticadas que, al igual que en otras edificaciones modernas, quedan a la vista formando parte del ordenamiento de los espacios interiores o de las fachadas. En éstas, al repetirse la estructura rítmicamente, actúa como protección solar de las ventanas, única ornamentación que acepta el movimiento moderno; aquella que no puede suprimirse sin afectar la función originaria, pues es parte integral de la edificación. Suprimir los módulos que ordenan las fachadas dañaría la tectónica del edificio.

La estructura, diseñada en concreto armado⁵, se concibió como un sistema de soporte de la edificación, tipo fachada portante⁶. Este sistema, constituido por columnas muy cercanas entre sí –1.20 m– cumple la función de soportar y repartir las cargas –el peso– propias del edificio, así como la de absorber las fuerzas laterales producidas por vientos y eventuales sismos. Este entramado de columnas exteriores se complementa con columnas internas. Ambos equipos se conectan por losas nervadas, armadas en un sentido⁷, y losas planas armadas en dos sentidos⁸, para conformar un sistema que cumple tal como se afirma en: (CEC Y PROINCI: 1995) “la función de diafragma que interconecta los haces de columnas de las fachadas norte y sur”.

La eficiencia de este particular sistema estructural combinado, ha sido calificada como superior al tradicional aperticado de vigas y columnas, ya que comporta mayor rigidez, y produce menor deformación. Gracias a esta condición y al sobre-dimensionamiento estructural empleado en la obra, se genera una capacidad portante adicional y, en consecuencia, un factor de seguridad que ha permitido y permitirá sobrellevar los problemas de corrosión del acero estructural, presentes desde su construcción.

La innovación constructiva que significó para Maracaibo la monumental escala y complejidad de la edificación, se vio complementada por

-
- 5 Concreto Armado (Hormigón Armado): “Concreto con armaduras de acero embebidas de tal manera en su masa que ambos materiales actúan conjuntamente para resistir los esfuerzos” (Ching, 1997:5).
 - 6 Fachada: Cara visible de cada uno de los muros exteriores de un edificio. Se designa por su orientación: Norte, Sur, Este, Oeste; su situación: fachada posterior, lateral, etc.; o su importancia: Fachada principal, fachada secundaria (Ching, 1997:9).
 - 7 Losa Nervada unidireccional (en un sentido): Losa de hormigón de espesor uniforme, armada en una dirección con las vigas paralelas de apoyo.
 - 8 Losa Nervada bidireccional (en dos sentidos): Losa de hormigón de espesor uniforme armada en dos direcciones y moldeada íntegramente con las vigas de borde de apoyo, o apoyada en paredes de carga por sus cuatro costados.

un material de amplia difusión en Europa y Estados Unidos, pero muy poco conocido en nuestra ciudad, el Drywall⁹.

Otra innovación la aporta el empleo de piezas prefabricadas para instalar en sitio como los paneles y ventanas de los cerramientos exteriores y de las escaleras; así como el uso del bloque de vidrio en paredes y techos a modo de separador (exterior-interior), expresión de la adaptación de un material usualmente utilizado para la iluminación, muchas veces presente en la arquitectura moderna.

– La simplicidad de los volúmenes

Las formas geométricas simples de la volumetría contrastan con el tratamiento plástico dado por la expresiva modulación del quebrasol –especie de paneles usados como protección solar en las ventanas–. Su repetición sobre las fachadas, recurso comúnmente presente en algunas obras de Le Corbusier, ofrece un particular efecto de parrilla que recuerda máquinas como radiadores.

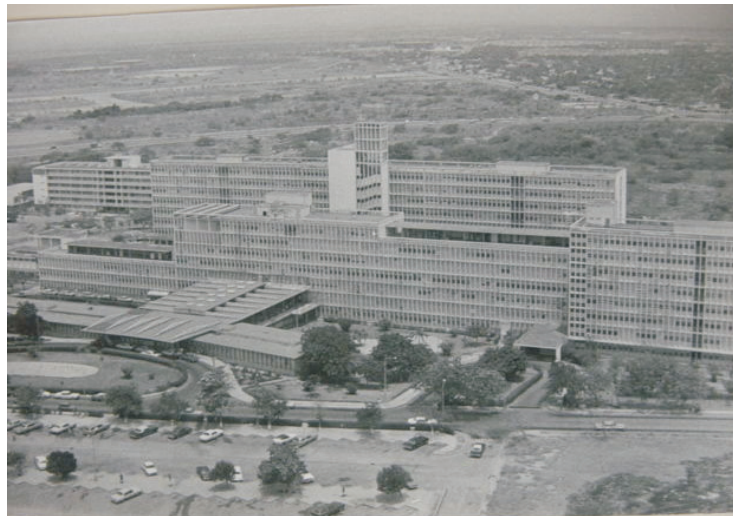


FIGURA 11. La pureza volumétrica del Hospital.
Fuente: Archivo Proyecto: HUM. 40 años de historia.

9 Drywall (Cartón de Yeso): Tablero de yeso con un alma resistente al fuego y revestido de papel hidrofugante que se emplea como revestimiento exterior.

– El acceso

Otro rasgo que identifica el carácter moderno del edificio es el acceso, resuelto y definido por una placa de techo en volado, en este caso de mayor audacia estructural que plástica, que protege al peatón y enfatiza la entrada principal del edificio, signo de la estilística que provee una transición entre el espacio interior y exterior.

– La tropicalización de la arquitectura moderna

La orientación de la obra en sentido Norte-Sur que minimiza la exposición a la radiación solar y capta las brisas dominantes, aunado a la disposición de los patios interiores para garantizar iluminación y ventilación natural revelan, con firmeza, la intencionalidad de apropiar el esquema moderno al contexto local y a las condiciones climáticas.

Así mismo, expresa la búsqueda de los elementos naturales como el sol, aire y el paisaje que el maestro Le Corbusier predicaba en oposición al oscurantismo medieval antiguo, asociado a la insalubridad y el atraso. En esta interpretación, para contrarrestar el excesivo sol de la ciudad, se incorporan las romanillas y las caminerías techadas antes ensayadas en Caracas, en el Hospital Universitario de Villanueva, adaptación al inclemente y cambiante clima tropical.

– La capacidad semántica y metafórica del edificio

El HUM se convirtió, desde su construcción, en un elemento que ha mantenido un permanente diálogo con la ciudad, a diferencia de las críticas planteadas en torno a la producción del Movimiento Moderno, principalmente por arquitectos y filósofos posmodernos quienes afirman que esta arquitectura no tiene nada que expresar; que es muda e indiferente a su realidad contextual, pues no plantea relaciones con sus vecinos construidos y no construidos, en su entorno inmediato.

La dialéctica cotidiana se realiza de varias formas; una de ellas es a partir de la carga semántica del edificio. Esta forma de comunicación según Charles Jencks (1986: 69), tiene que ver con el estilo de la arquitectura en función de su uso. El arquitecto lo ilustra con el siguiente ejemplo:

...el neo-egipcio se utilizó con sensibilidad en bancos, tumbas, prisiones y facultades de medicina. El argumento para defender su uso puede basarse en significados convencionales o naturales. En los primeros casos, el neo-egipcio era apropiado porque los faraones enterraban

sus tesoros en templos de este estilo y porque famosos médicos egipcios fueron también a veces arquitectos. En segundo lugar, este estilo tenía significados de pesadez, impenetrabilidad y compacidad. Las paredes son recias y las aberturas pequeñas, lo que le hace útil para prisiones, por que naturalmente significa alta seguridad.

Así como el neogótico era el idóneo para diseñar un banco en el siglo XIX, el nuevo estilo del Movimiento Moderno es el indicado para temas residenciales y asistenciales, y específicamente en programas de hospitales pues su diseño conlleva una fuerte carga de condicionantes funcionales, cuyo resultado es una arquitectura que refleja la calidad de los servicios. No en balde el HUM fue calificado, para el año de 1962, como uno de los mejores del mundo por la Asociación Americana de Hospitales.

Además, existen detalles de corte estético y volumétrico que reafirman la idea de la arquitectura moderna como la opción indicada al diseñar este tipo de edificios. La pureza formal que ofrece la resolución ortogonal y la limpieza de los materiales: concreto armado, vidrio y derivados plásticos, simbolizan de cierta manera la asepsia e higiene propias de la función. Así mismo, la división espacial del volumen permite diferenciar y articular las distintas funciones del edificio y su magnitud; esto aunado al ritmo proporcional generado por el aporticado (sistema vigas-columnas), confieren una atmósfera de estabilidad a la edificación y seguridad a sus usuarios.

La imagen de *la gran industria de salud* que otorga al edificio su tamaño, magnitud y escala, confiere una importante carga metafórica que induce al usuario a percibirlo como: portador de un calificado personal, dotado de la tecnología más sofisticada en el área médica; una máquina que a cualquier usuario podría subsanar sus problemas.

Esta idea se refuerza claramente en la propia concepción del edificio dominado por la torre esquelética de la escalera, que evoca andamios que se elevan infinitamente, y la chimenea que destaca por su altura sobre las edificaciones; elemento presente en la arquitectura hospitalaria del arquitecto Alvar Aalto, como metáfora de la fábrica que resulta en un nuevo significado, la imagen de *la industria de la salud*.

Referencias

- Castillo, Ocarina (1990). *Los años del Buldózer. Ideología Política 1948-1958*. Tropicós. Caracas, Venezuela.
- Centro de Estudios de la Corrosión y PROINCI (1995). *Informe preliminar sobre la corrosión en el refuerzo estructural del concreto armado del Hospital Universitario de Maracaibo*. PROINCI Maracaibo, Venezuela.
- Ching, Francis (1997). *Diccionario Visual de Arquitectura*. Ediciones G. G. A de C. V. México.
- Comisión Nacional de Urbanismo (1951). El Hospital de Maracaibo. Descripción del Proyecto. *Revista CIV* N° 184. *Colegio de Ingenieros de Venezuela*. Caracas, Venezuela.
- Jencks Charles (1986). *El lenguaje de la Arquitectura Posmoderna*. Gustavo Gili Editores. México.
- Machado, María (1994). *La Otra Ciudad. Génesis de la ciudad petrolera de Maracaibo*. M. Machado; Elisa Quijano (y) Ethel Rodríguez: Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura. CONDES. Maracaibo, Venezuela.
- Pateta, Luciano (1975). *Historia de la Arquitectura*. Antología Crítica. Hermann Blume Editores. Madrid, España.
- Colegio de Ingenieros de Venezuela (1951). *Revista del Colegio de Ingenieros* N° 184. Caracas, Venezuela.
- Revista Elite* (1945). El Hospital Quirúrgico de Maracaibo. N° 1038. Maracaibo, Venezuela.
- Revista Maracaibo Estribor* (1962). 283 Millones costará la Ciudad Universitaria del Zulia. La Universidad del Zulia encara su futuro. Maracaibo, Venezuela.

Gestión tecnológica y desarrollo sustentable en la Arquitectura contemporánea. Estrategia de alto impacto social

*Thaís Ferrer de Molero**
*Ramón Arrieta P.***
*Mayra Guijarro****

RESUMEN

Ante los inminentes cambios del clima en todos los continentes, la alarma ecológica y la crisis energética, se ha tomado conciencia que la Arquitectura debe ofrecer soluciones aprovechando las energías naturales, el respeto al ambiente y la preservación para las generaciones futuras. De allí el planteamiento del Desarrollo Sustentable en la Arquitectura Contemporánea y para su concreción se hace necesaria la gestión tecnológica, todo ello, con fines de obtener un alto impacto social. Esta premisa es la fórmula para la presente investigación. La metodología es de tipo documental, monográfica, basada en el método cualitativo con apoyo en la Hermenéutica para el análisis, crítica e interpretación de datos e información existente de la temática. Se abordaron los aspectos teóricos, contrastando con la posición de los auto-

* Profesora Titular FAD-LUZ. Posdoctora en Gerencia de las Organizaciones, Doctora en Ciencias Gerenciales, MSc en Gerencia Empresarial, Arquitecto. thaisf@cantv.net

** Profesor Titular FAD-LUZ. Arquitecto. Especialista en Gestión de la Vivienda. Decano FAD-LUZ 2004-2008. Doctor en Arquitectura. rarieta69@yahoo.com

*** Profesora Titular FACES-LUZ. Doctora en Ciencias Gerenciales, Magíster en Evaluación de Gestión de las Empresas Públicas.

res. Los resultados establecen criterios para un nuevo enfoque paradigmático de la Arquitectura. Se concluye que los avances tecnológicos, la sustentabilidad del contexto nacional y globalizado son temas a incorporar en la enseñanza y praxis del Diseño Arquitectónico, como estrategia metodológica instrumentada mediante políticas públicas, conjuntamente con mentalidad creadora, innovadora y responsable del profesional de la arquitectura para preservar el ambiente. Queda la agenda abierta para precisar la tecnología de los sistemas constructivos que ofrezcan soluciones, tomando la vivienda como modelo para aplicar estos criterios.

PALABRAS CLAVE: Gestión tecnológica, desarrollo sustentable, arquitectura contemporánea.

Technology Management and Sustainable Development in Contemporary Architecture. Strategy for High Social Impact

ABSTRACT

Faced with impending climate change on every continent, the ecological alarm and the energy crisis, people have realized that architecture must offer solutions that take advantage of natural energy, respect the environment and preserve it for future generations; hence, the proposal for sustainable development in contemporary architecture, whose realization needs technological management in order to achieve a high social impact. This premise is the formula for the current research. The methodology is documentary and monographic, based on the qualitative method supported by hermeneutics for the analysis, critique and interpretation of data and information on the topic. The theoretical aspects were approached, contrasting with the authors' position. The results established criteria for a new paradigmatic approach to architecture. Conclusions are that technological advances, sustainability of the national and globalized contexts are issues to be incorporated in the teaching and practice of architectural design as a methodological strategy implemented through public policies in conjunction with the creative, innovative and responsive thinking of the architecture professional to preserve the environment. The agenda remains open for refining the technology for build-

ding systems that offer solutions, taking the home as a model for applying these criteria.

KEY WORDS: Technology management, sustainable development, contemporary architecture, high social impact.

Introducción

Cuando se analiza la Arquitectura, desde la perspectiva de la realización de una obra de manera que esté acorde con el conjunto de los materiales elegidos y, además de ser útiles, estén al servicio del hombre y se correspondan con una gestión tecnológica (que integre diversos aspectos de negocios, que desarrollen ventajas competitivas al mercado venezolano), entonces, estamos en el contexto globalizado, considerando nuevos componentes asociados con los cambios, transformaciones en el ámbito tecnológico, organizativo, comercial, económico, social, político, climático y cultural.

En este sentido, todo profesional de la arquitectura debe estar a la vanguardia y tener una visión expansiva de su entorno inmediato para que el éxito de cualquier proyecto arquitectónico dependa de la capacidad de interpretar las realidades internas y externas que presenta Venezuela, tomando en consideración los lineamientos establecidos por el Estado venezolano y las fuerzas incidentes de la Globalización, la Competitividad, la Sustentabilidad y el Desarrollo Tecnológico.

En virtud de ello, esta investigación abordará la temática descrita, toda vez que se pretende aportar sobre nuevos enfoques de la Arquitectura Contemporánea asociada con realidades de participación transdisciplinar.

Necesariamente, los profesionales de la Arquitectura y los estudiantes, deben vincularse con las potencialidades que ofrece el Desarrollo Sustentable; de igual manera, insertarse en la gestión tecnológica, para que las respuestas de su actuación en soluciones arquitectónicas, estén acordes con la contemporaneidad.

El enfoque de esta investigación se muestra en la figura 1, en la cual se destacan los ejes principales:

- 1) Gestión Tecnológica y su fusión en la Gestión y la Tecnología,
- 2) El eje del desarrollo y
- 3) El eje de la sustentabilidad.

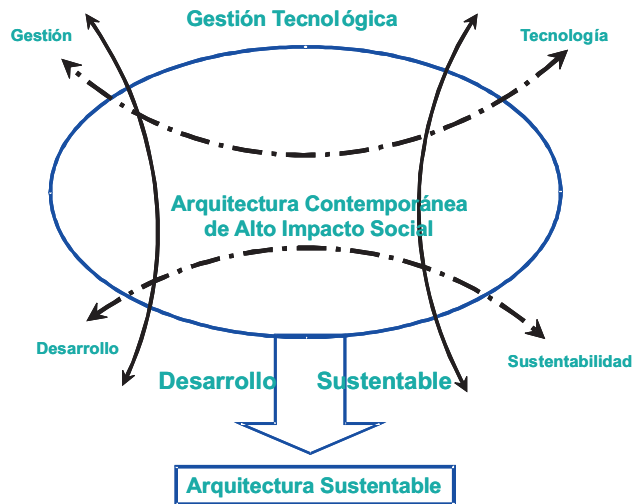


FIGURA 1. Enfoque de la Investigación. Fuente: Autores (2009).

Estos tres ejes, inciden y condicionan el análisis del Desarrollo Sustentable, todo ello, teniendo como epicentro la Arquitectura y sus criterios en la era contemporánea y su alto impacto en las soluciones de carácter social, generando a juicio de los autores, una fortaleza conceptual para abordar la Arquitectura Sustentable.

1. Objetivo general y metodología de la investigación

1.1 Objetivo general

Determinar los criterios a considerar en la Arquitectura Contemporánea, partiendo de su vinculación con la Gestión Tecnológica y el Desarrollo Sustentable.

1.2. Metodología

La presente investigación es de tipo documental monográfica, basada en el análisis, crítica e interpretación de la información registrada en fuentes documentales, tales como: impresos, audiovisuales o electrónicos. Se enmarca en el método de la Investigación cualitativa, utilizando la Hermenéutica para comprender e interpretar el significado de la información, para así construir la Teorización de los autores.

2. Tecnología y gestión

Tal como ocurre con los datos, la información y el conocimiento, existen múltiples definiciones de lo que es la tecnología. Así, el Diccionario Larousse (1981: 56), define la tecnología como: “El estudio y uso de la ciencia para propósitos prácticos”.

Una definición más técnica la presentan Roussel y otros (2006: 1). Estos autores dicen que: “La tecnología es la aplicación del conocimiento científico e ingenieril a la obtención de un resultado práctico”. Tecnología es el proceso que capacita a una empresa para decir: “Nosotros sabemos cómo aplicar la ciencia/ingeniería”. La tecnología es lo que fija al producto, o al proceso, la ciencia y la ingeniería.

Por su parte, el concepto Gestión (admitido o descubierto hace apenas medio siglo) o mejor dicho, esta función genérica, no es otra cosa que proporcionar y aplicar el saber para producir resultados, y sin embargo, es algo diferente, porque presupone la incorporación de este proceso de todos los trabajadores; concepto, por demás, muchas veces rechazado, y otras simplemente se equipara con la administración.

Por supuesto, se trata de una revolución (Alhama, 2004) porque hasta ese momento no se evaluaba o establecía una relación directa entre los resultados o el impacto y la aplicación del saber; el requisito era el conocimiento, el contenido o el qué de las cosas, y no la aplicación o el cómo de las cosas.

La gestión y sus instrumentos están en el núcleo de la competencia no solo económica, sino en el desenvolvimiento y ejecución en una organización orientada a dar respuestas al Hábitat. En tal sentido, también requiere de unos buenos instrumentos que abran la vía de una acción eficiente, basada en la fiable medición y, por supuesto, en el segundo análisis.

2.1. La gestión tecnológica

Al considerar lo antes expuesto y vincular la aplicación del conocimiento científico e ingenieril a la obtención de resultados, con las acciones para su logro, entonces, estamos en el concepto de gestión tecnológica, es decir “la actividad organizacional mediante la cual se define e implanta la tecnología necesaria para lograr los objetivos y metas del negocio en términos de calidad, efectividad, adición de valor y competitividad” (Lorino, 1993:1).

2.1.1. Actividades de la gestión tecnológica

Cuando se describe la gestión tecnológica, normalmente se mencionan algunas actividades tales como:

- Prospección
- Selección
- Negociación
- Adquisición
- Adaptación
- Modificación
- Generación (Innovación)

En cada una de ellas está implícito el aprender por parte de los empleados de la organización. Frecuentemente los ejecutivos de las empresas aprueban inversiones en tecnología, sin tener en cuenta que deben estar acompañadas con inversiones no menos importantes en el proceso de asimilación de la misma.

Esto implica, crear las condiciones apropiadas para que sus Arquitectos, Urbanistas, Ingenieros y Técnicos conozcan, entiendan y aprendan a utilizarla de la manera más productiva (Guijarro, 2003). Cuando no se da la suficiente atención a este asunto, es decir, cuando se pasa por alto que se trata de un proceso de transferencia de conocimiento, la tecnología adquirida (equipos y software), es subutilizada o mal utilizada, y la productividad de la organización no mejora y en algunos casos, hasta no se vincula con las respuestas asociadas al quehacer de la Arquitectura.

2.1.2. Tendencias tecnológicas y sus incidencias en el contexto nacional

De todos los aspectos antes mencionados se deducen una serie de tendencias, como producto de los cambios tecnológicos que vivimos en la actualidad. Veamos cuáles son esos cambios, asociados al quehacer del arquitecto:

1. Humanización de las ciudades, con disminución de los patrones de movilización. Se espera que, algún día, la mayoría de la gente no tenga que salir de su casa para ir a trabajar, ya que podrá realizando a través de la red; en esa misma medida disminuirá el tráfico, la contaminación y, por ende, las ciudades se harán más humanas, sobre todo las grandes urbes.

2. Educación vía superautopista. La educación vía superautopista, servirá, bien como apoyo a la educación formal, o como elemento de educación personalizada. En este caso tendremos educación permanente instantánea, es decir, al entrar en la superautopista, estará la información que se quiera de manera instantánea y con el nivel de actualización requerido; además es una educación basada en la práctica, porque a través de la superautopista podemos interactuar con las personas, a fin de que compartan con nosotros sus experiencias, que han sido puestas a la orden de los cibernautas. Es importante agregar, que los mejores docentes estarán al alcance de todos, ya que un docente que enseñe un curso, taller o libros, introduce esa experiencia en la superautopista, para que quede al alcance de cualquier persona. Este impacto puede afectar directamente a la infraestructura educativa en todos sus niveles.

3. Fuerte interés por la protección ambiental. Muchas organizaciones, hasta ahora, han utilizado sus ventajas comparativas, sin una clara conciencia de cuáles son, por lo que los recursos naturales son utilizados indiscriminadamente, por el solo hecho de estar allí, disponibles. Sin embargo, estamos empezando a tomar conciencia de cómo utilizar nuestra ventajas comparativas para que nos den beneficios, pero interesados por la protección ambiental y desarrollando ventajas competitivas. Éstas están asociadas al desarrollo del ser humano, no hay ventajas competitivas si no desarrollamos a los seres humanos que hacen el trabajo.

4. Desarrollo sustentable. Según Kilsberg (2002), el Desarrollo Sustentable, desde la perspectiva del marco social, donde el ser humano es el fin del desarrollo económico, se interpreta como la ampliación de la capacidad de la población para realizar actividades elegidas libremente y valoradas. Aquí se enlaza el eje social con el eje económico, requiriéndose las organizaciones para realizar procesos creativos, siguiendo un camino heurístico, que lleven adelante los planes y programas conduciendo hacia logros asociados con el bienestar del individuo y del colectivo, es decir, mejorar la calidad de vida.

Al incorporar al hombre en los proyectos sociales para lograr el mejor uso de los recursos, siendo participe la comunidad del cumplimiento de metas (beneficiándose a su vez), se están creando condiciones para su propio desarrollo.

¿Por qué una Arquitectura Sustentable? En la búsqueda de la cultura de la conservación de los recursos naturales para garantizar el bienestar del individuo y del colectivo en el futuro, debemos asumir criterios de actuación en el presente, y la Arquitectura no escapa a ello, toda vez que el impacto de su tangibilidad contextual, tiene inminentes efectos. En tal sentido analicemos con más especificidad:

La construcción y el mantenimiento de los edificios consumen más de un tercio de la energía que se gasta en el mundo, y más de la mitad de los residuos. El consumo puede reducirse utilizando las herramientas tradicionales de la Arquitectura en el diseño y selección de materiales más adecuados al clima, al territorio y a los recursos de cada lugar.

En el Encuentro Internacional sobre Arquitectura Sostenible que se celebró en Tokio, en el World Sustainable Building desde el 27 al 29 de septiembre 2005, la delegación española presentó cuatro proyectos ejemplares por su calidad estética y ambiental, realizados en: Barcelona (un edificio de viviendas de alquiler en el centro de la ciudad, de Felipe Pich-Aguilera y Teresa Batlle), Navarra (la nueva sede del Centro Nacional de Energías Renovables en Sarriguren, de César Ruiz-Larrea, Luis Miquel Suárez-Inclán y Antonio Gómez Gutiérrez) y Madrid (dos bloques de viviendas protegidas, uno rehabilitado, en el barrio de San Cristóbal, de Margarita Luxán y Gloria Gómez y el edificio bioclimático de oficinas "Trasluz", de Emilio Miguel Mitre y Carlos Expósito).

– Consumo de energía

Coinciden en que, tanto en su construcción como en su posterior mantenimiento, se consume mucha energía que en los edificios convencionales, y también en que parte de la que se precisa proviene de energías alternativas como la solar o, de forma excepcional, la eólica. Cada solución es distinta porque responde a contextos y climas diferentes, también a necesidades dispares, pero en todos los casos la principal herramienta de trabajo es el propio diseño arquitectónico.

– Ventilación cruzada

El edificio de viviendas en el Ensanche de Barcelona, por ejemplo, tiene como elemento principal su división en dos bloques, uno que da a la calle y otro a un gran patio de manzana interior, unidos a través de un vacío interior cubierto que funciona como acceso –concentra todos los patios auxi-

liares, los ascensores y escaleras– y permite que todos los pisos tengan ventilación cruzada a través de un calculado sistema de circulación del aire.

– Aislamiento térmico y acústico

El aislamiento térmico y acústico de las fachadas y cubiertas, la utilización de materiales reciclados o ecológicos, los sistemas de control y regulación del consumo del agua, o la utilización de colectores solares térmicos que garantizan el 63% del agua caliente sanitaria, son otros elementos que permiten que el edificio consuma la mitad que otro de similares características. Además, en el tejado de uso comunitario han instalado una piscina y un pequeño jardín situado sobre un pequeño aljibe que recoge el agua de la lluvia con el que se riega la abundante vegetación de jardineras.

Indica Pich (2005:4): “Lo interesante es que es un edificio comercial, de promoción privada y con tipologías de mercado, no un proyecto experimental o singular, sino algo factible y aplicable a otros muchos casos”. Que es posible hacerlo lo han demostrado también Luxán y Gómez (2005), en un proyecto aún más complejo, en este caso de promoción pública, en el barrio de San Cristóbal de Madrid, que además de su eficiencia ambiental incluye un diseño de los espacios interiores flexible que puede ajustarse a las necesidades de cada usuario.

No es algo nuevo bajo el sol, pero, si bien es cierto que la Arquitectura tradicional utilizaba muchos elementos ahora reivindicados –como los aleros, las celosías, las persianas, la orientación– también lo es que en muchos casos no se conseguía el efecto climatizador y la comodidad que exigen los usuarios modernos.

Explica Pich (2005: 6):

El racionalismo tenía muy en cuenta los aspectos de orientación, higiene y ventilación, en este sentido era ecológico, pero a partir de la segunda mitad del siglo XX se decidió que la arquitectura era una cosa y las máquinas otra... “Los arquitectos dejaron de preocuparse por las instalaciones porque parecía que la energía no se acabaría nunca y la tecnología permitía realizar cualquier diseño sin preocuparse del coste energético que conllevaba. Con la crisis del combustible y la alarma ecológica esto ha cambiado y se ha tomado conciencia de que tiene que ser la propia arquitectura la que ofrezca soluciones aprovechando las energías naturales como el sol o el viento.

La famosa torre Agbar de Barcelona, cuya forma fállica se impone en el paisaje de la ciudad, ha recibido, en este sentido, numerosas críticas veladas. Explica el arquitecto Fermín Vázquez (s/f: 12): “Es una visión equivocada porque la torre tiene una concepción sensata respecto al uso de la energía a través del mecanismo tradicional de construir un muro de carga de gran inercia y capacidad aislante en su anillo interior”.

Por otra parte Vázquez señala: “Las ventanas se disponen en función de la orientación de forma desigual en la torre y la piel exterior que la cubre cuenta con lamas de vidrio cuya inclinación y serigrafías oscilan en función del impacto solar, lo que permite controlar la climatización interior”.

Concluye Vázquez (s/f), afirmando que aunque se precisa refrigeración mecánica, el consumo es menor que en otras torres acristaladas. “La conciencia de sostenibilidad ha ido creciendo, pero hasta hace poco no se había convertido en un objetivo ético de los arquitectos”

Explica Hernández-Pezzi (2005: 1), presidente del Consejo Superior de Colegios de Arquitectos en España:

En España llevamos un retraso de casi 15 años. Utilizamos muchas menos placas solares que en los países nórdicos y en cambio muchos más aire acondicionado que Grecia o Italia, que tienen el mismo clima. El agua no se recicla y no hay separaciones entre las aguas pluviales y las fecales. Y somos uno de los países acústicos. Es una cuestión de cambio cultural y conciencia social, pero también de regulación. La única manera será que se apliquen normativas de obligado cumplimiento.

3. Arquitectura contemporánea

Debemos partir del hecho según el cual “La contemporaneidad supone no solo una conciencia temporal sino una suma de conocimientos colectivos, que permiten descifrar toda interacción cotidiana”. Por otra parte se dice que “la contemporaneidad no se reduce a reconocer las innovaciones tecnológicas que circulan en la sociedad”, y que “cada contemporaneidad tiene su propia idea de modernidad. Es decir, cada comunidad establece su propio conjunto de saberes que es necesario reconocer para que las señales se conviertan en signos” (Pisarro, 2008: 17).

Por otra parte es importante considerar varios conceptos que se expresan a continuación:

3.1. La Arquitectura es, sin duda alguna, una disciplina que se desarrolla en torno a un ámbito tridimensional. Vélez (1999) expresa que el diseño de todo tipo de edificaciones requiere de una visualización exacta y precisa, por lo que resulta necesario que el arquitecto describa y comunique de una manera efectiva sus ideas a clientes, colaboradores y todo aquel que de alguna manera u otra esté relacionado con la obra, a través de esquemas, planos maquetas que lo apoyan en ese propósito.

3.2. El diseño arquitectónico según Carruyo (1998), es una actividad que intencionalmente realiza el arquitecto para responder a proposiciones dirigidas a la creación de un objeto: la obra de Arquitectura, que insertada en un sitio dado, resuelve necesidades de organización, uso y disfrute del espacio. Dada su complejidad y la del proceso de materialización, esta exige la elaboración de modelos a escala de la obra de Arquitectura, dicho modelo sintetiza un conjunto de imágenes espaciales en forma constante, expresada mediante un sistema de imágenes gráficas y plásticas; el modelo anticipa la situación futura que resuelve el problema, describe la obra como terminada y establece los procesos para su construcción y las directrices para su utilización.

El diseño arquitectónico obedece a una intención, la cual responde a una serie de condiciones funcionales, económicas, sociales y simbólicas. La primera fase del proceso de diseño arquitectónico es el reconocimiento de la situación-problema, la naturaleza de la solución. Según Ching (1982), la definición del problema forma parte de la respuesta, pero la percepción de este y su solución dependerá de la profundidad y alcance de su vocabulario de diseño.

3.3. La Arquitectura Virtual es apoyada por la Realidad Virtual, que consiste en la combinación de diversas tecnologías e interfaces para generar a través del uso del computador una simulación, permitiendo a uno o más usuarios interactuar en tiempo real, con un entorno o mundo dinámico tridimensional generado por computadora. A efectos de esta investigación se toman en cuenta los trabajos sobre Arquitectura Virtual, especialmente aquellos donde la plataforma de realidad virtual utilizada haya sido el lenguaje VRML (Segovia, 2005:21), "el cual será la base del Pabellón

Virtual dentro del cual tendrá lugar el diseño arquitectónico colaborativo a distancia”.

Se entiende por Arquitectura Virtual (Vélez, 1999: 18): “aquel universo de objetos construidos, visualizados, accedidos, manipulados y utilizados tridimensionalmente, con propósito arquitectónico y permanencia con derecho propio, en ámbito digital informático que les confiere la condición de virtualidad, al ser activada dentro o fuera de la línea”.

Todos estos conceptos, posicionan a la Arquitectura en su realidad actual del mundo globalizado, tanto en avances en su propia redimensión como en la consideración de nuevos actores que inciden directamente en su expresión físico-espacial.

4. Resultados de la investigación

4.1. Estrategia de alto impacto social. En esta etapa de la presente investigación, sobre la base de la hermenéutica, se inicia la construcción de la teorización fundamentada en la interpretación propia, así como la adhesión a los planteamientos de autores consultados, a tal efecto los resultados se indican a continuación.

4.2. Criterios para un nuevo enfoque paradigmático de la Arquitectura: Para que la Arquitectura y el Urbanismo Latinoamericano recuperen los valores implícitos en una comunicación homogénea, generadora de la integración y la participación social, o sea, del derecho a la ciudad como forma superior de los derechos (derechos a la libertad, a la individualización en la socialización); y para que la Arquitectura esté orientada a la calidad de vida y el bienestar social, se indican a continuación los criterios:

- Considerar aspectos de la realidad actual

En el análisis de la significación transmitida por la Arquitectura Latinoamericana, insinuamos algunos aspectos de la participación social, implícita en la formación de los atributos ideológicos, simbólicos y figurativos.

La participación se manifiesta en diversos niveles:

1. Intervención social en las decisiones que afectan a la comunidad global, la escala de la planificación y el Urbanismo.
2. Uso social de las formas y espacios que definen el ambiente artificial del hombre.

3. Intervención social a escala individual, o sea la configuración del micro ambiente de la célula familiar.
4. Intervención en términos de participación directa de los usuarios en la construcción del ambiente individual o social.

Se calcula que la participación de los arquitectos en los países subdesarrollados corresponde al 6% de los edificios construidos. Esta cifra demuestra la importancia del Urbanismo espontáneo como elemento dominante en el diseño del ambiente.

- Responder a la sociedad global con la Arquitectura

“Una realidad poco conocida aún, que desafía prácticas e ideas, situaciones consolidadas e interpretaciones sedimentadas, formas de pensamiento y vuelos de imaginación (Ianni, 1999: 11).

Con esta frase, el sociólogo Octavio Ianni (1999) describe lo que está sucediendo en un nuevo periodo histórico, con nuevas perspectivas y nuevos valores que se agregan a los ya existentes.

La sociedad global o sociedad red, característica de finales de siglo XX, se manifiesta en contra de los órdenes tradicionales: políticos, económicos, sociales, religiosos, entre otros. Un sentido individual se fortalece y lo virtual adquiere un mayor valor: soy y no soy, estoy y no estoy.

Al mismo tiempo que aparece un modelo unitario de sociedad global (sociedad de consumo) promovido por los Estados Unidos, también se enfatiza la fragmentación o disgregación de algunos países en el mundo, tal es el caso de la ex Unión Soviética. En palabras del Arq. Rafael Moneo (2005), el mundo se fractura con muchos acontecimientos bélicos de diversas índoles: culturales, étnicos, fanatismos.

Bajo estas condiciones, las necesidades de la sociedad actual obligan a modificar la forma de vida, y por ende, el espacio-forma. La polivalencia (eficacia de un espacio para desarrollar varias actividades) adquiere un va-



FIGURA 2. Fragmentación y “Compacidad” a final del siglo XX, Arq. Moneo R.

Fuente: Ianni (1999: 11).

lor significativo, generando una marcada neutralidad en las construcciones y un nuevo lenguaje formal.

El carácter pierde el valor que le otorgaba la Arquitectura moderna, confirmando lo que el Arq. Villagrán (2001:1) decía al respecto: “el carácter es una cualidad, esta condicionado por el lugar geográfico y el tiempo histórico”. De igual forma, la famosa frase de los funcionalistas: *la forma sigue a la función* (tendencia con un gran arraigo en nuestro país), está adquiriendo menor importancia con respecto a la frase de Bernard Tschumi: *la forma sigue a la fantasía*, relegando a segundo término el valor utilitario, funcional y hasta estético, no porque ya no se tomen en cuenta, o peor aún, porque hayan desaparecido, sino porque algunos arquitectos vanguardistas contemporáneos, están viendo y produciendo Arquitectura de manera diferente.

Para ellos, estos valores ya no son los más importantes, tal como comenta el filósofo francés Derrida (1999: 134) sobre la Arquitectura de Peter Eisenman y el propio Tschumi: “La arquitectura debería en sí misma no estar tan sólo orientada ya hacia la utilidad del habitar, naturalmente lo que Eisenman construye debe ser habitable y útil, pero esos valores de habilidad y de utilidad no son los que dominan en última instancia la obra o el proyecto”.



FIGURA 3. El evento.
Fuente: Ianni (1999: 11).

También se trata de liberar a la Arquitectura de ciertos valores de la estética (Ianni, 1999: 12). “Al final no es la armonía ni la belleza quienes controlan este trabajo, lo cual no significa que el producto deba ser feo sino que, en última instancia, su meta no es estética”.

Surge entonces, una Arquitectura de(s)constructiva, fragmentada y una Arquitectura unitaria; formas sencillas, hasta simples, pero con una gran riqueza a partir del manejo de la luz, la textura. Según Rem Koolhaas (2005: 1):

...una intención diferente, en donde el objeto y el sujeto ya no son los únicos factores generadores del diseño, se integran “el evento” y la intención, como una forma de recobrar el interés de la gente hacia la arquitectura, perdido quizás, por la constante presencia de la arquitec-

tura moderna, con todas su variantes y por la tremenda carga de funcionalidad hacia el ser humano (el espacio basura).

Bajo estos conceptos, arquitectos como Bernard Tschumi, Rem Koolhaas, Rafael Moneo, Peter Eisenman, Frank O. Gehri, Daniel Libeskind y muchos otros, están forjando la Arquitectura del siglo XXI, y para muestra... el Walt Disney Concert Hall (2003), el Parque de la Villette (1982-85), la Max Reinhardt Haus (1995), el Museo Judío en Berlín (1989-98), etc.

León Batista Alberti (1485) dice:

...Yo voy a considerar arquitecto a aquel que con método y procedimiento seguro y perfecto sepa proyectar racionalmente y realizar en la práctica, mediante el deslazamiento de las cargas y la acumulación y conjunción de los cuerpos, obras que se acomoden perfectamente a las más importantes necesidades humanas. A tal fin, requiere el conocimiento y dominio de las mejores y más altas disciplinas. Así deberá ser el arquitecto.

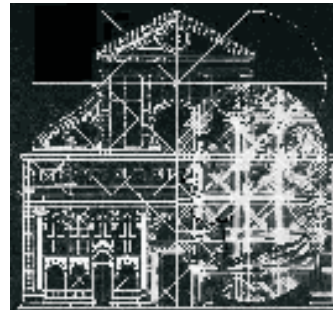


FIGURA 4. La Arquitectura.
Fuente: Batista Alberti (1485).

- Incorporar las nuevas tendencias en la Arquitectura, asociadas a la mejora en la calidad de vida

Si a la antigüedad se la conoce por sus monumentos fúnebres, el Medioevo fue el tiempo de las catedrales, el Renacimiento descubrió los palacios y la Ilustración reconsideró la ciudad, se podría decir que el último ha sido el siglo de las casas. El siglo XX y el inicio del XXI, ha sido el tiempo de la vivienda, el momento en que la Arquitectura se ha acercado a las preocupaciones físicas, de necesidades de vida (individuo y familia), contribuyendo con la calidad de vida.

La valorización de los requerimientos como ser social, la reflexión permanente del arquitecto para optar soluciones constructivas, exige la incorporación de las siguientes cualidades:

1. Seguridad estructural
2. Condiciones de habitabilidad, confort y salubridad
3. Durabilidad de los materiales utilizados
4. Versatilidad en el crecimiento progresivo
5. Economía en autoconstrucción, reducción de los tiempos de ejecución, bajo mantenimiento
6. La sustentabilidad y ahorro energético.

