

**Corporación CONSTRUIR
Seminario Construcciones en Ladera
Santiago de Cali, septiembre de 1997.**

***VARIABLES FÍSICAS AMBIENTALES
PARA LA REGLAMENTACIÓN URBANA (*)***

Prof. Andrés Velásquez
Universidad del Valle - OSSO.

Prof. Hansjürgen Meyer
Universidad del Valle - OSSO

(*). Síntesis del Informe del Convenio Interinstitucional de Investigación en Variables Físicas Ambientales suscrito entre el Municipio de Santiago de Cali - Departamento Administrativo de Planeación Municipal y la Universidad del Valle - Observatorio Sismológico del SurOccidente - OSSO. Cali, diciembre de 1995.

PARTICIPANTES.

Prof. Andrés Velásquez, Dirección
Prof. Hansjürgen Meyer, Codirección
Fís. Diego González, Asesor meteorólogo

Téc. Jorge Mendoza, Coordinación procesamiento gráfico
cand. Biólogo Efraín Rodríguez, Procesamiento gráfico
Antrop. Helena Andrade, Procesamiento gráfico digital

cand. Ing. Civil Cristina Isabel Rosales, Procesam. gráfico y de datos, mediciones de campo
cand. Ing. Civil Juan Manuel Benjumea, Procesam. gráfico y de datos, mediciones de campo
cand. Ing. Civil Jorge Dussan, Procesamiento gráfico, mediciones de campo

cand. Ing. Industrial Ana Elisa Gonzalez, Procesamiento de datos, mediciones de campo
Ing. Geól. Ana Marina Granja, Procesamiento de datos, mediciones de campo
Ing. Eléct. Jose Ignacio, Mediciones de campo

cand. Ing. Civil Mauricio Constaín, Mediciones de campo
cand. Ing. Civil Yudy Emilse Duque, Mediciones de campo
cand. Ing. Civil Fabián Fajardo, Mediciones de campo
cand. Ing. Civil Carlos Andrés Forero, Mediciones de campo
cand. Ing. Civil Gustavo Jaramillo, Mediciones de campo
cand. Ing. Civil Gustavo Monsalve, estudiante Ing. Civil.
cand. Ing. Civil Homar Ojeda, estudiante Ing. Civil.
cand. Ing. Civil Andrés Osorio, estudiante Ing. Civil.
cand. Ing. Civil Elliot Fernando Polanía, estudiante Ing. Civil.
cand. Ing. Civil Beatriz Eugenia Vélez, estudiante Ing. Civil.
cand. Ing. Civil Isabel Cristina Villegas, estudiante Ing. Civil.

INTERVENTORIA:

Geólogo Andrés Prieto, D.A.P.M.
Arquitecto Diego Carrejo, D.A.P.M.

AGRADECIMIENTOS.

A la Oficina de Catastro Municipal y al Sistema de Información Geográfica de Cali, SIGCALI, así como a su Coordinador en Planeación Municipal, Dr. Armando González, por el suministro anticipado de información cartográfica de la ciudad.

A la firma Sincrón-Diseño Electrónico de Cali, que amablemente suministró los termómetros digitales con los cuales se hicieron las mediciones de temperatura ambiental en la ciudad. A la firma Publik por la información sobre sus termómetros en vallas publicitarias en la ciudad.

Al DAPM y en especial a los interventores, Geólogo Andrés Prieto y Arquitecto Diego Carrejo, cuya información y apoyo permanentes contribuyeron al mejor desarrollo del estudio.

PARTICIPANTES.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	ii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ENFOQUE GENERAL.....	1
3. OBJETIVOS.....	2
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
4. LEGISLACIÓN, PLANIFICACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (RESEÑA).....	2
4.1 ORDENAMIENTO Y PLANIFICACIÓN URBANA, CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y PREVENCIÓN DE DESASTRES.....	2
4.2 REGLAMENTACIÓN DE ALTURAS EN LOS PLANES DE DESARROLLO Y ESTATUTOS DE USOS DEL SUELO EN CALI.....	4
4.3 SÍNTESIS.....	6
5. EL CONCEPTO DE BIENESTAR O DE CONFORT.....	6
5.1 EL <i>CONFORT</i> COMO UNA MEDIDA DE LA CALIDAD DE VIDA.....	6
5.2 ZONA DE BIENESTAR O DE <i>CONFORT</i>	6
5.3 <i>CONFORT</i> EN CALI.....	8
6. VARIABLES CLIMÁTICAS.....	9
6.1 MEDICIONES DE TEMPERATURA AMBIENTAL.....	9
6.2. TRATAMIENTO DE LOS DATOS.....	11
6.3 RESULTADOS.....	11
7. GEOLOGÍA, TECTÓNICA Y SISMICIDAD.....	12
7.1 GEOLOGÍA.....	12
7.2 TECTÓNICA.....	13
7.3 SISMICIDAD.....	15
8. PROCESOS GEODINÁMICOS.....	17
8.1. DESLIZAMIENTOS.....	18
8.2. AVENIDAS TORRENCIALES.....	18
8.3. VENDAVALES.....	18
8.4. INUNDACIONES.....	19
9. COMENTARIOS SOBRE INFRAESTRUCTURA Y MEDIO AMBIENTE EN LAS LADERAS DE CALI.....	19
10. RELACIÓN DE FIGURAS.....	19
REFERENCIAS.....	24

1. INTRODUCCIÓN.

El Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali solicitó al OSSO la presentación de una propuesta para realizar una evaluación de variables físicas ambientales que den bases para continuar en el ajuste y perfeccionamiento de la reglamentación urbana, particularmente en lo relativo a la reglamentación de alturas de edificaciones. Entre estas variables estarían, principalmente: el relieve, iluminación solar, vientos, características geotécnicas, factores de riesgo como el sísmico y el potencial de deslizamientos. Estas variables se complementarán en la reglamentación con otros criterios, de carácter paisajístico, densidad demográfica, de seguridad, etc.