Los sistemas constructivos de vivienda vinculados con soluciones de alto impacto social, se constituyen en una agenda abierta de nuestro interés, y será abordada en la próxima investigación, por cuanto recoge todos los aspectos aquí tratados.

- Contribuir con la Arquitectura al desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable impone cambios tecnológicos, sociales e incluso éticos. Se imponen nuevas formas de ordenamiento y manejo de las ciudades y la Arquitectura. Ésta, desde la fase de la conceptualización y diseño, se debe incorporar al objetivo de minimizar el impacto ambiental, insertarse en la gestión tecnológica como estrategia permanente en su actuación profesional.

De igual manera, incorporar soluciones técnico-constructivas que permitan la reutilización de las edificaciones que puedan ser desmontadas y no demolidas al final de su vida útil.

Por otra parte, es imperativo el diseño bioclimático mediante el cual se saca el mayor partido de las condiciones medioambientales naturales, con vistas a proporcionar ambientes confortables para el desarrollo de la vida de las personas, a la vez que reducen al mínimo los consumos de energía convencional en iluminación, ventilación o climatización artificial.

Conclusiones

La presente investigación se constituye en una verdadera agenda abierta propuesta por los autores sobre diferentes ejes temáticos que se desprenden de ella, tales como: la tecnología de los sistemas constructivos vinculados a soluciones de la vivienda; de igual manera, atender los aspectos negativos incidentes sobre el ambiente y sobre la sociedad, que afectan

la optimización de los recursos utilizados o a utilizar técnicamente en el binomio proyecto arquitectónico-ambiente.

Los avances tecnológicos, la sustentabilidad en la realidad actual del contexto nacional y la globalidad, son temas a incorporar en la docencia y praxis del diseño arquitectónico. La gestión de tecnología instrumentada en políticas públicas, planes, programas y proyectos, conjuntamente con la mentalidad innovadora, debe servir de sustento para la competitividad a largo plazo, así como para la responsabilidad ante la preservación del ambiente.

Referencias

- Alhama Belamaric, Rafael (2004). *Gestión de Recursos Humanos: desarrollo actual y futuro en Cuba*. [En línea] [Citado el 01-04-2011] Disponible en internet: <http://www.gestiopolis.com/canales/derrhh/articulos/57/gesrhcuba.htm>
- Andia, Alfredo (2001). *Arquitectura en Red para A. Latina*. BBC Mundo.com Consultado en la página web: http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_1514000/1514682.stm, el día 05 de Agosto de 2008, 2:45 pm.
- Baker JL. *Evaluación del impacto de los proyectos de desarrollo en la pobreza: manual para profesionales*. 2000. Washington: Banco Mundial; 2000. Consultado en la página web: <http://www.cddhcu.gob.mx/bibliot/publica/inveyana/polisoc/pdf/0403.pdf>. El día 23 de Abril de 2008, 7:50 pm.
- Barkin, David. *Riqueza, pobreza y desarrollo sustentable* (México: Editorial Jus y Centro de Ecología y Desarrollo, 1998, versión electrónica.) Correo electrónico: barkin@correo.xoc.uam.mx. Consultado el día 23 de Abril de 2008, 6:42 pm.
- Betancourt Tang, J.R.: (2006). *Gestión Estratégica: Navegando Hacia El Cuarto Paradigma*. Edición electrónica gratuita. Texto completo. Consultado en la página web www.eumed.net/libros/2006c/220/. El día 24 de Abril de 2008, 12:13 pm.
- Carruyo, Alejandro (1998). Una definición de creatividad como conducta en el Diseño Arquitectónico. Maracaibo-Zulia: Universidad del Zulia. Escuela de Arquitectura. Trabajo de Ascenso.
- Checmarew, L, Oghievski, M. y Volantino, V. (2004) / INTI-Construcciones. *Vivienda INTI / Materiales, Sistemas y Tecnologías para la Construcción de la Vivienda Social*. Visita de la web: www.inti.gov.ar/cecon/vivienda2.pdf. El día 05 de Septiembre de 2009, 5:52 pm.

- Ching, Frank (1982). *Métodos de Diseño*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Derrida, J. (1999). *No escribo sin luz artificial*. Valladolid. 4ta. edic.: (s/e).
- Diccionario Larousse (1981). *Pequeño Larousse Ilustrado*. 5ta edic.: Editorial Primor. Brasil.
- Fernández Polcuch E. *La medición del impacto social de la ciencia y la tecnología*. 2000. México. Consultado en la página web: <http://www.redhucyt.oas.org/ricyt/interior/biblioteca/polcuch.pdf>. El día 21 de Julio de 2010, 1:17 pm.
- Fundación para el Desarrollo Sustentable. *La arquitectura sustentable / Desarrollo Sustentable*, artículo. Consultado en la página web <http://www.fundacion-sustentable.org/>. El día 23 de Abril de 2008, 6:42 pm.
- Gestión Tecnológica*. México. Consultado en la página web: <http://www.ciget.pinar.cu/gi/caracteristicas.htm>. El día 04 de Octubre de 2010. 8:55 pm.
- González Arencibia, M. (2006). *Una gráfica de la Teoría del Desarrollo. Del crecimiento al desarrollo humano sustentable*. Edición electrónica. Texto completo en ISBN-10: 84-689-8435-3. Consultado en la página web: www.eu-med.net/libros/2006a/mga-des/. El día 23 de Abril de 2008. 7:41 pm.
- Heidegger, Martin. *Construir, Habitar, Pensar*. Consultado en la página web: http://www.heideggeriana.com.ar/textos/construir_habitar_pensar.htm. El día 05 de Octubre de 2010. 2:30 pm.
- Hernández-Pezzi, Carlos. *La arquitectura se tiñe de verde*. [En línea] [Citado el 09-04- 2011] Disponible en internet: <http://webcache.googleusercontent.com>
- Guijarro, Mayra (2003). *El Sistema Universitario Venezolano. Metodología para la evaluación de la gestión de los docentes*. Maracaibo-Zulia: Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín. Tesis Doctoral URBE.
- Ianni, Octavio (1999). La era del Globalismo. *Revista Nueva Sociedad* Nº 163: Oficinas de la Fundación Friedrich Ebert, Caracas.
- Kliksberg, B. (2002). *Hacia una economía con rostro humano*. Maracaibo-Zulia: Astrodata.
- Lafuente, Marianela y Genatios, Carlos (2002)/ *Vulnerabilidad de la vivienda en Venezuela / La vivienda en Venezuela*. Consultado en la página web: http://www.cvc.com.ve/portal/docs_revistas/380/vulnerabilidad.pdf /. El día 29 de Marzo de 2009. 8:50 pm.
- León Battista, Alberto (1485). *El Proceso Creativo*. [En línea] [Citado el 10-04-2011] Disponible en internet: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pE-NO8HxRps\]:es.wikipedia.org/wiki/Piero_della_Francesca+Le%C3%B3n,+Battista+Alberti+%281485%29.+El+Proceso+](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pE-NO8HxRps]:es.wikipedia.org/wiki/Piero_della_Francesca+Le%C3%B3n,+Battista+Alberti+%281485%29.+El+Proceso+)

- Creativo+wikipedia&cd=1&hl=es&ct=clnk&client=firefox-a&source=www.google.com
- Lorino, P. (1993). *El Control de Gestión Estratégico la Gestión por actividades*. España: Edit. Alfaomega.
- Luxán Margarita y G. Gómez (2005). *La arquitectura sustentable*. [En línea] [Citado el 07-04-2011] Disponible en internet: <http://www.fundaciónsustentable.org>.
- Moneo, Rafael (2005). *Arkinka, Revista de Arquitectura, Diseño y Construcción*. Año 10, No. 111, Febrero.
- Mora, Julia (1999). *Transformación y Gestión Curricular*. Memorias Seminario Taller, Evaluación y Gestión Curricular. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Navarro Coro, Livian (2007). *Técnicas y Recolección de Datos*. Documento en línea. Consultado en la página web: http://bp1.blogger.com/_aimlYHYa6ol/SCI8b6Zmtml/AAAAAAAAAJ0/r09Cna-Tdu0/s1600-h/TÃ%oCNICAS+E+INSTRUM+p+1.bmp. El día 05 de Agosto de 2009. 7:00 pm.
- Padgett, Gerson David (2001). *Informe resumen de tecnología de información para negocios Tecnología: Groupware*. Consultado en la página web: <http://www.monografias.com/trabajos14/tecnologiagroup/tecnologiagroup.shtml>. El día 22 de Julio de 2010. 4:11 am.
- Padrón, José (1993). *En torno al concepto de Investigación-Docencia*. Notas para la Delimitación de Núcleos Generadores de Investigación USR, Postgrado. Consultado en la página web: http://www.geocities.com/josepadron.geo/invest_docen_usr.htm. El día 15 de Enero de 2009. 5:45 pm.
- Pich Felipe y Teresa Batle (2005). *Encuentro Internacional sobre Arquitectura Sostenible*. [En línea][Citado el 10-04-2011]Disponible en internet: http://web-cache.googleusercontent.com/search?q=cache:HOj6Mch-MTc:www.el-pais.com/articulo/cultura/arquitectura/tine/verde/elpporcul/20050731el-pepicul_2/Tes+Pich+Felipe+y+Teresa+Batle+%282005%29.+Encuentro+Internacional+sobre+Arquitectura+Sostenible&cd=3&hl=es&ct=clnk&client=firefox-a&source=www.google.com
- Pisarro, Marcelo (2008). *Contemporaneidad*. Argentina. Artículo del 6 de abril de 2008. Consultado en la página web: <http://www.revistaenie.clarin.com/notas/2008/04/05/01643684.html>. El día 04 de Mayo de 2008. 6:30 pm.
- Posani, Juan Pedro (2000). *La Arquitectura en Venezuela*. Consultado en la página web: http://www.centenarioillanueva.web.ve/Arquitecto/Inventario/Frames_Inventario.htm. El día 17 de Julio de 2010. 6:24 pm.
- Rem, Koolhaas (2005). *La decadencia puede ser una forma de interpretar*. [En línea][Citado el 10-04-2011] Disponible en internet: http://www.urbipe-dia.org/index.php/Rem_Koolhaas.

- Restrepo González, Guillermo (2002). *El Concepto y Alcance de la Gestión Tecnológica* / Revista Contaduría y Administración, No. 205, Abril-Junio 2002 Consultado en la página web: http://ingenieria.udea.edu.co/producciones/guillermo_r/concepto.html. El día 04 de Octubre de 2010. 8:47 pm.
- Ricci, Daniel. *Desarrollar espacios urbanos sustentables*, I Congreso de Turismo y Arquitectura Sustentable agosto de 2007 en Formosa, Argentina Consultado en la página web: http://www.todoarquitectura.com/v2/Noticias/one_news.asp?IDNews=3731. El día 11 de Noviembre de 2009 11:45 pm.
- Roussel, Philip A. y otros (2006). *La Gestión Tecnológica* [En línea] [Citado el 09-04-2011] Disponible en internet: Programa de Gestión Tecnológica, Universidad de Los Andes www.Gestiopolis.com
- Rubio Domínguez, P. (2006). *Introducción a la gestión Empresarial. Instituto Europeo de Gestión Empresarial*. Edición electrónica. Texto completo en ISBN-10: 84-689-7602-4. Consultado en la página web: www.eumed.net/libros/2006/prd/. El día 24 de Abril de 2008 12:21 pm.
- Segovia, Rafael (2005). *Diseño arquitectónico colaborativo a distancia*. Maracaibo: Facultad de Arquitectura Universidad del Zulia.
- Vázquez, Fermín (s/f). *Equipo B-720 Arquitectura, Plataforma Arqitettura*. [En línea] [Citado el 10-04-2011] Disponible en internet: <http://simbiosisgroup.net/2011/02/16/costa-brava-gran-casino-b720-fermin-vazquez-arquitectos-espana/>
- Vélez, G.J. (1999). *Entre Rayas* Nº 24. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Villagrán García, José (2001). *Arquitectura Moderna en México* [En línea] [Citado el 3-04-2011] Disponible en internet: <http://webcache.googleusercontent.com>.
- Zorrilla, Hernando (2002). (Ecopetrol) *La Gerencia del Conocimiento y La Gestión Tecnológica*. Programa de Gestión Tecnológica, Universidad de Los Andes. Consultado en la página web: www.Gestiopolis.com. El día 24 de Abril de 2008. 12:45 pm.

Caracterización viscosa de mezclas de carbón mineral-agua y cenizas volantes-agua mediante fluidización en medio acuoso

*César García**
*Karina Martínez***
*Vanesa Joves****
*José González*****
*Freddy Andarcia******

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se determinó la caracterización viscosa de mezclas carbón mineral-agua y cenizas volantes-agua a partir de la fluidización de lechos de partículas sólidas con agua como agente fluidizante. Se estudió la fluidización en dos lechos, uno cuyas partículas sólidas corresponden al carbón mineral con tamaños de partículas $-10+16$, $-16+80$ y $-80+115$ y el otro de cenizas volantes con tamaños de partículas $-16+80$, $-80+115$ y $-115+325$, variando la velocidad del flujo, observando la altura

Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.

* Prof. División de Postgrado. cgarcia@luz.edu.ve.

** Profa. Escuela de Ingeniería Química. karinaisabelmartinez@hotmail.com.

*** Estudiante de Maestría. División de Postgrado. jovesvanesa@latinmail.com.

**** Prof. Escuela de Ingeniería Química. amorosogonzalez@yahoo.com.

***** Estudiante. Escuela de Ingeniería Química. fjan_f1@hotmail.com.

RECIBIDO: 07-02-11 /// ACEPTADO: 09-03-11

del lecho y caídas de presión del agua a la velocidad dada. Los valores de fluidización se relacionaron a través del modelo de flujo de Rabinowitsch para determinar la velocidad de deformación en la caracterización de las mezclas, que presentaron un comportamiento no-newtoniano pseudoplástico. Las ecuaciones constitutivas de las mezclas carbón-agua y cenizas volantes-agua para cada rango de partículas se expresaron por los modelos de Ostwald De Waele y Ellis. Las viscosidades aparentes de las mezclas carbón-agua para la fracción pulverizada de carbón se ubicaron entre 230 cp y 67235 cp, mientras para las mezclas cenizas volantes-agua resultaron entre 86 cp y 1432 cp.

PALABRAS CLAVE: Fluidización, carbón-agua, cenizas volantes-agua, carácter viscoso.

The Viscous Characterization of Mineral Coal-Water and Oil Fly Ash-Water Mixtures through Fluidization in an Aqueous Medium

ABSTRACT

This study determined the viscous characterization of mineral coal-water and oil fly ash-water mixtures based on the fluidization of solid particle beds using water as the fluidizing agent. Fluidization in two beds was studied, one whose solid particles correspond to mineral coal, with particle sizes of $-10+16$, $-16+80$ and $-80+115$, and the other of oil fly ash, with of particle sizes of $-16+80$, $-80+115$ and $-115+325$, varying the flow velocity, observing the height of the bed and water pressure drops at the given velocity. Fluidization data were related using the Rabinowitsch flow model to determine deformation rate in characterizing the mixtures, which evidenced non-Newtonian, pseudo plastic behavior. Constitutive equations for the mineral coal and oil fly ash mixtures for each range of particles were expressed by the Ostwald De Waele and Ellis models. The apparent viscosities of coal-water mixtures for the pulverized coal fraction were between 230 cp and 67235 cp, while the oil fly ash-water mixtures were between 86 cp and 1432 cp.

KEY WORDS: Fluidization, coal-water, oil fly ash-water, viscous character.

Introducción

La declinación de las reservas probadas de petróleo a nivel mundial ha dirigido las investigaciones hacia la generación de un combustible líquido a partir del carbón mineral en mezcla con agua, metanol, fuel oil, entre otros (Ekman A. & Ekman J., 1984; Gilmartin, 1981; Heaton *et al.*, 1987; Rakitsky & Prieto, 1985). Sin embargo, para que el combustible carbón-agua sea comercialmente aceptable a escala de combustión se requiere facilidad de transportación a los sitios de combustión, posibilidad de largo almacenamiento y que mantenga una composición uniforme con consistentes propiedades reológicas sobre un periodo de tiempo.

El costo del transporte del combustible carbón-agua está directamente relacionado con la resistencia al flujo del combustible carbón-agua, debido a los efectos friccionales por la viscosidad aparente del mismo. Abundantes estudios acerca del comportamiento reológico de la mezcla carbón-agua indican un fluido de naturaleza pseudoplástica, o plástico de Bingham, según el surfactante utilizado (Funk J.E., 1981; Altaweel *et al.*, 1985; Woskoboenko *et al.*, 1988).

Obviamente las mezclas carbón-agua no forman suspensiones estables, lo cual hace necesario el uso de aditivos que actúen para promover la formación de una carga electrostática repulsiva sobre las partículas de carbón en el medio acuoso, generando un empaquetamiento cerrado de las partículas, lo cual confiere a la mezcla carbón-agua propiedades reológicas de un fluido pseudoplástico (Adiga *et al.*, 1988).

García *et al.* (2003) estudiaron el efecto de las variables operacionales de concentración de carbón, granulometría del carbón, concentración del aditivo y naturaleza del aditivo sobre el comportamiento reológico de la suspensión carbón-agua. El efecto de las variables operacionales sobre la viscosidad aparente de la suspensión carbón-agua se resume así: 1) aumenta con el incremento del contenido de carbón; 2) aumenta con la disminución del tamaño del grano del carbón; 3) aumenta con el incremento de la concentración del aditivo, con mayores valores para el aditivo Lipesa 725, luego Lipesa 727 y finalmente con la sal de naftaleno.

El objetivo de la presente investigación es determinar la naturaleza reológica de las suspensiones carbón-agua y cenizas volantes-agua a través de un modelo de flujo para el mecanismo de transporte por fluidización. El

carbón a utilizar es proveniente del Manto IV de la zona Paso Diablo de la región Guasare del municipio Mara del estado Zulia-Venezuela, el cual es de tipo bituminoso, de alto contenido volátil y con bajos niveles de cenizas y azufre, altamente recomendado para fines térmicos. Las cenizas volantes (*oil fly ash*) procedentes de una planta termoeléctrica ubicada en la ciudad de Maracaibo del estado Zulia-Venezuela, son residuos sólidos productos de la combustión del *fuel oil*, con alto contenido de carbono, vanadio y níquel, y poder calorífico comparable al carbón mineral (Joves, 2009).

1. Fundamentos teóricos del modelo

El análisis teórico de las ecuaciones de transferencia de momentum para el establecimiento de la relación funcional entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación referida al lecho fluidizado, reside en la sucesiva aplicación de las ecuaciones de continuidad, movimiento lineal o ecuación de Cauchy y del balance integral de masa del fluido en coordenadas cilíndricas y bajo las siguientes consideraciones: 1) la mezcla carbón-agua para cada condición de fluidización se asume como fluido viscoso de densidad constante; 2) la mezcla carbón-agua se comporta como un fluido puramente viscoso, esto es, el esfuerzo cortante sólo varía con la velocidad de deformación; 3) flujo en régimen estacionario, sin variación con el tiempo, uniforme e isotérmico; 4) perfil unidimensional de velocidad en la dirección axial de flujo, en coordenadas cilíndricas, $\vec{v} = v_z \vec{e}_z$; $v_r = v_\theta = 0$.

De manera resumida, de acuerdo a las ecuaciones de transferencia de momentum y a las consideraciones anteriores, se derivan los siguientes resultados:

a) De la ecuación de continuidad,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (1)$$

Se obtiene que $\frac{\partial v_z}{\partial Z} = 0$, esto es, no hay variación de la velocidad axial con la componente Z en el lecho fluidizado, entonces,

$$v_z = f(r); \quad v_r = v_\theta = 0 \quad (2)$$

b) De la condición de fluido puramente viscoso, resulta la componente del esfuerzo cortante,

$$\tau_{rz} = f(D_{rz}), \quad D_{rz} = \frac{1}{2} \frac{dv_z}{dr} \quad (3)$$

c) De la ecuación de movimiento lineal de Cauchy,

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla \bar{v} \right) = \rho \bar{g} - \nabla P + \nabla \cdot \bar{\tau} \quad (4)$$

Se deriva la expresión para el esfuerzo cortante,

$$\tau_{rz} = \frac{\Delta P}{L} \frac{r}{2} \quad (5)$$

donde, L es la longitud del lecho fluidizado, r el radio de la columna y ΔP la caída de presión a través del lecho fluidizado.

d) Por derivación de la expresión integral del caudal se obtiene la ecuación de la velocidad de deformación en términos de las variaciones de Caudal y del Esfuerzo Cortante a la pared del lecho fluidizado,

$$Q = 2\pi \int_0^R v_z r dr \quad (6)$$

Integrando por partes la ecuación (6) e introduciendo el esfuerzo cortante, se obtiene la ecuación integral de Rabinowitsch en coordenadas cilíndricas, resulta,

$$\frac{Q\tau_w^3}{\pi R^3} = \int_0^{\tau_w} \tau_{rz}^2 \left(-\frac{dv_z}{dr} \right) d\tau_{rz} \quad (7)$$

Al derivar la ecuación (7) respecto a τ_w , se obtiene la velocidad de deformación,

$$-\left. \frac{dv_z}{dr} \right|_{r=R} = \frac{1}{\pi R^3} \left(3Q + \tau_w \frac{dQ}{d\tau_w} \right) \quad (8)$$

e) Los valores de esfuerzo cortante a la pared (τ_w) y velocidad de deformación se correlacionan a través de las ecuaciones constitutivas de Ostwald De Waele y de Ellis por optimización de los parámetros de viscosidad y consistencia.

$$\text{Ecuaciones de Ostwald De Waele, } \tau_{rz} = m \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)^n \quad (9)$$

$$\text{Ecuación de Ellis, } \tau_{rz} = \frac{1}{A + B\tau_{rz}^{\alpha-1}} \left(-\frac{dv_z}{dr} \right) \quad (10)$$

2. Metodología experimental

El desarrollo del proceso experimental consiste en medir los parámetros de caudal y caída de presión de flujo con la finalidad de predecir las condiciones mínimas y máximas de fluidización tanto experimental como teórica, tomando en cuenta las variables: granulometría de la partícula sólida, altura del lecho, geometría de la columna (altura/diámetro) y la porosidad del lecho en función de la velocidad del agente fluidizante líquido, y de esta manera realizar la caracterización viscosa de las mezclas carbón mineral-agua y cenizas volantes-agua.

La preparación del carbón y de las cenizas volantes se hace según la norma ASTM D-346-90 (*Standard Practice for Collection and Preparation of Coke Samples for Laboratory Analysis*), y el carbón es molido en un molino Sew Eumodrive D732 Bruche de 50 Hz. Las partículas de carbón y cenizas son separadas electromecánicamente, con tamices de tamaños presentados en la tabla 1.

TABLA 1. Tamices seleccionados para la distribución granulométrica del carbón mineral y cenizas volantes

Tamiz	D (mm)	D (in)
-10+16	1,190	0,0469
-16+80	0,177	0,0070
-80+115	0,125	0,0049
-115+325	0,045	0,0018

Se seleccionan tres tamaños de partículas tanto para el carbón mineral como para las cenizas volantes, se determinan sus propiedades físicas como densidad y porosidad, y se procede a realizar la fluidización de las mismas en medio acuoso. La unidad de fluidización es utilizada para determinar las condiciones operacionales de transporte de carbón mineral y de las cenizas volantes, constituida por: un tanque almacenador de agua, un soporte del lecho, una sección cilíndrica de altura 75 cm y 5 cm de diámetro, además de las conexiones a la bomba, el rotámetro y el manómetro diferencial, tal como se muestra en la figura 1.

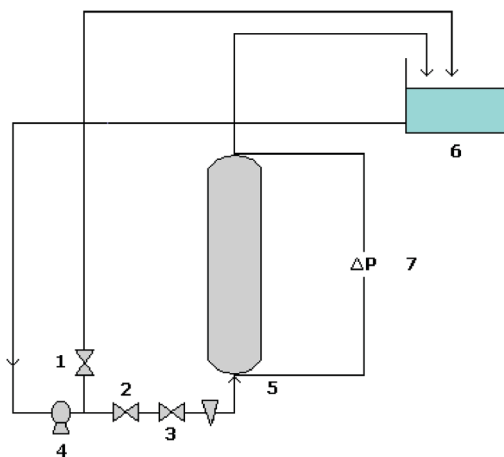


FIGURA 1. Esquema del proceso de fluidización.

A partir de los valores operacionales de caída de presión, caudal del flujo de agua, diámetro de la columna de 5 cm y altura de 75 cm, se procede a obtener los parámetros reológicos para determinar la naturaleza viscosa de las mezclas carbón mineral-agua y cenizas volantes (*oil fly ash*)-agua, de la siguiente manera: 1) se considera que la caída de presión es lineal en la sección de mediciones, entonces se divide cada caída de presión causada por cada caudal de agua entre la longitud de la columna; 2) se determina el esfuerzo cortante hacia la pared de la tubería, ya que es donde se alcanza el valor máximo; 3) con la ecuación diferencial de Rabinowitsch se determina la velocidad de deformación; 4) con los datos de esfuerzo cortante y velocidad de deformación ya obtenidos, se procede a determinar la viscosidad aparente y de esta forma observar cómo se comporta el fluido a medida que varía la velocidad de deformación:

$$\mu_a = \frac{\tau_w}{\left(-\frac{dv_z}{dr}\right)_{r=R}} \quad (11)$$

Si la viscosidad aparente disminuye a medida que aumenta la velocidad de deformación, el fluido es no-newtoniano pseudoplástico. Si por el contrario aumenta a medida que la velocidad de deformación aumenta, éste es no-newtoniano dilatante.

Dependiendo de la naturaleza viscosa y de las condiciones operacionales, la ecuación constitutiva de las mezclas carbón mineral-agua y cenizas volantes-agua puede ser expresada por el Modelo de Ostwald De Waele o por el Modelo de Ellis.

Para el Modelo de Ostwald De Waele: $\tau_{rz} = m\left(-\frac{dv_z}{dr}\right)^n$ (9)

Para el Modelo de Ellis: $\tau_{rz} = \frac{1}{A + B\tau_{rz}^{\alpha-1}}\left(-\frac{dv_z}{dr}\right)$ (10)

3. Resultados y discusión

Los tamaños de partículas seleccionados para este estudio fueron de -10+16, -16+80 y -80+115 tamices para el carbón mineral; y de -16+80, -80+115 y -115+325 tamices para las cenizas volantes respectivamente. Las densidades obtenidas fueron de 2593,4; 1359,2; 1273,2 Kg/m³ para el carbón mineral; y 2287; 1341; 1230,5 Kg/m³ para las cenizas volantes; y las porosidades resultaron entre 0,29 y 0,33 para el carbón mineral y entre 0,58 y 0,67 para las cenizas volantes. Los ensayos de fluidizaciones del carbón mineral y de las cenizas volantes se realizaron para los diferentes tamaños de partículas, con una repetición de 5 por cada ensayo, utilizando agua como agente fluidizante a condiciones ambientales.

Al realizar la pruebas de fluidización para cada tamaño de partícula tanto de carbón mineral como para las cenizas volantes, se pudo observar en cada caso las diferentes etapas en el proceso, es decir, la etapa de lecho fijo, etapa de lecho prefluidizado, y etapa de lecho fluidizado, obteniéndose velocidades mínimas de fluidización y velocidades terminales de fluidización. Estas pueden ser observadas en las tablas 2 y 3, como sigue:

TABLA 2. Velocidades mínima y terminal de fluidización experimental para el carbón mineral

Tamiz	$U_{mf\text{ exp}}$ (m/s)	$U_{ft\text{ exp}}$ (m/s)	$U_{mf\text{ teórica}}$ (m/s)	$U_{ft\text{ teórica}}$ (m/s)
-10+16	0,002	0,010	2,25E-03	1,76E-02
-16+80	0,00040744	0,0028	9,92E-04	6,05E-03
-80+115	0,00035651	0,0023	5,69E-04	2,30E-03

TABLA 3. Velocidades mínima y terminal de fluidización experimental para las cenizas volantes

Tamiz	$U_{mf\text{ exp}}$ (m/s)	$U_{ft\text{ exp}}$ (m/s)	$U_{mf\text{ teórica}}$ (m/s)	$U_{ft\text{ teórica}}$ (m/s)
-16+80	0,00045837	0,0024	0,000547	0,00226
-80+115	0,00035651	0,0023	0,000418	0,00196
-115+325	0,00028011	0,0022	0,000238	0,00186

donde la velocidad mínima de fluidización teórica es determinada por la ecuación de Ergun (Foust et al., 1967),

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = 150 \frac{(1 - \varepsilon_{mf})^2}{\varepsilon_{mf}^3} \frac{\mu v_{mf}}{d^2} + 1,75 \frac{1 - \varepsilon_{mf}}{\varepsilon_{mf}^3} \frac{\rho_f v_{mf}^2}{d} \quad (12)$$

mientras, la velocidad terminal teórica es determinada por la ecuación de Theodore-Buonjcore (García C. y Sarmiento, 1994),

$$v_t = 0,153 \frac{g^{0,714} d^{1,14} (\rho_s - \rho_f)^{0,71}}{\mu^{0,43} \rho_f^{0,29}} \quad (13)$$

Del análisis de los resultados anteriores se destacan las siguientes observaciones: 1) las velocidades mínimas de fluidización, al igual que las velocidades terminales disminuyen a medida que disminuye el tamaño de partículas; 2) las correlaciones teóricas presentan errores mínimos absolutos de 12,50% en la estimación de la velocidad mínima de fluidización, y de 0,013% en la estimación de la velocidad terminal.

Después de realizar todas las pruebas de fluidización tanto del carbón mineral y de las cenizas volantes, se procedió a realizar la caracteriza-

ción viscosa de las mezclas de carbón mineral-agua y cenizas volantes-agua. Resultado del proceso de fluidización, se obtuvieron las caídas de presión del agua y alturas del lecho con las que posteriormente se determinaron las porosidades del mismo, que proporcionaron las concentraciones volumétricas para el análisis de la caracterización viscosa de las mezclas. La concentración volumétrica del material sólido es el medio acuoso a las condiciones de velocidad mínima de fluidización, se relaciona con la porosidad a través de $C_v = 1 - \varepsilon_{mf}$, que se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4. Concentraciones volumétricas de carbón mineral y de cenizas volantes en el estado de mínima fluidización

Granulometría	Carbón mineral	Cenizas volantes
-10+16	66%	
-16+80	70%	31%
-80+115	66%	40%
-115+325		32%

La fluidización del carbón mineral genera bajo las condiciones de transporte, concentraciones de carbón entre 66% y 70%, mientras de las cenizas volantes entre 31% y 40%.

Al realizar la caracterización de la mezcla carbón mineral-agua y cenizas volantes-agua para los diferentes tamaños de partículas seleccionados, se tomaron las caídas de presión, alturas del lecho, el proceso de fluidización, para posteriormente calcular el esfuerzo viscoso (ξ_w), observándose un aumento y luego una disminución del mismo a medida que aumenta el caudal del flujo, esto es debido a que en el proceso de fluidización en la etapa de lecho fijo, la caída de presión aumenta, y por lo tanto el esfuerzo viscoso también, pero en la etapa de fluidización, las caídas de presión se mantienen casi constantes, pero la longitud del lecho se incrementa, lo que conlleva a una disminución del esfuerzo viscoso. Luego se determinó la velocidad de deformación observándose también un aumento. La viscosidad absoluta, por su parte, se ve que ésta disminuye, comienza a aumentar y luego disminuye, efecto causado porque la viscosidad absoluta es directamente proporcional al esfuerzo viscoso e inversamente proporcional a la velocidad de deformación (tablas 5 y 6). Una manera de clasificar el fluido es graficando el comportamiento de $\log(\mu a)$ vs.

TABLA 5. Esfuerzo viscoso, velocidad de deformación y viscosidad absoluta para las mezclas carbón mineral-agua de tamaños de partícula -10+16, -16+80 y -80+115

Lectura	Carbón mineral -10+16			Carbón mineral -16+80			Carbón mineral -80+115		
	τ_w (lbf/ft ²)	$-dv_z/dr$ (s ⁻¹)	μ_a (lbm/ft.s)	τ_w (lbf/ft ²)	$-dv_z/dr$ (s ⁻¹)	μ_a (lbm/ft.s)	τ_w (lbf/ft ²)	$-dv_z/dr$ (s ⁻¹)	μ_a (lbm/ft.s)
1	1,8217	6,71850	0,271161	0,6757	0,004	4817,0	0,265	0,005	45,18
2	1,9033	7,74198	0,245850	0,6667	0,020	1031	0,252	0,025	10,12
3	1,9577	8,98907	0,217792	0,6324	0,036	549,9	0,235	0,042	5,573
4	2,0393	11,6254	0,175419	0,6014	0,053	366,5	0,219	0,059	3,741
5	2,1208	14,3738	0,147552	0,5344	0,076	226,9	0,209	0,077	2,700
6	2,1254	14,5135	0,146447	0,5288	0,0883	191,9	0,189	0,095	1,9916
7	2,0553	12,23549	0,1679787	0,49074	0,1083	145,75	0,1689	0,1162	1,4542
8	2,0137	10,79068	0,1866222	0,44451	0,1258	113,61	0,1560	0,1321	1,1812
9	1,9485	8,829442	0,2206932	0,40895	0,1452	90,585	0,1354	0,1533	0,8828
10	1,9107	7,990642	0,2391249	0,35873	0,1663	69,395	0,1155	0,1743	0,6624
11	1,8743	7,405240	0,2531135	0,32285	0,1826	56,863	0,0881	0,1945	0,4531
12	1,8807	7,507952	0,2505072	0,28799	0,1989	46,582	0,0908	0,2059	0,4413
13	1,8696	7,369943	0,2536835	0,24537	0,2191	36,031	0,0714	0,2267	0,3152
14	1,8124	6,821876	0,2656752	0,21908	0,2343	30,077	0,0518	0,2446	0,2121
15	1,7800	6,590166	0,2701053	0,18366	0,2537	23,290	0,0408	0,2631	0,1554

TABLA 6. Esfuerzo viscoso, velocidad de deformación y viscosidad absoluta para las mezclas cenizas volantes-agua de tamaños de partícula -16+80, -80+115 y -115+325

Lectura	Cenizas volantes -16+80			Cenizas volantes -80+115			Cenizas volantes -115+325		
	τ_w (lbf/ft ²)	$-dv_z/dr$ (s ⁻¹)	μ_a (lbm/ft.s)	τ_w (lbf/ft ²)	$-dv_z/dr$ (s ⁻¹)	μ_a (lbm/ft.s)	τ_w (lbf/ft ²)	$-dv_z/dr$ (s ⁻¹)	μ_a (lbm/ft.s)
1	0,6897	0,01817	37,95616	0,2434	0,070	3,5	0,088	0,0916	0,962
2	0,6685	0,03284	20,35728	0,2359	0,083	2,9	0,084	0,1041	0,809
3	0,6485	0,04736	13,69422	0,2223	0,097	2,3	0,080	0,1167	0,685
4	0,6207	0,06584	9,42834	0,2451	0,109	2,2	0,099	0,1306	0,760
5	0,5717	0,08371	6,82996	0,1804	0,129	1,4	0,093	0,1432	0,649
6	0,5112	0,10597	4,82413	0,1945	0,143	1,4	0,081	0,1593	0,509
7	0,4445	0,12588	3,53136	0,1789	0,157	1,1	0,057	0,1732	0,330
8	0,4302	0,14280	3,01270	0,1267	0,178	0,7	0,054	0,1887	0,288
9	0,3587	0,16632	2,15689	0,1128	0,195	0,6	0,046	0,2045	0,226
10	0,3007	0,18523	1,62338	0,1036	0,208	0,5	0,040	0,2171	0,186
11	0,2768	0,20021	1,38234	0,1091	0,220	0,5	0,034	0,2298	0,150
12	0,2541	0,21810	1,16508	0,0739	0,239	0,3	0,029	0,2454	0,120
13	0,2140	0,23494	0,91107	0,0544	0,253	0,2	0,023	0,2580	0,090
14	0,1241	0,26058	0,47642	0,0339	0,271	0,1	0,016	0,2738	0,058

$\log(-dv_z/dr)$, entonces al observar las gráficas 2-7 se nota que μ_a disminuye con aumento de la velocidad de deformación por lo que las mezclas carbón-agua de tamaño de partícula $-10+16$, $-16+80$ y $-80+115$, y las mezclas cenizas volantes-agua de tamaños de partículas $-16+80$, $-80+115$, $-115+325$, se comportan como fluidos no-newtoniano pseudoplástico.

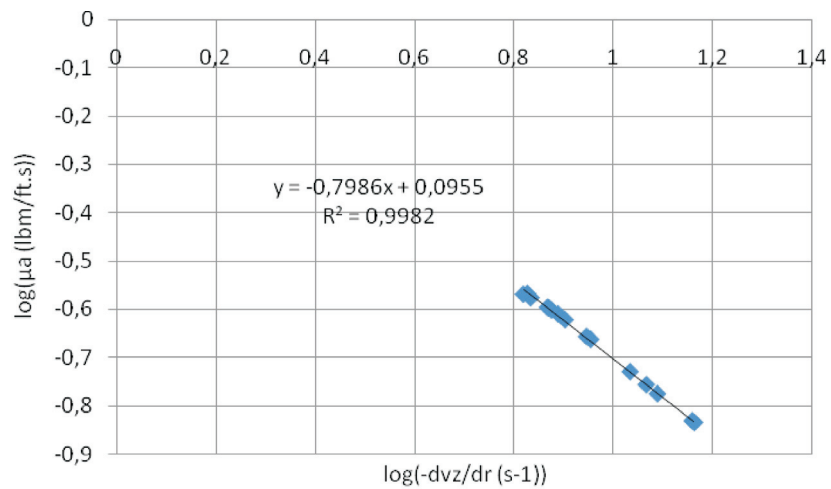


FIGURA 2. $\log(-dv_z/dr)$ vs. $\log(\mu_a)$ (carbón mineral $-10+16$).

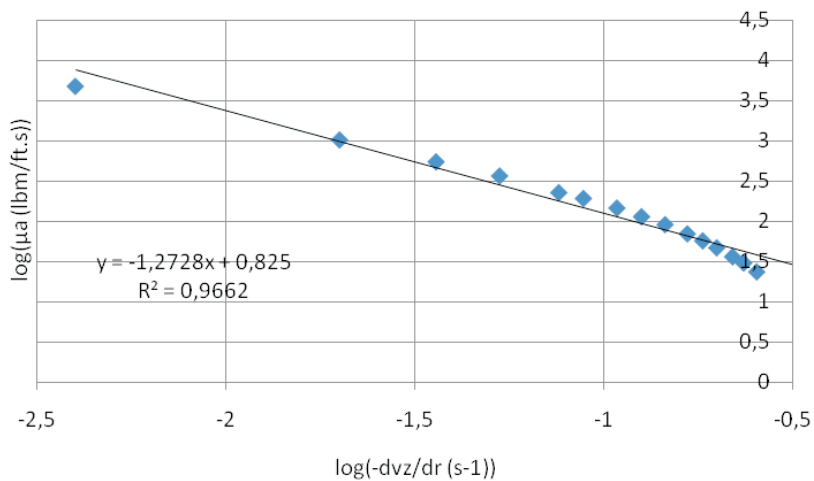


FIGURA 3. $\log(-dv_z/dr)$ vs. $\log(\mu_a)$ (carbón mineral $-16+80$).

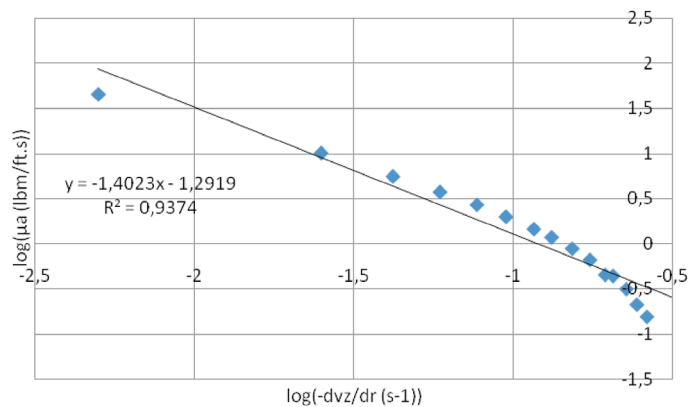


FIGURA 4. $\log(-dv_z/dr)$ vs. $\log(\mu_a)$ (carbón mineral -80+115).