2. ENFOQUE GENERAL.

El ser humano y sus asentamientos necesitan, de manera más o menos inexorable, la mayoría de las componentes físicas del medio ambiente (suelo, aire, agua, viento, luz solar, paisaje, etc.) y a la vez también dependen de las variaciones y manifestaciones abruptas de la dinámica de este medio, como pueden ser (en esta región) la actividad sísmica, la inestabilidad de laderas y los eventos hidrometeorológicos extremos (p. ej. avenidas torrenciales).

A medida que un asentamiento crece, su interacción con el medio ambiente - cuyos recursos son en primera aproximación cantidades constantes - es progresivamente más crítica. Como consecuencia, el acceso suficiente y equitativo de los moradores a estos recursos es disminuído; la exposición del habitat y de los pobladores a fenómenos peligrosos aumenta, y los rasgos y procesos propios de las grandes urbes pueden llegar a limitar y perturbar los procesos naturales del medio ambiente. La planificación urbana - sobre la base de un conocimiento general y local de estas variables físicas y sus determinantes y efectos - entra a jugar un papel fundamental e insustituible como instrumento para la conservación de un balance entre el entorno natural y el asentamiento humano.

Existen ejemplos históricos ya bien antiguos de instancias e instrumentos estatales que regulan el acceso a los bienes naturales del entorno, como por ejemplo los "tribunales de aguas". Sobre otros recursos, cuyo desbalance esta más ligado a los efectos ambientales de asentamientos modernos, como puede ser por ejemplo la ventilación natural, y que incluso sólo se han percibido ampliamente a partir de procesos de sensibilización social recientes, no existen mayores experiencias de las que se pudiera partir. Sin embargo, para el caso de Cali se dispone de un estudio pionero en Colombia, a partir de cursos e investigaciones realizados por la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Valle en el segundo quinquenio de los años 1960. Los resultados de estas investigaciones, que se constituyen en referentes básicos de este informe, se presentan en "Clima y Arquitectura en Colombia (Olgyay, V., 1968).

El Estado se ha dotado recientemente de instrumentos jurídicos para manejar estos problemas de interacción Medio Ambiente - Sociedad, como por ejemplo la nueva Constitución, la ley del medio ambiente (Ley 99 de 1994), la Ley de la Reforma Urbana (# 9 de 1989), y la legislación de prevención de desastres naturales (Ley 46 de 1989 y decretos reglamentarios).

En todo caso, aunque la legislación no permite aducir falta de conocimiento científico como motivo para no tomar acciones preventivas o de manejo (Ley 99 de 1994, Principios Generales), la mejor información científica y técnica posible en un momento dado sí es esencial para el diseño de políticas justas, racionales y eficaces.

3. OBJETIVOS.

3.1 Objetivo general.

- Dotar al Municipio de información que represente las principales características locales de variables físicas ambientales que deben ser consideradas en la reglamentación urbanística, principalmente aquella relativa a las alturas máximas de edificaciones.

3.2 Objetivos específicos.

- Acopiar y analizar datos históricos e instrumentales relacionados con la distribución espacial y temporal de variables ambientales como pluviosidad, temperatura, vientos, relieve y características geotécnicas.
- Elaborar modelos - descriptivos y en lo posible cuantitativos - que aproximen la distribución y evolución de estas variables en el territorio urbano y en las áreas de expansión.
- Elaborar escenarios y recomendaciones sobre las probables evoluciones de la interacción Medio Ambiente - Ciudad en los procesos en cuestión y las posibles medidas de mitigación.
- Proveer a Planeación Municipal de apoyos para la presentación, sustentación y divulgación de la información lograda con el estudio propuesto (mapas, gráficos, esquemas, etc.).

4. LEGISLACIÓN, PLANIFICACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (RESEÑA)

4.1 Ordenamiento y planificación urbana, conservación del medio ambiente y prevención de desastres.

La Ley 99 de 1993 establece entre los Fundamentos de la Política Ambiental Colombiana, y de acuerdo con la Constitución Política de Colombia, que se seguirán principios tales como:

- “Las políticas de población tendrán en cuenta el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza”.
- “La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente”.
- “El paisaje, por ser patrimonio común deberá ser protegido”.
- “La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento”.

Que las condiciones físico-ambientales del territorio municipal incluyen diversas variables que tienen que ser consideradas como patrimonio colectivo, tales como el régimen climático, caracterizado por un brillo solar relativamente uniforme a lo largo del año y predominio de vientos y brisas frescas que fluyen en la dirección Oeste-Este, en parte controladas por las cuencas hidrográficas y sus valles en la misma dirección, tales como los de los ríos Cali, Cañaveralejo y

Meléndez; vientos y brisas que ejercen un efecto benéfico disminuyendo condiciones de altas temperaturas y humedad, aliviando de esta manera condiciones de clima bochornoso, así como a la disipación de gases/partículas y calor antrópico, que de no contar con condiciones de ventilación natural conducirán a un deterioro creciente de las condiciones medioambientales y por ende de la calidad de la vida en la ciudad.

La Ley 9 de 1989, ó de Reforma Urbana, define la necesidad de cada municipio de dotarse de un plan de desarrollo y de prestar especial énfasis a la identificación de asentamientos en zonas de alto riesgo y a proveer las medidas para la mitigación de los mismos. También establece la necesidad de que los municipios se doten de áreas de expansión para programas de vivienda de interés social, las cuales por supuesto deben estar exentas de amenazas y riesgos.

Refiriéndose a la Ley 9, Salazar, E. (1989, pp. 87-88), plantea que el espacio público considerado en su sentido más amplio es “el espacio que articula los elementos que componen la ciudad; es la calle que vincula los espacios interiores entre sí y los diferentes segmentos urbanos con el centro y con la periferia. Son los mismos escenarios públicos o privados donde tienen lugar actividades de tipo colectivo: Plazas, parques, pero son también los edificios con acceso del público y los vehículo. La calidad del espacio público depende de la intervención sobre el espacio privado y se genera a partir de las fachadas de los edificios que definen su límite. De aquí se desprende la necesidad de preverlo en cada operación constructiva y de protegerlo con una reglamentación adecuada”. El Artículo Quinto de esta Ley define el espacio público como “El conjunto de inmuebles públicos y los elementos arquitectónicos y naturales privados, destinados por su naturaleza, por su uso o afectación a la satisfacción de necesidades urbanas colectivas que trascienden, por lo tanto, los límites de intereses individuales de los habitantes”. El Artículo se complementa con una enumeración de las áreas que lo constituyen para concluir que son en general “todas las zonas existentes o debidamente proyectadas en las que el interés colectivo sea manifiesto y conveniente y que constituyen por consiguiente zonas para el uso o disfrute colectivo”. Esta misma autora reflexiona a continuación lo siguiente:

“Constituye un acierto la inclusión y precisión de este tema en la reforma porque como tal involucra la comunidad entera en su práctica cotidiana. Los procesos de urbanización y construcción recientes, han dejado el espacio público a la deriva”.

“Con su nivel de generalidad la ley en este artículo obliga a su consideración en todos los asentamientos del país, desde Bogotá hasta Nazareth en La Guajira y permite su tratamiento según las particularidades de cada caso”.

La Ley 46 de 1988 y su Decreto Reglamentario No. 919 de 1989, que crean y reglamentan el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, designan a las Oficinas de Planificación Municipal como las responsables de la Secretaría Técnica de los Comités Locales de Prevención y Atención de Desastres. El Decreto No. 919 de 1989 en su Artículo 62, literal II, establece como función de las entidades territoriales: “Preparar y elaborar, por intermedio de las Oficinas de Planeación, los planes, en armonía con las normas y planes sobre prevención y atención de situaciones de desastres ...”.

El Decreto 1333 de 1986, ó Código de Régimen Municipal. Artículo 41: En los Municipios los Concejos Municipales podrán sancionar las infracciones a los acuerdos que reglamenten el urbanismo y planeamiento de las ciudades, con la suspensión de las obras (en concordancia con artículos 42, 60, 93 atribución 3 de la Ley 115 de 1948); Artículo 42: Los Municipios podrán ordenar la suspensión de las obras o explotaciones que afecten o perjudiquen el área urbana (en concordancia con artículos 23, 41, 93 de la Ley 1 de 1943 y con los Artículos 53, 54, 60, 66, y 79 a 94 de la Ley 9 de 1989); Artículo 43: La ejecución de planes de desarrollo urbano y la constitución de reservas para futuras extensiones de las ciudades, o para la protección del sistema ecológico, son motivo de utilidad pública o de interés social (en concordancia con artículo 34 Ley 61 de 1978 y artículo 10, Ley 9 de 1989); Artículo 47: Se planteará el desarrollo urbano determinando, entre otros, sectores residenciales, cívicos, comerciales, industriales y de recreación así como zonas oxigenantes y amortiguadoras y contemplando la necesaria

arborización ornamental (en concordancia con artículos 34, 48 y 49 de la Ley 2811 de 1974). Los datos sobre este Decteto fueron tomados de Rizo (1990).

La Ley 9 de 1979, o Código Colombiano de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Lo pertinente de esta Ley ha sido incorporado y actualizado en la Ley 99 de 1993 y normas complementearias.

4.2 Reglamentación de alturas en los planes de desarrollo y estatutos de usos del suelo en Cali.

En 1954 se dictó el **Decreto Municipal No. 562**, “que en materia de zonificación dividió a la ciudad en zonas residenciales, comerciales e industriales, de caracter muy general y sin dictar para cada una de ellas normas específicas de regulación de los usos del terreno y altura de los edificios. Para suplir esta deficiencia la Oficina de Planeación Municipal ha venido concediendo permisos para construcción mediante un Proyecto de Reglamento de Zonificación que se preparó en 1961 y que nunca pasó a ser ley municipal” (Alcaldía de Cali, Oficina de Planeación, agosto de 1968).

En 1969 se provee el **Acuerdo No. 016 del 21 de abril**, con base en Proyecto presentado por la Alcaldía y la Oficina de Planeación Municipal, el cual había sido preparado entre 1967 y 1968. Este documento incluye una zonificación de usos, normas de control de volumen y altura de edificaciones, sobre usos industriales, zonas de uso recreativo, zonas verdes y de conservación forestal “que tienden a dotar a la ciudad de estos espacios, de los cuales ha venido careciendo tan angustiosamente”.

Los objetivos de la zonificación y normas fueron definidos con base en dos objetivos principales:

“Densificar al máximo el área urbanizada para prevenir su extensión desmedida, que ocasiona graves problemas de transportación y costos altos de redes de servicios públicos, y Abastecer adecuadamente de espacios a los habitantes para sus necesidades de habitación, trabajo y comercio, de acuerdo con su capacidad económica y características sociales, tanto para el presente como para el futuro” (subrayado nuestro).

Según este documento las alturas máximas son de 4 pisos en vías V4, V5 y V6, de 6 pisos en vías V1, V2 y V3; para estas últimas vías en algunas de las zonas se permitían hasta 10 pisos (30 metros de altura).

El **Decreto Extraordinario No. 0659 de julio 31 de 1986**, “Por el cual se expide el Código Urbano de Cali”, incluye en la zonificación de la ciudad áreas de “control ambiental o de aislamiento”, de “parques y recreación regional”, de “reserva agrícola”, de “reserva forestal”, y “áreas de reserva forestal del Municipio de Cali” (creadas por el Ministerio de Economía Nacional, hoy Ministerio de Agricultura, mediante resoluciones Nos. 9 de 1938, 7 de 1941 y 5 de 1943 y definidas en el Artículo 206 del Decreto Ley 2811 de 1984”).

Entre las alturas máximas permitidas para la zona del piedemonte, áreas de control paisajístico y de conservación, destacan las siguientes:

- Zona de Control Paisajístico y Ambiental - Piedemonte:
Altura máxima = 4 pisos (12 m) más altillo (ó piso retrocedido); sin que se excedieran los 4 pisos sobre la cota más alta del predio esta norma permitía hasta 6 pisos si el acceso se hacía por la cota más baja si el terreno tenía pendientes menores o iguales al 15%, y hasta 7 pisos si el acceso de hacía sobre la cota más alta en terrenos con pendientes mayores o iguales a 20-25%. Esta última medida bien puede inducir a los propietarios y urbanizadores a realizar cortes profundos sobre la ladera, con la finalidad de ganar la opción de pisos adicionales, con lo cual los taludes resultantes tienden a ser más inclinados y por lo tanto potencialmente más inestables.