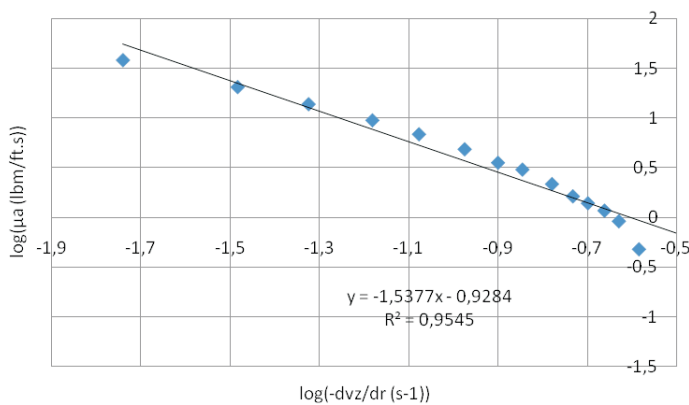


FIGURA 5. $\log(-dv_z/dr)$ vs. $\log(\mu_a)$ (cenizas volantes -16+80).

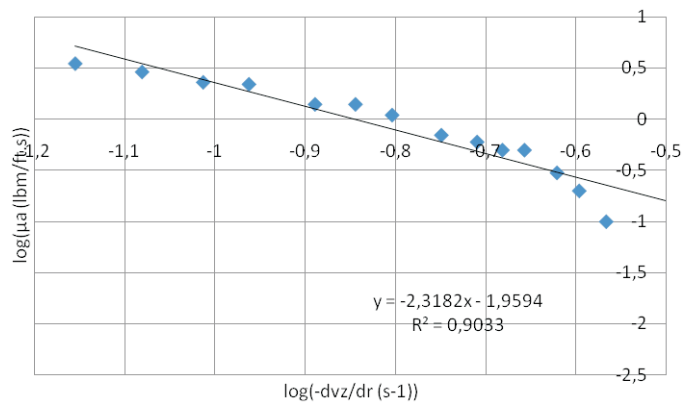


FIGURA 6. $\log(-dv_z/dr)$ vs. $\log(\mu_a)$ (cenizas volantes -80+115).

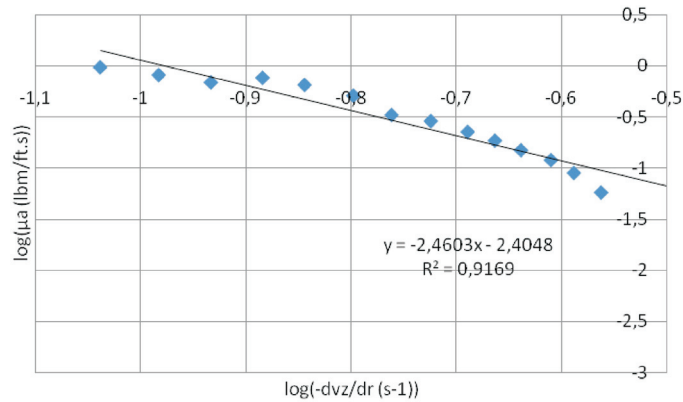


FIGURA 7. log (-dv_z/dr) vs. log(μ_a) (cenizas volantes -115+325).

Dependiendo de la naturaleza viscosa, tamaño de partícula y condiciones operacionales, la ecuación constitutiva de la mezcla carbón mineral-agua y cenizas volantes-agua, puede ser expresada por el Modelo de Ostwald De Waele (Ec.9) o por el Modelo de Ellis (Ec. 10). El Modelo de Ostwald De Waele relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación, por medio de una ecuación de dos parámetros:

$$\tau_{rz} = m \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)^n$$

donde m es el coeficiente de viscosidad, n el coeficiente de consistencia, $n > 1$ fluido dilatante y $n < 1$ fluido pseudoplástico, $n = 1$ fluido newtoniano. El coeficiente de consistencia se determina del reograma viscosidad aparente-esfuerzo cortante. Las ecuaciones constitutivas para las mezclas carbón mineral-agua y cenizas-agua a diferentes tamaños de partículas se muestran en las tablas 7 y 8.

TABLA 7. Ecuaciones constitutivas para las mezclas carbón mineral-agua por el Modelo de Ostwald De Waele

Carbón mineral -10+16	Carbón mineral -16+80	Carbón mineral -80+115
$\tau_{rz} = 1,251 \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)^{0,1994}$	$\tau_{rz} = 6,683 \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)^{0,0597}$	$\tau_{rz} = 0,0510 \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)^{0,0508}$

TABLA 8. Ecuaciones constitutivas para las mezclas cenizas-agua por el Modelo de Ostwald De Waele

Cenizas volantes -16+80	Cenizas volantes -80+115	Cenizas volantes -115+325
$\tau_{rz} = 0,118 \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)^{0,0641}$	$\tau_{rz} = 0,011 \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)^{0,0592}$	$\tau_{rz} = 0,0039 \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)^{0,0344}$

El Modelo de Ellis relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación (Ec. 10). Para las mezclas carbón mineral-agua y cenizas volantes-agua a diferentes tamaños de partículas se tiene:

TABLA 9. Ecuaciones constitutivas para las mezclas carbón mineral-agua por el Modelo de Ellis

Carbón mineral -10+16	$\tau_{rz} = \frac{1}{2,03 + 0,023\tau_{rz}^{7,04}} \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)$
Carbón mineral -16+80	$\tau_{rz} = \frac{1}{-5,04 + 0,356\tau_{rz}^{-0,978}} \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)$
Carbón mineral -80+115	$\tau_{rz} = \frac{1}{-1,08 - 0,292\tau_{rz}^{-1,012}} \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)$

TABLA 10. Ecuaciones constitutivas para las mezclas cenizas-agua por el Modelo de Ellis

Cenizas volantes -16+80	$\tau_{rz} = \frac{1}{-0,459 + 0,349\tau_{rz}^{-0,96}} \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)$
Cenizas volantes -80+115	$\tau_{rz} = \frac{1}{-0,896 + 0,305\tau_{rz}^{0,996}} \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)$
Cenizas volantes -115+325	$\tau_{rz} = \frac{1}{-1,219 + 0,161\tau_{rz}^{-1,15}} \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)$

Conclusiones

Del análisis de resultados del proceso de fluidización con carbón mineral y las cenizas volantes de tamaños de partículas -10+16, -16+80,

-80+115 para el primero; y -16+80, -80+115, -115+325 para el segundo y agua como agente fluidizante, se derivan las siguientes conclusiones:

1. La fluidización con agua de los materiales sólidos: carbón mineral y cenizas volantes dentro del rango de las variables operacionales resultó uniforme, con los siguientes valores de las velocidades mínimas de fluidización: 0.00114591 m/s para el carbón mineral -10+16, 0.00040744 m/s para el carbón mineral -16+80; 0,00035651 m/s para el carbón mineral -80+115; 0,00045837 m/s para las cenizas volantes -16+80, 0.00035651 m/s para las cenizas volantes -80+115 y 0,00028011 m/s para las cenizas volantes -115+325.

2. La correlación de Ergun en la estimación de la velocidad mínima de fluidización presenta errores mínimos absolutos de 12,50%, mientras la correlación de Theodore-Buonjcore en la estimación de la velocidad terminal de partícula presenta errores mínimos absolutos de 0,013%. Los valores teóricos de las velocidades mínimas de fluidización resultaron: 0,00225 m/s para el carbón mineral -10+16, 0,0028 m/s para el carbón mineral -16+80 y 0,0023 m/s para el carbón mineral -80+115; 0,000547 m/s para las cenizas volantes -16+80; 0,000418 m/s para las cenizas volantes -80+115 y 0,000238 m/s para las cenizas volantes -115+325.

3. Las mezclas carbón mineral-agua -10+16, -16+80 y -80+115 y cenizas volantes-agua -16+80, -80+115 y -115+325, presentaron un comportamiento no-newtoniano pseudoplástico, es decir, la viscosidad absoluta disminuyó a medida que aumentó la velocidad de deformación.

La ecuación constitutiva de las mezclas carbón mineral-agua y cenizas volantes-agua para cada tamaño de partícula puede ser expresada por los Modelos de Ellis y de Ostwald De Waele.

4. La viscosidad aparente de las mezclas carbón mineral-agua y cenizas volantes-agua disminuye con la disminución del tamaño de partículas. Así, para la fracción granular del carbón mineral, la viscosidad de la mezcla carbón-agua muestra valores entre 217.94 cp y 403,53 cp para el rango del esfuerzo entre 1,82 y 2,13 lbf/ft², mientras para la fracción pulverizada de carbón, la viscosidad de la mezcla presenta valores entre 231,26 cp y 67235 cp para el rango del esfuerzo entre 0,041 y 0,265 lbf/ft². Para la mezcla cenizas volantes-agua, la fracción granular de las cenizas volantes, los valores de viscosidad se ubican entre 708.98 cp y 56475 cp para el rango del es-

fuerzo entre 0,124 y 0,689 lbf/ft²; mientras para la fracción pulverizada de las cenizas volantes, los valores de viscosidad se ubican entre 86,31 cp y 1431,61 cp para el rango del esfuerzo entre 0,016 y 0,088 lbf/ft².

Referencias

- Adiga K., Pithapurwala Y., Shah D. and Moudgil B. (1988). Coal Slurries in mixed liquid fuels: rheology and ignition characteristics. *Fuel Processing Technology*, 18(1):59-69.
- Altaweel A.M., Fadaly O. and Kwak J. (1985). *The effects of coal properties on the rheology and stability of coal-water slurry*. Seven International Symposium of Coal Slurry Combustion and Technology, New Orleans, Louisiana, USA.
- Ekman A. and Ekman J. (1984). *Coal-water-methanol slurries: viscometric properties and the effects on coal type*. Sixth International Symposium on Coal Slurry Combustion and Technology, 25 June, Orlando, Florida, USA.
- Foust A., Wenzel L., Clump C., Maus L. and Andersen L. (1967). *Principles of Unit Operations*. John Wiley & Sons Inc., New York, Fifth Printing, Chapter 22, pág. 449-513.
- Funk J., Coal-water slurry and methods for its preparation (1981). US Patent 4282006.
- García C. y Sarmiento C. (1994). Cálculo de Velocidades Terminales para partículas de cualquier esfericidad. *Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia*, 17(3):175-183.
- García C., Rincon Y., Sarmiento C., Rincon C. y Mata F. (2003). Predicción de las ecuaciones constitutivas para suspensiones de carbón-agua, *Ciencia*, 2(1):77-86.
- Gilmartin B. (1981). The rheology of a three component system coal-water-fuel oil emulsions. PhD Dissertation, Adelphi University.
- Heaton H., Lippold J., Mc Hale E. and Skolnik E. (1987). *Process for controlling the viscosity and stability of a coal-water fuel slurry*, US Patent 4687490.
- Joves V. (2009). Caracterización Viscosa de Mezclas de Carbón Mineral-Agua y Cenizas Volantes-Agua mediante la fluidización en medio acuoso. Tesis de Maestría en Ingeniería Química, LUZ, Maracaibo, Venezuela, 241 páginas.
- Rakitsky W. and Prieto Mo (1985). *Method to minimize viscosity and improve stability of coal-water fuels*. US Patent 4810259.
- Woskoboenko F., Siemon S. and Creasy D. (1988). *Rheology of Victorian Brown Coal Slurries*, Chemeca 88: Australia's Bicentennial International Conference for the Process Industries, Australia.

Impacto del ambiente tropical en la durabilidad de las estructuras de concreto armado

*Oladis M. Troconis de Rincón y col.**

RESUMEN

Para demostrar el impacto que tienen los países tropicales en el comportamiento de las estructuras de concreto armado, se expondrán los resultados de más de cinco años del proyecto Iberoamericano: "Efecto del Ambiente sobre la Durabilidad de la Armadura" (DURACON). A tal efecto, se prepararon especímenes con y sin refuerzos (relación a/c 0,45 y 0,65), para las pruebas químicas, físico-mecánicas y electroquímicas, utilizando los materiales existentes en cada uno de los diez países participantes (Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, México, España, Uruguay, Portugal y Venezuela), exponiéndolos en 46 estaciones. Este proyecto correlaciona la influencia de los parámetros meteorológicos de ambientes urbanos y marinos sobre el comportamiento de las estructuras de concreto armado. Todos los resultados demuestran la alta agresividad de los ambientes tropicales, siendo Venezuela uno de los primeros, particularmente en zonas donde la temperatura anual promedio es mayor a 25°C. Esto indudablemente amerita mayores exigencias para la calidad del concreto en estos países.

PALABRAS CLAVE: Concreto, ambiente, corrosión, carbonatación, cloruros.

* La relación completa de los autores está en la página siguiente.

Oladis M. Troconis de Rincón (1), Miguel Sánchez (1), Valentina Millano (1), Rafael Fernández (1), Emilia Anzola de Partidas (2), Isabel Martínez (3), Nuria Rebolledo (3), Mirta Barboza (4), Juan C. Montenegro (5), Rosa Vera (6), Ana María Carvajal (7), Ruby Mejía de Gutiérrez (8), Jorge Maldonado (8), Carmen Guerrero (8), Erika Saborio-Leiva (9), Catalina Villalobos-González (9), José T. Pérez-Quiroz (10), Andrés Torres-Acosta (10), Pedro Castro-Borges (11), Eric I. Moreno (12), Tezozomoc Pérez-López (13), Facundo Almeraya-Calderón (14), Wilfrido Martínez-Molina (15), Miguel Martínez-Madrid (16), Manuela Salta (16), Ana Paula de Melo (16), Gerardo Rodríguez (17), Miguel Pedrón (17), Marité Derrégibus (18).

1. Centro de Estudios de Corrosión, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Venezuela, oladis1@yahoo.com, miguelcvc@yahoo.com.
 2. Facultad de Ingeniería, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Venezuela, eanzola@ucla.edu.ve
 3. Inst. Torroja, España, andrade@ietcc.csic.es, isabelms@ietcc.csic.es
 4. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, mbarbosa@eng.usf.edu
 5. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia, jcmontenegrob@hotmail.com
 6. Laboratorio de Corrosión, Instituto de Química Universidad Católica de Valparaíso, Chile, rvera@ucv.cl
 7. Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Santiago, Chile, acarvajg@puc.cl
 8. Departamento de Materiales de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Colombia, rudeguti@yahoo.com
 9. Instituto Costarricense de Electricidad, Costa Rica, esaborio@ice.go.cr
 10. Instituto Mexicano del Transporte, México, atorres@imt.mx
 11. CINVESTAV Unidad Mérida, Mérida, Yucatán, México, pcastro@mda.cinvestav.mx
 12. Universidad Autónoma de Yucatán. México, emoreno@uady.mx
 13. Universidad Autónoma de Campeche. México. tezperez@uacam.mx
 14. Centro de Investigación en Materiales Avanzados. México, facundo.almeraya@ci-mav.mx
 15. Grupo de Durabilidade de Materiais Inorgânicos, Departamento de Materiais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, msalta@lnec.pt, apmelo@lnec.pt
 16. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Materiales, wmmolina@zeus.umich.mx.
 17. Facultad de Ingeniería, Instituto de Estructuras y Transporte “Profesor Julio Ricaldoni” Universidad de La República, Uruguay, grodrig@fing.edu.uy
 18. Instituto de Ingeniería Química, Uruguay, deregibus@fing.edu.uy
-

Impact of the Tropical Environment on the Durability of Reinforced Concrete Structures

ABSTRACT

To demonstrate the impact of tropical countries on the behavior of reinforced concrete structures, results of more than five years of the Latin American project, "Effect of the Environment on the Durability of Reinforcement (DURACON)" will be presented. For this purpose, specimens were prepared with and without reinforcements (w/c ratio 0.45 and 0.65), for chemical, physical-mechanical and electrochemical testing, using existing materials in each of the ten participating countries (Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Mexico, Spain, Uruguay, Portugal and Venezuela), exposing them at 46 stations. This project correlates the influence of meteorological parameters of urban and marine environments on the behavior of reinforced concrete structures. All results show the high aggressiveness of tropical environments, with Venezuela as one of the first, particularly in areas where the average annual temperature is higher than 25°C. This undoubtedly merits greater demands for concrete quality in these countries.

KEY WORDS: Concrete, environment, corrosion, carbonation, chlorides.

Introducción

La corrosión de la armadura es una de las causas más habituales del deterioro de las estructuras de concreto armado pre y postensado, ocasionando elevados gastos de reparación y mantenimiento, ello supone preocupación para las administraciones de las obras públicas y para los particulares, cuyas viviendas sufren deterioros prematuros. La Asociación Internacional de Corrosión (NACE Internacional), en un estudio realizado en el 2002 (Koch *et al.*, 2002) reportó un costo anual directo por corrosión de 276 billones de dólares en Estados Unidos, de los cuales 50 billones corresponden a la construcción. Para el caso específico de los puentes, el departamento de transporte de este mismo país reporta que el 25% de los mismos (uno de cada cuatro), han sido clasificados como deficientes, sien-

do la corrosión de la armadura uno de los factores principales que contribuyen a ese deterioro. Así, la mitad de los 575.000 puentes de Estados Unidos de Norteamérica están afectados por corrosión debido principalmente al uso de sales de deshielo y al menos un 40% de éstos han sido considerados como deficientes a nivel estructural. También en el Reino Unido (Wallbank, 1989) los puentes de las grandes autopistas requieren atención, debido a las condiciones severas de corrosión por el uso de sales de deshielo. Se estima que los costos de reparación ascendieron a más de 620 millones de libras en los últimos 10 años.

Con relación a Iberoamérica, no se dispone de información económica definida. Es de esperar una menor incidencia que en países con climas fríos que usan sales en abundancia, aunque en climas tropicales se ha demostrado (Morcillo *et al.*, 1998) que la agresividad, para materiales metálicos, es mayor que en países que no lo son. En todo caso, el impacto económico de la corrosión es, en términos relativos, muy importante. Los resultados de la evaluación técnica en algunos países de Iberoamérica muestran que los daños por corrosión de la armadura se encuentran dentro de las tres primeras causas de deterioro de las estructuras de concreto (GEHO, 1992; Dal Molin, 1992; Magalhaes *et al.*, 1989; Aranha, 1994; Nince, 1996; Carmona y Marega, 1988).

En Venezuela, aun cuando el Centro de Estudios de Corrosión (CEC) de la Universidad del Zulia está haciendo esfuerzos para obtener los costos por corrosión en el país, esto no ha sido fácil y solamente se han podido identificar los gastos por corrosión en la Industria Eléctrica y de Alimentos (Fernández de Romero *et al.*, 2005). No obstante, en lo que a estructuras de concreto armado se refiere, se puede citar como ejemplo el caso del Puente sobre el Lago de Maracaibo (Troconis de Rincón *et al.*, 1997b), donde su construcción (1962) costó aproximadamente 77 millones de dólares y sólo el cambio de guayas (1980), dada su corrosión, costó la misma cantidad; esta cifra no alcanzaría para su reparación/rehabilitación integral, como así lo requiere; ya que reparar sólo una de las 135 pilas con criterios de Durabilidad cuesta aproximadamente medio millón de dólares.

Las investigaciones relacionadas con la corrosión de la armadura han sido amplias en los últimos veinte años, pero han estado especialmente enfocadas: 1) al estudio de las causas y mecanismos de deterioro, 2) al de-

sarrollo de técnicas electroquímicas de evaluación y control (tanto en laboratorio como *in-situ*) y 3) al empleo de métodos de protección. Más recientemente se planteó la necesidad de cuantificar la vida útil de estructuras afectadas por corrosión, por lo que en los últimos años se ha ido centrando el interés en la búsqueda de modelos que permitan predecir la vida útil de estructuras en servicio no deterioradas o estimar la futura en el caso de nuevas, influyendo desde la fase de proyecto.

Una de las causas que más habitualmente provoca la corrosión de la armadura es la penetración de los iones cloruro a través de la red de poros del concreto, cuando éste está situado en ambientes marinos. Los iones cloruro son capaces de inducir a la corrosión localizada de la armadura y por tanto llegar a producir la falla prematura e inesperada de la estructura.

El fenómeno de penetración de los cloruros puede ocurrir mediante dos mecanismos: por difusión en concreto saturado de agua o por fenómenos de absorción/desorción al producirse ciclos de humedad/secado. La difusión se produce cuando se dan diferencias de concentración entre dos puntos, por lo que resulta el mecanismo de penetración en estructuras completamente sumergidas o en contacto permanente con agua de mar o salobre. En cambio, en zonas aéreas o sometidas a la acción de las mareas o salpicaduras se producen ciclos de humedad/secado, que dan lugar a mecanismos de penetración de los cloruros más rápidos; ya que además de la difusión, aparecen fenómenos de absorción capilar o de niebla salina que conducen a difusividades más elevadas.

La porosidad del concreto es sin duda un factor crucial en todos estos fenómenos, ya que la penetración será tanto más rápida cuanto mayor sea la porosidad del recubrimiento. Así, bajas relaciones a/c y relativamente altos contenidos en cemento, son una cierta garantía de lentas difusividades de los cloruros. El tipo de cemento y su capacidad de retener o combinar cloruros es otro de los parámetros relevantes del proceso. La segunda ley de Fick es la más utilizada actualmente para hallar los coeficientes de difusión, D , en estructuras reales y en laboratorio, con el fin de hacer predicciones. Sin embargo, cada vez aparecen más datos que señalan las limitaciones que presenta esta ecuación y que se manifiesta especialmente en la escasa relación encontrada entre los resultados de laboratorio y los de estructuras reales (Mangat y Molloy, 1994; Troconis de Rincón *et al.*, 2002; Troconis de Rincón *et al.*, 2004).

La posible causa a estas limitaciones puede tener varias justificaciones:

- Que los ensayos de laboratorio no reflejen la realidad en cuanto a que el coeficiente de difusión no sea constante sino que disminuya con el tiempo.
- Que el límite de cloruros para despasivar la armadura sea mucho más elevado que el que consideren las normas (0,4% respecto al peso de cemento).
- La hipótesis de las condiciones de contorno que llevan a la solución a través de la función de error no sean las apropiadas y sea necesario utilizar otro tipo de condiciones. Como por ejemplo a) que contemplen el hecho de que la superficie del concreto tiene una composición distinta al concreto interior (efecto piel) haciendo significativamente diferente el D en ambas zonas, b) la variación de Cs con el tiempo, c) cómo varía el coeficiente D con la concentración de cloruros, d) cómo afecta el envejecimiento del concreto (hidratación), e) cómo varía con el tipo de cemento y d) las condiciones climáticas de entorno de la estructura.

En cuanto al límite de cloruros que puede producir la despasivación de la armadura se acepta como valor límite en el agua de amasado del concreto el 0,4% en peso de cemento (Troconis de Rincón, 1997^a). O una relación $Cl^-/OH^- = 0,6$ si se trata de cloruros que penetran desde el exterior. Sin embargo, algunos estudios recientes (Sandberg *et al.*, 1995; Glass y Bruenfeld, 1995; Alonso *et al.*, 2000; Castro, 2001; Sagües *et al.*, 2001) en mortero y concreto han cuestionado estos valores al encontrarse umbrales más altos que oscilan del 1 al 2% de cloruros en relación al peso de cemento y de 2 a 8 para la relación Cl^-/OH^- . De los escasos estudios realizados se desprende una gran dispersión incluso ante condiciones aparentemente idénticas. Se han identificado varios factores que pueden afectar a la no existencia de un valor único de umbral de cloruros para producir la despasivación de la armadura: 1) tipo y contenido en cemento, 2) estado superficial del acero, 3) porosidad del concreto, 4) temperatura, 5) potencial electroquímico que presenta la armadura, 6) velocidad de penetración de Cl^- (adicionados, penetración), 7) características y espesor de la capa pasivante y 8) condiciones meteorológicas reinantes en el área de entorno.

Algunos de estos factores son difícilmente controlables de forma aislada, lo que finalmente conduce a que el estudio deba llevarse a través de tratamientos estadísticos que permitan definir los rangos de variación según alguno de los factores anteriormente descritos.

Por otra parte, la carbonatación también es un problema que actualmente está afectando a muchas estructuras en nuestros países (Troconis de Rincón *et al.*, 2005), por esa diversidad de climas que poseemos, aunque en menor escala que el problema con los cloruros; lo cual se presenta en ambientes rurales y urbanos, teniendo dificultades similares para su predicción.

La carbonatación es un proceso en el cual el dióxido de carbono (CO_2), en la atmósfera, reacciona con las sustancias alcalinas presentes en la solución del poro en el concreto, y con las diferentes fases en la pasta de cemento hidratada (silicatos, aluminatos, y ferroaluminatos), resultando en reacciones de neutralización del material (Troconis de Rincón, 1997a). Cuando este fenómeno ocurre en el concreto que rodea a la armadura, el pH de la solución acuosa baja y las barras se corroen uniformemente formando productos de corrosión que eventualmente agrietan y delaminan el concreto que las recubre. Esta repentina disminución del pH, en el interior del concreto, da lugar a un frente carbonatado, el cual puede ser revelado con un indicador de pH, la fenoltaleína, la cual reacciona con el agua de poro en el concreto cambiando su color de púrpura ($\text{pH} > 9$), a incoloro ($\text{pH} \approx 9$ o menor).

La forma en que el frente de carbonatación avanza es de vital importancia para la predicción de la vida en servicio del concreto armado. En el diagrama de Tutti (1982) para estructuras no afectadas por la presencia de iones cloruro, el tiempo en que el frente de carbonatación alcanza el nivel de las barras puede considerarse como equivalente al período de iniciación de la corrosión. Se ha determinado (Troconis de Rincón *et al.*, 1997a), que esta velocidad es función, principalmente de: a) el contenido de humedad en el concreto, b) porosidad del concreto (relación agua/cemento), y c) la cantidad de material carbonatable.

Ahora bien, debido a que el mecanismo de carbonatación sigue un fenómeno difusional (similar a la penetración de cloruros), éste podría ser modelado utilizando la expresión de la raíz cuadrada del tiempo como sigue (Troconis de Rincón *et al.*, 1997a; Loo *et al.*, 1994).

$$X_{CO_2} = K_{CO_2} t^{1/2} \quad [1]$$

donde: X_{CO_2} = profundidad de carbonatación alcanzada en el tiempo t (mm); t = tiempo de exposición (años) y K_{CO_2} = coeficiente de carbonatación (mm/año^{1/2}).

El comportamiento general no siempre está de acuerdo con esta expresión. Así, Lawrence (1981), determinó que la carbonatación (al igual que la penetración de los iones cloruro), no sigue un proceso difusional puro, por lo cual no sigue la ecuación [1]. De acuerdo a investigaciones recientes, efectuadas por Houst (1994), la difusión a través de la pasta de cemento se puede entender mejor utilizando el modelo difusional de Knudsen, el cual implicaría la introducción de, al menos, dos niveles de porosidad del concreto.

Otro modelo es propuesto por Parrott (1994), quien consideró que la vida en servicio (t) se puede estimar de la siguiente manera:

$$t = t_i + t_p \quad [2]$$

donde: t_i = período de iniciación y t_p = período de propagación.

Para el período de iniciación:

$$d = ak^{0.4} t_i^n / c^{0.5} \quad (3)$$

donde: d = profundidad del frente de carbonatación (mm); a = constante difusional (muchos de los autores están de acuerdo en asignarle un valor de 0,64); k = permeabilidad al aire del recubrimiento de concreto sobre la barra (10^{-16} m²).

Esta permeabilidad depende del porcentaje de humedad relativa (HR) en la siguiente forma:

$$k = mk_{60} \quad (4)$$

donde:

$m = 1,6 - 0,00115HR - 0,0001475HR^2$; o $m = 1,0$ si $HR < 60\%$; (HR: humedad relativa en %).

k_{60} = permeabilidad del espécimen a 60% de HR.

N = exponencial, definido como: $n = 0,02536 + 0,01785HR - 0,0001623HR^2$.

C = Contenido de óxido de calcio de la matriz de cemento hidratada (kg/m^3) que puede reaccionar y retardar la velocidad de penetración del CO_2 . Esta variable puede depender de la composición del cemento, condiciones de exposición y diseño de mezcla.

Por lo tanto, para el período de propagación:

$$t_p = CD / CR \quad (5)$$

donde: CD = profundidad permitida de la fractura por corrosión (μm); CR = velocidad de corrosión ($\mu\text{m/año}$).

El principal inconveniente de la aplicación de este modelo es que requiere de un profundo conocimiento del proceso que envuelve el fenómeno de la carbonatación para poder tener una correcta interpretación.

La carbonatación del concreto, por sí misma, sin la presencia simultánea de agua, no puede promover la corrosión activa del acero de refuerzo (González y Andrade, 1980^a). Las velocidades de corrosión sin la presencia de agua son muy bajas, en el orden de $0,02 \mu\text{A/cm}^2$ si la humedad relativa externa es menor o igual a 50%. Para obtener altas velocidades de corrosión en concreto carbonatado (por ejemplo $0,5 \mu\text{A/cm}^2$), es necesaria una humedad relativa superior al 50% (Alonso y Andrade, 1987). Otros investigadores (Alonso y Andrade, 1993), concluyeron que un factor controlante en la velocidad de corrosión del acero de refuerzo en concreto carbonatado es la resistencia óhmica del concreto (la cual es sensible a la humedad relativa), mientras que esta es independiente del tipo de mortero y del contenido de adición. Adicionalmente, Dhir *et al.* (1992) encontraron bajas velocidades de corrosión ($i_{\text{corr}} \approx 0,03 \mu\text{A/cm}^2$) en concreto mantenido a 55% HR, corrosión severa ($i_{\text{corr}} \approx 1 \mu\text{A/cm}^2$) a 75% HR, y aún más severa a 95% HR ($i_{\text{corr}} \approx 3 \mu\text{A/cm}^2$).

Las primeras investigaciones realizadas (Tutti, 1982), utilizando concreto parcialmente carbonatado, y contaminado con cloruros, reveló que la concentración de este ión no es homogénea en la pasta de cemento, pero depende del progreso del frente de carbonatación; probablemente debido a que se dan reacciones que liberan los cloruros previamente enlazados. En subsiguientes investigaciones (De Ceukelaire y Van Nieuwenburg, 1993), se determinó que la concentración de cloruros en la solución de poros se incrementó, luego de la carbonatación del concreto. Este efecto, combinado con la reducción en el pH, causa problemas más severos

que cada efecto por separado. En la región Iberoamericana se han dado casos donde, además de la falla de la estructura debido a este mecanismo, se ha producido el fallecimiento de personas (Troconis de Rincón *et al.*, 2005).

Así, como se indicó, ambos problemas tienen una relación directa con los parámetros meteoroquímicos del ambiente al cual se encuentran expuestas las estructuras. En Iberoamérica (Morcillo *et al.*, 1989) se tiene una diversidad muy grande de climas/microclimas que permitirían definir más acertadamente los niveles de iones cloruro y la carbonatación que causa la corrosión de la armadura, dependiendo del ambiente de exposición, así como del efecto que pudiese tener el ambiente tropical en el desarrollo de estos fenómenos.

Desde 1990, un grupo de investigadores Iberoamericanos hemos venido estudiando el efecto del ambiente en la durabilidad de los materiales, no sólo metálicos (Morcillo *et al.*, 1989), sino en concreto armado (Troconis de Rincón *et al.*, 2006b) (Troconis de Rincón *et al.*, 2007). Así, desde 1993, el CYTED (Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo), con sede en España, aprobó (dentro del subprograma XV "Corrosión/Impacto Ambiental sobre Materiales"), una primera Red sobre Durabilidad de la Armadura (DURAR), coordinada por mi persona; donde un grupo de Iberoamericanos de 10 países diferentes (Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, España, México, Uruguay, Perú, Portugal y Venezuela), logramos a través del intercambio de ideas y experiencias tanto en investigación como en campo, generar un Manual de Técnicas y Procedimientos para evaluar, diagnosticar y reparar estructuras que presenten problemas de corrosión, con criterios de durabilidad (Troconis de Rincón, 1997a). Es el primer manual producido en el mundo con estas características; el cual ha permitido la transferencia del conocimiento adquirido a través de más de 30 cursos en diferentes partes del mundo. Actualmente se han generado 6 ediciones de este Manual en español (3500 libros) y 1 en inglés (500 libros).

Posteriormente en el año 2000, para continuar con los estudios sobre Durabilidad, se aprobó, a través del mismo CYTED, el proyecto de investigación DURACON "Influencia de la Acción del Medio Ambiente en la Durabilidad del Concreto Armado", en el cual participan los mismos países indicados arriba, pero ahora se incorporaron nuevos: Bolivia, Chile y Costa Rica, instalando 46 estaciones, de las cuales 21 se encuentran localiza-

das en ambientes urbanos y el resto en ambientes marinos. Así, el objetivo del presente trabajo es presentar y discutir los resultados obtenidos en este último proyecto, en la mayor parte de las estaciones de ensayo, después de 5 años de exposición. No se incluyen las estaciones de Argentina, dada la escasez de información de algunos parámetros aereoquímicos. Adicionalmente, se presentará una primera versión de las normativas sobre Durabilidad, generadas con base en toda esta experiencia adquirida por este grupo Iberoamericano en todos estos años de trabajo conjunto, y que actualmente se están intentando introducir en nuestros países.

1. Procedimiento experimental

1.1. Preparación y caracterización de las mezclas de concreto

Se prepararon dos tipos de mezclas, una con una relación agua/cemento (a/c), de 0,65 con un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y la otra con 0,45 cuyo contenido de cemento es de 400 kg/m^3 . Dado que cada país construyó sus propias probetas, se fijaron premisas para tratar de tener concretos similares, así: se utilizó cemento Portland I; agregado grueso triturado silíceo con un tamaño máximo nominal de 13 mm, esto en base a la distancia entre las barras de las probetas para los ensayos electroquímicos (figuras 1 y 2); arena cuarzosa; encofrados metálicos y curado según ASTM C192/C192M-95.

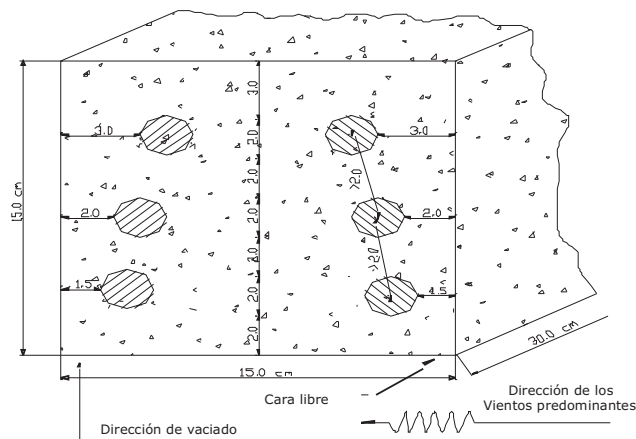


FIGURA 1. Diagrama esquemático de la configuración de las Probetas Armadas.

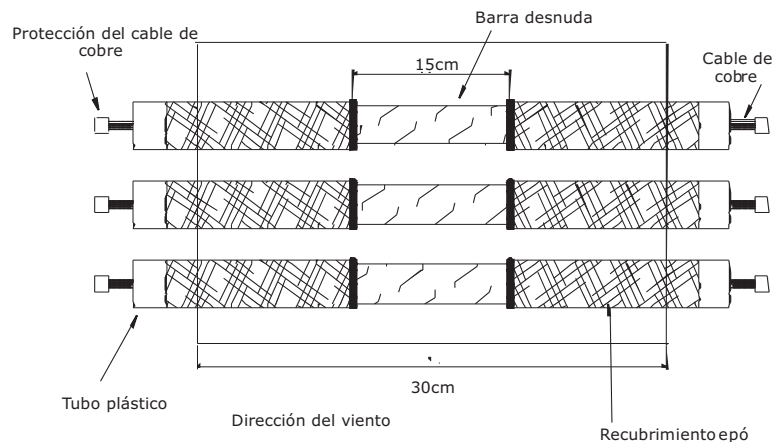


FIGURA 2. Diagrama donde se muestran las barras utilizadas para la evaluación electroquímica.

Para caracterizar físico-mecánicamente las mezclas de concreto, en cada uno de los países involucrados, se llevaron a cabo las siguientes pruebas: resistencia a la compresión a los 28 y 90 días (ASTM Standard C 39); resistencia indirecta a la tracción a los 28 días (ASTM Standard C 496); módulo de elasticidad a los 28 días (ASTM Standard C 469); resistividad (en especímenes saturados en agua/Manual DURAR (Troconis de Rincón *et al.*, 1997); absorción total y porosidad total (ASTM Standard C 642); absorción capilar (Fagerlund Technique, 1986); permeabilidad rápida a los cloruros (ASTM C 1202), todas ellas luego de 28 días de curado.

En cada sitio de exposición se colocaron seis prismas de concreto, $15 \times 15 \times 30$ cm, por cada mezcla (figura 3). Tres de ellos sin armaduras y el resto de los prismas se reforzaron con seis barras (9,5 mm en diámetro), las cuales se colocaron a diferentes profundidades (15, 20 y 30 mm), tres de ellas en la cara expuesta a los vientos preferenciales y las otras tres en la cara resguardada de los mismos (figura 1). Estas barras se utilizaron para correr las pruebas electroquímicas: potenciales de corrosión utilizando un electrodo de Cu/CuSO_4 saturado y velocidad de corrosión, mediante resistencia a la polarización. Los extremos de cada barra están recubiertos con una pintura epóxica, dejando la parte central de 15 cm de longitud descubierta, como se observa en la figura 2. Los prismas no reforzados se utilizaron para efectuar diferentes ensayos destructivos al concreto (perfiles del frente de carbonatación y de la concentración de iones cloruro).



FIGURA 3. Estación de ensayo típica en ambiente urbano (Maracaibo).

1.2. Evaluación del ambiente

La Evaluación de los parámetros climáticos y ambientales (humedad relativa (HR), tiempo de humectación (TDH/τ), velocidad y dirección del viento, precipitación pluvial, temperatura, concentración de cloruros, concentración de CO_2 y concentración de compuestos de azufre) se realizó según la metodología establecida por la norma ISO 9223 (1992), estimando así la agresividad ambiental en cada una de las estaciones de ensayo. Es importante destacar que actualmente no existen normativas que permitan identificar la agresividad del ambiente para las estructuras de concreto armado, por lo cual se utilizó, en primera instancia, la norma ISO para materiales metálicos.

1.3. Evaluación electroquímica

Para las medidas electroquímicas se utilizó el equipo GECORR 6 (Feliú *et al.*, 1993), que permite medir el potencial de corrosión (E_{corr} , referido a un electrodo de $Cu/CuSO_4$), la velocidad de corrosión de la armadura (i_{corr}) mediante la técnica de polarización lineal, la resistividad del concreto (ρ), la temperatura y la humedad ambiental a la cual se han expuesto las probetas. Este equipo permite compensar la resistividad del concreto y adicionalmente confina la corriente permitiendo así definir el área afectada y la velocidad de corrosión uniforme real. En el caso de corrosión localizada, se ha demostrado (González *et al.*, 1995b) que la velocidad de pene-

tración de las picaduras está en el orden de 10 veces el valor de la corrosión uniforme medida por la técnica de polarización lineal.

1.4. Evaluación química

La alteración química del concreto, debida a su exposición al medio, se determinó utilizando los prismas sin refuerzo, analizándolos anualmente o en tiempos menores, si cualquiera de las barras, en al menos dos prismas a la misma profundidad, se activaban. Esto con el fin de determinar el nivel de cloruros que activaban a las barras y/o cuando la carbonatación del concreto alcanzaba a las mismas. Un espécimen de 5 cm de espesor, de cada uno de los prismas no reforzados, se cortaba mediante una guillotina diseñada y construida para tal fin (Rodríguez *et al.*, 2002; Maldonado y González, 2004). Luego, la cara nueva de corte del prisma se protegía con una pintura epóxica. El frente de carbonatación se midió sobre la cara recién cortada del espécimen (15×15 cm), utilizando un indicador de pH, la fenolftaleína (Troconis de Rincón *et al.*, 1997a).

El análisis de la concentración de cloruros se llevó a cabo en un prisma de 15×3×5cm, extraído del centro del espécimen cortado. El mismo se corta en rebanadas de 0,5 cm de espesor, desde la cara expuesta hasta la resguardada, trituradas y llevadas hasta polvo para realizar la extracción de iones cloruros totales y de cloruros libres o solubles en agua (Troconis de Rincón *et al.*, 1997a).

2. Resultados y discusión

2.1. Caracterización físico-mecánica del concreto utilizado en cada país

Las tablas 1 y 2 muestran la caracterización físico-mecánica de los diferentes concretos preparados en cada país participante en el proyecto. En ellas se nota que aun cuando se utilizó el mismo tipo de cemento (Portland I) y el mismo tipo de agregado, las características finales del concreto fueron diferentes en cada país, lo cual puede afectar la calidad del mismo, tanto desde el punto de vista mecánico como de durabilidad (Troconis de Rincón *et al.*, 2006). El contenido de C₃A de los cementos utilizados fue, en general, similar (5-8%), excepto para Venezuela y España, los cuales contienen 10% y 0,4%, respectivamente (Troconis de Rincón *et al.*, 2007).

TABLA 1. Propiedades del concreto para las mezclas con a/c = 0,45

País	f_{c_k} (MPa)/ 28 días	m (s/m ²)	k (kg/m ² s ^{1/2})	ϵ (%)	Cont. de cemento (kg/m ³)
Bolivia	26,63	$3,21 \times 10^7$	0,0054	3,05	400
Chile	43,6	$2,50 \times 10^7$	0,0027	1,4	387
Colombia	52,3/62,0	$15,26/10,70 \times 10^7$	0,0060/0,0066	7,4/6,8	400
Costa Rica	39,1	$3,25 \times 10^7$	0,021	11,97	400
México	51,5	$3,48 \times 10^7$	0,0147	8,7	411
Portugal	63,9	-	0,0020	-	400
España	43,2	$10,5 \times 10^7$	0,0054	5,5	400
Uruguay	44,3	$3,3 \times 10^7$	0,0196	11,2	400
Venezuela	33,8	$8,68 \times 10^7$	0,0082	7,6	414

TABLA 2. Propiedades del concreto para las mezclas con a/c = 0,65

País	f_{c_k} (MPa)/ 28 días	m (s/m ²)	k (kg/m ² s ^{1/2})	ϵ (%)	Cont. de cemento (kg/m ³)
Bolivia	16,81	$2,12 \times 10^7$	0,0202	9,3	320
Chile	19,8	$2,25 \times 10^7$	0,0341	16,1	323
Colombia	28,0/36,1	$7,28/4,50 \times 10^7$	0,0122/0,0085	10,4/5,7	306/335
Costa Rica	20,1	$3,73 \times 10^7$	0,026	15,88	350
México	40,0	$3,60 \times 10^7$	0,0199	11,9	285
Portugal	35,4	-	0,0069	-	260
España	27,0	$6,1 \times 10^7$	0,0091	7,1	300
Uruguay	28,4	$3,2 \times 10^7$	0,0267	15,0	323
Venezuela	26,8	$3,71 \times 10^7$	0,0250	15,2	355

Si todas las mezclas de concreto tuviesen las mismas características físico-mecánicas, se esperaría que el concreto preparado en Venezuela proporcionara la mayor protección a las cabillas; debido a que, como es bien conocido, el aluminato tricálcico (C_3A), puede reaccionar con los iones cloruro para formar la sal de Friedel, reduciendo así la concentración de cloruros libres que son los que inducen a la corrosión de las cabillas. El mismo razonamiento lleva a esperar que el concreto preparado en España proveyera la menor protección a las barras. No obstante, el contenido de C_3A no es el único factor importante a considerar. Se espera que uno de los factores más importantes a considerar en la durabilidad del concreto es la porosidad y, específicamente, la porosidad capilar, la cual indica su capacidad para decrecer la penetración de agua y, por lo tanto, de los agentes agresivos. La tabla 1 muestra que para una relación a/c de 0,45 el concreto preparado en Venezuela es uno de los que tienen la más alta absorción capilar ($0,0082 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$), junto con Uruguay, México y Costa Rica, lo cual indica una mayor potencialidad de ingreso de los agentes agresivos. Esto mismo ocurre para el concreto con una relación a/c = 0,65 (tabla 2), donde el concreto preparado en Venezuela muestra una de las más altas absorciones capilares ($0,025 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$), en conjunto con Uruguay, Costa Rica y Chile, entre todas las mezclas preparadas. Nótese adicionalmente que las mezclas que tienen la mayor resistencia a la compresión no son necesariamente las de mejor calidad. Compárese por ejemplo Uruguay y España que tienen resistencias mecánicas similares, con el mismo contenido de cemento, y sin embargo el concreto de relación a/c = 0,45 (tabla 1), preparado en España es de mejor calidad ($k = 0,0054 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$), que el de Uruguay ($k = 0,0196 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$) e igual ocurre para a/c = 0,65. Todos estos resultados, para ambas relaciones a/c, ya indican la importancia de no diseñar sólo con base en solicitaciones mecánicas.

2.2. Caracterización del medio de exposición

El Standard 9223 de la ISO (1992) clasifica a la atmósfera de acuerdo con el TDH (tiempo de humectación) y la velocidad de deposición de contaminantes atmosféricos: compuestos de azufre (P) y salinidad (S). La figura 4 intenta mostrar la agresividad relativa esperada en los diferentes lugares de ensayo analizados.

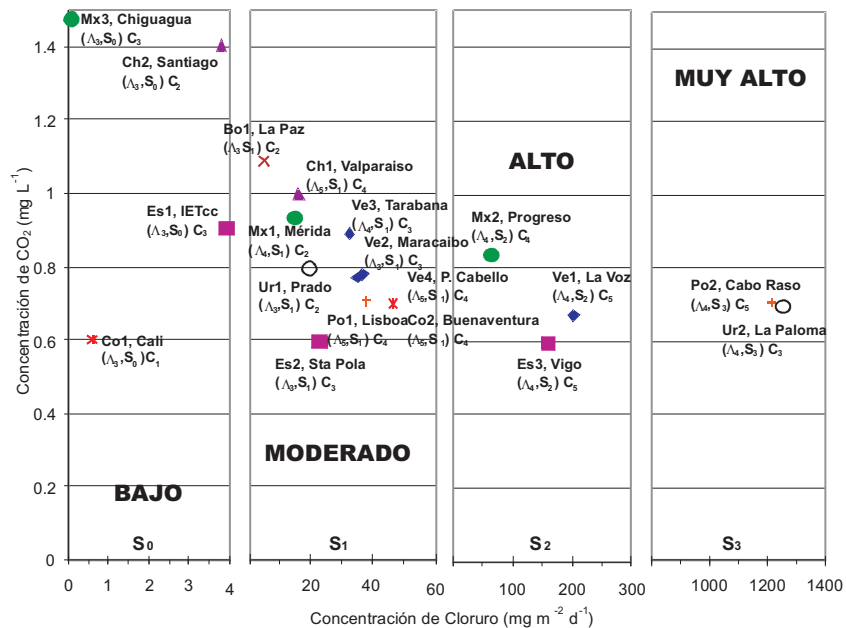


FIGURA 4. Corrosividad ambiental según ISO9223.

No obstante, considerando que es el dióxido de carbono y los iones cloruro los que afectan significativamente la corrosión de la armadura (ca-billas), se sustituyó en el eje Y el contenido de compuestos de azufre (como dióxido de azufre/ SO₂), por el contenido de CO₂; ya que el primero no afecta directamente la corrosión de la armadura. Esta figura muestra todos los sitios de ensayo que son analizados en este trabajo. Note el gran rango de ambientes que se tienen, desde moderado hasta severos, no sólo para los ambientes marinos, donde el contenido de iones cloruro en la atmósfera es uno de los factores más importantes a considerar, sino en los ambientes urbanos y rurales, donde es el contenido de CO₂ uno de los factores importantes en causar carbonatación del concreto y por lo tanto corrosión de la armadura de acero. Es importante destacar que hasta el momento no se han definido normativas para caracterizar el ambiente de exposición para las estructuras de concreto armado, por lo cual se está utilizando la norma ISO para exposición de materiales metálicos.

Esto es uno de los objetivos finales que tiene el proyecto DURACON, complementar la información sobre el particular, lo cual será presentado al final de esta discusión de resultados.

Para facilitar la discusión de los resultados se evaluarán, por separado, las estaciones situadas en ambientes marinos, de aquellas localizadas en los ambientes rurales y urbanos.

3. Ambientes marinos

3.1. Análisis de la potencialidad y probabilidad de corrosión en ambientes marinos

Basado en la caracterización de las propiedades del concreto y de la agresividad del medio (tablas 3 y 4), se efectuó una estimación preliminar de la potencialidad y probabilidad de corrosión de la armadura de acero en los primeros sitios de ensayo que fueron instalados, luego del primer año de exposición (Troconis de Rincón *et al.*, 2006); para luego, una vez las barras se activaran (evaluación electroquímica), poder definir si estas predicciones eran acertadas. A tal efecto, se escogieron los países de Chile, Colombia, España, Portugal y Venezuela que fueron los primeros que instalaron sus estaciones. Todo esto con el fin de establecer algunos criterios que permitiesen definir en el futuro los estándares de clasificación de agresividad de las atmósferas para las estructuras de concreto armado, hasta ahora inexistentes

Concreto con a/c = 0,45. Desde el punto de vista de resistencia a la compresión, el mejor concreto se preparó en Portugal (>60 MPa), el cual también tiene la más baja absorción capilar ($0,0020 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$). Este último parámetro indica la facilidad con la cual los agentes agresivos pudiesen ingresar al concreto. Así que el concreto preparado en Portugal sería el que tendría la mejor calidad, desde el punto de vista de durabilidad, y el de menor potencialidad para corroer a la armadura; si todos los concretos preparados en los diferentes países estuviesen expuestos al mismo medio. Como ya se indicó, uno de los concretos con la mayor potencialidad de corroer a la armadura sería el preparado en Venezuela el cual además de tener baja resistencia a la compresión, posee una alta absorción capilar ($0,0082 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$), y porosidad efectiva (7,6%); aun cuando el cemento utilizado en la preparación del concreto posee el mayor contenido de C₃A. No obstante, como se demostrará posteriormente este último parámetro no es más importante que la calidad del concreto en la durabilidad del mismo.

TABLA 3. Características del medio y del concreto ($a/c=0,45$) de los sitios marinos seleccionados para estimar la potencialidad que tienen estos medios de corroer al acero por la penetración de iones cloruro

País (Estación)	Portugal (Cabo Raso)	Venezuela (La Voz)	España (Vigo)	Colombia(1) (Buenaventura)	Colombia(1) (Buenaventura)	Chile (Valparaíso)
RH (%)	74,0	90,0	69,0	89,2	89,2	82,8
TDH Fracción $F(\tau)$	0,46	0,67	0,31	0,89	0,89	0,70
Ambiente (promedio anual)	17,0	29,35	15,8	25,9	25,9	15,3
Temperatura (°C)						
Cl ⁻ (mg/m ²)	1392	166,52	156,21	29,0	29,0	19,26
Precipitación (mm/año)	109	398	1267,6	6581	6581	500
$a/c=0,45$						
F_{ck} (MPa)/28 días	63,9	33,82	43,24	62,02	52,3	43,6
C_3A	8,39	10,72	0,40	5,73	5,45	6,6
ε (%)		7,22	5,28	7,40	7,40	13,4
m (s m ⁻²)		$3,71 \times 10^7$	$10,5 \times 10^7$	$15,26 \times 10^7$	$10,7 \times 10^7$	$2,50 \times 10^7$
k (kg m ⁻² s ^{-1/2})	0,0020	0,0082	0,0054	0,0060	0,0066	0,0027
Contenido de Cemento (kg/m ³)	400	414,3	100	400	400	387

TABLA 4. Características del medio y del concreto ($a/c=0,65$) de los sitios marinos seleccionados para estimar la potencialidad que tienen estos medios de corroer al acero por la penetración de iones cloruro

País (Estación)	Portugal (Cabo Raso)	Venezuela (La Voz)	España (Vigo)	Colombia(1) (Buenaventura)	Colombia(1) (Buenaventura)	Chile (Valparaíso)
RH(%)	74,0	90,0	69,0	89,2	89,2	82,8
TDH Fracción $F(\tau)$	0,46	0,67	0,31	0,89	0,89	0,70
Ambiente (promedio anual)						
Temperatura (°C)	17,0	29,35	15,9	25,9	25,9	15,3
Cl ⁻ (mg/m ²)	1392	166,52	156,21	29,0	29,0	19,26
Precipitación (mm/año)	109	398	1267,6	6581	6581	500
$a/c=0,65$						
F_{ck} (MPa)/28 días	35,40	26,80	27,0	36,10	28,01	19,80
C_3A	8,39	10,72	0,40	5,73	5,45	6,6
ε (%)		15,41	7,15	12,0	12,0	16,13
m (s m ⁻²)		$3,71 \times 10^7$	$6,1 \times 10^7$	$7,28 \times 10^7$	$4,5 \times 10^7$	$2,25 \times 10^7$
k (kg m ⁻² s ^{-1/2})	0,0069	0,025	0,0091	0,0122	0,0085	0,0341
Contenido de Cemento (kg/m ³)	260	355,4	300	335	306	323

Concreto con a/c = 0,65. De nuevo, el concreto preparado en Venezuela (tabla 2), es uno de los que tiene la mayor potencialidad de corroer al acero de refuerzo, dada su baja calidad (absorción capilar de $0,025 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$ y porosidad efectiva de 15,4%), en conjunto con aquellos preparados en Uruguay, Costa Rica y Chile, aun cuando no es el de más baja resistencia a la compresión. Por otra parte, el concreto preparado en Portugal muestra la mejor calidad, ya que aun con no tener la más alta resistencia a la compresión, posee la más baja absorción capilar.

Todos estos resultados demuestran, una vez más, que la calidad del concreto para un medio específico de exposición no se debe evaluar con su resistencia a la compresión, sino que se deben considerar otros parámetros; siendo la absorción capilar o porosidad efectiva uno de los más importantes.

3.2. Agresividad ambiental

Para poder determinar la probabilidad de corrosión de la armadura en los ambientes marinos, se debe analizar la potencialidad que tiene el medio de corroerla en conjunto con la potencialidad que tiene el concreto de permitir la entrada del agresivo (propiedades físicas). La tabla 3 presenta, de izquierda a derecha, el orden en el cual se estima la alta a baja potencialidad, respectivamente, que tiene la armadura de corroerse en los diferentes ambientes de exposición, basado en la escala de agresividad ambiental definida en el estándar ISO 9223 (1992). Este orden se obtuvo con base en el contenido de cloruros en el ambiente, debido a que los valores del TDH son similares en todos los sitios marinos presentados en este trabajo ($>\tau_3$). De los resultados mostrados en la tabla 3, es importante destacar que en Portugal, aun cuando el concreto con a/c = 0,45 es de buena calidad, la armadura tendría la mayor probabilidad de corrosión, dado que este ambiente tiene una muy alta concentración de iones cloruro ($1392 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

En los casos de La Voz y Vigo, con similar corrosividad ambiental, aun cuando el cemento de Venezuela tiene mayor contenido de C_3A (10% vs. 0,4% para España), éste tiene la mayor porosidad efectiva ($>7\%$), y absorción capilar ($0,082 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$), así como la más baja resistencia a la compresión. Por lo tanto, se esperaría que La Voz fuese el siguiente lugar con mayor probabilidad de iniciación de corrosión de la armadura, seguido

por Vigo. Otros efectos importantes de considerar para que la corrosión se inicie serían, principalmente, la temperatura promedio anual y la precipitación. Venezuela muestra la más alta temperatura promedio anual (29°C), la cual, en este ambiente con altas humedades relativas, incrementa la penetración de Cl^- en el concreto, dado el incremento en su coeficiente de difusión. Aun cuando este efecto también se observa en Colombia, el contenido de cloruros en la atmósfera de Buenaventura (29 mg/m^2 d), es bajo comparado con el determinado en la estación La Voz (156,52 mg/m^2 d). Además, en Buenaventura llueve casi todo el año, lo cual puede constantemente lavar los cloruros de la superficie del concreto, disminuyéndose su penetración en el mismo. Por lo tanto se estima que la probabilidad de que el acero se corroa, en orden decreciente, sería: Cabo Raso/Portugal > La Voz/Venezuela > Vigo/España > Buenaventura/Colombia > Valparaíso/Chile. El mismo comportamiento se esperaría para la mezcla $a/c = 0,65$ (tabla 4).

3.3. Evaluación electroquímica

En este caso, solo se mostrarán los resultados de aquellos países que inicialmente mostraron actividad de la armadura, luego de dos años de evaluación; esto con el fin de comparar los resultados con la predicción de la probabilidad de corrosión de la armadura, basada en la caracterización física del concreto y la agresividad del ambiente en los diferentes países. Las figuras 5 y 6 muestran los potenciales y la velocidad de corrosión del refuerzo, luego de los primeros tres años de exposición del concreto con $a/c = 0,65$ expuesto en Cabo Raso (Portugal) y La Voz (Venezuela). Nótese que para Cabo Raso las barras, a 15 mm de profundidad, comenzaron a corroerse luego de solamente 10 meses de exposición ($E_{\text{corr}} < -250$ mV vs. Cu/CuSO_4 e $i_{\text{corr}} > 0,1 \mu\text{A/cm}^2$) (Troconis de Rincón *et al.*, 1997a). La Voz es la segunda en agresividad, debido a que las barras a esa misma profundidad, en la cara expuesta a los vientos predominantes, se activaron luego de 22 meses de exposición. Estos resultados concuerdan con la predicción efectuada con base en el análisis que se efectuó de la potencialidad/probabilidad de corrosión de la armadura (tablas 3 y 4). Para la relación $a/c = 0,45$ el comportamiento relativo entre las dos estaciones fue similar.

Las figuras 5 y 6 muestran una excelente concordancia entre la evolución de los potenciales de corrosión y la velocidad de corrosión, lo cual

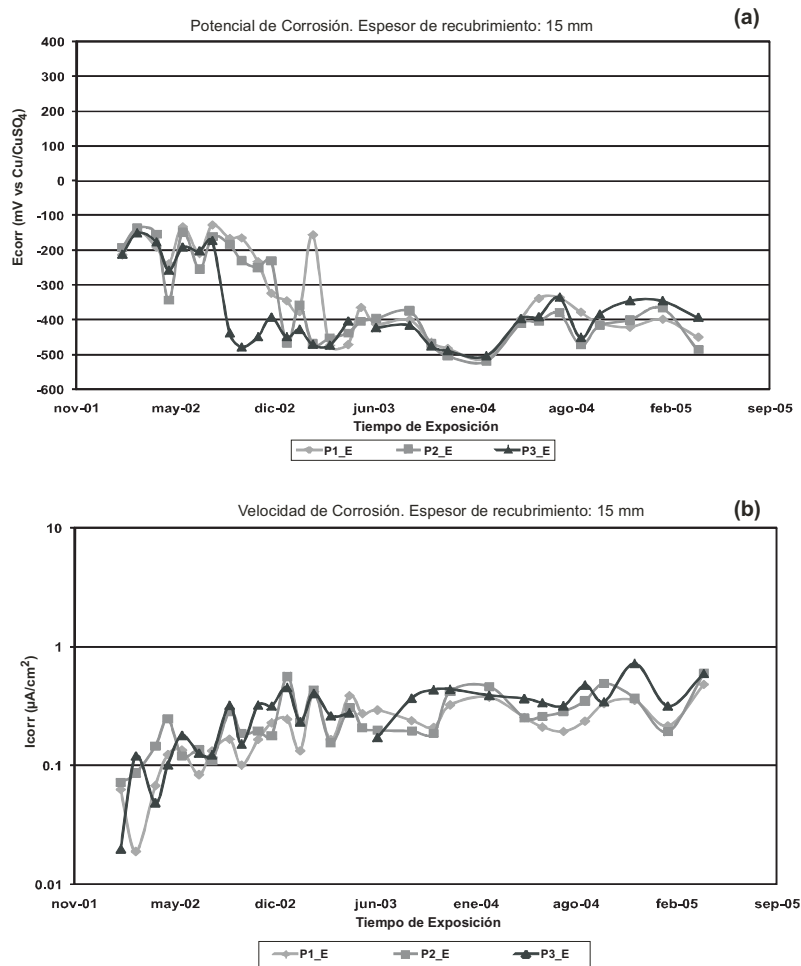


FIGURA 5. Medidas electroquímicas. Variación del potencial (a) y la velocidad de corrosión (b) de la armadura durante el tiempo de exposición en la atmósfera marina de Cabo Raso, Portugal.

permite una clara identificación del momento en el cual las barras se activan ($E_{\text{corr}} < -250 \text{ mV vs. Cu/CuSO}_4$ e $i_{\text{corr}} > 0,1 \mu\text{A/cm}^2$)¹⁵.

La tabla 5 presenta un resumen, en las estaciones de Cabo Raso y La Voz, del umbral de concentración de cloruro libre que despasivó a las barras y la profundidad a la cual ésta se encontraba así como el tiempo transcurrido para el concreto con $a/c = 0,65$. La alta concentración de cloruros libres en el concreto expuesto en Cabo Raso se debe a la alta contamina-

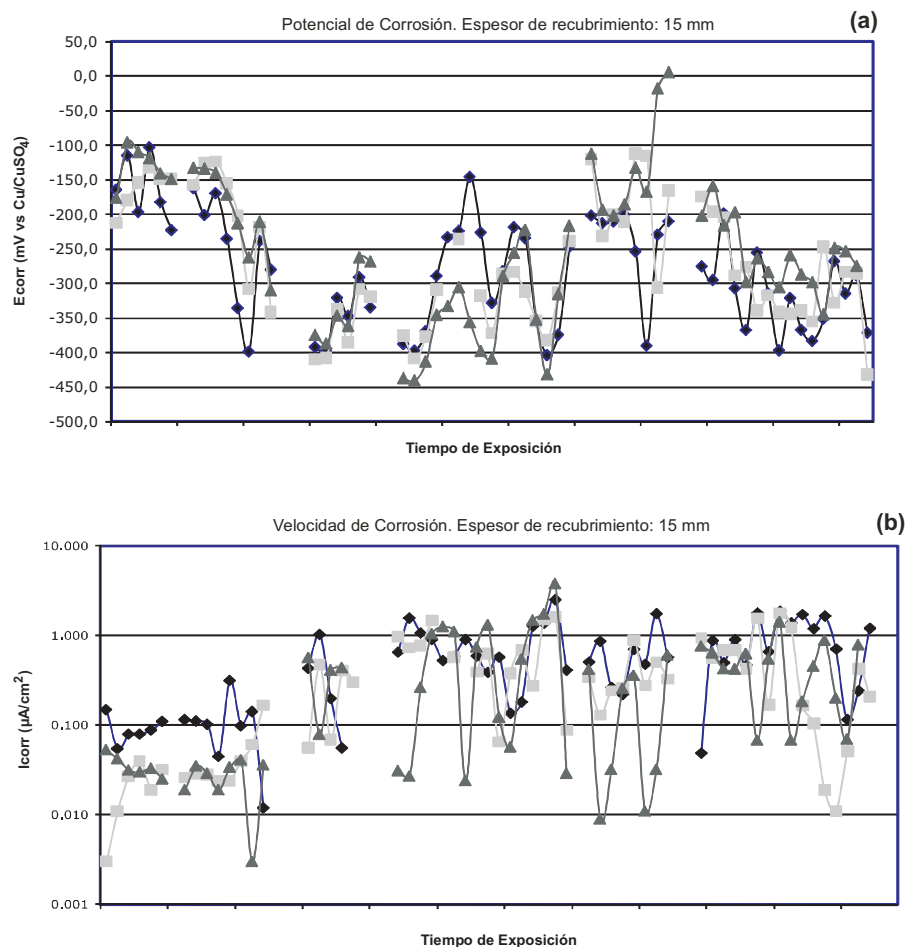


FIGURA 6. Medidas electroquímicas. Variación del potencial (a) y la velocidad de corrosión (b) de la armadura durante el tiempo de exposición en la atmósfera marina de La Voz, Venezuela.

ción por cloruros del medio ($1392 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), comparada con la estación La Voz ($166,52 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). No obstante, es importante notar que el umbral de concentración de cloruros que despasivó a las barras que se encontraban a 15 mm de profundidad fue más baja en La Voz (0,4% vs. 0,89% en Cabo Raso), y el coeficiente de difusión de cloruros fue tres veces más alto ($37,95 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ vs. $10,09 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ en Cabo Raso). Esto

TABLA 5. Resultados de la barra que se han despasivado luego de dos años de exposición a los ambientes marinos de La Voz / Venezuela y Cabo Raso / Portugal

Estación	Mezcla	D_{ap} (10^{-12}) (m^2/s)	Probeta	I_{corr}^* > $0,1 \mu A/cm^2$	E_{corr}^* $Cu/CuSO_4 < -250 mV$	Tiempo de inicio despasivación† (meses)	Cl^- Libre** (%)
La Voz	0,65 Cara Expuesta	37,95	1	15	15	22	0,42
			2	15	15	22	0,42
			3	15	15	22	0,42
	0,65 Cara No Expuesta	42,07	1	15	15	20	0,30
			2	-	-	-	0,48
			3	-	-	-	-
Cabo Raso	0,65 Cara Expuesta	10,09	1	15	15	10	0,89
			2	15	15	10	0,89
			3	15	15	10	0,89
	0,65 Cara No Expuesta	7,23	1	20	20	11	0,68
			2	20	20	11	0,89
			3	20	20	11	0,68
Cabo Raso	0,65 Cara No Expuesta	7,23	1	15	15	11	0,76
			2	15	15	13	0,57
			3	15	15	13	0,76
	0,65 Cara No Expuesta	7,23	1	20	20	-	-
			2	20	20	-	-
			3	20	20	-	-

*Barras despasivadas. † Tomado de la Figura 5, cuando E_{corr} es $\leq -250mV$ e i_{corr} es $\geq 0,1 \mu A/cm^2$. **Concentración de cloruros libres promedios que producen despasivación (La Voz / tomada al mismo tiempo que las barras se despasivaron; Cabo Raso / estimada utilizando la Ley de Fick).

puede deberse a la más baja calidad del concreto utilizado en La Voz ($k = 0,025 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$), su más alta temperatura en el ambiente ($29,35^\circ\text{C}$ vs. $17,0^\circ\text{C}$ en Cabo Raso), y el mayor tiempo de humectación (0,67 vs. 0,46 en Cabo Raso), lo cual incrementó la velocidad de difusión de los iones cloruro en el concreto.

En las barras localizadas a 20 mm de profundidad se necesitó menor concentración de iones cloruros para despasivar a las barras, en ambas estaciones (0,68% en Cabo Raso y 0,3% en La Voz). Esto puede deberse a la más alta humedad del concreto a esta profundidad, donde todavía existe una alta disponibilidad de oxígeno para corroer a la armadura. A menores profundidades la corrosión de la barra (la cual se presenta en forma de picaduras), es determinada por el contenido de humedad en el concreto, es decir, su resistividad, la cual depende del contenido de Cl^- . Por otra parte, el concreto permanece más húmedo a mayores profundidades, restringiendo así el acceso de oxígeno (control difusional), de tal manera que menor concentración de Cl^- podría inducir a la ruptura de la película pasiva. Aunque se necesita oxígeno para mantener la corrosión de las barras, éste también se requiere para mantener su pasividad.

Es importante indicar que aun cuando con estos resultados se pudo verificar que el análisis de potencialidad y probabilidad es adecuado para estimar la agresividad relativa de una atmósfera, es necesario esperar que la armadura se active en todas las estaciones para poder definir los umbrales de cloruros que causan la activación de la misma, dependiendo del ambiente que rodea al concreto armado; así como los modelos que más se adaptarían a las diferentes condiciones reinantes en Iberoamérica, con lo cual ya hemos venido trabajando en la región (Andrade *et al.*, 2000; Morón *et al.*, 2003; Morles y Rosillón, 2007; Araujo *et al.*, 2011; Mendoza-Rangel *et al.*, 2009).

4. Ambientes urbanos

4.1. Análisis de la potencialidad y probabilidad de corrosión en ambientes urbanos

La tabla 6 muestra los promedios anuales de los diferentes parámetros meteorológicos y químicos para los ambientes urbanos, en los diferentes países participantes. Esto con el fin de efectuar una estimación del

TABLA 6. Parámetros meteoroquímicos y profundidad de carbonatación al primer año de evaluación

País (Estación)	Ambiente (Promedio Anual)					Profundidad de Carbonatación	
	HR (%)	f TDH	Temp. (°C)	CO ₂ (mg/L)	Lluvia (mm/año)	CE (mm)	CR (mm)
Bolivia-La Paz*	49,46	0,20	12,08	1,09	505,30	12,49	11,39
Chile-Santiago	61,20	0,11	16,80	1,40	992,00	2,60	1,80
Colombia-Cali	69,30	0,10	25,20	0,60	1222,00	2,50	0,70
Costa Rica-San José	74,50	0,66	21,40	0,71	1796,00	4,00	4,00
México							
Mérida	72,80	0,44	25,10	0,90	896,00	4,60	3,40
Chihuahua	32,90	0,05	19,90	1,48	272,00	3,86	1,53
Oaxaca	66,20	ND	21,75	ND	2,02	1,80	2,17
Morelia	71,47	0,43	17,87	ND	1203,81	5,33	5,33
México City**	56,31	0,21	16,80	ND	1107,22	5,44	4,96
Querétaro	63,81	0,34	15,27	ND	836,79	6,88	6,11
Toluca**	76,87	0,56	6,43	ND	1605,84	5,80	5,47
Mexicali**	39,07	0,08	24,12	ND	49,18	9,74	9,99
Portugal-Lisboa	74,50	0,43	16,10	0,71	936,00	3,32	3,53
España-Madrid	62,80	0,20	14,60	0,91	362,00	1,17	1,17
Uruguay-Prado	72,70	ND	16,30	0,80	1771,70	2,67	1,67
Venezuela							
Maracaibo	72,50	0,28	28,60	0,78	347,00	6,43	6,23
Tarabana***	81,40	0,59	24,10	0,91	796,00	6,78	7,44

*Luego de 21 meses de exposición; **Después de 20 meses de exposición;

*** Después de 18 meses; ND: No Determinado.

tiempo de iniciación de la corrosión, con base en un análisis de potencialidad y probabilidad, mediante la caracterización físico-mecánica del concreto preparado y la agresividad del ambiente de exposición (tablas 1 y 2). Parte de estos resultados fueron discutidos en una publicación reciente (Troconis de Rincón, *et al.* 2006a). A continuación se presentan los resultados más importantes.

En los ambientes urbanos, la probabilidad de corrosión por carbonatación se analiza solo para el concreto con $a/c = 0,65$ (tabla 2), debido a que, como es bien conocido, para concreto de buena calidad ($a/c = 0,45$), existe una baja probabilidad de que el acero se corra por este mecanismo.

La tabla 6 presenta los valores anuales promedio de los parámetros meteoro-químicos que mayormente afectan la difusión del CO_2 en el concreto. De acuerdo con el contenido de CO_2 en las estaciones de los países que han determinado este parámetro, el más agresivo sería el ambiente en la estación localizada en Chihuahua, México; seguida muy de cerca por la estación situada en Santiago, Chile y La Paz, Bolivia. No obstante, en este caso, debe considerarse que el ingreso del CO_2 en el concreto requiere baja humedad relativa ($< 80\%$) (Troconis de Rincón *et al.*, 1997a). En todas las estaciones en estudio la HR es inferior al 80%, siendo la más propensa a causar rápida carbonatación del concreto (HR $\approx 60\%$) (Troconis de Rincón *et al.*, 1997a), la existente en la estación de Santiago.

Cuando las características del concreto (contenido de cemento, absorción capilar y porosidad efectiva/tabla 2), se evalúan en conjunto con los parámetros medio ambientales (contenido de CO_2 y humedad relativa/ tabla 6), se puede observar que la estación de Santiago en Chile es la que tiene la más alta probabilidad de corroer a la armadura ya que posee un medio potencialmente agresivo (1,4 mg/L de CO_2 con 61,2% de Humedad Relativa), y un concreto con una alta potencialidad para permitir el ingreso del CO_2 (16,1% de porosidad efectiva y absorción de agua = $0,0341 \text{ kg/m}^2 \text{ s}^{1/2}$). La estación ITCC, en España, es otra de las estaciones donde la HR (62,8%), es propicia para causar alta carbonatación del concreto, pero al contrario del concreto preparado en Chile, éste es de muy buena calidad (7,1% de porosidad efectiva y absorción de agua = $0,0091 \text{ kg/m}^2 \text{ s}^{1/2}$), lo cual dificulta la entrada del CO_2 . No obstante, una vez que el concreto se carbonate a nivel de la armadura, para que esta se active es necesario que la humedad relativa sea mayor al 80% (Troconis de Rincón *et al.*, 1997a).

Así, la fracción del tiempo de humectación ($f(\tau)$), la cual es el porcentaje de tiempo, durante el año, en el cual la temperatura es $> 0^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa $> 80\%$ RH (condensa agua sobre una superficie), puede ser utilizada como un importante parámetro que indique la factibilidad de corrosión inducida por la carbonatación del concreto. En Santiago, este parámetro es muy bajo (11%), lo cual indicaría que, aun cuando es el concreto más fácilmente carbonatado, el medio no tiene la suficiente humedad para inicialmente inducir a la corrosión de la armadura. Por otra parte, la estación Tarabana en Venezuela es la que posee la mayor fracción del tiempo de humectación, seguida por las estaciones de Mérida, México y de Lisboa en Portugal. Pero si el concreto se encuentra muy húmedo será difícil para el CO_2 seguir difundiendo dentro del mismo, ya que al precipitarse los carbonatos, éstos taponan los poros. Cuando las propiedades del concreto (porosidad efectiva, tabla 2), se toman en consideración en conjunto con el medio (T, precipitación, HR y TDH, tabla 6), se espera que el concreto expuesto en la estación de Maracaibo, Venezuela sea el que tiene la mayor probabilidad de corroer a la armadura, una vez que el frente de carbonatación haya llegado a ella.

4.2. Evaluación de la carbonatación en el concreto

Para analizar los resultados de la profundidad de carbonatación en el concreto, se analizarán por separado aquellas situadas en ambientes tropicales de las no tropicales. Los países tropicales son aquellos que se encuentran localizados dentro de la región llamada el trópico, el cual es la zona comprendida entre el Trópico de Cáncer, el paralelo de latitud a $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ Norte, y el trópico de Capricornio, el paralelo de latitud a $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ Sur. En todas partes del trópico, éste es golpeado por los rayos perpendiculares del sol al mediodía en un mínimo de un día al año.

En el centro mismo de los trópicos se encuentra el ecuador, un gran círculo que se imagina va alrededor de la Tierra en un punto equidistante de los polos norte y sur. Es creencia popular el asociar a los países tropicales con un clima cálido y húmedo y llenos de palmeras, pero en realidad, una gran parte del mundo se encuentra dentro de la región del trópico. En el hemisferio occidental, los países tropicales incluyen el sur de México, toda Centroamérica, todas las islas del Caribe desde el sur de Nassau en las Bahamas, y la mitad superior de América del Sur, como Colombia, Ecua-

dor, Perú, Bolivia, Venezuela, Guyana, Surinam, Guayana Francesa, así como las porciones del norte de Chile, Argentina, Paraguay y Brasil. No existen países tropicales en Europa. De todas las estaciones del proyecto DURACON, las de Bolivia, Colombia, Costa Rica, sureste de México y Venezuela son tropicales. Portugal, España, Chile, Argentina y Uruguay no son tropicales. No todos los países tropicales tienen el mismo clima, lo cual depende de su ubicación sobre el nivel del mar. Algunos de ellos tienen un rango limitado en cambios de temperatura con menos cambios climáticos severos durante el año que los encontrados en otras zonas. Normalmente se observan solo dos estaciones, húmeda y seca, a través de todo el año.

Las figuras 7 y 8 muestran el comportamiento de la profundidad de carbonatación (data de solamente la cara expuesta a los vientos predominantes), vs. $t^{0,5}$, para los concretos expuestos en los países tropicales y no tropicales, respectivamente. Nótese el efecto del clima tropical sobre la profundidad de carbonatación, la cual, en general, es alta en los países tropicales en el primer año de exposición. Esto puede deberse al efecto de las altas temperaturas, siendo la estación situada en Maracaibo, Venezuela, la que muestra la más alta temperatura y por lo tanto la más alta profundidad de carbonatación (tabla 6). Las altas temperaturas pueden reducir la humedad en el interior del concreto y favorecer la entrada de CO_2 ; pero al evaluar la estación en Mérida (México), ésta debería ser una con el concreto más carbonatado, de todas las estaciones Mejjicanas. No obstante, esto

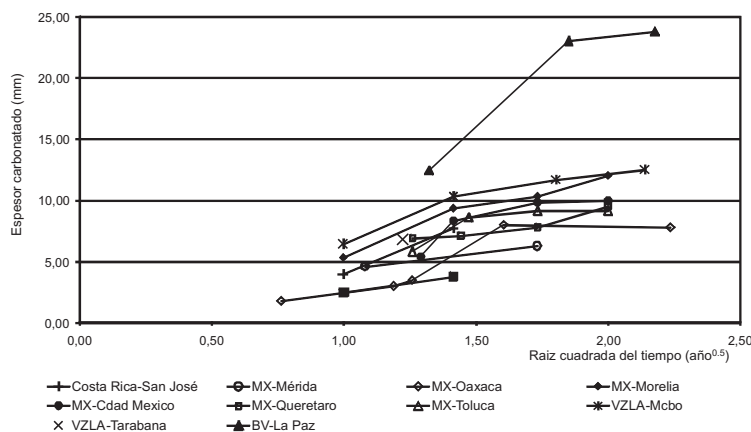


FIGURA 7. Países tropicales. Profundidad de carbonatación a diferentes tiempos de exposición. Cara expuesta, $a/c = 0,65$.

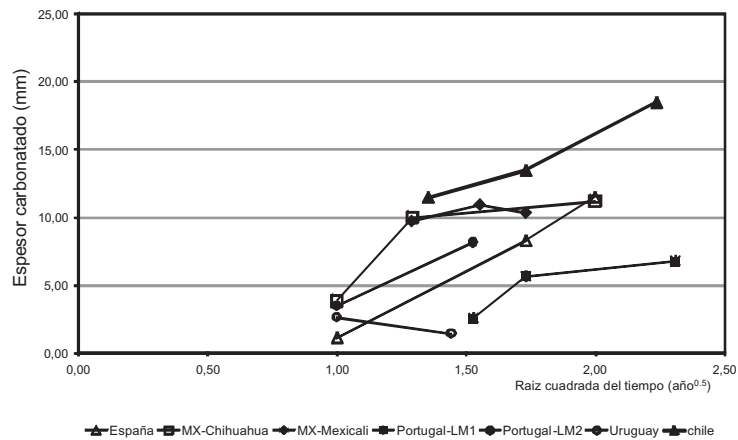


FIGURA 8. Países no-tropicales. Profundidad de carbonatación a diferentes tiempos de exposición. Cara Expuesta, $a/c = 0,65$.

no es el caso (figura 6), lo cual pareciera indicar que la temperatura ambiental debería ser superior a 25°C para causar un efecto similar al observado en Maracaibo. Esto ha sido reportado por otros investigadores (Pascual y Corvo, 1980; Veleva y Alpuches-Aviles, 2002; Corvo *et al.*, 2008) quienes han encontrado un decrecimiento en la capa de electrolito, sobre una superficie metálica, a humedades relativas mayores a 80% cuando la temperatura se encuentra por encima de 25°C.