- Zona de Conservación Urbanística - Ciudad Jardín
Altura máxima permitida de 2 pisos más altillo
- Zona de Conservación Urbanística - Menga
Altura máxima permitida 3 pisos (incluido el altillo)
- Zona de Conservación Urbanística y Ambiental R-2
Altura máxima permitida 3 pisos más altillo.
- Área de Actividad Residencial R-4 - Cuenca del Cañaveralejo
"Se podrán desarrollar los diferentes sistemas de urbanización residencial, principalmente aquellos con normas mínimas y desarrollo progresivo".
- Área de Actividad Mixta Residencial- Comercial M-1:
Sector Centenario-Versalles. Se dará un tratamiento "estableciendo un régimen de alturas para las nuevas edificaciones que responda a las características urbanísticas del Sector y a sus calidades ambientales"
Sector El Cedro-San Fernando. Altura máxima permitida = 10 pisos más altillo. Si el área del predio es mayor o igual a 1000 metros cuadrados y su frente mayor o igual a 1/3 de la cuadra, "se permitirán edificaciones con alturas mayores a la máxima estipulada".
- Área de Actividad Residencial-Forestal, Cerros de las Tres Cruces y de Los Cristales:
Altura máxima permitida de 5 pisos más altillo. Si el área del predio es mayor de 500 metros cuadrados y la longitud del frente mayor o igual que 1/4 de la cuadra, "se permitirá incrementar la altura máxima cuando se acoja a uno de los métodos de compensación, que determine el DAPM específicamente".
- Área de Actividad Residencial de Parcelaciones y Reforestación, Cerro Nápoles, Bajo Meléndez, Buitrera Alto y Buitrera Bajo:
Altura máxima = 2 pisos más altillo (?)
- Área de Actividad Residencial de Parcelación y Recreación Pance:
Altura máxima permitida = 2 pisos más altillo.

Mediante este Decreto Extraordinario se crean las siguientes Áreas de Actividad Especializada con permiso de urbanización dispersa y/o restringida:

- Área de Reserva Forestal - Cuenca del Río Meléndez, Parte Media;
- Idem, del Río Cali, Parte Baja: "De conformidad con la Ley 54 de 1951 es obligatoria la reforestación de sus riberas, en una extensión de 500 metros a lado y lado de las mismas";
- Área de Reserva Pluvial del Río Lili;
- Idem, Cuenca del Río Cañaveralejo, Parte Media y Baja.

El Acuerdo 30 de 1993. La reseña de las anteriores normas muestran como la reglamentación de alturas en Cali ha sido cambiante en el tiempo, siempre con tendencia a permitir mayores edificaciones tanto en sectores del área plana como en el piedemonte. El Acuerdo 30 de 1993 va aún más allá de las normas existentes, según se desprende de su contenido:

Para el Área de Actividad Residencial R-1, conserva las alturas de 2 pisos más altillo para las zonas de Conservación Paisajística Pance Urbano y Ciudad Jardín; para la zona de Conservación Urbanística Menga establece 3 pisos más altillo; 8 pisos para el zona de Conservación Paisajística y Ambiental (Barrios Santa Mónica, Juananbú, Arboledas y Granada); 10 pisos para la zona de Conservación Paisajística Cristales y 12 pisos para las zonas de Conservación Paisajística de Normandía, Río Cali, Santa Isable, San Fernando y Tejares.

Las zonas de tipo Residencial R-2 (parte plana de la ciudad, a partir de la Calle 5 hasta la Calle 1 y desde la Calle 1 hacia el Occidente) establece alturas de 12 pisos, las cuales libera para lotes mayores de 4.000 metros cuadrados.

A las zonas Residencial R-3 les fija 8 pisos en todas las comunas.

A las zonas R-4 de Consolidación les asigna 4 pisos en todas las comunas
A las zonas R-5 (vivienda de interés social) 5 pisos en la parte plana de la ciudad.

4.3 Síntesis.

Las anteriores normas sobre zonificación por áreas de actividad y reglamentaciones de alturas, como se desprende de los textos de cada una, sólo reproducidos parcialmente en esta evaluación, han considerado una mezcla de criterios ambientales y socioeconómicos. Ello ha conducido a que sobre iguales o similares unidades de paisaje (es decir, composiciones y formas del terreno, alturas sobre el nivel del mar, localizaciones con respecto al disfrute de bienes públicos como la brisa y las visuales, tipo de suelos, zonas de vida o asociaciones vegetales, etc.), las normas sean diferentes dependiendo de consideraciones socioeconómicas o de coyunturas de la misma índole.

El disponer de información actualizada y lo más detallada posible sobre las variables físicas del territorio, tal y como ocurrirá también a través del proyecto SIGCALI, se constituye en un insumo de primer orden para normatizar de manera equitativa y justa el uso del territorio, privilegiando el bien público sobre las aspiraciones individuales.

Mediante este estudio y las normas que se desprendan se contribuye a que las consideraciones ambientales primen sobre las coyunturas sociales y económicas, permitiendo similares oportunidades de desarrollo urbanístico para las diferentes capas de la población.

5. EL CONCEPTO DE BIENESTAR O DE *CONFORT*¹.

5.1 El *confort* como una medida de la calidad de vida.

El hombre ha buscado desde siempre la forma de adaptarse al medio ambiente y en especial al clima en el que vive. Aunque tiene unas herramientas relativamente débiles en comparación con las de gran cantidad de animales que están dotados de mecanismos apropiados de protección, éste ha logrado desarrollar metodologías para suplir estas carencias y vivir de una manera cada vez más agradable; buscando siempre un espacio para poder realizar sus actividades de una manera mas accequible, siempre procurando obtener la mayor eficiencia. Cuando el hombre descubrió el fuego para obtener calor, convirtió su “vivienda” en sitio de defensa en contra de las agresivas condiciones climáticas, así como de los animales. Ello significó, junto con otras razones, que pudiera establecerse por más tiempo en un lugar y liberara su mente para que trabajara en encontrar soluciones a otras necesidades.

El clima afecta fuertemente el carácter de las plantas y animales de las diferentes regiones climáticas y, lo más importante, afecta la energía humana (Naciones Unidas, 1973). En los hombres influye en la capacidad para el trabajo mental y físico. Influye en la capacidad para disfrutar, descansar y dormir. Un clima inadecuado puede producir sensaciones de lasitud y depresión, que afectan no solo a los individuos sino a comunidades enteras.

5.2 Zona de bienestar o de *confort*.

¹Galicismo: Comodidad (Corripio, 1973). “Todo lo que contribuye al **bienestar** (Pequeño Larousse, 1992). Naciones Unidas (1973), utiliza el término Bienestar. En este estudio se utilizan ambos como sinónimos.

Se puede definir como una zona en la cual el organismo humano gasta (libera) la menor cantidad de energía en acoplarse al medio y en la cual la mayor parte de la energía queda disponible para la productividad. En otras palabras, es la zona en la cual no existe sensación de incomodidad. Los factores que afectan las condiciones de bienestar en el medio físico son:

- luminosidad, condiciones acústicas o de ruido;
- factores climáticos: ambientales y espaciales;
- lo inanimado.

Todos estos actúan sobre el cuerpo humano que los recibe o repele según sus necesidades, buscando colocarse en condiciones de equilibrio físico y biológico. Cuando el equilibrio se alcanza el hombre tiene una calidad de vida ideal en relación con las condiciones físico-ambientales.

Las edificaciones son el principal instrumento para llenar los requisitos de bienestar, con ellas se modifica el medio natural buscando acercarse a las condiciones óptimas para la vida. El ser humano ha buscado históricamente, en todas las culturas y situaciones ambientales, encontrar las medidas para que su vivienda (y/o sitio de trabajo) provea las condiciones térmicas más estables y confortables posibles.

En un medio climático los principales elementos que afectan el bienestar humano pueden ser (Olgay, 1968):

- Temperatura ambiental.
- Radiación solar.
- Movimiento del aire.

Los movimientos de aire tales como vientos y brisas influyen en el enfriamiento del cuerpo sin disminuir la temperatura, produciendo una sensación refrescante y ayudando de una manera significativa a elevar el nivel de *comfort*.

- Humedad.

A estas variables debemos agregar, más aún en ciudades, las condiciones de concentración y las posibilidades de dispersión/dilución de elementos contaminantes (gases, partículas en suspensión, olores, radiación calórica por actividades antrópicas).

Algunos autores consideran la insolación o el desmayo producido por el exceso de calor como el límite superior y el punto de congelación como el límite inferior.

- Olgay (1968) propone que las condiciones ideales están entre 0 y 38 grados centígrados. Lo que significaría que la condición ideal promedio se encuentra hacia los 18.9 grados centígrados.
- The British Department of Scientific and Industrial Research, citado por Olgay (1968), propone dos alternativas:
 - una temperatura ideal de 18.9 grados centígrados con un mínimo de movimiento del aire de (0.25 m/seg);
 - una zona de *comfort* entre los 13.2 y los 23.2°.
- La norma propuesta por los alemanes es de una temperatura de 20.8° y una humedad relativa del 50%.
- Yaglou y Houghton (Olgay, 1968) encontraron un óptimo en 21.7°, comprendido en un campo de 17.2 a 21.7°.

Los anteriores puntos de vista sirven para intentar definir una zona de *comfort* que trata de recoger todos los factores que la hacen variar, incluyendo además los tipos de individuos, sus vestimentas y las actividades que realizan.

También hay otro factor importante como es la ubicación de la región geográfica: en condiciones tropicales cálidas y húmedas los requerimientos térmicos para lograr el bienestar o zona de *confort* deben ser buscados optimizando el uso de condiciones naturales locales, como por ejemplo las brisas y vientos, para el caso de Cali.

Los límites de la zona de *confort* son fácilmente modificables, lo que hace su determinación bastante difícil; en el estudio de Olgay (1968) se toma como criterio para los límites el hecho de que una persona media no experimente incomodidad. La zona de *confort* está definida entre el 30 y 65% de humedad relativa con temperaturas entre 19.4 y 27.2°.

Para obtener una zona de *confort* con la influencia de los vientos, Olgay elaboró un gráfico en el cual, bajo determinadas condiciones de temperatura (elevada) y humedad relativa, se puede determinar la correspondiente velocidad del viento teórica para alcanzar la zona de *confort*.

El Índice Bioclimático Esquemático, reúne las condiciones de necesidad de vientos, de necesidad de radiación y de necesidad de humedad para poder alcanzar una zona de *confort*.

La radiación solar media, dependiente en primer lugar de la Latitud de una región en la cual la mayor cantidad de calorías por unidad de área, para zonas tropicales, se distribuye de manera doblemente lobulada hacia el Occidente y hacia el Oriente. En segundo lugar depende de obstáculos locales generadores de sombra (p. ej. topografía, disposición de edificaciones).

La disposición de obstáculos o barreras naturales y artificiales también afecta el clima local al impedir la circulación de los vientos y de las brisas. Diversas evaluaciones realizadas con modelos naturales, y en laboratorio mediante túneles de viento, indican que el 75% del volumen y de la velocidad de los vientos se recupera a una distancia aproximada de 7 veces la altura de la barrera (Olgay, 1968).

5.3 Confort en Cali:

Cali tiene “... una condición topográfica drámatica. Se encuentra en las faldas de la Cordillera, que con formidable vigor la rodea y con quebrado aspecto la domina. Es un escenario fantástico a partir del cual, sin embargo, provienen efectos benéficos; las brisas refrescantes que bañan a la ciudad en la tarde después de los calores del medio día. Como contraste, el valle genera una atmósfera de quietud y paz. En él la abundancia de la vegetación y su exuberancia, la gran variedad de la arborización y su riqueza, ofrecen un lujoso ambiente natural en donde los períodos de florecimiento y de cosecha son paralelos y perpetuos, entrelazados incesantemente en las épocas de germinación y de obtención del fruto” (Olgay, 1968).