En otras palabras, el TDH es más bajo que el indicado por el estándar 9223 de la ISO. Por lo tanto, aun con altas humedades relativas, si las temperaturas son superiores a 25°C, el concreto podría estar lo suficientemente seco como para facilitar la entrada del CO₂, pero lo suficientemente húmedo como para permitir la carbonatación del mismo. El efecto de la temperatura se observa también en otra de las estaciones urbanas en Venezuela (Tarabana), la cual tiene una humedad relativa promedio similar pero temperatura más baja, siendo por lo tanto la profundidad de carbonatación más baja que en Maracaibo. Tarabana tiene mayor precipitación anual que Maracaibo, lo cual es otro factor que necesita ser tomado en consideración.

En la estación La Paz, en Bolivia, la velocidad de carbonatación es muy alta (figura 7), en los primeros tres años, lo cual se esperaba dada la baja calidad del concreto, la baja humedad relativa del ambiente y el alto

contenido de CO₂ en el mismo. No obstante, luego de este tiempo sigue un comportamiento similar al de la estación en Maracaibo.

En el caso de las estaciones localizadas en ambientes con temperaturas inferiores a 25°C, pareciera que la humedad relativa es uno de los parámetros más importantes a considerar para la más rápida carbonatación del concreto (figuras 9 y 10), como fue recientemente demostrado con las estaciones Mejicanas (Torres-Acosta *et al.*, 2008). Otro importante efecto que las figuras 7 y 8 muestran es que la pendiente de las líneas de tendencia en los dos primeros años de exposición era, en general, similar para las estaciones localizadas en los países tropicales (figura 7), lo cual no ocurre para las estaciones localizadas fuera del trópico (figura 8). Esto puede deberse a que las condiciones ambientales del trópico son menos cambiantes en el tiempo, distinguiéndose sólo dos estaciones: húmeda y seca.

Existen algunas excepciones al comportamiento explicado arriba: 1) Mexicali, la cual se encuentra localizada en un ambiente semi-árido (49 mm/a de precipitación), presenta una muy alta profundidad de carbonatación durante el primer año de exposición, aunque luego la velocidad de carbonatación es muy baja. Esto podría deberse a que esta estación se encuentra muy cerca de la estación más grande de energía térmica en esta ciudad; 2) Cali, en Colombia, una atmósfera tropical, presenta una profundidad de carbonatación muy baja, la cual se debe a la muy alta precipitación en la zona; 3) la estación situada en Ciudad México, la cual se espe-

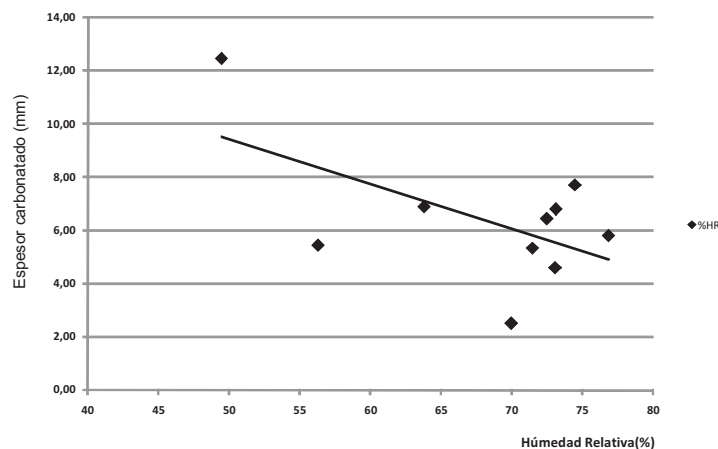


FIGURA 9. Países tropicales. Relación entre la profundidad de carbonatación, al primer año de exposición, y la humedad relativa promedio anual.

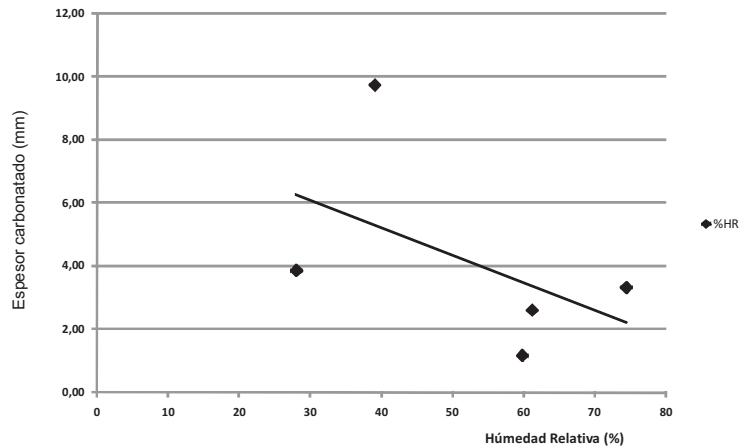


FIGURA 10. Países no-tropicales. Relación entre la profundidad de carbonatación, al primer año de exposición, y la humedad relativa promedio anual.

raba tuviese la más alta profundidad de carbonatación, debido a que es la tercera ciudad con mayor población del mundo y con un alto nivel de industrialización y contaminación. Sin embargo, la profundidad de carbonatación fue menor que en otras ciudades con ambientes similares. Esto podría explicarse por la ubicación de esta estación en la Universidad Autónoma de México, la cual se encuentra en una zona llena de bosques y lagos, cerca de las montañas que rodean la ciudad que impiden la contaminación de esta zona; 4) La Paz, en Bolivia, donde la carbonatación es muy alta en los primeros años pero luego la velocidad decrece y se hace similar al resto de los países tropicales, lo cual puede deberse a que esta estación se encuentra ubicada a 3.640 m sobre el nivel del mar (la mayor altura de las estaciones evaluadas), donde la incidencia de la radiación solar es muy alta y la presión atmosférica muy baja (2/3 de la que existe al nivel del mar); parámetros éstos que también tienen su influencia sobre la penetración del CO₂ en el concreto y que hasta el momento no se ha evaluado su efecto.

La figura 7 muestra la profundidad de carbonatación en la estación de Maracaibo (Venezuela), uno de los ambientes tropicales más agresivos. Esta muestra que la velocidad de carbonatación (pendientes de las curvas), cambia y es más baja, luego de los dos primeros años de exposición para mantenerse constante hasta ahora. En un estudio reciente efectuado con las estaciones venezolanas (Morles, I., Rosillón D., 2007), diferentes mo-

delos de carbonatación (Tutti, 1982; CEB, 1993; Helene, 1981; Technical Committee CEN/TC 104, 2000), fueron analizados encontrándose que esta data seguía un modelo similar al descrito por el CEB (1993):

$$e = k_{CO_2} \left(\frac{t_o}{t} \right)^n \sqrt{t} \quad (6)$$

donde: e = profundidad de carbonatación y t_o = tiempo de curado.

Con n (factor de edad) diferente de 0,4 (tipo de exposición: exterior no-protegida) (CEB, 1993). En este caso particular, se demostró que $n = 0,27$ para la cara expuesta a los vientos preferenciales y 0,30 para la resguardada (figura 11). En esta figura se nota perfectamente el efecto de un concreto de buena calidad en la carbonatación del mismo. Donde para una relación a/c de 0,45, no sólo la profundidad de carbonatación es menor que a a/c 0,65, sino que la velocidad de carbonatación (pendiente de la curva), es más baja; lo cual era de esperarse dada la menor porosidad del primero.

No todas las estaciones seguían el comportamiento observado en Maracaibo. Donde en las estaciones ubicadas en Querétaro y Oaxaca, México, la velocidad de carbonatación sigue incrementándose con el

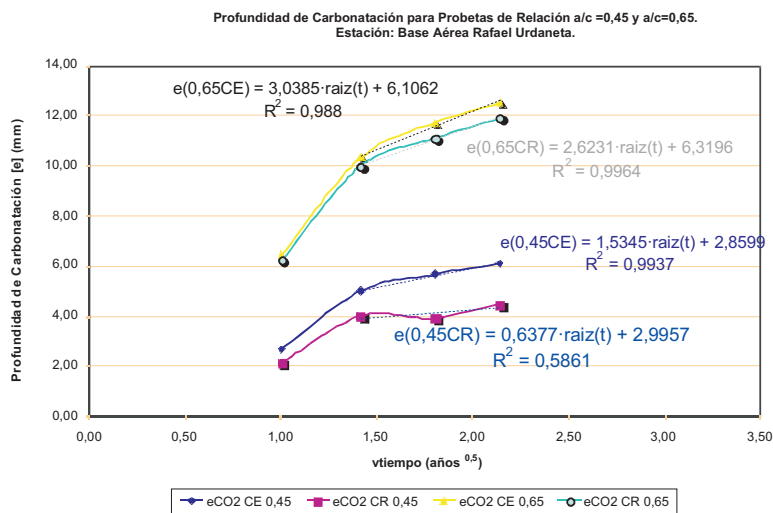


FIGURA 11. Variación de la profundidad de carbonatación en el concreto en la estación de Maracaibo, Venezuela. CE: cara expuesta y CR: cara resguardada.

tiempo de exposición (figura 7). No obstante, estos sitios se encuentran ubicados en zonas montañosas semi-áridas donde no solamente la altura sobre el nivel del mar debe considerarse sino también la alta radiación solar. Por lo tanto, hasta el momento, no existen modelos que predigan el comportamiento en ambientes de exposición tan diferentes, debido a los muchos factores involucrados y sigue siendo la ley de la raíz cuadrada del tiempo la más utilizada para estimar el tiempo al cual el frente de carbonatación puede llegar a la armadura, no así la activación de la misma. Sobre esto último, el análisis de probabilidad/potencialidad desarrollado en este trabajo ha resultado ser muy valioso para predecir el comportamiento del concreto armado en ambientes específicos de exposición.

4.3. Evaluación electroquímica

En este trabajo solo se presentarán los resultados de las estaciones ubicadas en Maracaibo, Venezuela y Santiago en Chile para comparar los resultados con la predicción efectuada, con base en el análisis de probabilidad y potencialidad que tiene el ambiente y el concreto preparado de corroer a la armadura. Es importante recordar que según este análisis, sería Santiago una de las estaciones donde la profundidad de carbonatación llegaría inicialmente a nivel de las barras ubicadas a 15 mm de profundidad, pero no serían las que primero se activarían; lo cual ocurriría en la estación de Maracaibo, una vez que la carbonatación llegase a nivel de las barras, dado el ambiente de exposición (promedios anuales de HR > 80% y T > 25°C). Las figuras 12 y 13 muestran la evaluación electroquímica, luego de

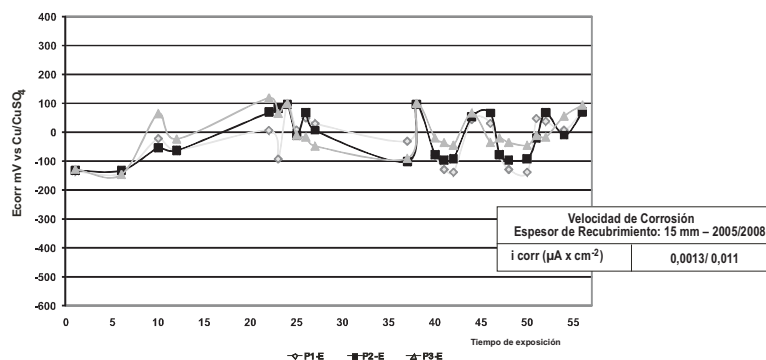


FIGURA 12. Medidas Electroquímicas. Variación del potencial y la velocidad de corrosión de la armadura durante el tiempo de exposición en la estación de Santiago en Chile.

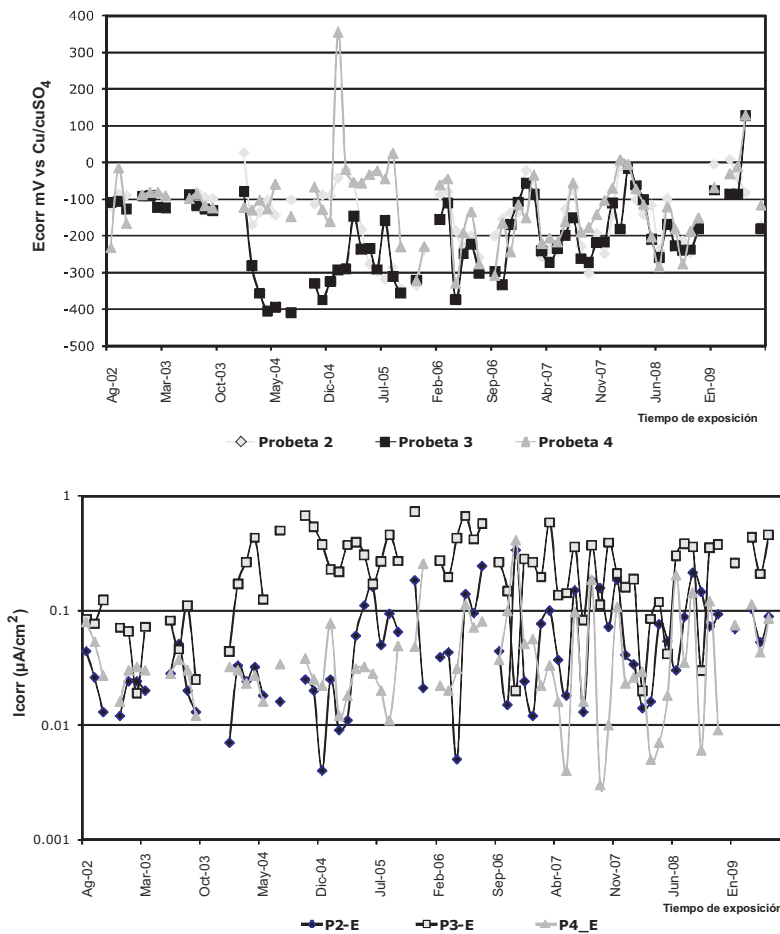


FIGURA 13. Medidas Electroquímicas. Variación del potencial de corrosión y la velocidad de corrosión de la armadura durante el tiempo de exposición en la estación de BARU-Venezuela.

más de dos años de exposición en las estaciones de Maracaibo y Santiago, donde se observa que solamente en Maracaibo, las barras ubicadas a 15 mm de profundidad parecieran estar activas ($E_{corr} < -200$ mV vs. Cu/CuSO₄ e $i_{corr} > 0,1 \mu A/cm^2$) (Troconis de Rincón *et al.*, 1997a), mientras que en Santiago, todavía se encuentran pasivas. La Paz, en Bolivia, muestra el mismo comportamiento que en Santiago, de acuerdo al análisis de probabilidad de corrosión de la armadura efectuado. Los resultados mostrados hasta el momento se encuentran en parcial acuerdo con la pre-

dicción efectuada. Esto se esperaba ya que la predicción se hizo con base en la agresividad del ambiente durante el primer año de exposición y esta puede cambiar de un año a otro.

Todos los resultados mostrados hasta el momento, tanto en ambientes marinos como urbanos, demuestran la alta agresividad que tiene el ambiente tropical y particularmente el de Venezuela en propiciar la corrosión de la armadura en las estructuras de concreto armado. Esto indica que en estos países se deben generar normativas de durabilidad aclimatadas a estas condiciones muy particulares. A tal efecto, este grupo de investigadores iberoamericanos hemos generado un primer borrador, basado en toda la experiencia adquirida no sólo a través de este proyecto sino también con la Red DURAR (Troconis de Rincón *et al.*, 1997a), con cuyos resultados se ha venido adquiriendo una experiencia muy enriquecedora al evaluar y diagnosticar problemas de corrosión en diferentes estructuras importantes de nuestros países (Troconis de Rincón *et al.*, 1991a; Troconis de Rincón *et al.*, 1991b; Troconis de Rincón *et al.*, 1996; Castro-Borges, 2002; Troconis de Rincón *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2005; Troconis de Rincón *et al.*, 2006a; Sánchez *et al.*, 2007; EHE, 2008); partiendo de prácticas recomendadas en países como Estados Unidos, España, Portugal, Colombia y México. A diferencia de la normativa española (EHE, 2008), aquí se utiliza la misma nomenclatura de las Normas ISO 9223/9225 sobre la clasificación de la agresividad del ambiente y se mantiene entre paréntesis las especificaciones dadas en España.

5. Normativa de durabilidad propuesta en Iberoamérica¹

Es importante resaltar que el interés principal es que esta normativa sea utilizada por los ingenieros que tienen a su cargo el diseño y construcción de obras en todos nuestros países. Por esa razón esta primera versión

¹ Esta normativa debe ser parte de la normativa general del Concreto Estructural en el país, ya que existen algunos conceptos que deben clarificarse, desde el punto de vista estructural, pero que se encuentran fuera del alcance de este documento; el cual solo desea resaltar la importancia de no seguir diseñando estructuras de concreto armado por los medios tradicionales (solicitaciones mecánicas), sin tomar en consideración el ambiente específico de exposición.

propone procedimientos sencillos para poder verificar que el concreto que se prepare sea adecuado al ambiente de exposición al cual iría a estar expuesto, para que al momento de controlar la obra se evalúen no sólo las propiedades físicas, que sólo informan sobre la resistencia mecánica del concreto, sino de su calidad desde el punto de vista de resistencia al ambiente de exposición, que serían las que permitirían la durabilidad adecuada de la misma. A continuación la normativa, tal cual fue propuesta:

5.1. Durabilidad del concreto

La durabilidad del concreto es la capacidad que éste tiene de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas, químicas y electroquímicas, protegiendo adecuadamente al acero de refuerzo y demás elementos metálicos embebidos en él, durante la vida de servicio de la estructura (EHE, 2008).

5.1.1. Alcance

En este capítulo se establecen los requisitos que debe tener un concreto para alcanzar DURABILIDAD, de acuerdo al ambiente de exposición. Adicionalmente se presentan los parámetros mínimos que deben controlarse durante la construcción de la obra para garantizar que la misma alcance el tiempo de vida útil pre-establecido, de acuerdo al ambiente de exposición.

5.1.2. Acciones del medio

El tipo de ambiente al que está sometido un elemento estructural viene definido por el conjunto de condiciones físicas, químicas y electroquímicas a las que está expuesto, y que puede llegar a provocar su degradación y/o corrosión del refuerzo, como consecuencia de efectos diferentes a los de las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

La tabla 7 muestra diferentes clases de exposición relacionadas directamente con la corrosión del refuerzo y con la degradación del concreto, respectivamente (EHE, 2008).

En el caso de estructuras sometidas a ataque químico, la tabla 8 muestra los niveles de agresividad de los diferentes contaminantes que deben considerarse en este tipo de efecto (EHE, 2008).

TABLA 7. Clases de exposición relacionadas con las condiciones ambientales

Clase	Clase general de exposición			Descripción
	Subclase	Tipo de proceso	Designación	
No agresiva	Seco	Ninguno	C0 (equivalente a I y XC0 y parte XC1)	Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones.
			C1 (equivalente a II y XC4)	Elementos de hormigón en masa.
	Humedad media a alta y protegidos de la lluvia			Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>70%/promedio anual) o a condensaciones frecuentes. Hormigones en el exterior, protegidos de la lluvia en zonas de HR media anual superior al 70%
Rural/ Urbana	Humedad media y expuesto a la lluvia	Corrosión por carbonatación	C2 (equivalente a IIb y XC3)	Exteriores sometidos a la acción del ambiente (alta temperatura y agua de la lluvia), en zonas con HR media anual inferior al 70%
			C3 (equivalente a IIc y XC2y XC4)	Exteriores sometidos a la acción del ambiente (alta temperatura y agua de la lluvia), en zonas con HR media anual superior al 70%
	Sumergida			Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajar.
Marina	En zonas de mareas	Corrosión por cloruros	M1 (equivalente a IIIb y XS2)	Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de mareas
			M3 (equivalente a IIIc y XS3)	

TABLA 7. Continuación

Clase general de exposición		Tipo de proceso	Designación	Descripción
Clase	Subclase			
Marina	Zonas aéreas con distancias de 5/500m a la línea de costa		M4 (equivalente a IIIab y XS1)	Elementos exteriores de estructuras en las proximidades de la línea de costa (de 5 a 500 m.)
	Zonas aéreas con distancias de 0/5m	Corrosión por cloruros	M5 (equivalente a IIIaa y XS1)	Elementos de estructuras marinas por encima del nivel de pleamar (salpique) a menos de 5m de la superficie del agua.
Con cloruros de origen diferente del medio marino	Zonas húmedas, raramente secas		Cl4 (equivalente a IVa y XD1 y X D2)	Piscinas y otras estructuras expuestas a escurrimientos directos de aguas salobres
	Zonas sometidas a ciclos de humedad y secado		Cl5 (equivalente a IVb y XD3)	Estructuras afectadas por el escurrimiento, no contínuo, de aguas salobres de procesos industriales.
Ataque Químico	Débil	Degradación del concreto	Q2	Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del concreto con velocidad lenta. Ver Tabla 2. Instalaciones industriales con sustancias débilmente agresivas de acuerdo a la Tabla 2. Construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil según la Tabla 2.

TABLA 7. Continuación

Clase general de exposición		Descripción
Clase	Subclase	
	Moderado	Elementos en contacto con el agua de mar. Elementos situados en ambiente con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar degradación del concreto con velocidad media de acuerdo a la Tabla 2. Estructuras marinas en general. Instalaciones industriales con sustancias de agresividad media.
Ataque Químico	Degradación del concreto	Elementos expuestos a degradación severa del concreto. Instalaciones industriales con sustancias de alta agresividad de acuerdo a la Tabla 2. Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales.
	Severo	
	Moderado a Severo	Abrasión, cavitación. Elementos sometidos a desgaste superficial. Elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor de agua. Pilas de puente en cauces muy torrenciales. Elementos de diques, tuberías de alta presión. Tránsito ligero de pavimentos. Tráfico mediano o pesado.
Desgaste		

Categorías de corrosividad según ISO 9223: 1 (muy baja), 2 (baja), 3 (media), 4 (alta), 5 (muy alta).

C: Ataque por carbonatación; M: Ataque por ambiente marino; Q: Ataque químico; D: Daño mecánico.

TABLA 8. Valores límites de concentraciones para distintas clases de exposición de ataque químico proveniente del suelo y aguas subterráneas*

Característica química	Método para determinar la concentración	Q2	Q3	Q4
Aguas subterráneas				
Ion sulfato SO ²⁻ ₄ (mg/l)	EN 196-2	200-600	600-3000	3000 – 6000
Valor del pH	ISO 4316	6,5-5,5	5,5 – 4,5	4,5 – 4
CO ₂ agresivo (mg/l)	PrEN 13577:1999	15-40	40-100	100-saturación
Ion amonio NH ⁺ ₄ (mg/l)	ISO 7150-1 ISO 7150-2	15-30	30-60	60-100
Ion magnesio Mg ²⁺ (mg/l)	ISO 7980	300-1000	1000-3000	3000-saturación
Suelos				
Ion sulfato SO ²⁻ ₄ (mg/kg total) ^a	EN 196-2 ^b	2000-3000	3000 ^c -12000	12000-24000
Grado de acidez Baumann-Gully	DIN 4030-2	> 200	Estas condiciones no se dan en la práctica	

*La clasificación dada en relación con ambientes químicamente agresivos, se basa en suelos y aguas subterráneas con temperaturas entre 5°C y 25°C y velocidades de agua suficientemente baja como para ser considerada estática. La concentración más alta de alguno de los químicos contaminantes determina la clase de exposición. Cuando dos o más químicos contaminantes alcanzan niveles iguales, el ambiente deberá ser clasificado como el de la clase superior, a menos que un estudio realizado para el caso específico indica no ser necesario.

a. Suelos arcillosos con permeabilidad menor a 10⁻⁵ m/s serán ubicados en la clase inferior. b. Puede usarse un método alterno en base a extracción de agua. c. El valor límite de 3000 mg/kg debería ser disminuido a 2000 mg/kg cuando hay riesgo de acumulación de iones sulfatos en el concreto debido a ciclos de humedecimiento y secado o a succión capilar.

5.2. Requisitos para durabilidad

5.2.1. Generalidades

Para que la estructura logre una adecuada vida en servicio, es necesario cumplir con una estrategia que considere todos los mecanismos posibles de degradación, tomando en cuenta las medidas adecuadas en función de las acciones ambientales sobre cada elemento. Estos requerimientos deben incluir, al menos, las siguientes etapas:

- Adecuada concepción estructural
- Buena selección de la calidad de los materiales
- Detallado correcto del acero de refuerzo
- Diseño adecuado de la mezcla de concreto, acorde a las condiciones medio ambientales y de servicio.
- Adecuada ejecución tomando en cuenta el transporte y colocación de la mezcla de concreto
- Control de calidad
- Adecuada inspección
- Verificación por medio de ensayos de campo y de laboratorio del concreto a utilizar
- Identificar la agresividad del medio ambiente mediante actividades de visita al lugar y, de ser posible, ensayos de campo y/o laboratorio de los agresivos ambientales.
- Otras medidas especiales en lo que a durabilidad se refiere

5.2.2. Concepción estructural

El diseño geométrico y estructural debe ser adecuado a la durabilidad requerida. Para lograr esto, se deben considerar, entre otros, los aspectos siguientes:

- La estructura debe ser tolerable a daños, por lo cual la falla de elementos individuales no debe causar el colapso de ésta.
- La selección de una forma estructural apropiada que minimice la absorción de agua o el tiempo de exposición a la humedad.
- Las dimensiones, formas y el detallado de aquellos elementos expuestos deberán permitir suficiente drenaje y evitar la acumulación de agua.

- Se deberá tener especial cuidado en minimizar el agrietamiento por contracción de secado del concreto, o por las cargas en tensión durante la colocación.
- Los elementos estructurales deben ser accesibles a ser inspeccionados y reparados. Para lograr esto, se debe prever un acceso adecuado a todos los elementos estructurales.

5.2.3. Calidad de los materiales

La durabilidad de la estructura debe ser obtenida a través de un concreto de buena calidad. La resistencia a la corrosión del acero de refuerzo se alcanza, en principio, por medio de un recubrimiento de concreto con baja permeabilidad (baja porosidad capilar); sin embargo, medidas de protección adicionales podrían ser necesarias en condiciones de exposición muy severas.

En función de las clases de exposición a las que vaya a estar sometido el concreto, definido de acuerdo a lo ya indicado en este capítulo, se deberá cumplir con las especificaciones mostradas en la tabla 9. En caso de que el tipo de ambiente incluya dos o más clases específicas de exposición se procederá a seleccionar el criterio más exigente de entre los establecidos para los ambientes en cuestión.

En el caso particular de que se utilicen adiciones en la fabricación del concreto, su proporción se debe tener en cuenta para el diseño de mezcla (contenido de cementante y relación agua/cementante).

5.2.4. Construcción

Durante la fase de construcción deben adoptarse medidas de control de calidad y de supervisión que garanticen la DURABILIDAD de la Obra, en especial garantizando los recubrimientos y una adecuada compactación y curado del concreto particularmente para las mezclas ricas en cemento o con baja relación agua/cementante y así evitar el agrietamiento por secado rápido.

5.2.5. Inspección

Es necesario efectuar un adecuado programa de inspección durante la construcción de la obra que garantice la calidad de la mezcla diseñada de acuerdo al ambiente de exposición y su colocación, así como un adecuado programa de mantenimiento preventivo que permita obtener la

TABLA 9. Valores límites recomendados para la composición y propiedades del concreto

	Sin riesgo de corrosión					Corrosión inducida por carbonatación					Corrosión inducida por cloruros					Ambientes químicamente agresivos			
	CO	C0	C1	C2	C3	M1	M3	M4	M5	Cl4	Cl5	Q2	Q3	Q4	Q3	Q2	Q3	Q4	
Máxima relación a/c	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,4	0,45	0,40	0,55	0,50	0,45	0,40	0,55	0,50	0,45	
Contenido mínimo de cemento (kg/m ³)	-	260	280	280	300	300	340	380	420	380	420	300	340	380	420	300	340	380	
Recubrimiento mínimo		20	20	30	40	50	50	50	70	50	70	50	50	50	70	50	50	50	
Otros requerimientos																		Usar* cemento resistente a sulfatos	

* Se debe utilizar cemento Portland tipo II y V si la exposición es a un ambiente **Q3** y **Q4**, respectivamente. Existen algunos países donde el cemento tipo I posee un contenido bajo de C₃A (< 5%), lo cual también podría utilizarse.

vida en servicio esperada para la estructura, evitando de esta manera excesivos gastos de reparación.

5.2.6. Verificaciones

En cualquier construcción, la forma de obtener una durabilidad adecuada consiste en seleccionar la calidad del concreto de acuerdo al medio de exposición y a su agresividad, realizando los chequeos mencionados con anterioridad. No obstante, así como se determina la resistencia a la compresión para determinar si el concreto cumple con las exigencias sobre sollicitaciones mecánicas, existen algunas medidas sencillas que permiten tener un estimado sobre la durabilidad esperada, dependiendo del ambiente de exposición. A tal efecto, la medida más importante a realizar corresponde a la **Porosidad Efectiva**. El método para determinar esta propiedad es el descrito por Fagerlund (1986), en la norma sueca.

Mediante el método de porosidad efectiva se cuantifica la porosidad capilar del concreto, que como ya se indicó anteriormente mide la facilidad con la cual los agresivos pueden penetrar el concreto y llegar a la armadura, causando su corrosión. A diferencia del método descrito en la norma ASTM C642 que mide la totalidad de poros presentes en el material. Este método puede utilizarse, en conjunto con la resistencia a la compresión (ASTM C39), como medidas complementarias para el seguimiento del diseño del concreto a utilizar o el seguimiento de la construcción en obra. La tabla 10 presenta los criterios utilizados para la evaluación del concreto.

TABLA 10. Criterios de porosidad efectiva para efectos de durabilidad

Porosidad Efectiva (%)	Criterio de aceptación
≤ 10	Concreto de buena calidad y compacidad
10 - 15	Concreto de moderada calidad
≥ 15	Concreto de calidad inadecuada

Para ambiente marino, otra medida requerida es la de **Permeabilidad a Cloruros**, la cual se puede determinar mediante el método de penetración rápida de cloruros, descrito en la Norma ASTM C1202.

5.2.7. Medidas especiales de protección

En aquellos casos que se requiera, dada la excesiva agresividad del medio ambiente, se pueden aplicar medidas especiales que permitan una protección adicional de la armadura frente al ambiente agresivo de exposición. Se recomienda efectuar una cuidadosa planificación para la implementación del sistema de protección adicional ya que éste puede inducir efectos secundarios adversos al buen comportamiento de la estructura. Algunas de las medidas de protección son:

- Incrementar el espesor de cubrimiento del concreto sobre la armadura.
- Refuerzo Galvanizado.
- Protección Catódica.
- Inhibidores de Corrosión.
- Recubrir el concreto con pinturas, especialmente las de carácter hidrofóbico.
- Agregar adiciones como puzolanas naturales, microsílíce, cenizas volantes, escorias de alto horno, entre otras.

6. Investigaciones futuras en el país

Es importante resaltar que dado el calentamiento global, es necesario buscar alternativas para sustituir parte del cemento que se utiliza en las construcciones civiles; ya que se ha demostrado que el calentamiento global se debe, en gran parte, al incremento en el contenido de CO₂ en la atmósfera, siendo la producción de cemento Pórtland una de las fuentes más contaminantes. El Dr. Kumar Metha, Profesor Emerito de la Universidad de Berkeley en una Conferencia dictada recientemente (Metha, 2009) indica que, actualmente, por cada tonelada de cemento que se produce se genera la misma cantidad de CO₂ al ambiente y, que la industria del concreto consume unos 2,8 billones de toneladas de cemento que contienen 2,3 billones de toneladas de clinker Portland, liberando cerca de dos billones de toneladas de dióxido de carbono durante el proceso de fabricación; lo cual es significativo ya que representa aproximadamente el 7% de las emisiones de carbono de todas las fuentes en el mundo. Por lo cual para promover la Sustentabilidad de las construcciones es necesario

buscar materiales alternativos que permitan preparar mezclas con menores contenidos de cemento Portland, pero con alta durabilidad. Hasta ahora, el CEC (Bravo *et al.*, 1994), ha evaluado cenizas volantes provenientes de ENELVEN, las cuales además de ser un desecho industrial requieren de su disposición inmediata por efectos de contaminación ambiental. No obstante, ellas no cumplen con las especificaciones mínimas para obtener concretos de calidad que controlen la corrosión de la armadura. Actualmente se efectúa un trabajo conjunto con Cementos Cataumbo para evaluar otros tipos de sustituciones, esperando lograr alternativas sobre el particular.

Conclusiones

Las siguientes conclusiones se pueden extraer de los resultados observados hasta ahora en este estudio, luego de 5 años de exposición:

1. La probabilidad de corrosión de la armadura en determinadas condiciones ambientales, se puede estimar efectuando un análisis en conjunto de la potencialidad corrosiva del ambiente de exposición y de la calidad del concreto preparado.
2. La agresividad de la atmósfera fue mayor en los países tropicales, particularmente cuando la temperatura es superior a 25°C, tanto para ambientes marinos como urbanos; siendo las estaciones de La Voz (marina) y Maracaibo (urbana), en Venezuela, las más agresivas.
3. El umbral de cloruros que despasa a la armadura es mucho menor ($\approx 0,42\%$), en un ambiente marino tropical como La Voz en Venezuela, con respecto a uno no-tropical como Cabo Raso en Portugal ($\approx 0,89\%$); siendo esta concentración dependiente de la profundidad de las barras.
4. Los resultados en las estaciones marinas evaluadas, muestran claras diferencias entre los distintos tipos de mezclas de concretos expuestos a microclimas específicos; siendo el umbral de cloruro necesario para activar a la armadura influenciado por factores ambientales como el TDH y la temperatura ambiente, y no sólo por las propiedades físicas del concreto.
5. Los resultados en las estaciones urbanas evaluadas mostraron diferencias entre los diferentes tipos de mezclas de concreto expuestos a

microclimas específicos, a pesar de que la formulación nominal era la misma; siendo la profundidad de carbonatación influenciada no solo por el contenido de CO₂ en el ambiente y la calidad del concreto, sino la HR, el TDH, la temperatura y la altura de la estación sobre el nivel del mar, con lo cual se evidencia la alta agresividad de los ambientes tropicales.

6. La alta agresividad del ambiente tropical, particularmente el de Venezuela, donde la temperatura promedio anual es mayor a 25°C, amerita mayores exigencias para la calidad del concreto que las utilizadas actualmente en los países no tropicales.
7. Además de las propiedades mecánicas como normalmente se hace, el diseño de mezclas de concretos debe considerar la absorción capilar o porosidad efectiva con la finalidad de lograr un concreto durable de alta calidad que resista el ambiente al cual será expuesto.
8. Los resultados obtenidos no deben ser extrapolados a otros sitios antes de tener un modelo que combine todos los factores que intervienen en la carbonatación del concreto y en la difusión de los iones cloruro, lo cual hasta el momento no existe. Estos resultados son representativos de los diferentes climas, pero no se puede generalizar su comportamiento sin una cantidad más amplia de datos y períodos más largos de exposición.

Reconocimiento

Especial reconocimiento a los Concejos Nacionales de Ciencia y Tecnología (ONCYT's), por el soporte económico parcial; al Programa CYTED por promover y financiar el intercambio de ideas y conocimientos entre los Investigadores Iberoamericanos; y finalmente a las Instituciones (afiliaciones permanentes de los Miembros de DURACON), por el parcial soporte y facilidades para llevar a cabo este proyecto: Argentina (UNCPBA), Bolivia (IIMETMAT-UMSA), Chile (PUCV, PUC), Colombia (Univ. del Valle), Costa Rica (ICE), México (IMT, UADY, CIMAV, CINVESTAV-Mérida, UACam, ITO), España (IETCC), Uruguay (Univ. de la Rep.), Portugal (LNEC) y Venezuela (CEC-LUZ, UCLA).

Referencias

- Alonso, C. and Andrade, C. (1987). Corrosion Behavior of Steel During Accelerated Carbonation of Solutions which Simulate the Pore Concrete Solution. *Materiales de Construcción*. Vol. 37, No. 206. pp. 5-16.
- Alonso, C. and Andrade, C. (1993). *Life Time of Rebars in Carbonated Concrete*. 10th European Corrosion Congress, Barcelona, No. 165.
- Alonso, C., Andrade, C. Castellote, M. and Castro, P. (2000). Chloride threshold values to depassivate reinforcing bars embedded in a standardized OPC mortar, *Cement and Concrete Research* 30, 7. pp.1047-1055.
- Andrade, C., Alonso, C. Arteaga, A. and Tanner, P. (2000). 'Methodology based on the electrical resistivity for the calculation of reinforcement service life' 5th Canmet/ACI Intl Conf. on Durability of concrete-Supplementary papers volume. Barcelona, Spain. 899-915.
- Aranha, P. (1994). *Contribuição ao Estudo das Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado na Região Amazônica*. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Araujo, C. Morón, O., T. de Rincón, O., Rincón, J., Bueno, V. (2011). Prediction of corrosion initiation in concrete structures using finite volume method. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*. Vol. 34. No.1. p.14-21.
- Bravo, J., Seijas, E., Casas, C. y Trocónis de Rincón, O. (1994). *Estudio de las de la Cenizas de Fuel Oil" como Aditivo del Concreto Armado Parte I: Evaluación de las Propiedades Físicas/Químicas y Corrosivas*. Memorias del Primer Congreso de Corrosión NACE Región Latinoamericana. Maracaibo, Venezuela.
- Carmona, F., Marega, A.. (1988). Retrospectiva da Patología no Brasil; Estudo Estatístico. In: *Jornadas en Español y Portugues sobre Estructuras y Materiales*. Colloquia 88. Madrid, CEDEX, IET. Madrid. pp.325-48.
- Castro, P. (2001). The chloride threshold for corrosion onset of reinforced concrete in two tropical marine micro-climates of Yucatán, México, edited by N. Banthia, K. Sakai y O. Gjør, in the Third International Conference on: Concrete under severe conditions, r,, Vol. 1, pp. 151-158, Canadá: Vancouve.
- Castro-Borges, P., Troconis de Rincón, O., Moreno, E., Torres, A., Martínez, M. Knudsen, A. (2002). Performance of a 60-Year-Old Concrete Pier with Stainless Steel Reinforcement. *Materials Performance NACE International*. Vol. 41 No. 10. pp.50-55.
- CEB/Comite Euro-Internacional du Beton. (1993). CEB-FIP Model Code 1990. Design Code. Lausanne, CEB, May 437p. (Bulletin D'Information, 213-214).

- Corvo, F., Pérez, T., Matin, Y., Reyes, J., Dzib, L.R., González-Sánchez, J., Castañeda, A. (2008). Time of wetness in tropical climate: Considerations on the estimation of TOW according to ISO 9223 standard. *Corrosion Science*. Volume 50, Issue 1. pp 206-219.
- Dal Molin, D. (1988). Fissuras em Estruturas de Concreto Armado: Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- De Ceukelaire, L. and Van Nieuwenburg, D. (1993). Accelerated Carbonation of a Blast-Furnace Cement Concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 23 No. 2, pp 442-452.
- Dhir, R. K. Jones, M. R. and McCarthy, M. J. (1992). Pulverized-Fuel Ash Concrete: Carbonation-Induced Reinforcement Corrosion Rates. *ICE Proceedings, Structures and Buildings*, Vol. 94, Issue 3. pp 335-342.
- EHE (2008). *Proyecto de Instrucción de Hormigón Estructural*. España.
- Fagerlund, G. (1986). On the Capillarity of Concrete. *Nordic Concrete Research*, No.1, Oslo, Ppe No.6.
- Feliu, J., González, V. Feliu, S. Jr., Escudero, M. and Andrade, C. (1993). Corrosion Detecting Probes for use with a Corrosion-Rate Meter for Electrochemically determining the Corrosion Rate of Reinforced Structures. U.S. Patent No. 5.259.944.
- Fernández de Romero, M., Aponte, B., Arias, S., F. de Garcia, F., T. de Rincón, O. y Larreal, O. (2005). Diseño de un modelo matemático computarizado de costos por corrosión. *Revista Técnica de Ingeniería*, Vol. 28, No 1, pp. 28-41.
- GEHO (Grupo Español del Hormigón). (1992). *Encuesta sobre Patologías de Estructuras de Hormigón*. Boletín 10. Madrid.
- Glass, G.K. and Bruenfeld, N.R. (1995). Chloride threshold levels for corrosion induced deterioration of steel in concrete. *Rilem Int. Workshop of chloride penetration into concrete*. Oct. Paris.
- González, J. A. y Andrade, C. (1980). Relaciones Cuantitativas entre la Carbonatación del Hormigón y la Corrosión de las Armaduras. *Corrosion Protection*. Vol. 11. pp. 15-24.
- González, J.A., Andrade, C., Alonso, C., Feliú, S. (1995). Comparison of Rates of general Corrosion and Maximum Pitting Penetration on Concrete Embedded Steel Reinforcement. *Cement & Concrete Research*. Vol. 25, No.2. pp. 257-264.

- Helene, P.R. (1981). Corrosão das Armaduras em Concreto Armado. 4o Simpósio de Aplicação da TECNOLOGIA DO Concreto-SIMPATCON. Anais. São Paulo, p. 1-44.
- Houst, Y.F. and Wittmann, F.H. (1994). Influence of Porosity and Water Content on the Diffusivity of CO₂ and O₂ Through Hydrated Cement Paste, *Cement and Concrete Research*, Vol. 24, No 6. pp. 1165-1176.
- ISO 9223, (1992). Corrosion of Metals and Alloys. Corrosivity of Atmospheres Classification.
- Koch, G. H., Brongers, M. P., Thompson, N. G., Virmani, Y. P. and Payer J.H. (2002). Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States. PUBLICATION NO. FHWA-RD-01-156. Material Performance Supplement. NACE International.
- Lawrence, C.D.: Durability of Concrete: Molecular Transport Process and Test Methods, Cement and Concrete Association, Technical Report 544, Wexham Spring. (1981).
- Loo, Y. H., Chin, M. S., Tam, C. T. and Ong, K. C. (1994). A Carbonation Prediction Model for Accelerated Carbonation testing of Concrete. Magazine of Concrete Research. Vol. 46. No 168. pp. 121-200.
- Magalhaes, C., Folloni, R. and Furman H. (1989). Análise da Pataologia das Obras de Arte do Município de São Paulo. Simposium Nacional de Reforç s, Reparos e Proteção das Estructuras de Concreto, São Paulo, Maio 1989. São Paulo, EUSP. pp 3-17.
- Maldonado, P. González, N. (2004). *Rediseño y Construcción de una Máquina Cortadora de Probetas de Hormigón de Sección Cuadrada*. Tesis de Pregrado Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- Mangat, P.S., Molloy, B.T. (1994). Prediction of long term chloride ion into concrete. *Materials and Structures*. Vol. 27, pp 338-346.
- Mendoza-Rangel, J. M., Castro-Borges, P., Murrieta, G., de Coss, R. (2009). Main Complications for Modeling and Predicting Service Life of Reinforced Concrete Structures. Memorias en C.D. del 8th NACE Internacional Congress Mexican Section. ISBN: 978-607-95042-2-9. Cancún, México. 16-21.
- Metha. K. (2009). Society, Sustainability, and the Concrete Industry, Conferencia Plenaria presentada en el X Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción / XII Congreso de Control de Calidad en la Construcción y Congreso Internacional de Patología, Control de Calidad y Rehabilitación de Estructuras y Construcción. 28 de Septiembre al 02 de Octubre 2009 Valparaíso-Chile.

- Morcillo, M. y miembros del Proyecto MICAT. (1998). Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Ibero América. Parte I.- Mapas de Ibero América de Corrosividad Atmosférica, (MICAT, Proyecto XV.1/CYTED). ISBN 84-930448-1-4.
- Morles, I., Rosillón, D. (2007). *Modelos de Predicción de Corrosión del Acero en Concreto Expuesto a Ambientes Marinos y Urbanos*. Tesis para optar al título de Ingeniero Químico. Centro de Estudios de Corrosión, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.
- Morón, O., Troconis de Rincón, O., García, C., Arrieta I. y Bravo, J. (2003). Desarrollo de un Modelo para predecir la Durabilidad de Estructuras de Concreto Armado en Medios Marinos. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, Vol. 26 No. 2. pp. 65-77.
- Nince, A.. (1996). Levantamento de Dados sobre a Deterioração de Estructuras na Região Centro Oeste. Brasilia, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasilia UnB, 25 mar. (dissertação de mestrado).
- Parrott, P.J. (1994). *Design for Avoiding Damage Due to Carbonation-Induced Corrosion*. *Concrete Durability SP (ACI)* Vol. 145. Special Publication. Pp 283-298.
- Pascual, R., Corvo, F. (1980). *Rev. Iberoamericana de Corrosión y Protección*, Mayo-Junio.
- Rodríguez, G., Caro, S., Pedrón, M. (2002). *Proyecto DURACON: Maquina para Obtener Secciones Rectas de Prismas de Hormigón de Sección Cuadrada*. in COLLOQUIA 2002. Nuevos Avances en el Estudio de la Corrosión y Protección de la Armadura, (2002) Venezuela: Maracaibo.
- Sagüés, A.A., Kranc, S. C., Presuel-Moreno, F., Rey, D., Torres-Acosta, A. A., Yao, L. (2001). Corrosion Forecasting for 75-Year Durability Design of Reinforced Concrete, Final Report No. BA502, Florida Department of Transportation, Tallahassee, Florida, USA.
- Sanchez, M., Troconis de Rincon, O., Sanchez, E., Garcia, D., Sanchez, E., Sada, M., Delgado, S. and Fernandez, R. (2005). Corrosion Problems Associated with a Fireproofing-Coated Structure exposed to a Marine Environment. *Materials Performance*, Vol. 44 No.10. pp 34-37.
- Sánchez, M. A., Troconis de Rincón O., Delgado, S., Sánchez, E. (2007). Corrosion in Reinforced Concrete Exposed to Chloride-Contaminated Waters. *Materials Performance*, Vol. 46 No. 3, NACE International. pp. 48-53

- Sandberg, P., Petterson, K., Sorensen, H.E. and Arup, H. (1995). Chloride critical Concentrations for the onset of active reinforcement corrosion. Rilem Int. Workshop on Chloride penetration into concrete. Oct. París.
- Technical Committee CEN/TC 104, EN 206-1. (2000). Concrete-Parte 1: Specification, performance, production and conformity - Concrete and related products. pp. 15-18.
- Torres Acosta, A. et. al. (2008). Durabilidad del Concreto en Ambientes Urbanos y Urbano/Marinos de México y España. *Memorias. 3er. Congreso Nacional ALCONPAT 2008*, Chihuahua, México. 12-14, Nov.
- Troconis de Rincón, O., Sánchez, M., Pérez, O., Contreras, D., García, O. y Vezga C. (1991). A Study of Practical Cases of Steel Corrosion in Reinforced Concrete. Causes and Solutions. *Materials Performance*. Vol. 30. No. 8. NACE. USA.
- Troconis de Rincón, O., Sánchez, M., Contreras, D., Fernández, R., Zambrano, W., Vezga, C., Sarcos, A., Hennerberg, H. y González. A. (1991). "Contribución Tecnico-Científica de la Facultad de Ingeniería al Puente sobre el Lago de Maracaibo. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*. Edición Especial Centenario de LUZ. Vol. 14. No.1. pp. 63-111.
- Troconis de Rincón, O., Contreras, D., F. de Romero, M., Morón, O., Bravo, J. (1996). "Electrochemical Diagnosis and Rehabilitation of Pilings for a Marine Bridge". *Materials Performance* Vol. 35. No. 8. NACE International, USA. pp 14-21.
- Troconis de Rincón, O. y Miembros de la Red DURAR. (1997). *Manual de Inspección, Diagnóstico y Reparación de Estructuras de Hormigón Armado*. CYTED. ISBN 980-296-541-3 Maracaibo, Venezuela. 1era. Edición.
- Troconis de Rincón, O., F. de Romero, M., Contreras, D., Padrón, V., Perdomo, J. (1997). "Rehabilitación de Puentes en Venezuela se inicia con el Puente G.R. Urdaneta". *Construcción y Obras Públicas Latinoamérica*. Vol. 4 No. 6. pp. 20-22.
- Troconis de Rincón, O., Morón, O., García, C., Arrieta, I., García, D., Morales, J. (2002). "Modelling of Chloride Ingress in the Lake Maracaibo Bridge" in *15th. ICC (C.D. Publication)*, (2002): Paper # 87, Spain: Nueva Granada Sept. 22-27,
- Troconis de Rincón, O., Arrieta de Bustillos L., Vezga, C. (2003). "Evaluation, Diagnosis and Rehabilitation of Buildings in Rural Environments". *Journal of Architecture & Environment*. Vol.2, No. 1. pp. 45-54.
- Troconis de Rincón, O., Castro, P., Moreno, E.I., Torres-Acosta, A.A., M. de Bravo, O., Arrieta, I., García, C., García, D. and Martínez Madrid, M. (2004)

"Chloride profiles in two marine structures-meaning and some prediction". *Building and Environment*. Vol. 39, Issue 9.: pp. 1065-1070.

Troconis de Rincón, O. et. al. (2005). "La Carbonatación en el Trópico Caso Típico: Estadio Pachenco Romero". Memorias, Simposio Fib: El Hormigón Estructural y el Transcurso del Tiempo. La Plata, Argentina. 28-30, Oct.

Trocünis de Rincón, O. and coauthors. DURACON Collaboration. (2006). Durability of concrete structures: Duracon, an iberoamerican project. Preliminary results". *Building & Environment*. Elsevier Science LTD Publication. Vol. 41, Issue 7. pp. 952-962.

Troconis de Rincón, O., Contreras, D., Sánchez, M., Fernández de Romero, M. Bravo, J. Morón de Bravo, O., Vezga, C., Fernández, R., Navarro, A. y Sarcos, (2006). A. Avaliação/Reabilitação de Estruturas em Ambientes Marítimos. Caso Histórico: Ponte de Maracaibo. *Corrosão e Protecção de Materiais*. INETI. Jul/Ago/Set, Vol. 25, No. 3. pp. 74-91.

Trocünis de Rincón, O. and coauthors. (2007). The Effect of the Marine Environment on the Reinforced Concrete Durability in Iberoamerican Countries: Duracon Project/Cyted. *Corrosion Science*. Vol. 49, 7. July. pp. 2832-2843.

Tutti, K. (1982). Corrosion on Steel in Concrete. CBI Forskning Research, Swedish. Cement and Concrete Research, Stockholm, Resol. No. 4, pp 486.

Veleva, L., Alpuches-Aviles, M. A. (2002). Outdoor Atmospheric Corrosion. H.E. Townsend (Ed), ASTM, STP 1421, *American Society for Testing and Materials Internacional*, West Conshochoken, PA.

Wallbank, E.J.. (1989). The performance of concrete bridges: a survey of 200 highway bridges HMSO. London. pp 96.

Variación de niveles de razonamiento geométrico en estudiantes de Ingeniería

*Héctor José Bohórquez**
*Lisette Franchi***

RESUMEN

El razonamiento lógico empleado en la solución de problemas geométricos presenta cinco niveles, según la teoría de Van Hiele, siendo en el cuarto nivel cuando el estudiante adquiere la capacidad para comprender y realizar demostraciones geométricas, habilidad exigida a estudiantes de la Facultad de Ingeniería de LUZ. El objetivo del estudio fue comparar el nivel de razonamiento en estudiantes antes y después de cursar geometría, a fin de diagnosticar si existían diferencias significativas entre ambos momentos y determinar el nivel de razonamiento geométrico alcanzado por los alumnos. Se trató de un estudio descriptivo, secuencial de campo. Se utilizó la Prueba de Geometría de van Hiele, elaborada por el Dr. Zalman Usiskin y sus colaboradores, traducida al español por los autores. La muestra constó de 164 alumnos. Los resultados mostraron que en general los alumnos ingresaron con niveles de razonamiento entre 1 y 2, alcanzando al final del curso niveles entre 2 y 3, concluyéndose que hubo un incremento estadísticamente significativo de la variable objeto de estudio pero que en general no se alcanzó el esperado nivel 4 de razonamiento de la escala.

PALABRAS CLAVE: Razonamiento geométrico, niveles de Van Hiele, ingeniería.

Ingenieros Civiles (LUZ, 1984). Mgs. en Matemática, Mención Docencia (LUZ, 2002). Docentes e Investigadores Titulares de la Universidad del Zulia.

*hbohorquez@fing.luz.edu.ve. **lfranchi@fing.luz.edu.ve.

RECIBIDO: 01-02-11 /// ACEPTADO: 03-03-11

Variation in Geometric Reasoning Levels among Engineering Students

ABSTRACT

The logical reasoning employed in solving geometric problems has five levels, according to Van Hiele's theory; the fourth level is when the student acquires the capacity to understand and perform geometric demonstrations, an ability required for students in the Engineering School at LUZ. The objective of this study was to compare the level of reasoning in students before and after studying geometry, in order to diagnose whether significant differences exist between these two moments and to determine the level of geometric reasoning achieved by the students. This is a descriptive, sequential field study. The Van Hiele Geometry Test was used, elaborated by Dr. Zalman Usiskin and his collaborators, translated to Spanish by the authors. The sample consisted of 164 students. Results showed that, in general, students enter with reasoning levels between 1 and 2, reaching levels between 2 and 3 at the end of the course. Conclusions are that there was a statistically significant increase in the variable under study, but in general, the hoped-for level 4 of reasoning on the scale was not achieved.

KEY WORDS: Geometrical reasoning, Van Hiele levels, engineering.

Introducción

Para nadie es un secreto la gama de dificultades y contradicciones del sistema educativo venezolano en general y del subsistema de educación universitaria en particular. Mostrar cifras y estadísticas de, por ejemplo, la prosecución estudiantil, sólo haría confirmar lo que a diario perciben no sólo quienes se desempeñan en la función docente, sino cualquier padre o madre de familia y, sobre todo, los propios alumnos.

A pesar de que se estén emprendiendo acciones a diferentes niveles, como la implementación de nuevas políticas educativas, reformas curriculares, creación de nuevas instituciones educativas, por mencionar algunas, se evidencia que los problemas educativos son ciertamente estructurales y no de fácil solución.

Acerca de la eficacia y pertinencia de las acciones emprendidas se puede discutir largamente. Si prestamos atención a quienes se sitúan dentro de la corriente posmodernista nos daremos cuenta de que, como nos señala Rigoberto Lanz (2007), el mundo que nos toca vivir es el de la incertidumbre, del caos y de lo relativo. Se trata de pensar en la incertidumbre, no como un dato circunstancial, no como un por ahora, sino como una condición sustancial del nuevo modo de vivir esta realidad, este mundo. De lo que se trata, concluye Lanz, es de enseñar la virtud más querida, más mimada, del hombre de hoy: su capacidad de apropiación, su capacidad de capturar experiencias de todo género; lo que debe enseñarse es la inteligencia y capacidad para apropiarse: apropiación de la experiencia del otro, sobre manera.

Los posmodernos son muy críticos, y no con poca razón, con respecto a las herramientas de la Modernidad, entre ellas la lógica, al menos la lógica tradicional. El mismo Lanz señala que las mentes demasiado lógicas, las mentes muy ecuacionadas, las mentes causa-efecto, las mentes lineales, las mentes simples, la pasan muy mal en un mundo caracterizado esencialmente por la lógica de la incertidumbre. Pensar en situación de incertidumbre, añade, actuar en contexto de incertidumbre, es, justamente, poder poner el pensamiento en capacidad de vibrar, de no sucumbir, de no conformarse con lo obvio, efectivamente, cuando no hay ecuación posible, cuando no hay linealidad posible, cuando no hay causa ni efecto.

Lo anterior no significa que quienes tengamos algún grado de responsabilidad con el hecho educativo virtualmente todos nos debemos sentir abrumados por la situación y crucemos los brazos esperando que los problemas se solucionen algún día. Es menester enfocarnos en aquellos aspectos sobre los cuales podemos y en consecuencia debemos tomar acciones para de alguna forma mejorar el desempeño de nuestros alumnos.

Sin pretender entrar en diatribas filosóficas, consideramos que, al menos en el dominio de la matemática, podemos pensar en términos de incertidumbre, podemos pensar transversalmente, podemos hacer un uso efectivo de la intuición, podemos incluso apropiarnos, como lo señala Lanz, de experiencias de todo tipo, sin olvidar, sin hacer a un lado, sin abandonar el razonamiento lógico riguroso. Estimular, propiciar, utilizar el pensamiento intuitivo, escudriñando diversas posibilidades, pensando en caminos que la "sana lógica" prohíbe, no hará sino enriquecer nuestra ac-

tividad matemática; pero, nuevamente, el escrutinio del razonamiento lógico formal es a todas luces, desde nuestra perspectiva, necesario.

De ahí entonces que la preocupación que todo docente de matemática en general, y de geometría en particular, tiene acerca de la capacidad de razonamiento de sus alumnos, sea legítima, piénsese en términos de Modernidad o de Posmodernidad.

Un aspecto importante del problema del razonamiento de los alumnos en geometría ya fue discutido en Bohórquez y Hernández (2003), al señalar al razonamiento común como obstáculo epistemológico para el aprendizaje de la geometría. Sin embargo, el razonamiento geométrico no se mide en términos de todo o nada, de si se tiene o no se tiene, de blanco o negro, sino que presenta gradaciones, estadios que se van alcanzando a medida que se avanza en el estudio de esta ciencia.

Salvando ciertas observaciones que algunos investigadores han efectuado, la gradación de niveles de razonamiento geométrico propuesta por los esposos Van Hiele goza desde hace muchos años de una aceptación generalizada. Su teoría, además de elegante e integral, ha demostrado su pertinencia como herramienta para comprender los problemas vinculados al razonamiento geométrico y emprender acciones para superarlos.

Los docentes de geometría en ingeniería nos enfrentamos cotidianamente con graves problemas de razonamiento por parte de la mayoría de los alumnos, y por tanto con la consecuente implicación en su desempeño geométrico. Con miras a superarlos se adoptan algunas medidas generales para tratar de involucrar al alumno en los principios básicos del razonamiento lógico riguroso, aunque con limitado éxito, es honesto admitirlo, si nos remitimos a los resultados de la prosecución estudiantil en la asignatura.

Hasta ahora, sin embargo, no se cuenta con un estudio que muestre claramente los distintos niveles de razonamiento geométrico que presentan los alumnos que se inician en el curso de geometría, como tampoco los que alcanzan al final del mismo. Un conocimiento al respecto brindaría al docente, por una parte, un diagnóstico general que le permita ubicarse mucho mejor dentro del panorama que tiene frente a sí cuando se inicia el curso; y por la otra, serviría como evaluación de la acción docente que se lleva a cabo en los cursos de geometría, en lo que al incremento del nivel de razonamiento geométrico de los alumnos se refiere.

Con base en lo expuesto anteriormente nos planteamos como objetivo de investigación determinar y comparar los niveles de razonamiento de van Hiele medidos en estudiantes de geometría de la Facultad de Ingeniería de LUZ antes y después de cursar la asignatura.

1. Referentes teóricos

Diferentes autores han abordado el problema del razonamiento en geometría, entre los cuales resaltan Fischbein y su *teoría de los conceptos figurales*, destacando la doble naturaleza de los conceptos geométricos en tanto que abstractos y al mismo tiempo evocativos de una figura concreta (Fischbein, 1993); Duval y su *modelo cognitivo del razonamiento geométrico* en el que señala cuatro tipos de aprehensiones cognitivas: perceptiva, secuencial, discursiva y operativa (Duval, 1995); y por último el modelo del pensamiento en geometría de los esposos van Hiele, ampliamente conocido y utilizado a nivel mundial y adoptado como modelo teórico para esta investigación.

1.1. Modelo del pensamiento en geometría de van Hiele

La que se conoce como teoría de niveles de van Hiele fue desarrollada por sus autores en tesis doctorales separadas presentadas en la Universidad de Utrecht en 1957. Pierre M. van Hiele (1957) se ocupa, en general, del problema de la *comprensión* en geometría, señalando que no hay que esperar diferencias esenciales entre *comprensión en geometría* y *comprensión en matemáticas en general* o incluso *comprensión en asignaturas no-matemáticas*.

Un niño tiene comprensión en un determinado campo de la geometría cuando, a partir de los datos y relaciones geométricas que se le suministran, es capaz de llegar a una conclusión en una situación con la que nunca se había enfrentado antes.... Lo característico de la comprensión es pues que se van tanteando nuevas situaciones (van Hiele, 1957).

Se puede avanzar hacia el concepto de comprensión en geometría, señala van Hiele (1957), a través del estudio de la secuencia lógica, entendida ésta como una serie de silogismos en la que la conclusión de uno supone la premisa del siguiente. El objetivo de estas secuencias es partir de un determinado dato para llegar a conclusiones que se encuentran aleja-

das de este primer dato. Y observa que cuando el niño se enfrenta a una secuencia de este tipo, pueden darse los siguientes casos:

- a. El alumno no entiende la secuencia porque no entiende el sentido de una o varias de las afirmaciones, resultando obvio que en tal caso carece de la suficiente comprensión en el terreno al que hacen referencia las afirmaciones.
- b. El alumno no entiende la secuencia porque no ve la relación lógica entre las afirmaciones. En tal caso carece evidentemente de la suficiente comprensión en el terreno de las relaciones entre las afirmaciones.
- c. El alumno no entiende la secuencia porque, a pesar de entender paso a paso la relación entre las distintas afirmaciones, no puede aceptar el hecho de que de las premisas se saque la conclusión hallada en último lugar. En este caso nos encontramos ante una falta de comprensión de la totalidad de la secuencia. Hay que observar sin embargo que en este caso la no-comprensión presupone sin embargo un cierto tipo de comprensión: la no-aceptación es consecuencia de una opinión que ha llegado a formarse. Puede ocurrir que el alumno dude de la conclusión basándose en ciertas experiencias; puede ocurrir también que experiencias con otras secuencias le hagan suponer que debe haber algún error en las relaciones.
- d. Entender la secuencia no supone sin más el máximo grado de comprensión. Con el tipo de comprensión referido en c, como mucho se pueden formar sin ayuda secuencias como la indicada. El reconocimiento del tipo de secuencia requiere a su vez un grado superior de comprensión.

Los Van Hiele consideraron que el pensamiento matemático sigue un modelo que consta de dos partes, una descriptiva en la que identifica una secuencia de tipos de razonamiento llamados los “niveles de razonamiento”, y otra, instructiva, que sugiere a los profesores directrices sobre cómo pueden ayudar a sus alumnos para que alcancen con más facilidad un nivel superior de razonamiento, las cuales reciben el nombre de “fases de aprendizaje”.

Es el aspecto descriptivo el que interesa para efectos del presente estudio. En este sentido, la teoría consta de tres elementos: la existencia de niveles de razonamiento, las propiedades de esos niveles, y el paso de un nivel al siguiente.

Existe un total de cinco niveles, que se describen a continuación con base en lo señalado por Hoffer, citado por Usiskin (1982), complementado por Afonso (2003):

- Nivel 1 (reconocimiento). Los alumnos pueden aprender nombres de figuras y reconocer una forma como un todo (los cuadrados y los rectángulos parecen ser diferentes). Perciben las figuras geométricas globalmente por su forma y no por sus propiedades.
- Nivel 2 (análisis). Los alumnos pueden identificar propiedades de figuras (los rectángulos tienen cuatro ángulos rectos). Son conscientes de que las figuras geométricas están formadas por partes y de que están dotadas de propiedades matemáticas.
- Nivel 3 (clasificación). Los alumnos pueden ordenar lógicamente las figuras y sus relaciones, pero no operan dentro de un sistema matemático (pueden seguir una deducción simple, pero no comprenden la demostración). Comienzan a desarrollar su capacidad de razonamiento matemático. Son capaces de realizar razonamientos deductivos. Entienden el significado de una definición.
- Nivel 4 (deducción). Los alumnos comprenden el significado de la deducción y el rol de los postulados, de los teoremas, y de la demostración (pueden escribir demostraciones comprendiéndolas). Pueden realizar razonamientos lógicos formales; las demostraciones de varios pasos ya tienen sentido para ellos y aceptan su necesidad como único medio para verificar la veracidad de una afirmación.
- Nivel 5 (rigor). Los alumnos comprenden la necesidad del rigor y son capaces de hacer deducciones abstractas (puede entenderse la geometría no euclidiana). Son capaces de trabajar en distintos sistemas axiomáticos prescindiendo de cualquier soporte concreto para desarrollar su actividad matemática.

Dina van Hiele llamó a los niveles del 2 al 5, respectivamente, el aspecto de la geometría, la esencia de la geometría, comprensión de la teoría geométrica, y comprensión científica de la geometría. En realidad, los Van Hiele enumeraron los niveles del 0 al 4, pero la mayoría de los investigadores lo hacen del 1 al 5, tal y como se ha indicado, para permitir así la inclusión de un nivel 0 (previo al nivel 1). Pierre van Hiele no hace referencia en su tesis doctoral, ni en Van Hiele (1986), a la existencia de un nivel 0. No obstante, hoy en día se admite en general su existencia. Cle-

ments y Battista (1990) han descrito y definido el nivel 0 (pre-cognición) señalando que es característico de un sujeto que percibe las formas geométricas, pero presta atención a sólo un subconjunto de las características visuales de la forma: son incapaces de identificar muchas formas comunes. Mason (1997) al respecto señala que en ese nivel los aprendices pueden ver, por ejemplo, la diferencia entre triángulos y cuadriláteros centrandos su atención en el número de lados de los polígonos pero no son capaces de distinguir entre un cuadrilátero y otro. En el presente estudio se admitió y tomó en cuenta la existencia del nivel 0.

Cutiérrez y Jaime (1995) amplían la descripción de los primeros cuatro niveles, en los siguientes términos.

Primer nivel

En la percepción global que se lleva a cabo en este nivel, el alumno puede incluir atributos que no sean característicos del concepto en cuestión. Por ejemplo, si mostramos siempre triángulos, con un lado horizontal, o triángulos equiláteros, puede que los alumnos no lleguen a reconocer como triángulos los no situados en esa posición o los de otro tipo. Esta limitación está fomentada por algunos profesores y por algunos libros de texto.

Otra característica es la percepción individual de las figuras; lo que se observa en una figura no se generaliza a todas las que son de esa misma clase.

También es frecuente que la consideración global del concepto no incluya propiedades fundamentales; de hecho, por lo general, las justificaciones se basan en la percepción visual y hacen referencia a objetos reales o simplemente se menciona el nombre del concepto.

Segundo nivel

El razonamiento propio de este nivel incluye el descubrimiento y la generalización de propiedades a partir de unos pocos casos.

Esta forma de trabajo, consistente en la comprobación en pocos ejemplos, es lo que normalmente se entiende como “demostración” en este nivel. Por ello, si pedimos, por ejemplo, la demostración de la propiedad de que la suma de los ángulos de un triángulo es 180° , los estudiantes se limitarán a dibujar uno o dos triángulos y medir sus ángulos; o bien di-

rán que en los triángulos los ángulos miden 60° , 60° y 60° , por lo que su suma es 180° .

Para definir un concepto se proporciona una lista de propiedades, en la cual puede que se haya omitido alguna necesaria y/o que se hayan incluido más de las imprescindibles.

La ausencia de capacidad para relacionar las propiedades que definen un concepto con las que definen otro origina que las clasificaciones que se comprenden sean las disjuntas, no asimilándose plenamente las inclusivas o las que tienen intersecciones parciales. Por ejemplo, se entiende perfectamente una clasificación de los triángulos en equiláteros, isósceles y escalenos cuando éstos se definen, respectivamente, como los triángulos con los tres lados iguales, dos lados iguales y uno desigual, y los tres lados desiguales. Pero si los alumnos han aprendido anteriormente esta clasificación, no aceptarán, con sus consecuencias, una modificación de la definición de triángulo isósceles como triángulo *con al menos dos lados iguales*, con lo cual los equiláteros se convierten en un caso particular de los isósceles.

Tercer nivel

La comprensión y posibilidad de establecer relaciones tiene, entre otras, las consecuencias siguientes: en las demostraciones el punto de partida suele ser la experimentación, pero se siente la necesidad de recurrir a alguna justificación general, basada en propiedades conocidas que conduzcan directamente al resultado; en particular, se pueden establecer y se buscan implicaciones simples entre resultados. Por ello, estos estudiantes son capaces de entender y reproducir una demostración formal, no compleja, cuando se la va explicando paso a paso, ya que entonces tan solo deben comprender la conexión o implicación directa entre una situación y la siguiente.

Se comprenden y utilizan las definiciones con un sentido matemático, como conjunto mínimo, necesario y suficiente para definir un concepto; por eso ya no se da una lista muy larga de propiedades como definición y se intenta incluir todas las necesarias. También se aceptan definiciones nuevas de conceptos conocidos, aunque impliquen alguna variación sobre las características previas. Por ejemplo, si el estudiante conocía la definición del triángulo isósceles como "triángulo con dos lados iguales y uno desigual" y se le introduce una variación de este concepto como triángulo

que posee “al menos dos lados iguales”, será capaz de emplear esta nueva definición.

Se comprenden y utilizan clasificaciones no exclusivas. Se establecen las relaciones entre los diversos conceptos a partir de sus definiciones. Por ejemplo, si se define rombo como cuadrilátero con todos sus lados iguales, los alumnos pueden comprender que todos los cuadrados son rombos pero no todos los rombos son cuadrados.

Cuarto nivel

Se efectúan demostraciones formales, encadenando diversas implicaciones simples para llegar desde la hipótesis hasta la tesis.

El avance del cuarto nivel, respecto al tercero, en relación con las definiciones, consiste en la utilización de su equivalencia, esto es, los estudiantes de este nivel pueden admitir y demostrar si dos conjuntos de condiciones corresponden al mismo concepto. Por ejemplo, decir “cuadrilátero con sus diagonales perpendiculares y que se cortan en su punto medio” es lo mismo que decir “cuadrilátero con los cuatro lados iguales”.

Propiedades de los niveles

Dentro de su teoría, los Van Hiele señalan varias características de los niveles, a saber:

- Propiedad 1 (secuencialidad). Un alumno no puede estar en el nivel n de van Hiele sin haber pasado por el nivel.
- Propiedad 2 (adyacencia). En cada nivel de pensamiento se hace explícito lo que era implícito en el nivel anterior.
- Propiedad 3 (diferenciación). Cada nivel tiene su propia simbología y su propia red de relaciones.
- Propiedad 4 (separación). Dos personas que razonan dentro de niveles diferentes no pueden entenderse.

Usiskin (1982) ejemplifica estas propiedades de la siguiente manera. Considérese un estudiante que le señala a su profesor de geometría lo siguiente: “puedo entender una demostración cuando usted la hace en clase, pero no puedo hacerla en la casa”. Este estudiante puede estar en el nivel 3 mientras que el profesor está operando en el nivel 4. La propiedad 4 indica

que el estudiante no puede entender al profesor, y la propiedad 3 explica por qué no hay comprensión, pues el profesor está usando objetos (proposiciones, en el caso de la demostración) y una red de relaciones (la demostración en sí) que usadas de esa manera resulta incomprensible para el estudiante. Si el estudiante está en el nivel 3, entonces su red de relaciones consiste en el simple ordenamiento de proposiciones, y la propiedad 2 indica que ese ordenamiento, implícito en el nivel 3, se hace explícito en el nivel 4.

Paso de un nivel al siguiente

A diferencia de lo señalado por Piaget, los Van Hiele indican que el paso de un nivel al siguiente puede acelerarse a través de la instrucción. En este sentido, han dado explicaciones detalladas de cómo el docente debe dirigir a sus alumnos de un nivel al siguiente (Usiskin, 1982).

En general, según señalan Gutiérrez y Jaime (1995), los niveles no están asignados a una edad particular de los estudiantes, ocurriendo que algunos no superan nunca el segundo nivel, mientras que otros alcanzan el cuarto a los 14 ó 15 años. La enseñanza y la experiencia personal, agregan, son un factor importante en el progreso del razonamiento.

El modelo de Van Hiele ha despertado un interés creciente debido a que atiende al papel fundamental de las Matemáticas: el razonamiento. Un objetivo importante en cualquier ámbito de la enseñanza de las Matemáticas, es que los alumnos adquieran un nivel de razonamiento adecuado, además de determinar cómo actúan los alumnos y comparar y analizar cómo éstos se instruyen para pasar de un nivel a otro (Afonso, 2003).

No obstante, existen ciertos aspectos de la teoría para los cuales las investigaciones han mostrado resultados divergentes. En este sentido, Gutiérrez y Jaime (1995) indican que la propuesta original de los Van Hiele se decantaba por el paso brusco de un nivel al siguiente, esto es, un individuo comienza razonando según las características del primer nivel y llega un momento en el que ve la geometría de otra manera, desde la perspectiva del segundo nivel. Las investigaciones, sin embargo, han mostrado que no sucede así, sino que hay un período durante el cual aparecen razonamientos de dos niveles consecutivos. Algo parecido ocurre con la globalidad dentro de cada nivel. La globalidad supondría que una persona tiene el mismo nivel de razonamiento en todos los aspectos de la geometría. Nuevamente, las investigaciones parecen indicar que eso no sucede, que el nivel de razona-

miento es local, o sea que si un individuo razona a cierto nivel en un concepto, por ejemplo, “polígonos”, es posible que razona a otros niveles en otro concepto, por ejemplo, “isometrías”. Advierten sin embargo los autores, que es importante tener en cuenta que en cualquier caso el paso de un nivel al siguiente, si bien puede acelerarse a través de la instrucción como lo señalan los propios Van Hiele, requiere tiempo, años incluso si los estudiantes no poseen todavía en ningún campo de la geometría el nivel para el que se están desarrollando las actividades en ese momento.

Las observaciones que se han hecho a la teoría de Van Hiele, referidas por Gutiérrez y Jaime (1995), en cuanto a que el paso de un nivel al siguiente por parte de un alumno no es brusco sino gradual, puede conducir a pensar que no necesariamente puede ubicarse con precisión dentro de un cierto nivel, o de que en distintos aspectos de la geometría pudieran presentarse distintos niveles, no es a nuestro juicio, algo de qué preocuparse a los efectos de esta investigación, ya que nuestro interés recae primordialmente en la tendencia general del grupo estudiado.

La teoría de los niveles de razonamiento brinda una elegante y práctica gradación de niveles, claramente establecidos, que permite una operacionalización relativamente sencilla conducente a la posibilidad de ubicar un alumno cualquiera dentro de uno de esos niveles, insumo sin dudas muy valioso para el docente de geometría. Por ende, fue adoptada para este estudio considerando no solamente los planteamientos originales de sus autores, sino también los aportes teóricos de otros investigadores, como Usiskin, Clements y Battista, Mason, Afonso, y Jaime y Gutiérrez.

2. Metodología

2.1. Definición de la variable de estudio

El razonamiento geométrico es aquel que se manifiesta en un individuo cuando, en un determinado campo de la geometría, a partir de los datos y relaciones geométricas que se le suministran, es capaz de llegar a una conclusión en una situación con la que nunca se había enfrentado antes, proceso que el individuo puede desarrollar dentro de uno de cinco posibles niveles de complejidad, cada uno de los cuales, a partir del segundo, incluye y supera a los anteriores.

2.2. Operacionalización de la variable

Si bien la teoría de van Hiele contempla cinco niveles de razonamiento, los resultados del extenso trabajo de Usiskin (1982) muestran que la teoría no está lo suficientemente elaborada como para realizar pruebas que sean concluyentes para asignar un individuo en el nivel más alto, cuando señala en su primera conclusión que en la forma dada por los van Hiele, el nivel 5 o bien no existe o no es comprobable, pero que sin embargo todos los otros niveles sí son comprobables. En este sentido, Usiskin refiere que el propio P. M. van Hiele, durante un viaje realizado a los Estados Unidos en 1980, reconoció no creer en un quinto nivel, cambiando así la visión que había expresado unos años atrás.

Es por ello que resulta pertinente limitar el estudio a los primeros cuatro niveles de razonamiento geométrico, sobre todo porque de existir ciertamente ese quinto nivel estaría referido esencialmente al conocimiento y dominio de sistemas geométricos que requieren un mayor nivel de abstracción, como en las geometrías no euclidianas, y que no constituyen el objeto de estudio ni la intencionalidad del curso de geometría de la Facultad de Ingeniería, respecto del cual no se pretende que ingresen ni tampoco que egresen estudiantes con un nivel cinco de razonamiento, en caso de que, reiteramos, tal nivel existiera.

Así entonces, la escala a utilizar para el estudio va desde el nivel 1 hasta el nivel 4 de razonamiento, llamada escala de los Niveles Modificados de van Hiele (Usiskin, 1982).

La teoría de los van Hiele señala que para ubicar un individuo dentro de un determinado nivel de razonamiento, debe evidenciar razonamientos característicos de ese nivel y de todos los anteriores, pero de ninguno de los siguientes. Este criterio, si bien en principio luce elegante y razonable, entraña cierta rigidez al momento de operacionalizar y medir la variable de estudio a través de un instrumento, pues en la práctica se presentan patrones de respuestas que no encajan exactamente con él, pero que realmente no impiden clasificarlas razonablemente dentro de un cierto nivel en lugar de catalogarlas como "no ubicables". En virtud de ello, se optó por ampliar los criterios para clasificar a los estudiantes dentro de un cierto nivel modificado de Van Hiele, incluyendo, como sugiere Usiskin (1982), además de los señalados por la teoría, los siguientes casos: (a) el estudiante

cumple con los criterios para los niveles n y $n - 1$ pero tal vez no para uno de los $n - 2$ o $n - 3$; o (b) el estudiante cumple con el criterio para el nivel n , todos los niveles debajo de n , pero no para el $n + 1$ aunque también cumpla el criterio para un nivel más alto.

Tomando en cuenta los criterios antes señalados, se elaboró la tabla 1 donde se muestran las dimensiones y los indicadores de la variable de estudio.

TABLA 1. Operacionalización de la variable razonamiento geométrico

Dimensiones	Indicadores
Nivel 0	El alumno no es capaz de resolver problemas geométricos característicos del nivel 1 de razonamiento, y a lo sumo resuelve problemas característicos de uno de los niveles subsiguientes (niveles 2, 3 y 4).
Nivel 1	El alumno es capaz de resolver problemas geométricos característicos del nivel 1 de razonamiento, pero no del nivel 2, y a lo sumo resuelve problemas característicos de uno de los niveles subsiguientes (niveles 3 y 4).
Nivel 2	El alumno es capaz de resolver problemas geométricos característicos del nivel 1 y del nivel 2 de razonamiento, pero no del nivel 3, independientemente de si resuelve o no problemas característicos del nivel 4.
Nivel 3	El alumno es capaz de resolver problemas geométricos característicos del nivel 3 y del nivel 2 de razonamiento, pero no del nivel 4, independientemente de si resuelve o no problemas característicos del nivel 1.
Nivel 4	El alumno es capaz de resolver problemas geométricos característicos del nivel 4 y del nivel 3 de razonamiento, y de al menos uno de los niveles anteriores (niveles 1 y 2).

Fuente: Usiskin (1982).

2.3. Caracterización de la investigación

La investigación busca estudiar el razonamiento geométrico en alumnos que cursan geometría en la Facultad de Ingeniería de LUZ, para lo cual interesa determinar su nivel de razonamiento al inicio y al final del curso a fin de documentar su evolución. Con base en los criterios de Hurtado

(2000), puede establecerse que se trata de un estudio de tipo descriptivo secuencial (o evolutivo) de campo, ya que se pretende describir la evolución o proceso de cambio del evento, acompañándolo en el tiempo y obteniendo los datos de fuentes vivas en el contexto natural o habitual donde ocurre.