Para un clima húmedo y cálido como el de Cali, el bienestar o *confort* en el interior de una vivienda depende en gran parte del control que se pueda tener sobre los movimientos del aire y del calor radiante. Se debe procurar el máximo movimiento del aire en contacto con el cuerpo para conseguir una evaporación rápida del sudor de la piel. Hay que impedir que el calor solar llegue a los ocupantes del edificio, ya sea directamente a través de las puertas y ventanas o indirectamente por el calentamiento de la estructura, que irradiaría de nuevo ese calor a los ocupantes o caldearía el aire en los espacios cerrados. Los edificios se deben enfriar rápidamente después de la puesta del sol para lograr el máximo bienestar (*confort*) durante las horas de la noche. Esas necesidades exigen la construcción de muros y cubiertas ligeras y bien aisladas, superficies reflectantes, dispositivos de sombra adecuados y un diseño que favorezca la penetración de la brisa en Cali. (Naciones Unidas, 1973).

En Cali la temperatura promedio es de 24° C con una variación anual de 2° C. La humedad relativa es alta con elevadas presiones de vapor, durante casi todo el tiempo. Se presenta nubosidad prácticamente todos los días. Respecto a la precipitación, según el

movimiento solar hay dos máximos de lluvia; uno en abril y otro en noviembre, con lluvias cortas pero de gran intensidad.

Los vientos presentan calma hasta las diez de la mañana, con un crecimiento hasta las 8:00 p.m., hora a partir de la cual vuelven a disminuir.

Para estas condiciones de la ciudad, Olgyay elaborará gráficos bioclimáticos en los cuales la zona de *confort* está ajustada a la línea de promedio anual (24° C), con el período superior a 26.8° C y el inferior a 21.2° C, con un 1 Clo de vestiduras (1Clo es equivalente a vestir en mangas de camisa, Olgyay, 1968).

Para poder disponer en Cali de condiciones de bienestar o de *confort* se requiere de vientos. Por ejemplo, para las condiciones de humedad relativa del 73% y temperatura de 24° C (las condiciones promedio en Cali), se necesitarían vientos mínimos de 1 m/seg. Entre las 10:00 y las 18:00 horas se requiere, durante todo el año, de vientos entre 0.5 y 2.5 m/seg. Durante el amanecer se requiere de radiación la cual es procurada mediante las viviendas y abrigos (Fig. 1).

Del conjunto de recomendaciones dadas por Olgyay para las condiciones de trópico cálido y húmedo de Cali, y teniendo en cuenta que en estas condiciones las edificaciones deben cumplir la condición de satisfacer un grupo de necesidades fisiológicas, él establece que: "Aquí, los objetivos primordiales son:

- a) reducir la producción de calor;
- b) reducir la absorción de radiación;
- c) promover la pérdida de radiación;
- d) evitar la absorción de humedad;
- e) incrementar el movimiento del aire".

De estos principios se desprenden recomendaciones tales **como evitar las áreas densamente edificadas privilegiando disposiciones libres para las edificaciones**, privilegiar colores claros de tonos pastel (para reflejar la radiación solar de onda corta evitando deslumbramientos y brillos molestos), **promover la disposición de áreas verdes Vs. las áreas pavimentadas, y permitir el paso de los vientos.**

6. VARIABLES CLIMÁTICAS

Del conjunto de variables climáticas (i.e., pluviosidad, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, nubosidad, brillo solar, vientos, niveles ceráunicos, etc.), la información detallada a escala urbana es escasa y se concentra en las variables de precipitación, además de información hidrológica, a partir de la red hidrometeorológica operada por la CVC.

El microclima de Cali está gobernado por un régimen de radiación solar en el trópico, influenciado por la orientación del valle geográfico y las montañas que lo rodean, alterando así la circulación global de los vientos. En la ciudad las brisas y vientos durante el día son esenciales para proveer condiciones de bienestar o de confort (Olgyay, 1968; Naciones Unidas, 1973), y ayudar a disipar el calor y poluentes atmosféricos generados antrópicamente.

6.1 Mediciones de temperatura ambiental.

Como hipótesis se consideró que entre las corrientes de vientos y brisas refrescantes se destacan aquellos que circulan a través de los valles de los ríos perpendiculares al valle del Cauca. Frente a la ausencia de datos anemográficos, las mediciones de temperaturas pueden mostrar que las isotermas o líneas de igual temperatura se desplazan hacia el Oriente frente a los valles transversales al valle del Cauca.

Recorridos, horarios y puntos de medición. Con la finalidad de evaluar de manera preliminar el comportamiento de la temperatura y de la influencia de las brisas que descienden de la Cordillera sobre el microclima de la ciudad, se diseñaron mediciones de la temperatura en recorridos. Éstos fueron diseñados de tal manera que tuvieran una dirección W-E, que fueran lo más equidistantes posibles y que cruzaran uno o más puntos de control con mediciones cada 5 minutos (relojes de vallas Publik). La distribución de los recorridos estuvo sujeta al número de instrumentos disponibles (4). Dichos recorridos se plantearon de esta forma con el fin de lograr una distribución uniforme en las mediciones de temperaturas (la máxima distancia entre puntos de medición fue de 3.5 km), y recorrer los valles perpendiculares al valle geográfico del río Cauca en la ciudad de Cali, y en las cuales la experiencia cotidiana indica que por allí corren los vientos y brisas que refrescan la ciudad, y, por lo tanto, aliviando las condiciones de bochorno en ella (es decir, aportando a las condiciones de bienestar o de confort).

Durante los días de las mediciones (oct. 27, 12:00 horas a oct. 28, 04:00 horas), las condiciones climáticas en Cali fueron similares a las de un día típico de verano, con radiación solar permanente, directa y difusa por presencia de calima, ausencia de lluvias y de nubosidad densa, y brisas y vientos sin ráfagas en las horas de la tarde.

Para la elección de la hora a la cual se debían tomar las temperaturas, se tuvo en cuenta que hubiera condiciones climáticas estables:

- mediciones entre las 12:00 y 13:00, periodo de insolación vertical, asumiendo que durante este lapso de tiempo las variaciones puntuales son mínimas;
- mediciones entre las 16:00 y 17:00, periodo de mayor afluencia de brisas y vientos refrescantes desde la Cordillera;
- mediciones entre 04:00 y 05:00 am, periodo en el cual la temperatura es más estable en cada lugar.