2.4. Diseño de la investigación

La investigación se realizó con un mismo grupo de estudiantes cursantes de geometría para el cual se determinó el nivel de razonamiento según la escala de Van Hiele en dos momentos: al iniciarse el curso y, posteriormente, una vez finalizada la primera unidad del mismo. Con estas dos mediciones se buscaba no sólo conocer un aspecto muy importante como lo es el nivel de razonamiento geométrico con el que ingresan los alumnos, sino el desarrollo que experimentan a lo largo del curso.

La primera unidad del curso se refiere al estudio de la geometría plana elemental, y es allí donde se requiere que los alumnos realicen demostraciones geométricas, poniendo a prueba su razonamiento. El resto del curso (segunda unidad) se dedica al estudio de la geometría analítica plana, no exigiéndose por lo general en esa parte la demostración de propiedades. Por estas razones, se consideró que al finalizar la primera unidad era propicio realizar el postest, pues para efectos del razonamiento geométrico la medición efectuada en ese momento sería equivalente a la realizada al final del curso y además se reducía la posibilidad de muerte experimental de los sujetos de la muestra.

2.5. Procedimiento

Se realizó un diseño estándar pretest-postest, para lo cual se determinó el nivel de razonamiento de los alumnos, al inicio del curso y al final de la primera unidad, empleando para ello la Prueba de Geometría de van Hiele (Van Hiele Geometry Test) elaborada en la Universidad de Chicago por el proyecto CDASSG (Desarrollo Cognitivo y Logro en la Geometría de la Escuela Secundaria), dirigido por Zalman Usiskin (Usiskin, 1982).

Para recabar y procesar la información se procedió de la siguiente manera:

- a. Se informó a los estudiantes participantes acerca de los objetivos de la investigación, haciéndose énfasis en que se trataba de una prueba

- para medir el nivel de razonamiento geométrico sin que ello tuviese en modo alguno relación con las evaluaciones ordinarias del curso.
- b. Al final de la primera clase del curso se aplicó el instrumento a los estudiantes participantes, para recabar la información en ese primer momento (pretest).
 - c. Una vez finalizada la primera unidad del curso de geometría se aplicó nuevamente el instrumento a los estudiantes participantes, a fin de recabar la información en ese segundo momento (postest).
 - d. Se transcribieron al computador las respuestas dadas por los alumnos para posteriormente procesarlas.
 - e. Se determinó el nivel de razonamiento de van Hiele para cada alumno en el pretest y en el postest, de acuerdo con las pautas establecidas en los indicadores y en el diseño del instrumento.
 - f. Se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para dos muestras relacionadas para determinar si existían diferencias significativas entre las medianas de la variable de estudio medidas en el pretest y en el postest.

2.6. Participantes

La población objeto de estudio estuvo constituida por los estudiantes de geometría del primer período de 2009 de la Facultad de Ingeniería de LUZ, integrada por 1.022 sujetos.

En este estudio, se trabajó con 5 secciones de alumnos cursantes de geometría, garantizando de esta forma un tamaño suficientemente grande de participantes. Las secciones fueron escogidas intencionalmente para facilitar la aplicación de la prueba en los momentos requeridos, sobre todo para el pretest, pues se necesitaba realizarlo antes de iniciar cualquier explicación acerca de las formas válidas y no válidas de razonamiento, lo cual ocurre normalmente en la primera o segunda clase del curso y representaría la presencia de una variable interviniente no deseada que podría afectar los resultados.

Se trabajó en principio con un total de 181 alumnos, pero durante el proceso ocurrió la muerte experimental de 17 de ellos, razón por la cual la muestra definitiva quedó conformada por 164 alumnos de recién ingreso al I semestre de la Facultad, de ambos sexos, con edades comprendidas

entre los 16 y los 18 años, inscritos en las Escuelas de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica.

Cabe señalar que los estudios de Frykholm (1994) y Halat (2006) señalan que el género no es un factor que esté relacionado significativamente con los niveles de Van Hiele, de modo que no se hizo ningún tipo de preselección en la muestra en función de este parámetro.

2.7. Instrumentos

Se han diseñado varios instrumentos para medir el razonamiento geométrico de los alumnos, algunos basados en la teoría de los niveles de van Hiele, dentro de los cuales destacan el diseñado por Jaime y el diseñado por Usiskin y sus colaboradores. Este último ha sido utilizado ampliamente y goza de aceptación universal, con la ventaja de que los ítems que lo conforman están presentados en forma más clara para el estudiante (e incluso para los profesores) que el de Jaime, tal y como lo señala Afonso (2003) al comparar ambos instrumentos en su tesis doctoral.

Debido a lo anterior, se optó por utilizar la Prueba de Geometría de van Hiele (van Hiele Geometry Test) elaborada en la Universidad de Chicago por el proyecto CDASSG (Desarrollo Cognitivo y Logro en la Geometría de la Escuela Secundaria), dirigido por Zalman Usiskin (Usiskin, 1982), con la debida autorización del Dr. Usiskin y traducida al español por los autores. Este instrumento contiene 25 ítems, estructurados en 5 grupos de 5 ítems cada uno, y organizados dichos grupos en orden creciente de dificultad, uno para cada uno de los niveles de Van Hiele. Los ítems del instrumento son de selección simple, debiendo escoger el alumno una de cinco posibles respuestas (desde la A hasta la E), siendo correcta solamente una de ellas. El instrumento consta de dos partes: un folleto contentivo de las instrucciones generales y las 25 preguntas, sobre el cual el alumno no debe señalar ninguna respuesta ni hacer dibujo o marca alguna; y una hoja de respuestas para los 25 ítems en la que se muestran las 5 opciones de respuestas para cada uno (A-B-C-D-E) a fin de que el alumno encierre con un círculo, en cada ítem, la que considere correcta. También se dispone en la hoja de respuestas de un espacio en blanco para que el alumno realice sus dibujos y operaciones.

2.8. Valoración individual de cada nivel de cada estudiante

Como se indicó anteriormente, cada nivel de Van Hiele se mide con base en 5 ítems del instrumento. De acuerdo con sus diseñadores, para validar un determinado nivel pueden utilizarse dos criterios: a) requerir que se contesten correctamente al menos 3 de las 5 preguntas de ese nivel; b) requerir que se contesten correctamente al menos 4 de las 5 preguntas de ese nivel. Obviamente, el segundo criterio es más estricto que el primero, y los resultados pueden variar según se escoja uno o el otro. Usiskin (1982) señala que el criterio 3 de 5 minimiza la posibilidad de perder un estudiante en la investigación por no poderse ubicar dentro de alguno de los niveles, mientras que el criterio 4 de 5 minimiza la posibilidad de que el estudiante se ubique en el nivel por adivinación. Para efectos de esta investigación se prefirió adoptar el criterio 3 de 5 pues, por una parte, se consideró más importante el no perder en lo posible datos en el estudio, y por la otra debido a que un criterio más estricto tendería a ubicar más cantidad de alumnos en los primeros niveles, disminuyendo el poder de discriminación del instrumento, pues como lo señala Usiskin en su estudio, de haber utilizado únicamente el criterio 4 de 5, el 88% de los sujetos en el pretest podría ubicarse en un mismo nivel.

De esta forma, a cada nivel de cada estudiante se le valoró con uno de dos posibles resultados: 0 si no respondía correctamente al menos 3 de las 5 preguntas del nivel; 1 si respondía correctamente al menos 3 de las 5 preguntas del nivel.

2.9. Determinación del nivel de van Hiele de cada estudiante

Una vez valorados individualmente los niveles para cada estudiante, se procedió a determinar el nivel de Van Hiele de cada uno, tomando en cuenta los criterios señalados en los indicadores de la variable para cada dimensión (cada nivel). Para ello se procedió de la siguiente forma:

- a. Se ponderaron los 5 niveles asignándoles puntuaciones crecientes a cada uno, a saber: 1 para el nivel 1, 2 para el nivel 2, 4 para el nivel 3, 8 para el nivel 4 y 16 para el nivel 5.
- b. Se determinó luego la suma ponderada para cada estudiante, resultado de sumar los productos de la valoración individual de cada nivel (0 ó 1) por su respectiva ponderación. Este procedimiento arroja un

total de 31 posibles combinaciones de respuestas: $C_1^5 + C_2^5 + C_3^5 + C_4^5 + C_5^5 = 5 + 10 + 10 + 5 + 1 = 31$, ocurriendo que cada suma ponderada corresponde a una y sólo una de dichas combinaciones, tal y como se muestra en la tabla 2, de modo que al conocerse la suma ponderada se conoce cuál es la combinación que le dio origen. De esta forma es posible determinar el nivel de Van Hiele de cada estudiante en función de su respectiva suma ponderada.

- c. Finalmente, atendiendo lo señalado en los indicadores de la variable, se determinó el nivel modificado de Van Hiele de cada alumno. En virtud de que los niveles modificados de Van Hiele varían del 0 al 4, las respuestas dadas por los alumnos para el nivel 5 no influyen en su determinación. Sin embargo, ciertas combinaciones de respuestas pueden no cumplir con ninguno de los criterios señalados en los indicadores; en tales casos, se procede a registrar como Sin Ubicación (S.U.) al respectivo alumno. En la tabla 2 se muestran las sumas ponderadas que corresponden a cada nivel y a los casos S.U.

TABLA 2. Prueba de geometría de Van Hiele (usiskin). Sumas ponderadas correspondientes a cada nivel de Van Hiele

Nivel	Suma ponderada
0	0, 2, 4, 8, 16, 18, 20, 24
1	1, 5, 9, 17, 21, 25
2	3, 11, 19, 27
3	6, 7, 22, 23
4	13, 14, 15, 29, 30, 31
S.U.	10, 12, 26, 28

Aplicando el procedimiento indicado, se determinó el nivel de Van Hiele de cada alumno en el pretest y en el postest.

3. Resultados

3.1. Pretest

Como puede apreciarse en la tabla 3, en el pretest casi la mitad de los alumnos (47,0%) se encuentra en el nivel 1 de razonamiento o ni siquiera

alcanza este nivel, y casi la totalidad de los alumnos (92,1%) se encuentra en el nivel 2 o por debajo de él; sólo 13 alumnos (7,9%) de los 164 participantes se ubicaron en los niveles 3 ó 4. Asimismo, fue posible ubicar en el pretest a todos los participantes en alguno de los niveles de van Hiele.

TABLA 3. Distribución de alumnos en los niveles de Van Hiele

Nivel	Cantidad de alumnos	Porcentaje de alumnos	Porcentaje acumulado
0	20	12.2%	12.2%
1	57	34.8%	47.0%
2	74	45.1%	92.1%
3	10	6.1%	98.2%
4	3	1.8%	100.0%
S.U.	0	0.0%	100.0%
Total	164	100.0%	—o—

3.2. Postest

En la tabla 4 se observa que en el postest de los 164 alumnos participantes sólo 12 (7,3%) fueron ubicados en los niveles 0 ó 1, en tanto que la mayoría (128 sujetos, 77,9%) se encuentra ubicada entre los niveles 2 y 3, y 23 sujetos (14,0%) se ubicaron en el nivel 4 de razonamiento. Sólo uno de los participantes en el postest resultó sin ubicación en los niveles de Van Hiele.

TABLA 4. Distribución de alumnos por nivel de Van Hiele (postest)

Nivel	Cantidad de alumnos	% de alumnos	% de alumnos ubicados	Porcentaje acumulado
0	1	0.6%	0.6%	0.6%
1	11	6.7%	6.7%	7.4%
2	61	37.2%	37.4%	44.8%
3	67	40.9%	41.1%	85.9%
4	23	14.0%	14.1%	100.0%
S.U.	1	0.6%	—o—	—o—
Total	164	100.0%	100.0%	—o—

3.3. Comparación entre los resultados del pretest y del postest

Para comparar los resultados obtenidos en el pretest y en el postest se prepararon tablas cruzadas con la información recopilada en ambos momentos. En la tabla 5 se aprecia cómo se distribuyeron en el postest, dentro de los distintos niveles de Van Hiele, los alumnos correspondientes a cada nivel en el pretest. Así por ejemplo, se observa en la fila 1 de la tabla que de 20 alumnos que se iniciaron en el nivel 0, 1 permaneció en ese nivel, 6 terminaron en el nivel 1, 12 en el nivel 2, 1 en el nivel 3 y ninguno en el nivel 4. En la tabla se han resaltado en negritas para cada nivel en el pretest (para cada fila) el nivel equivalente a la mediana en el postest, lo cual permite visualizar en forma general cómo se dieron las variaciones entre ambos momentos.

TABLA 5. Tabulación cruzada de niveles de Van Hiele pretest-postest (cantidad de alumnos)

Nivel	Postest						S.U.	Total
	0	1	2	3	4			
0	1	6	12	1	0	0	20	
1	0	1	31	19	6	0	57	
2	0	4	16	41	12	1	74	
3	0	0	2	5	3	0	10	
4	0	0	0	1	2	0	3	
S.U.	0	0	0	0	0	0	0	
Total	1	11	61	67	23	1	164	

En la tabla 6 se muestran los mismos resultados pero en términos porcentuales, a fin de apreciar más claramente en cuál proporción se distribuyeron los alumnos para cada grupo. Se observa en las tablas 5 y 6 que en general los alumnos que se inician en el nivel 0 tienden en su mayoría a finalizar en el nivel 2; los que se inician en el nivel 1 tienden a finalizar también en el nivel 2; los que comienzan en el 2 a terminar en el 3; y los que se inician en los niveles 3 y 4 tienden a permanecer en el mismo nivel.

TABLA 6. Tabulación cruzada de niveles de Van Hiele pretest-postest (porcentaje de alumnos respecto de cada nivel)

Nivel	Postest						Total	
	0	1	2	3	4	S.U.		
Pretest	0	5.0%	30.0%	60.0%	5.0%	0.0%	0.0%	100.0%
	1	0.0%	1.8%	54.4%	33.3%	10.5%	0.0%	100.0%
	2	0.0%	5.4%	21.6%	55.4%	16.2%	1.4%	100.0%
	3	0.0%	0.0%	20.0%	50.0%	30.0%	0.0%	100.0%
	4	0.0%	0.0%	0.0%	33.3%	66.7%	0.0%	100.0%
	S.U.	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-

Las tablas anteriores, si bien ofrecen una visión general de los cambios entre el pretest y el postest, no permiten un análisis más detallado que resulta pertinente. En la tabla 7 se muestra para cada nivel de entrada cuántos alumnos bajaron de nivel, cuántos permanecieron igual, cuántos subieron un nivel y cuántos, dos o más niveles. La tabla 8 ofrece una información similar pero en términos de porcentajes.

TABLA 7. Resumen de variaciones en los niveles de Van Hiele (pretest-postest) (cantidad de alumnos)

Comenzando en el nivel	Baja	Permanece igual	Sube 1 Nivel	Sube 2 O Más Niveles	Totales	Incremento promedio
0	-0-	1	6	13	20	1.65
1	0	1	31	25	57	1.53
2	4	16	41	12	73	0.84
3	2	5	3	-0-	10	0.10
4	1	2	-0-	-0-	3	-0.33
Totales	7 (4.3%)	25 (15.3%)	81 (49.7%)	50 (30.7%)	163 (100.0%)	1.11

TABLA 8. Resumen de variaciones en los niveles de Van Hiele (pretest-postest) (porcentaje de alumnos)

Comenzando en el nivel	Baja	Permanece igual	Sube 1 nivel	Sube 2 o más niveles	Número de alumnos	Incremento promedio
0	—o—	5.0%	30.0%	65.0%	20	1.65
1	0.0%	1.8%	54.4%	43.9%	57	1.53
2	5.5%	21.9%	56.2%	16.4%	73	0.84
3	20.0%	50.0%	30.0%	—o—	10	0.10
4	33.3%	66.7%	—o—	—o—	3	-0.33
Nº de alumnos	7	25	81	50	163	1.11

Observando las tablas 7 y 8 se aprecia que de los alumnos que se iniciaron en el nivel 0 (12,2% de la muestra) aproximadamente una tercera parte subió un nivel y el resto subió dos o más niveles al final de la unidad. Quienes se iniciaron en el nivel 1 (34,8% de la muestra) se distribuyeron casi en partes iguales entre los que subieron un nivel y los que subieron dos o más niveles. Por su parte, un poco más de la mitad (56,2%) de aquellos que comenzaron en el nivel 2 (45,1% de la muestra) alcanzaron el nivel 3, permaneciendo igual aproximadamente la quinta parte (21,9%) y en menor proporción los que alcanzaron el nivel 4 (16,4%); 4 alumnos de este grupo (5,5%) disminuyeron de nivel. De los alumnos que comenzaron en el nivel 3 (sólo 10 del total: 6,1%), exactamente la mitad permaneció en el mismo nivel, 3 sujetos (30%) alcanzaron el nivel 4 y 2 alumnos (20%) bajaron de nivel. De los alumnos que iniciaron en el nivel 4 (sólo 3, 1,8%), uno bajó de nivel y los otros dos permanecieron en el mismo. La tendencia general más acentuada es la de incrementar 1 nivel (49,7%), seguida por la de incrementar 2 o más niveles (30,7%), de donde se deduce que el 80,4% de los alumnos de la muestra incrementaron al menos un nivel de Van Hiele al final del curso.

Asimismo, se observa en las tablas 7 y 8 que el incremento promedio en el nivel de Van Hiele disminuye a medida que aumenta el nivel con el que inicia el alumno. Así, quienes se iniciaron en el nivel 0 experimentaron un incremento promedio de 1,65 en su nivel de Van Hiele; quienes se

iniciaron en el nivel 1, incrementaron en promedio su nivel en 1,53; para quienes comenzaron en el nivel 2 se observó un incremento medio de 0,84 y para quienes se iniciaron en el nivel 3 el incremento medio es prácticamente nulo (0,10). Era de esperar que aquellos alumnos que se iniciaron en el nivel 4 se mantuviesen en él; sin embargo uno de ellos bajó de nivel, aunque tratándose de un grupo de sólo 3 alumnos no es pertinente establecer conclusiones firmes al respecto. Se observa por último que los integrantes de la muestra incrementaron en promedio su nivel de van Hiele en 1,11.

En el gráfico 1 se muestran las distribuciones porcentuales por nivel de van Hiele tanto para el pretest como para el postest. El gráfico permite apreciar visualmente cómo en el pretest las barras tienden a agruparse hacia la izquierda de la escala, señal de que la mayor parte de los alumnos presenta niveles de van Hiele menores o iguales a 2, en tanto que en el postest las barras tienden a agruparse más hacia la derecha de la escala, mostrando que al final de la unidad los alumnos en general habían incrementado su nivel de van Hiele, ubicándose principalmente entre los niveles 2 y 3.

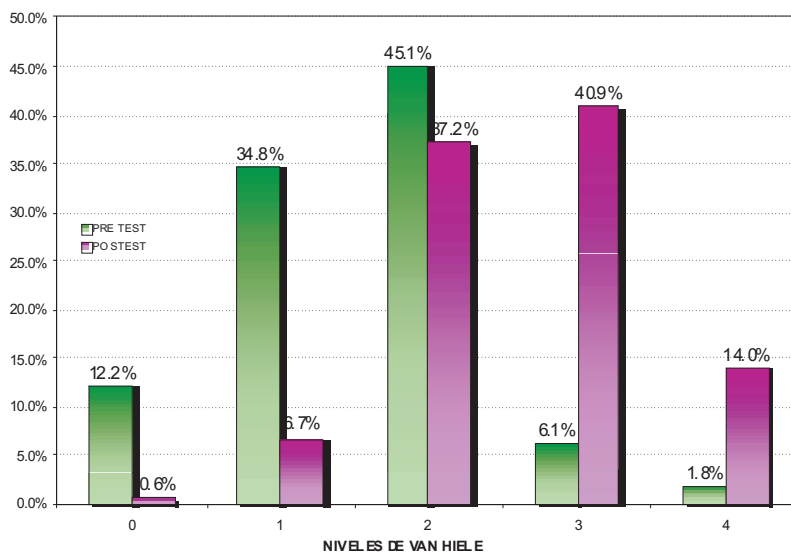


GRÁFICO 1. Distribución porcentual comparada de alumnos por nivel de Van Hiele (pretest-postest).

Si bien la variable de estudio no es continua, se muestra en el gráfico 2 un polígono de frecuencia, resultado de unir los puntos correspondientes a los porcentajes de cada nivel para el pretest y para el postest. De esta forma se puede apreciar cómo las dos curvas se cortan entre los niveles 2 y 3, bajando drásticamente la del pretest y al mismo incrementándose notablemente la del postest, observándose claramente la tendencia de los alumnos a ubicarse en niveles más altos al final del curso.

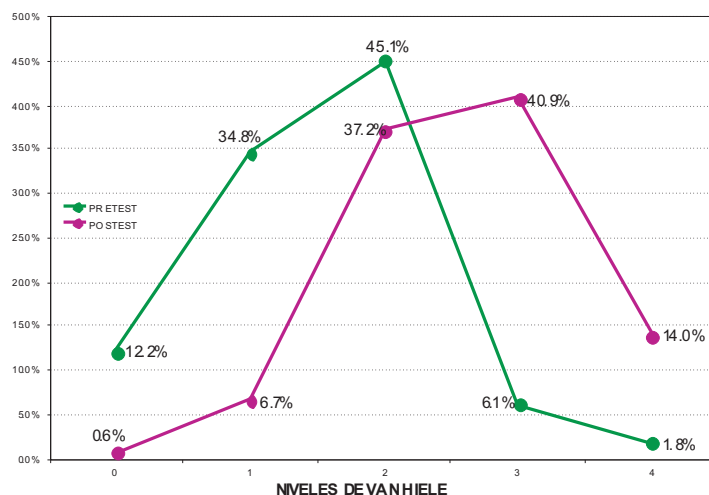


GRÁFICO 2. Curvas de distribución porcentual de alumnos por nivel de Van Hiele (pretest-postest).

El gráfico 3 muestra otra forma de comparar los resultados generales del pretest y el postest, dado por las curvas S de los porcentajes acumulados de los niveles de Van Hiele para ambos momentos. Allí se aprecia cómo la curva para el postest se mantiene apreciablemente por debajo de la curva del pretest en los niveles del 0 al 2, acercándose recién en el nivel 3, lo cual es indicativo de que en el postest la cantidad de alumnos en los niveles iniciales es menor que en el pretest, señal de que en el postest hay más cantidad de alumnos en los niveles más altos que en el pretest.

Para garantizar que las diferencias en el razonamiento geométrico señaladas en los resultados fuesen estadísticamente significativas se aplicó, conforme a lo señalado por Hurtado (2000) y Daniel (1997), la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas, debido a que, por una parte, se tra-

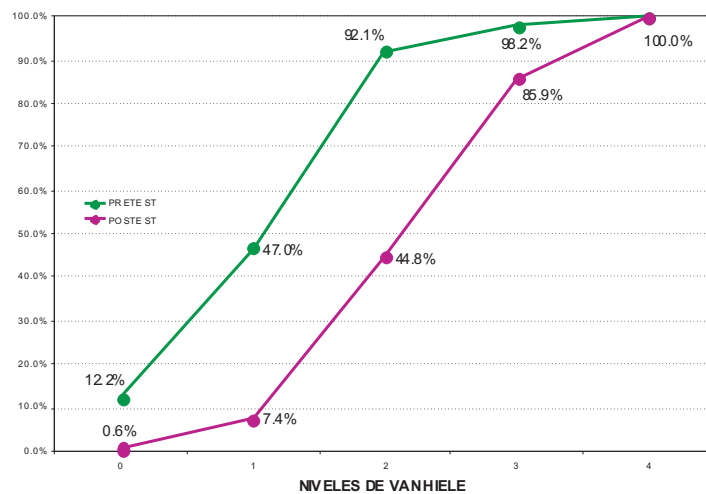


GRÁFICO 3. Curvas de porcentajes acumulados de alumnos por nivel de Van Hiele (pretest-postest).

ta de un mismo grupo al que se le aplicó el instrumento en dos momentos diferentes y, por la otra, a que en la variable objeto de estudio los niveles de van Hiele es de tipo ordinal, es decir, que los datos pueden ordenarse pero no tienen ningún significado las diferencias entre valores de los mismos. Tales pruebas, realizadas a través del paquete estadístico SPSS 12.0, arrojaron un nivel de significancia menor a 0,001, reflejando que las diferencias observadas son en efecto estadísticamente significativas y no debidas al azar, por lo cual puede asegurarse que en los alumnos objeto de este estudio el nivel de van Hiele al final del curso de geometría en general es mayor que al inicio del mismo en los términos indicados en los resultados.

Conclusiones

Vistos los resultados obtenidos luego de analizada la información recabada, se establecieron las conclusiones siguientes:

El estudio reveló que el razonamiento geométrico medido según la escala de van Hiele mostrado por los alumnos antes de iniciar el curso de geometría se ubica casi en su totalidad (92,1%) entre los niveles 0, 1 y 2, lo cual se traduce en que algunos no evidencian ningún tipo de razonamiento geométrico, otros apenas pueden identificar las figuras geométricas

como un todo, por su forma pero no por sus propiedades, y los demás sí pueden identificar propiedades de las figuras y son conscientes de que están formadas por partes, pero no son capaces de ordenarlas lógicamente ni de realizar razonamientos deductivos. Este nivel de razonamiento se esperaría de alumnos de la escuela primaria pero no de estudiantes con grado de bachiller, para los cuales un nivel 3 de razonamiento sería el mínimo deseable, indicativo de que hubiesen iniciado el desarrollo de su capacidad de razonamiento deductivo.

En relación con el nivel de razonamiento de los estudiantes al final del curso, el estudio mostró que se ubica mayoritariamente (78,1%) entre los niveles 2 y 3, lo cual significa que algunos todavía sólo alcanzan a identificar propiedades de las figuras aunque son conscientes de que están formadas por partes, pero no son capaces de ordenarlas lógicamente ni de realizar razonamientos deductivos; en tanto que otros en cambio pueden ordenar lógicamente las figuras y sus relaciones y comienzan a desarrollar su capacidad de razonamiento matemático, comprendiendo las demostraciones de varios pasos cuando se le explican pero no alcanzando a realizarlas por sí mismos. Este nivel de razonamiento no es sin embargo el que se supone corresponda con alumnos que han concluido el curso de geometría, y se esperaría que en su mayoría mostraran un nivel 4 de razonamiento, al cual sólo el 14% de los estudiantes de la muestra logró llegar o mantenerse.

La comparación entre los niveles de van Hiele reflejados al inicio y al final del curso muestra resultados en cierta forma divergentes. Por una parte se evidenció que casi la mitad de los alumnos (49,7%) incrementó un nivel con respecto al de ingreso y casi la tercera parte (30,7%) incrementó al menos dos niveles; sólo alrededor de la quinta parte (19,6%) bajó de nivel o permaneció igual. Desde esa perspectiva, puede decirse que los alumnos lograron un incremento importante en su nivel de razonamiento, ya que más del 80% logró superar el que mostraba al inicio del curso. Sin embargo, por otra parte, estos incrementos deben ponderarse tomando en cuenta el nivel con respecto al cual se experimentaron. Los alumnos que incrementaron 2 niveles, o más, provenían en su mayoría (76%) de los niveles 0 y 1, de modo que al final lograron alcanzar en general sólo los niveles 2 y 3, en tanto que apenas un pequeño porcentaje (16,4%) de los alumnos provenientes del nivel 2 lograron subir dos niveles para llegar al 4.

Estos alumnos, provenientes de los niveles 0, 1 y 2, representan a la gran mayoría de los participantes en el estudio (92%) y por lo tanto los resultados por ellos evidenciados, que señalan un éxito limitado en el mejoramiento de su razonamiento geométrico, son prácticamente representativos de toda la muestra. Adicionalmente, más allá de que representan sólo el 6,1% de la muestra, era de esperar que los alumnos provenientes del nivel 3 alcanzaran en su mayoría el nivel 4, pero esto no ocurrió: del total de 10 sólo 3 lo hicieron, en tanto que el resto permaneció en el nivel 3 o bajó de nivel.

Los resultados evidenciados por el estudio, que señalan que apenas 23 alumnos de un total de 164 logró alcanzar el nivel 4 de razonamiento, son compatibles con los señalados por Bohórquez y Hernández (2003) en su estudio acerca del obstáculo del razonamiento común en estudiantes de ingeniería, en el cual se concluyó que, a pesar de haber terminado un curso de geometría, más del 90% de los alumnos del estudio evidenció la presencia del obstáculo. Esto se caracteriza por validar y utilizar arbitrariamente el recíproco de una implicación lógica con base en la concepción errónea de que si el directo es verdadero entonces el recíproco también lo es.

Finalmente, cabe señalar que los resultados observados son también compatibles con los niveles de prosecución históricamente bajos observados en los cursos de geometría de la Facultad de Ingeniería.

Referencias

- Afonso, M. (2003). *Los niveles de pensamiento geométrico de Van Hiele*. Un estudio con profesores en ejercicio. Disertación doctoral. Universidad de La Laguna. España.
- Bohórquez, H. y Hernández, A. (2003). El razonamiento común: un obstáculo epistemológico en geometría. *Revista de Pedagogía*, 24, 7-37.
- Clements, D. y Battista, M. (1990). The effects of logo on children's conceptualizations of angle and polygons. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(5), 356-371.
- Daniel, W. (1997). *Estadística con aplicaciones a las ciencias sociales y a la educación*. México: McGraw-Hill.

- Duval, R. (1998). Geometry from a Cognitive Point of View. En C. Mammana y V. Villani (Eds.), *Perspectives on the Teaching of Geometry for the 21st Century: an ICMI study*. Dordrecht, Holanda: Kluwer.
- Fischbein, E. (1993). The theory of figural concepts. *Educational Studies in Mathematics*, 24(2), 139-162.
- Frykholm, J. (1994). External variables as predictors of Van Hiele levels in algebra and geometry students. Wisconsin, EE.UU.: University of Wisconsin-Madison.
- Gutiérrez, A. y Jaime, A. (1995). *Geometría y algunos aspectos generales de la educación matemática*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Halat, E. (2006). Sex-related differences in the acquisition of the van Hiele levels and motivation in learning geometry. *Asia Pacific Education Review*, 7(2), 173-183.
- Hurtado, J. (2000). Metodología de la investigación holística. Caracas: Sypal.
- Lanz, R. (2007). El arte de pensar sin paradigmas. *Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*, 4(3), 93-102.
- Mason, M. (1997). The van Hiele model of geometric understanding and mathematically talented students. *Journal for the Education of the Gifted*, 21(1), 39-53.
- Usiskin, Z. (1982). *Van Hiele levels and achievement in secondary school geometry (CDASSG project)*. Chicago, EE.UU.: University of Chicago, Department of Education.
- Van Hiele, P.M. (1957). *El problema de la comprensión en conexión con la comprensión de los escolares en el aprendizaje de la geometría*. Disertación doctoral. Traducción al español de Ángel Gutiérrez et al. Universidad Real de Utrecht. Holanda.
- Van Hiele, P.M. (1986). *Structure and insight: A theory of mathematics education*. Orlando, EE.UU.: Academic Press.

Prevalencia y grado de infección de helmintos gastrointestinales en rebaños bovinos doble propósito del municipio Miranda del estado Zulia, Venezuela

*Margelys Urdaneta-Fernández**
Ángela Urdaneta, Alexander Parra
Everts Chacín, Roger Ramírez-Barrios
Francisco Angulo-Cubillán

RESUMEN

Con la finalidad de determinar la prevalencia, grado de infección y géneros presentes de helmintos gastrointestinales en rebaños bovinos doble propósito del municipio Miranda del estado Zulia, Venezuela, se realizó un muestreo a 575 animales provenientes de ocho sistemas de producción, distribuidos de manera proporcional a la estructura etaria de los rebaños en cinco grupos: 1.- menores a tres meses, 2.- entre tres y seis meses, 3.- entre seis y 12 meses, 4.- entre 12 y 32 meses y 5.- mayores a 32 meses de edad. Las muestras de heces se tomaron directamente del recto, se rotularon y se mantuvieron en refrigeración hasta su procesamiento. Se utilizó la técnica de McMaster modificada para la determinación de huevos por gramo de heces, y a las muestras positivas se les realizó un coprocultivo, recuperándose larvas infectivas a través de la técnica de migración larvaria. Los géneros observados

* Unidad de Investigaciones Parasitológicas, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia. francisco.angulo@fcv.luz.edu.ve

fueron identificados por la morfología de sus huevos o larvas infectivas. La prevalencia y el grado de infección estimado en huevos por gramo generales de nematodos gastrointestinales fueron 34,2 y 53,4%, respectivamente; los valores más elevados los mostró el G2 con 74,5% y 183 hpg, y los más bajos el G5 con 13% y 2,2 hpg. Para el cestodo *Moniezia* spp. la prevalencia fue 2,6% y los hpg 1,8; el G3 mostró el mayor valor con 9,5%. Los géneros recuperados de los coprocultivos fueron: *Trichostrongylus*, *Haemonchus*, *Strongyloides* y *Oesophagostomum*. Estos resultados sugieren alto grado de infección de helmintosis gastrointestinales en rebaños bovinos doble propósito del municipio bajo estudio.

PALABRAS CLAVE: Helmintos gastrointestinales, prevalencia, hpg, bovinos, doble propósito.

The Prevalence and Parasitic Burden of Gastrointestinal Nematodes in Dual Purpose Cattle Herds in the Miranda Municipality, State of Zulia, Venezuela

ABSTRACT

In order to determine the prevalence, degree of infection and gastrointestinal helminthes present in dual purpose cattle herds from Miranda Municipality, State of Zulia (Venezuela), a sample of 575 animals from eight production systems was taken, distributed proportionally according to the herd age structure in five groups: 1.- less than three months old; 2.- three to six months; 3.- six to 12 months; 4.- 12 to 32 months; and 5.- older than 32 months. Fecal samples were taken directly from the rectum, labeled and refrigerated until processing. The McMaster modified technique was used to determine eggs per gram (epg), and stool cultures were performed on the positive samples. The infective larvae were collected using the Baermann larval migration technique. The genres were identified by egg or infective larval morphology. The general prevalence and degree of infection estimated in epg for gastrointestinal nematodes were 34.2% and 53.4 epg, respectively. The highest values were shown by G2, with 74.5% and 183 epg,

and the lowest by G5, with 13% and 2.2 epg. For the cestode *Moniezia* spp., prevalence and epg were 2.6% and 1.8, respectively; G3 showed the highest value with 9.5%. Genres recovered from the stool cultures were: *Trichostrongylus*, *Haemonchus*, *Strongyloides* and *Oesophagostomum*. These results suggest a high degree of gastrointestinal nematode infection in dual purpose cattle herds from the municipality under study.

KEY WORDS: Gastrointestinal helminthes, prevalence, epg, cattle, double purpose.

Introducción

Las helmintosis gastrointestinales (hgi) expresa Angulo (2005b), son enfermedades causadas por diferentes géneros de parásitos que habitan el tracto digestivo de los vacunos y otros rumiantes, caracterizadas por generar inapetencia, síndrome de mala digestión y absorción, anemias, diarreas, edemas, disminución en la producción, retraso en el crecimiento y edad a la pubertad, predisposición a enfermedades y en algunos casos la muerte del animal.

Estas parasitosis están ampliamente distribuidas en las zonas tropicales, lo que garantiza condiciones apropiadas a lo largo del año para el auge y supervivencia de los estadios externos, aumentando las probabilidades para su transmisión a nuevos hospedadores, especialmente animales jóvenes debido a su baja respuesta inmunitaria. Adicionalmente, tal como lo señala Murphy y col. (2006), cuando estas parasitosis se vuelven crónicas generalmente pasan desapercibidas, causando grandes pérdidas económicas que se mantienen ocultas en la productividad disminuida del rebaño. El efecto de la parasitosis (Loyacano y col., 2002), sobre la producción se refleja en la pobre ganancia de peso o la mortalidad de animales jóvenes, así como las pérdidas de condición corporal en adultos.

Existen varios factores que favorecen la presencia de hgi (Murphy y col., 2006), los cuales pueden ser atribuidos al parásito, al hospedador y al ambiente. Dentro de los factores pertenecientes al hospedador, la edad es de mayor significancia (Jithendran y Bath, 1999), siendo los terneros los responsables de la mayor fuente de contaminación de los pastos y por ende de la transmisión y los adultos con sus bajas cargas parasitarias, sirven como reservorios de estas enfermedades para los animales más sensibles (Angulo y col., 2007c).

En Venezuela han sido reportadas altas prevalencias, siendo los géneros predominantes observados: *Haemonchus*, *Mecistocirrus*, *Trichostrongylus*, *Cooperia*, *Bunostomum*, *Strongyloides* y *Oesophagostomum*. Estos pueden variar dependiendo según Moreno y col. (1985) y Moreno y col. (1991) de la edad del animal, de las condiciones climáticas y del manejo en cada explotación. El municipio Miranda del estado Zulia cuenta con una importante explotación ganadera doble propósito, en las cuales no existe información sobre los géneros de helmintos gastrointestinales que afectan a la misma y orienten la planificación de medidas de control parasitario, por lo que se realizó una investigación para determinar los valores de prevalencia, el grado de infección, los géneros presentes y relacionar estas variables con la edad de los animales.

1. Materiales y métodos

El estudio se realizó en el municipio Miranda del estado Zulia (Venezuela) cuya zona de vida es un bosque seco tropical, con una temperatura media anual de 27°C, rango de humedad relativa: 60-95%, pluviosidad: 600-800 mm/año y suelo franco arenoso. Se realizó un muestreo aleatorio sistemático (Martin y col., 1997); a 575 animales, provenientes de ocho sistemas de producción del área en estudio, agrupados de acuerdo a su edad y distribuidos de manera proporcional a la estructura de los rebaños en cinco grupos: G1.- menores a tres meses, G2.- entre tres y seis meses, G3.- entre seis y 12 meses, G4.- entre 12 y 32 meses y G5.- mayores a 32 meses de edad. Los sistemas de producción basan su alimentación en el pastoreo de gramíneas introducidas, principalmente *Panicum maximum* (Guinea), y el control antihelmíntico se realiza a través de la utilización de fármacos para tal fin. No habían sido aplicados en un tiempo menor a tres meses.

Las muestras de heces se tomaron directamente del recto utilizando guantes plásticos desechables, se colocaron en envases plásticos debidamente rotulados, conservándose en refrigeración hasta su procesamiento en el laboratorio. Se utilizó la técnica de McMaster modificada para la determinación de los huevos por gramo de heces (hpg) con un valor mínimo detectable de 15. A las muestras positivas se les realizó un coprocultivo, recuperándose larvas infectivas a través de la técnica de migración larvaria. Los géneros observados fueron identificados por la morfología de sus huevos o larvas infectivas según lo indicado por García y col. (2000) y Van

Wyk y col. (2004). Según Martin y col. (1997), la prevalencia fue calculada de manera general y de acuerdo a los grupos etáreos.

2. Resultados y discusión

Para el estudio de la prevalencia de helmintos gastrointestinales en rebaños bovinos doble propósito del municipio Miranda del estado Zulia, el tamaño de la muestra fue calculado con un 95% de confianza, un error del 5% y una prevalencia esperada del 50%, dando como resultado 507 animales, aunque por la disponibilidad se muestreó un total de 575. De acuerdo a la proporción numérica de la conformación etárea de los rebaños estudiados quedaron conformados de la siguiente manera: G1: 47, G2: 55, G3: 110, G4: 110 y G5: 253 animales, respectivamente.

La prevalencia general de nematodos gastrointestinales fue 34,2% y el valor medio de hpg 53,4; similar a lo mostrado en otros estudios que reportan un rango de variación comprendido desde 26 a 100% (Padungtod y col., 2001), encontrándose estos valores por encima de los reportados por Angulo y col. (2207c) que observaron un 16,3% en una zona inundable del estado Zulia, aunque ese estudio sólo involucró animales adultos.

En los diferentes grupos etáreos, los resultados de la prevalencia y los hpg fueron: G1: 57,4% y 127, G2: 74,5% y 183, G3: 48,1% y 151, G4: 41,8% y 106, y G5: 13% y 2,2, respectivamente, mostrados en las figuras 1 y 2.