Adicionalmente, se tuvieron 5 puntos de control en los cuales se tomaron medidas cada 5 minutos en termómetros estacionarios, 3 de ellos en intersecciones con recorridos.

Instrumentación. Para las mediciones de temperatura en Cali, el Observatorio se valió de dos medios disponibles:

- **Vallas Electrónicas Publik Informadores.** Se seleccionaron 5 de las 18 vallas localizadas en Cali. La empresa Publik Informadores, reporta que estas vallas brindan una información con un nivel de confianza del 97%. La localización de las vallas se encuentra en la tabla siguiente.
- **Termómetros digitales ambientales de Sincrón-Diseño Electrónico.** Esta empresa facilitó 4 termómetros portátiles con las siguientes especificaciones: Marca: Thermo Electric; Referencia: ST-MINIKIT; Precisión: 99.9%; Tiempo de Lectura: 1 segundo por lectura.

Estos termómetros fueron calibrados mediante operación simultánea en idénticas condiciones ambientales antes y después de las mediciones. La desviación máxima observada en periodos de dos horas de pruebas fue de 0.1° C.

Además de los datos registrados con estos instrumentos también se tuvo en cuenta los reportes de promedios mensuales multianuales de temperaturas, de la estación meteorológica UniValle (C.V.C.).

6.2. Tratamiento de los datos.

Una vez efectuada la toma de temperaturas estas se reunieron y se clasificaron en 2 categorías: temperaturas en puntos fijos (vallas Publik) y temperaturas en recorridos. Los datos fueron tratados teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Cuando existe más de un dato para un punto en una misma hora, el dato correspondiente a este sitio es el promedio de los datos obtenidos.
- Cuando el rango tiempo en que se tomaron los datos excedió la hora en mas de un 25%, se descartaron los datos así obtenidos.
- Se descartaron los puntos en que los datos se consideraron anómalos, debido a falta de homogeneidad, por ser tomados fuera de tiempo, en un caso, y en otro en condiciones de nubosidad y vientos fuertes locales, previos a lluvia.
- No se realizaron correcciones por gradiente térmico (-1°C , cada 184 msnm). La máxima altura registrada en un punto de los recorridos fué de 1250 msnm (Cerro de Cristo Rey), y la mínima fué de 960 msnm (cercanías del río Cauca).

Una vez organizados los datos de temperaturas con la ayuda del programa SURFER, se trazaron las curvas de igual temperatura para la ciudad. Este programa está diseñado para generar curvas de nivel por el método de mínimos cuadrados de la distancia entre dos puntos, para distribuciones asimétricas de coordenadas. La generación de gráficas de isotermoduras es similar; el único cambio realizado fue el del radio de búsqueda. De varios ensayos realizados, se optó por asignar un rádio de búsqueda de 4 km, valor un poco mayor que la mayor distancia entre dos puntos de medición (3.5 km).

6.3 Resultados.

La Figura 2 es un ejemplo de los resultados de la distribución de las temperaturas, en este caso para las 12:30 horas. A grandes rasgos, y con base en los modelos obtenidos, sobre la ciudad predomina el incremento de las temperaturas desde el piedemonte hacia el centro del valle, con cuatro tendencias de temperaturas relativamente homogéneas durante el día: el Norte y el Sur, con vectores de incremento de temperaturas en dirección NE; el centro, con un vector de orientación WE y el "Centro-Sur" (aproximadamente a la altura de la Cra. 66), con un vector WE, pero con una tendencia de las curvas de isotermoduras a desplazarse hacia el W.

Haciendo la corrección por altura para los puntos que se localizaron a más de 100 m sobre el nivel promedio de la ciudad (1,000 msnm), según el gradiente de 1°C cada 184 metros de diferencia, los modelos para cada hora del día conservan la tendencia ilustrada en la Figura 2.

En los modelos obtenidos, debido a que se trata de series de mediciones muy cortas y geográficamente espaciadas, no es posible discernir claramente el efecto de "isla" o "domo" de calor sobre la ciudad, característico de los enclaves urbanos y derivado de las actividades allí: calor industrial y vehicular, de cocinas y habitaciones, de superficies pavimentadas y enteodadas y de efecto albedo o ivernadero, por la capa de partículas y gases contaminantes que ya es visible en muchos días del año en Cali. A pesar de esto, sí se puede inferir una expresión del "domo" de calor, con concentraciones de curvas de más alta temperatura hacia el centro del eje urbanístico N-S.

La diferencia promedio de temperaturas entre las 12:00 y las 04:00 fue de 8.7°C ; y entre las 12:00 y las 16:00 de 3.6°C . Las variaciones climáticas locales se ilustran también el la Fig. 3, las "Zonas de Vida o Formaciones Vegetales" (Espinal, et al, 1977) y en el gráfico de variación de la precipitación media anual entre el Sur y el Norte de la ciudad, incluido en la misma figura.

7. GEOLOGÍA, TECTÓNICA Y SISMICIDAD

El estudio “El riesgo sísmico en la planificación urbana” (OSSO, 1995a), presentado al Departamento Administrativo de Planeación Municipal, incluye la evaluación de la actividad sísmica en los alrededores de Cali, así como las recomendaciones para las actividades conducentes a la microzonificación sísmica de la ciudad. Aquí se retoman algunos elementos del estudio citado y se amplían consideraciones en términos de la litología del territorio de la ciudad y de la tectónica regional.

7.1 Geología.

Las unidades litológicas que predominan regionalmente se extienden desde la Cordillera Occidental hasta la Cordillera Central, delimitando así el Valle del Cauca. La Cordillera Occidental esta conformada por rocas ígneas volcánicas del Cretáceo y por sedimentos Terciarios pertenecientes a las Formaciones Guachinte, Vijes, Jamundí y Raposo. En la Cordillera Central, se encuentran rocas que van del Paleozoico hasta el Terciario *Aspden*, 1984, *Barrero*, 1979 y *McCourt & Verdugo*, 1985.