El G2 mostró mayor prevalencia (74,5%), lo cual pudiera ser debido a que los animales a esta edad comienzan a basar su alimentación en los

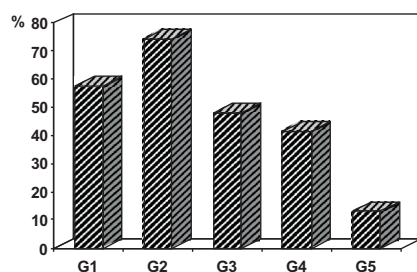


FIGURA 1. Prevalencia por grupo etáreo de nematodos gastrointestinales en bovinos doble propósito.

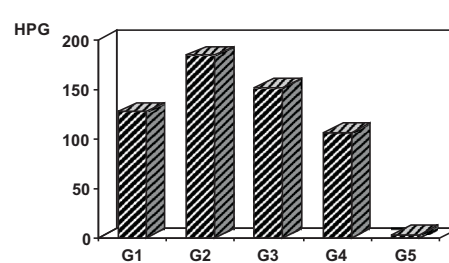


FIGURA 2. HPG por grupo etáreo de nematodos gastrointestinales en bovinos doble propósito.

pastizales, incrementando el riesgo de transmisión de las nematodosis gastrointestinales, por ser esta la principal vía de infección de la mayoría de los parásitos que habitan en el tracto intestinal. Además, al ser las mismas primoinfecciones, sumado al hecho de que la respuesta inmunitaria en esta especie frente a estas parasitosis es tardía, se favorece el desarrollo biológico y la mayor prevalencia de estos parásitos (Angulo y col., 2007d). El G1 mostró alta prevalencia, aunque menor que el G2, del 57,4%; el resto de los grupos mostraron valores menores, debido a que estos animales presentan una mayor resistencia inmunológica para contrarrestar la acción parasitaria generada por las reinfecciones.

Huerta y col. (1999), reportaron una prevalencia de nematodos gastrointestinales en bovinos de la región Sur del Lago de Maracaibo de 77%, siendo los animales de 6 a 12 meses de edad los que mostraron mayores valores. Moreno y col. (1985a), observaron mayor porcentaje de infección por nematodos en terneros menores de seis meses, resultados que concuerdan con lo reportado por Geurden y col. (2008), quienes observaron en una zona tropical que las mayores prevalencias las mostraban animales 3 a 24 meses (66%), comparado con los mayores a 24 meses (54%), al igual que Keyyu y col. (2005), que observaron los mayores valores de hpg en animales menores a un año.

Los resultados correspondientes a los hpg muestran que, el G2 es el que en promedio mostró un mayor grado de infección, seguido por el G3, G1, G4 y G5, respectivamente.

Los valores obtenidos de hpg por grupo etéreo son menores a los reportados por Moreno y col. (1991b), quienes indican un promedio de hpg para los becerros de 830,2 y mautes de 555,8. Similar a los resultados para el G5, Keyyu y col. (2005), reportan que el ganado adulto presentaba bajos valores de hpg.

En la investigación se observaron bajas prevalencias de *Moniezia* spp. (2,6%) y un valor medio 1,8 hpg para este cestodo. La prevalencia incrementó desde 4,2% en los animales menores a 3 meses (G1), hasta alcanzar un pico en el grupo de 6 a 12 meses (G3) con 9,5%, para disminuir hasta 0% en el grupo de mayores a 32 meses (G5), mostrando los hpg en un rango de 0 a 400. Resultados similares han sido reportados por otros autores, como Jiménez y col. (2007) y Wymann y col. (2008), quienes mostraron prevalencias entre 1 y 10%. Pero a diferencia de este trabajo, Jiménez y

col. (2007) observaron mayores prevalencias en animales adultos, sugiriendo una mayor oportunidad de exposición de los hospedadores intermediarios. Esta diferencia pudiera deberse a los distintos sitios donde fueron realizados estos trabajos, con diferencias ambientales que podrían estar influyendo en las mayores prevalencias en animales jóvenes.

La abundancia parasitaria, estimada a través del promedio de hpg sólo en los animales parasitados (Margolis y col., 1982), para los diferentes grupos etáreos fue: 203,3; 212,5; 268; 237,7 y 14,4, respectivamente. Estos resultados indican que los mayores diseminadores de huevos y responsables de la contaminación de las pasturas son los animales con una edad comprendida entre tres y 12 meses, coincidiendo con los de mayor prevalencia de ngi.

La distribución en la eliminación fecal de huevos de helmintos de acuerdo al número de animales muestreados fue binomial negativa, donde un grupo reducido de los mismos eliminaban mayor cantidad de hpg, hecho característico de este tipo de parasitosis.

En los resultados obtenidos, el porcentaje de géneros recuperados de los coprocultivos se muestra en la figura 3, donde se observa una alta infección parasitaria por especie para cada grupo etario, de los géneros *Trichostrongylus* spp, *Haemonchus* spp, *Oesophagostomum* spp. y *Strongyloides papillosus*.

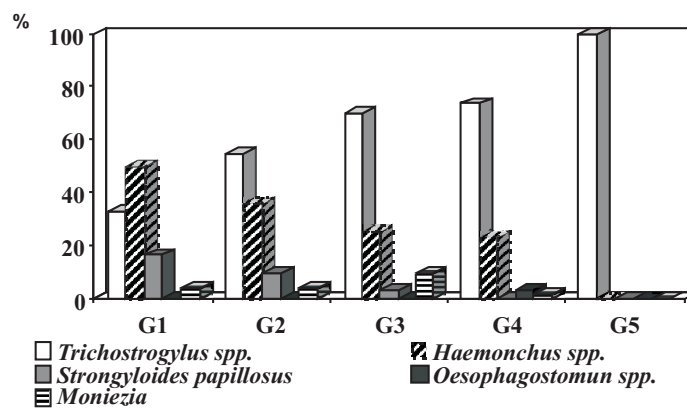


FIGURA 3. Géneros de helmintos gastrointestinales identificados por la morfología de sus huevos o larvas infectivas por grupo etario.

El porcentaje de larvas infectivas del genero *Trichostrongylus* spp. del G1 fue 33,3%, del G2 54,1%, del G3 70,1%, del G4 73,3% y del G5 100%. En el caso de *Haemonchus* spp. 50% de las larvas recuperadas del primer grupo pertenecieron a este género, al igual que el 36,1, 25,5, 23,3 y 0% en los grupos etarios restantes, respectivamente. Esto pudiera deberse a la mayor fertilidad y al periodo prepatente más corto de *Haemonchus* spp. Anculo (2007d). Las larvas de *Strongyloides papillosus* fueron recuperadas solo en animales menores a un año con un 16,6, 9,7 y 2,8% para los grupos G1, G2 y G3, respectivamente. Esto puede deberse a que en el ciclo biológico de *S. papillosus*, una de sus formas de transmisión es la per-cutánea y maternal, y con el hacinamiento y pocas condiciones higiénicas de los establos favorecen un mayor riesgo de infección. En el caso de las larvas de *Oesophagostomum* spp. solo fueron recuperadas de los animales del grupo G4 con un porcentaje de 3,3%. En el G5 se observó un solo género *Trichostrongylus* spp., esto es debido a la baja carga parasitaria en esta edad, que podría ocultar otros géneros presentes. En algunas ocasiones los resultados por grupo etario ha sobrepasado el 100% y esto es motivo del poliparasitismo (Angulo, 2002a).

Algunos de estos géneros son similares a los reportados por otros autores en diferentes zonas agroecológicas, en diferentes estados y en diferentes países tales como; Agneessens y col. (2000), Borgsteede y col. (2000), Van Aken y col. (2000) y Waruiru y col. (2001). Otros estudios reportan que, dentro de los géneros más prevalentes se encuentran *Coope-ria*, *Haemonchus*, *Ostertagia* y *Oesophagostomum*. Moreno (1985), investigando sobre las helmintosis gastrointestinales en becerros Criollo Limonero en el estado Zulia, encontraron que los que prevalecieron fueron: Tipo *estrongilidos* (41%), *Trichuris* (50%) y *Strongyloides* (13%), donde los primeros no fueron identificados por géneros y a diferencia de este estudio, observaron *Trichuris*, posiblemente debido al ambiente más húmedo donde se realizó el estudio.

Conclusiones

Existe un alto grado de infección de helmintosis gastrointestinales, siendo los animales de 3 a 6 meses los más afectados. Los animales de 3 a 12 meses de edad, son los mayores responsables de la contaminación de las pasturas con nematodos, con presencia de los géneros *Trichos-*

trongylus, *Haemonchus*, *Strongyloides* y *Oesophagostomum*. El cestodo de los rumiantes (*Moniezia*), se encuentra en la zona de estudio.

La investigación obtenida plantea la necesidad de seguir realizando estudios sobre los helmintos gastrointestinales en los bovinos, tomando en cuenta la influencia de factores climáticos y de manejo sobre estos animales, para diseñar estrategias efectivas de control.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el financiamiento de esta investigación.

Referencias

- Agneessens, J., E., Claerebout, P., Dorny, F.H.M, Borgsteede, J, Vercruyse (2000) Nematode parasitism in adult dairy cows in Belgium. *Vet. Parasitol.*
- Angulo-Cubillán, F., N., Montiel, D. Simoe, F., Rivera, D., Durán. (2002a). Parasitosis gastro-intestinales en toros de lidia en la plaza de toros del Municipio Maracaibo del estado Zulia. Nota Técnica. *Rev. Científ. FCV-LUZ.* XII -6. Maracaibo.
- Angulo-Cubillán, F. (2005b) Nematodosis gastrointestinales. Manual de Ganadería Doble Propósito. C. González-Stagnaro, E. Soto-Belloso. (Eds). Maracaibo: Ediciones Astro-Data, S.A.
- Angulo-Cubillán, F., M. Molero, F., Escalona; J., Muñoz, R. Ramírez. (2007c) Prevalencia y dinámica de HPG mensual de *Fasciola hepatica* y otros helmintos en un rebaño bovino de una zona inundable tropical. *Rev. Científ. FCV-LUZ.* XVII -2. Maracaibo.
- Angulo-Cubillán, F. L., García, M. Cuquerella, C., De La Fuente, J.M., Alunda (2007d) *Haemonchus contortus* – Sheep Relationship: A Review. *Rev. Científ. FCV-LUZ.* XVII (6). Maracaibo.
- Borgsteede, F.H.M., J., Tibben, J. Cornelissen, J., Agneessens, C., Gaasenbeek. (2000) Nematode parasites of adult dairy cattle in the Netherlands. *Vet. Parasitol.* 89.
- García, C.; F., Valcarcel; S., Olmeda (2000) Diagnóstico ante mortem: Análisis coprológico, de la hierba y hemático. *Ovis.* 70.
- Geurden, T.; R., Somers; N.T.G, Thanh. (2008). Parasitic infections in dairy cattle around Hanoi Northen Vietnam. *Vet. Parasitol.* 153.

- Huerta, N.; E. Pascal; G. Flores. (1977) Parasitosis gastrointestinal en bovinos Criollo Limonero y sus cruces con Pardo Suizo en el sur del lago de Maracaibo. *Vet. Trop.* 1.
- Jimenez, A.; V., Montenegro; J. Hernandez, (2007). Dynamics of infections with gastrointestinal parasites and *Dictyocaulus viviparus* in dairy and beef cattle from Costa Rica. *Vet. Parasitol.* 148.
- Jithendran, K.; T.K, Bhat (1999) Epidemiology of parasitoses in dairy animals in the north west humid Himalayan region of India with particular reference to gastrointestinal nematodes. *Trop. Anim. Health Prod.*
- Keyyu, J., N. Kyvsgaard, J. Monrad (2005). Epidemiology of gastrointestinal nematodes in cattle on traditional, small-scale dairy and large-scale dairy farms in Iringa District Tanzania. *Vet. Parasitol.*
- Loyacano, A, J. Williams, J. Gurie (2002). Effect of gastrointestinal nematode and liver fluke on weight gain and reproductive performance of beef heifers. *Vet. Parasitol.* 107.
- Margolis, L.; G. Esch, J. Colmes, A. Kuris (1982). The use of ecological terms in parasitology (Report of an Ad Hoc Committee of the American Society of Parasitologists). *J. of Parasitol.* 68.
- Martin, S., A Meek, P., Willeberg. (1977). Principles and Methods. *Veterinary Epidemiology.* Iowa State University Press, Ames, Iowa. EEUU.
- Moreno, L., H Castaños, E. Garrido. (1985). Helminthosis gastrointestinal and bovinos de varias regiones de Venezuela. Diagnosticos post-mortem. *Vet. Trop.* 10.
- Moreno, L., E. Gómez. (1991). Parásitos gastrointestinales y pulmonares en bovinos del estado Bolívar. *Vet. Trop.* 16.
- Murphy, T., K. Fahy, A. McAuliffe. (2006). A study of helminth parasites in culled cows from Ireland. *Prev. Vet. Med.* 76.
- Van Aken, D., A. Dargentés, L. Valdez, A., Flores. (2000). Comparative study of strongyle infections of cattle and buffaloes in Mindanao, the Philippines. *Vet. Parasitol.* 89.
- Van Wyk, J., J. Cabaret, L., Michael. (2004). Morphological identification of nematode larvae of small ruminants and cattle simplified. *Vet. Parasitol.* 119.
- Waruiru, R., S. Thamsborg, P. Nansen, N. Kyvsgaard, W., Bogh. (2001). The epidemiology of gastrointestinal nematodes of dairy cattle in Central Kenya. *Trop. Anim. Health and Prod.* 33.
- Wymann, M., K., Traore, B. Bonfoh, S. Tembely (2008). Gastrointestinal parasite egg excretion in young calves in periurban livestock production in Mali. *Res Vet Sci.* 84.

Frecuencia alélica del gen de la calpastatina en el ganado criollo limonero

*José Atilio Aranguren¹, María Gabriela Portillo²,
Carolina Flores Rondón³, Yenen Villasmil-Ontiveros⁴,
Inioska Rojas⁵, Paola Torres⁶, Gloria Contreras⁷*

RESUMEN

Con el objeto de evaluar el polimorfismo del gen Calpastatina (CAST) en el ganado Criollo Limonero, fueron analizadas muestras sericas de 157 animales (44 machos y 113 hembras), la caracterización genética se realizó mediante la técnica PCR-RFLP, usando la enzima de restricción *XmnI*, las frecuencias alélicas y genotípicas se compararon mediante pruebas de ji-cuadrado. Los resultados mostraron frecuencias de 0,84; 0,03 y 0,13 para los genotipos AA, AB y BB, respectivamente. Las frecuencias alélicas fueron 0,85 y 0,15 para los alelos A y B, respectivamente. La prueba de ji-cuadrado no confirmó EHW. Es importante mencionar que el hallazgo en alta frecuencia del

- 1 Médico Veterinario. Doctor en Genética. Coordinador del Laboratorio de Genética Molecular de la FCV-LUZ. Docente Titular. atilio.aranguren@fcv.luz.edu.ve
- 2 Bióloga. Mgs. en Genética. Docente Agregada FCV-LUZ. maria.portillo@fcv.luz.edu.ve
- 3 Médica Veterinaria. Docente Asociada FCV-LUZ. carolina.flores@fcv.luz.edu.ve
- 4 Médico Veterinario. Mgs. en Prod. An. Docente Asociado FCV-LUZ. yenen.villasmil@fcv.luz.edu.ve
- 5 Ing. Agron. Mgs. en Prod. An. (Facultad de Agronomía, UCV) rojasinioska@gmail.com
- 6 Médica Veterinaria. Posgrado en Producción Animal (LUZ). paola.torres@fcv.luz.edu.ve
- 7 Zootecnista. Investigadora del INIA-Zulia.

alelo A y su correlación con la terneza y calidad de la carne, resulta útil para establecer planes de selección asistida por marcadores, con la finalidad de incrementar tanto la producción de carne como la calidad de la misma, y darle así al Criollo Limonero una ventaja potencial.

PALABRAS CLAVE: Gen de calpastatina, polimorfismo genético, PCR-RFLP, ganado criollo, raza Limonero.

Allele Frequency of the Calpastatin Gene in Limonero Creole Cattle

ABSTRACT

In order to assess polymorphism of the calpastatin (CAST) gene in Limonero Creole cattle, blood samples were collected from 157 animals (44 male and 113 female). Genetic characterization was carried out by Polymerase Chain Reaction - Restriction Fragment Length Polymorphism (PCR-RFLP) using the *XmnI* restriction enzyme. The allelic and genotypic frequencies were compared using chi-square tests. Results showed frequencies of 0.84, 0.03 and 0.13 for genotypes AA, AB and BB, respectively. Allelic frequencies were 0.85 and 0.15 for alleles A and B, respectively. Chi-square tests showed that the population was not in Hardy-Weinberg equilibrium. It is important to mention that finding the high frequency of the CAST gene A allele and its correlation with meat tenderness and quality, could be useful for establishing selection plans assisted by markers, in order to increase beef production and quality and, thereby, give the Limonero Creole breed a potential advantage.

KEY WORDS: Calpastatin gene, genetic polymorphism, PCR-RFLP, creole cattle, Limonero breed.

Introduction

The Venezuelan Limonero Creole cattle (*Bos taurus*) is Rojas *et al.*, (2009) a genetic resource oriented for milk production through selection. The main adaptation of the breed's characteristics to tropical environment

is its consistent expression of heat tolerance, diseases and parasites tolerance in crossbred progeny of the Limonero Creole, Villasmil-Ontiveros, (2008a) consequently this genotype represents an option in crossbreeding programs

These animals belong to the 'Carrasquero' local station, assigned to the National Institute of Agriculture Research of Zulia (INIA-Zulia) and located in the northwest of Zulia State near the 'Limón' river that gives name to the breed Villasmil-Ontiveros, (2008b). Nowadays they are at risk of extinction with their population not exceeding 500 animals programs Villasmil-Ontiveros (2008a). This local population constitutes an interesting genetic resource for research that is not completely known and could be essential due to their potential in the bovine production system, since they could be a source of unique and valuable genes Uffo *et al.* (2006).

The calpastatin gene (CAST) codifies the calpastatin protein, responsible for the inactivation of the calpain enzymes and influences *post-mortem* tenderness of meat. CAST, which is an endogenous calpains' inhibitor, plays a central role in the regulation of calpains activity in the cell Goll *et al.* (2003), and it's considered to be one of the major modulators of the protein turnover. Therefore, CAST may affect proteolysis of myofibrils due to regulation of the activity of calpains and is responsible for initiation of *post-mortem* degradation of myofibrillar proteins Goll *et al.* (2003).

The bovine CAST gene has been mapped to BTA7 Bishop *et al.* (1993), with a relative position of 117.8 cM, Kappes *et al.* (1997). This gene has been sequenced from bovine skeletal muscle, with five different domains identified Killefer (1994) and Koohmaraie (1996).

In previous studies, two single nucleotide polymorphisms (SNPs) have been identified in the CAST gene, a G/C SNP in intron 5 Schenkel *et al.* (2006) and an A/G SNP in the 3' UTR region Barendse, (2002). Chung *et al.* (2001) found DNA polymorphism in the intron 6 using polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism technique (PCR-RFLP) and XmnI as the restriction enzyme. Schenkel *et al.* (2006) found that a genetic marker at the calpastatin (CAST) locus in *Bos taurus* cattle from Canada was associated with shear force when steaks were aged for 21 days.

Tenderness is one of the most valuable attributes of beef eating quality Miller *et al.* (1995), and has been correlated genetically with calpastatin

activity by Warner-Bratzler shear force Casas *et al.* (2006). Genetic variations in the promoter region of the CAST gene suggest that the *locus* is highly polymorphic Juszczyk-Kubiak *et al.* (2009). It is clear that the genetic background of the animals makes a significant contribution to the variation in meat tenderness as tenderness varies among and within breeds.

Recently, genetic test for meat tenderness in bovine, utilizing genetic polymorphism, mainly calpastin (CAST) and or Calpain gene have been made available by two private companies, GeneSTAR Tenderness and Igenity Tender GENE test uses a G/A SNP in 3' UTR region (base 2959 of AF159246) and G/C SNP in intron 5 of CAST (base 282 of AY008267), respectively Van Eenennaam *et al.* (2007).

The objective of this study was to assess the allelic and genotypic variation at the bovine CAST gene in the Limonero Creole cattle in Venezuela using PCR-RFLP.

1. Materials and methods

DNA was extracted from the blood of 157 male and female animals from the Limonero Creole herd of the INIA-Zulia. A 1500 bp fragment of the CAST gene using forward 5'-AGCAGCCACCATCAGAGAAA-3 and reverse 5'-TCAGCTGGTTCGGCAGAT-3' primers (Chung *et al.*, 2001).

The PCR reactions contained approximately 100 ng of genomic DNA, 2.5 μ L 10X PCR buffer (670 mM Tris-HCl pH 8.8, 160 mM $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0.1% mM Tween 20), 1 μ L MgCl_2 , dNTP, 0.1 μ g of each primer) and 2 U Taq DNA polymerase in a total volume of 20 μ L.

Samples were amplified for 35 cycles (Mastercycler ep-gradient^(S), Eppendorf) with the following program: denaturation step at 95°C for 1 min, annealing at 65°C for 30 sec and extension step at 74°C for 40 sec. Products of amplification were checked by electrophoresis in 1% agarose gel.

PCR-RFLP: The PCR products were digested by *XmnI* restriction endonuclease. Digestion was conducted at 37°C for 24 h and in 10 μ L of specific Buffer, 0.3 μ L (3 U) of restriction endonuclease and 6 μ L of PCR products were separated in 2.0% electrophoresis agarose gel containing in ethidium bromide (0.4 μ g mL^{-1}). Electrophoresis was performed in 1X TAE buffer (108 g Tris, 55 g boric acid and 40 mL of 0.5 M EDTA in 1,000 mL of 10X concentrated stock solution, pH 8.0) under 120 V for 45 min.

Based on the genotypes identified on gels, allele frequencies were calculated according to Weir, (1996). Hardy-Weinberg Equilibrium (HWE) was compared using chi-square tests.

2. Results and discussion

Two alleles (A,B) and three genotypes were observed using DNA restriction fragments for the CAST- *XmnI* polymorphism: 950 bp and 550 bp for AA genotype, 1500 bp, 950 bp and 550 bp for the AB and 1500 bp (no digestion) for the BB (figure 1).

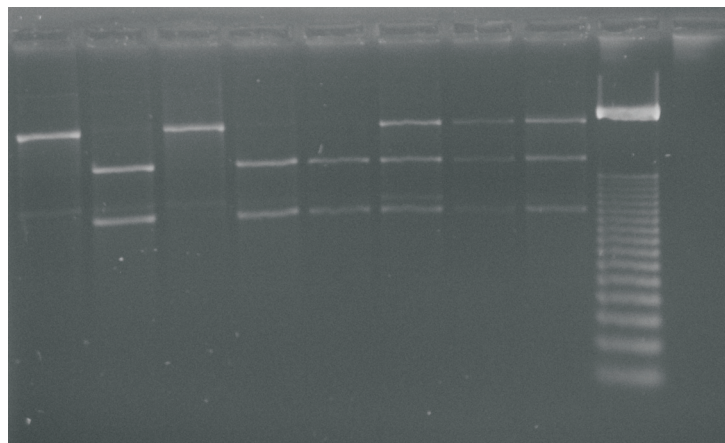


FIGURE 1. Electrophoresis of the CAST gene for *XmnI* restriction products of DNA samples from Limonero Creole bovine. Lane 1 undigested product, Lane 2, 4 and 5 are AA, Lane 3 is BB, Lane 6, 7 and 8 are AB, Lane 9 marker, Lane 10 negative control.

The frequency of alleles A and B in the population were 0.85 and 0.15, respectively, while the genotypic frequencies of AA, AB and BB were 0.84, 0.03 and 0.13, respectively (table 1). No Hardy-Weinberg equilibrium was observed ($P < 0.0001$).

TABLE 1

No.	Allelic Frequencies		Genotypic Frequencies		
	A	B	AA	AB	BB
157	0,85	0,15	(132) 0.84	(4) 0.03	(21) 0.13

These results obtained in Limonero Creole breed, will be compared with those observed in Angus and Bonsmara breed Wheeler *et al.* (1994); and Suguisawa, (2005), also, contrasted with those obtained in *Bos indicus* and other crossbred beef cattle Fortes *et al.* (2008) and ones reported in Nelore, and Caracu brazilian, Zaidan *et al.* (2009). Simmental animals showed greater frequency of allele A (frequency = 0.64) than all other continental breeds (frequency < 0.38) Fortes *et al.* (2008).

The frequency of the A allele, favorable for meat traits Barendese (2003), has been reported lower in *Bos indicus* than in *Bos taurus* × *Bos indicus* animals as expected, since, according to Wheeler *et al.* (1994), *Bos indicus* breeds produce less tender meat, when compared to *Bos taurus* and *Bos taurus* × *Bos indicus* animals.

Other studies have reported that the CAST gene where the AA genotype were correlated with lower Warner-Bratzler shear force measurements compared to the AB and BB genotypes Barendese (2002); Casas *et al.* (2006); Morris *et al.* (2006); Van Eenennaam *et al.* (2007). That is, animals with AA exhibit lower levels of calpastatin, causing greater μ -calpain activity during post-mortem meat tenderization Koochmaraie (1996). The A allele occurs with a frequency of 84-95% in *Bos taurus* cattle Morris *et al.* (2006).

Some earlier data presented and patented by Barendese (2002), suggested that genetic variation at the CAST *locus* contributes to variations in meat tenderness trait. They proved the potential genetic interaction between markers for two *loci* (CAPN1 and CAST) that are currently being used as the basis of commercial DNA tests for meat tenderness in beef cattle.

Conclusions

The Limonero Creole population, exhibiting a higher frequency of the CAST A allele, is potentially a valuable source for genetic improvement to beef tenderness in a dual purpose group in tropical environments and other cross *Bos taurus* × *Bos indicus* animals.

Thus, it may be concluded that CAST genotypes, when used as genetic markers in selection programs may moderately but significantly contribute to the improvement of meat quality production traits in cattle. A se-

lection based on markers, not only minimizes problems but also they are more reliable and animals can be selected at an early age for breeding programs

This molecular genetic information may be used by breeders to design the genetic selection programs for the development of this breed. This marker will be useful in the selection of bovines. The high frequency of the A allele observed in the studied population, allows this test to be applied with effectiveness, due to the association of this allele with meat tenderness.

Acknowledgment

This study was carried out with the important assistance of research grants provided by CC-0928-06 project of CONDES, University of Zulia.

References

- Barendese, W.J. (2002). DNA markers for meat tenderness. International patent application. PCT/AU02/00122. County of Woodson (state of Kansas). International patent publication WO 02/064820 A.I.
- Barendese, W.J. (2003). DNA: DNA markers for meat tenderness. US Patent Application 20040115678, 8 Febr 2003. County of Woodson (state of Kansas).
- Bishop, M. D.; Koohmaraie, M.; Killefer, J. (1993). Restriction fragment length polymorphism in the bovine calpastatin gene. *J. Anim. Sci.* 71.
- Casas, E.; White, S.N.; Wheeler, T.L.; Shackelford, S.D.; Koohmaraie, M.; Riley, D.G.; Chase J.C.C.; Johnson, D.D.; Smith, T.P. (2006). Effects of calpastatin and micro-calpain markers in beef cattle on tenderness traits. *J. Anim. Sci.* 84.
- Chung, H.Y.; Davis, M.E.; Hines, H.C. (2001). Genetic variants detected by PCR-RFLP in intron 6 of the bovine Calpastatin gene. *Anim. Genet.* 32.
- Goll, D. E.; Thompson, V. F.; Li, H.; Wei, W.; Cong, J. (2003). The calpain system. *Physiol. Rev.* 83.
- Fortes, M.R.S.; Curi, R.A.; Chardulo, L.A.I.; Solveira, A.C.; Assumpcao, M.E.; Oliveira, H.N. (2008). Selecting *Bos indicus* and crossbred beef cattle for meat tenderness. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*

- Juszczuk-Kubiak, E.; Flisikowski, K.; Wicinska, K.; Poloszynowicz, J.; Rosochacki, S. (2009). Identification of the new polymorphisms in the promoter region of the CAST gene in cattle. *Meat Science*.
- Kappes, S. M.; Keele, J. W.; Stone, R. T. McGraw, R. A.; Sonstegard, T. S.; Smith, T. P. L.; Lopez-Corrales, N. L. ; Beattie, C. W. (1997). A second generation linkage map of the bovine genome. *Genome Res*.
- Killefer, J.; Koohmaraie, M. (1994). Bovine skeletal muscle calpastatin: cloning, sequence analysis, and steady-state mRNA expression. *J. Anim. Sci*.
- Koohmaraie, M. (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization process of meat. *Meat Sci*.
- Miller, M. F.; Huffman, K. L.; Gilbert, S. Y.; Hamman, L. L.; Ramsey, C. B. (1995). Retail consumer acceptance of beef tenderized with calcium chloride. *J. Anim. Sci*.
- Morris, C.A.; Cullen, N.G.; Hickey, S.M.; Dobbie, P.M.; Veenliet, B.A.; Manley, T.R.; Pitchford, W.S.; Kruk, Z.A.; Bottema, C.D.K.; Wilson, T. (2006). Genotypic effects of calpain 1 and calpastatin on the tenderness of cooked *M. longissimus dorsi* steaks from Jersey × Limousin, Angus and Hereford-cross cattle. *Anim. Genet*.
- Rojas, I.; Aranguren-Méndez, J.; Portillo, M.; Villasmil-Ontiveros, Y.; Valbuena, E.; Rincón, X.; Contreras, G.; Yáñez, L. (2009). Genetic Polymorphism of Kappa-Casein in Creole Limonero Bovine. *Rev. Científ. FCV-LUZ*. XIX.
- Schenkel, F.S.; Miller, S. P.; Jiang, Z.; Mandell, I. B. (2006). Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle. *J. Anim. Sci*.
- Sugisawa, L. (2005). Identificação de genótipos superiores para crescimento e qualidade de carcaça em bovinos de corte submetidos ao modelo biológico superpreoce. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botacatu. Tese (Doutorado).
- Uffo, O.; Martin, I.; Martinez, S.; Ronda, R.; Osta, R.; Rodellar, C.; Zaragoza, P. (2006). Caracterización genética de seis proteínas lácteas en tres razas bovinas cubanas. *AGRI*.
- Van Eenennaam, A. L.; Li, J.; Taíman, R. M.; Quaas, M.; Dikeman, M. E.; Gill, D.; Franke, E.; Thomas, M. G. (2007). Validation of commercial DNA tests for quantitative beef quality traits. *J. Anim. Sci*.
- Villasmil-Ontiveros, Y.; Román-Bravo, R.; Yáñez-Cuellar, L.; Contreras, G.; Jordana, J.; Aranguren-Méndez, J. (2008a). Diversidad genética de la raza criollo limonero utilizando marcadores de ADN microsatélites. *Rev. Científ. FCV-LUZ*. XVIII.

202 Frecuencia alélica del gen de la calpastatina en el ganado criollo limonero

Villasmil-Ontiveros, Y.; Aranguren-Méndez, J.; Román-Bravo, R.; Isea, W.; Contreras, G.; Zambrano, S.; Jordana, J. (2008b). Pedigree analysis in Criollo Limonero. *Rev. Cientif. FCV-LUZ*. XVIII.

Weir, B.S. (1996). *Genetic Data Analysis: Methods for Discrete Population Genetic Data*. 2nd Ed. Sinauer Associates, Massachusetts.

Wheeler, T.L.; Cundiff, L.V.; Koch, R.M. (1994). Effect of marbling degree on beef palatability in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *J. Anim. Sci.*

Zaidan, I.M.; Oliverira, C., Carvalho, T.D.; Siqueira, F., Almeida, R.A.; De Almeida, L.C. (2009). Frecuencias alelicas e genotipicas do polimorfismo CAST/XmnI em bovinos de corte. 46ª Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Maringo, PR - UEM 14 al 17 de julho.

Normas para la presentación de trabajos

1. Principios de la Revista

La REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA es un órgano científico de difusión de trabajos parciales o definitivos de investigadores y/o equipos de investigación nacionales y extranjeros. Su naturaleza es interdisciplinaria, por ello su temática se divide en tres grandes ejes: a. *ciencias sociales y arte*; b. *ciencias del agro, ingeniería y tecnología*; c. *ciencias exactas, naturales y de la salud*. Su publicación es cuatrimestral. Cada número, de los tres del año, se corresponde con uno de los tres ejes temáticos. La *Revista de la Universidad del Zulia*, por su carácter histórico y patrimonial, está adscrita a la CÁTEDRA LIBRE HISTORIA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA.

2. Métodos de Envío y de Evaluación de los Trabajos

Los autores interesados en publicar su trabajo en la *Revista de la Universidad del Zulia* deberán remitir tres copias del mismo sin identificación en sobre cerrado a la siguiente dirección: Avenida Guajira, Fundadesarrollo, planta baja de la Sede Rectoral de La Universidad del Zulia. Este sobre debe estar acompañado de otro, el cual contendrá el original del trabajo con la identificación del autor o autores, indicando: nombre, apellido, institución que representa (universidad, instituto, centro de investigación, fundación), correo electrónico. Así mismo en este sobre se presentará una comunicación escrita firmada por todos los autores y dirigida al Director de la Revista. En esta comunicación se manifestará el interés de los autores de proponer su trabajo para la publicación en la *Revista de la Universidad del Zulia*, previa evaluación del Comité de Arbitraje. Se agregará también a este sobre una síntesis curricular de cada autor con una extensión no mayor de diez (10) líneas. También se podrá presentar el trabajo

dirigiéndolo al siguiente correo electrónico: revistauniversidaddelzulia@gmail.com. El currículum de los autores se enviará en archivo adjunto, distinto al que contendrá el trabajo. Los artículos propuestos para esta revista deben ser inéditos y no deben haber sido propuestos simultáneamente a otras publicaciones. Todos los trabajos serán evaluados por parte de un Comité de Árbitros-Especialistas de reconocido prestigio, seleccionado por el Comité Editorial de la Revista. La evaluación de los Árbitros se realizará mediante el procedimiento conocido como par de ciegos: los árbitros y los autores no conocerán sus identidades respectivas. Los criterios de Evaluación son los siguientes:

- a. Criterios formales o de presentación: 1) originalidad, pertinencia y adecuada extensión del título; 2) claridad y coherencia del discurso; 3) adecuada elaboración del resumen; 4) organización interna del texto; 5) todos los demás criterios establecidos en la presente normativa.
- b. Criterios de contenido: 1) dominio de conocimiento evidenciado; 2) rigurosidad científica; 3) fundamentación teórica y metodológica; 4) actualidad y relevancia de las fuentes consultadas; 5) aportes al conocimiento existente.

Al recibirse la respuesta del Comité de Árbitros designado se informará a los autores por correo electrónico la decisión correspondiente; en caso de ser aceptado el trabajo deberá remitirse por correo electrónico la versión digital del mismo.

3. Presentación de los trabajos

Los trabajos deben presentar un resumen de 150 palabras como máximo y hasta cinco palabras claves; tanto el resumen como las palabras claves estarán en español e inglés. Igualmente el título y el subtítulo del trabajo serán presentados también en español e inglés. La extensión máxima del trabajo será de veinte (20) páginas, y diez (10) como extensión mínima. Todos los trabajos serán presentados en hoja tipo carta, impresos por una sola cara, con numeración continua y con márgenes de tres (3) centímetros a cada lado. El texto se presentará a espacio y medio, en fuente Times New Roman, tamaño 12.

4. Cuerpo del artículo

Se dividirá en Introducción, Desarrollo y Conclusiones (o Consideraciones Finales, según sea el caso). La introducción incluirá el propósito u objetivo general perseguido. El Desarrollo se organizará en secciones y subsecciones debidamente identificadas con subtítulos numerados completamente en arábigos de acuerdo al sistema decimal, respondiendo a una sucesión continua y utilizando un punto para separar los niveles de división. La Introducción y Conclusión están exceptuadas de esta numeración. Las fechas y horas se expresarán numéricamente. En caso de existir ilustraciones (gráficos, mapas, fotos) debe hacerse referencia a los mismos en el texto. Estas ilustraciones serán contadas dentro de la extensión máxima del artículo. Las notas explicativas o aclaratorias deben reducirse al mínimo necesario y colocarse al pie de páginas debidamente señalizadas. Los materiales complementarios se recogerán en anexos, los cuales se identificarán con una letra y un título y se colocarán después de la bibliografía. Los anexos serán contados también dentro de la extensión máxima del artículo.

5. Citado

El citado se realizará en el texto utilizando la modalidad autor-fecha, establecido en el *Reglamento para la presentación de trabajos en la Universidad del Zulia*, indicando, en caso de ser cita textual, apellido (s) del autor, seguido de coma, año de publicación de la obra, seguido de dos puntos y el (los) número (s) de la (s) página (s), por ejemplo: de acuerdo a Rincón (1998: 45) o (Rincón, 1998: 45); si no es cita textual sino una paráfrasis no se indicará el número de página, ejemplo: de acuerdo a Rincón (1998) o (Rincón, 1998). Si hay varias obras del mismo autor publicadas en el mismo año, se ordenarán literalmente en orden alfabético; por ejemplo, (Rincón, 2008a: 12), (Rincón, 2008b: 24). Si son dos autores, se colocarán solamente el primer apellido de cada uno, por ejemplo: Según Morales y Fleires (2008: 90) o (Morales y Fleires, 2008: 90), siguiendo el mismo criterio explicado anteriormente para las citas textuales y las paráfrasis. En caso de ser tres autores o más se colocará el apellido del autor principal seguido de "et al", ejemplo: (Rincón et al, 2008: 45). Deben evitarse, en lo posible, citas de trabajos no publicados o en imprenta, también referen-

cias a comunicaciones y documentos privados de difusión limitada, a no ser que sea estrictamente necesario. En caso de fuentes documentales, electrónicas u otras que por su naturaleza resulten inviables o complejas para la adopción del citado autor – fecha, sugerido en estas normas, puede recurrirse u optarse por el citado al pie de página.

6. Referencias bibliográficas

Las referencias (bibliográficas, hemerográficas, orales y/o documentales) se presentarán al final del texto, según lo establecido en el *Reglamento para la presentación de trabajos en la Universidad del Zulia*. El orden de las referencias es alfabético por apellido. Las diferentes obras de un mismo autor se organizarán cronológicamente, en orden ascendente, y si son dos obras o más de un mismo autor y año, se mantendrá el estricto orden alfabético por título.

Instrumento de Evaluación del Árbitro

I.- Criterios formales o de presentación

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	DEFICIENTE	OBSERVACIONES
Originalidad, pertinencia y adecuada extensión del título.						
Claridad y coherencia del discurso.						
Adecuada elaboración del resumen: contiene abstract y palabras claves; indica objetivo, metodología y resultados.						
Organización interna del texto.						

II. - Criterios de contenido

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	DEFICIENTE	OBSERVACIONES
dominio de conocimiento evidenciado.						
Rigurosidad científica.						
Fundamentación teórica y metodológica.						
Actualidad y relevancia de las fuentes consultadas.						
Aportes al conocimiento existente.						

Suscripción 2011

Tarifas (tres números anuales)

Venezuela	Sin Flete	Con Flete
	75 Bs.F.	100 Bs. F.
Exterior	Institucional	Individual
	US \$ 180	US \$180

Planilla de suscripción

Nombre y apellido: _____

Profesión: _____

Dirección: _____

Apartado postal: _____ Fecha: _____

Teléfono/Fax: _____ E-mail: _____

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA.
Calle 67 (prolongación Cecilio Acosta) con Av. 16 (Guajira).
Nueva sede rectoral de la Universidad del Zulia. Edificio Fundadesarrollo.
Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. Teléfono/Fax: 58-261-7831611.
Correos electrónicos: revistauniversidaddelzulia@gmail.com, revistadeluz@gmail.com

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA 3ª época
Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología /// Año 2 N° 2, En-Abr 2011
Se terminó de imprimir en abril de 2011
en los talleres gráficos de Ediciones Astro Data S.A.
Telf: 0261-7511905 / Fax: 0261-7831345
Correo electrónico: edicionesastrodata@cantv.net
Maracaibo, Venezuela
Tiraje: 500 ejemplares