En la Fig. 4 se ilustran las unidades litológicas en el área, adaptadas del trabajo de *Alvarez & Tenjo* (1971), las cuales localmente difieren de trabajos posteriores como el del Mapa Geológico Generalizado del Valle del Cauca (*Ingeominas-BGS*, 1992), principalmente en que la cartografía utilizada no detalla diversas unidades para las rocas del Cretáceo en la Cordillera Occidental y en que algunas Formaciones han cambiado de denominación, por ejemplo la Formación Popayán. sin embargo, *Alvarez & Tenjo* (1971), sí detallan la geología de las formaciones superficiales más recientes, es decir, las del valle geográfico, que el otro trabajo agrupa en sólo dos unidades. Por esta razón y porque este es el trabajo de mayor escala disponible que cubre toda la ciudad, se utilizó su información.

Las unidades litológicas de la Cordillera Occidental, en los alrededores de Cali son:

Rocas Cretáceas. Las diabasas son casi exclusivamente las únicas rocas aflorantes. En términos de aplicación a asuntos de planificación, ellas pueden ser divididas en dos unidades: al norte del Cerro de Cristo Rey, en donde se encuentran poco o nulamente alteradas (esta es la zona donde se localizan las canteras de la ciudad!) y al sur del mismo Cerro, en donde por razones climáticas se han formados capas de varios metros (de hasta decenas de metros?) de suelos lateríticos arcillosos, producto de descomposición de estas rocas. A partir de 1980, cuando la urbanización llegó hasta estas unidades litológicas, después de superar la franja de rocas el Terciario a lo largo del piedemonte de Cali, se iniciaron varios procesos de deslizamientos (p. ej. *Brisas de Mayo* y *San Francisco*, entre 1987 y 1989).

Rocas Terciarias. Corresponden principalmente a franjas alargadas de areniscas y lutitas intercaladas con mantos de carbón sobre el borde oriental de la Cordillera Occidental. En general, presentan contactos fallados con las unidades de diabasas y su estratificación buza al Occidente, contra la pendiente topográfica, hasta verticalizarse en los límites fallados (p. ej. en el Cerro de las Tres Cruces), o en áreas de pliegues anticlinales (p.ej. hacia la cúspide del Cerro de La Bandera). A pesar de la posición general favorable de la estratificación, hay tres factores que influyen en que los deslizamientos ocurran sobre estas unidades:

- estructuras (diaclasas o planos de fracturamiento) que generan bloques y poliedros susceptibles de caer o de deslizarse;
- erosión diferencial más activa sobre los mantos de lutitas, que posibilitan el desprendimiento de estratos más competentes;

- cortes y excavaciones que pueden encontrar estratificación y zonas de fracturamiento buzando a favor de las pendientes topográficas locales.

Depósitos Cuaternarios. El valle del Cauca está conformado por depósitos aluviales del río Cauca y sus tributarios, estos depósitos se entrelazan con rellenos aluviales en forma de abanicos, los cuales, generalmente son mezclas heterogéneas de arena, grava y cantos con un menor porcentaje de materiales finos; entre los cuales están:

- Depósitos de vertiente: han sido cartografiados principalmente al norte de la ciudad. Entre ellos se cuenta el depósito del área de Normandía, en el cual se han presentado diversos fenómenos de inestabilidad, casi todos ellos asociados a excavaciones para proyectos urbanísticos. Al sur de la ciudad se presentan localmente, en barrios como El Mortiñal, Los Cristales, Altos de San Fernando, y en pequeñas áreas de Siloé y barrios aledaños y en cercanías de Los Chorros-Lourdes.
- Cauces antiguos o abandonados de lechos de ríos y arroyos, los cuales hacen que se formen tapones arcillosos (Q7), creando lagunas semilunares. Estos predominan en la porción oriental de la ciudad, acompañados de depósitos aluviales (Q3) y de depósitos de zonas desecadas y de rellenos de cauces (Q5). Sobre la porción oriental también destacan los depósitos de albardones naturales (Q4), producidos durante inundaciones en periodos geológicos recientes hasta históricos.
- Conos aluviales. La cartografía disponible no permite diferenciar entre los conos de los ríos Menga, Cali y Cañaveralejo, los cuales tienen características diferentes. En ellos destaca el Cono de Cali, con las mejores propiedades geotécnicas, compuesto de gravas parcialmente cementadas. Sus límites aproximados, por reconstrucción a partir de interpretación de fotografías aéreas de la ciudad de 1942, se encuentran entre la margen izquierda del río Cali al norte, la Calle 25 al oriente y el curso de antiguas quebradas que descendían desde El Mortiñal, por el barrio El Nacional y siguiendo por el barrio La Alameda, al norte de la Unidad Deportiva Panamericana.

7.2 Tectónica

Cali está ubicada al W del denominado Bloque Norandino, una microplaca que linda al occidente con la placa oceánica de Nazca, al oriente con la placa Suramericana y al norte con la placa Caribe. Los dos límites de placas más cercanos al área del proyecto son esencialmente de carácter compresivo. El más importante en cuanto a su nivel dinámico y como fuente de sismicidad, es la zona de convergencia entre las placas de Nazca y Suramérica/Bloque Norandino, la zona de subducción, cuya traza superficial está localizada frente a la Costa Pacífica. Las componentes horizontales principales del tensor de esfuerzos en la parte superior de la Corteza en esta región (Sur de la zona andina) están orientadas entre E-W y ESE-NNW (Zoback, 1991).

De este sistema de placas y su respectiva cinemática resulta un régimen sismotectónico que da como resultado los siguientes tipos de fuentes:

- La zona de subducción. Es la interfase de convergencia y fricción entre la placa de Nazca (oceánica) y la continental. Las zonas de subducción son, a escala global, el tipo de fuente sísmica de mayor actividad y amenaza, en términos de las magnitudes máximas y los periodos de recurrencia. Los sismos de 1906 y 1979, los más grandes en Colombia durante el periodo de registro instrumental, ocurrieron en la zona de subducción.
- La zona de Wadati-Beniof, la continuación de la zona de subducción en profundidad. Aquí la sismicidad es producto de esfuerzos de tensión - compresión y cambios de fase bajo presión

dentro de la placa oceánica que se sumerge en el manto terrestre. A este tipo de fuente está asociada a nivel global la sismicidad de focos intermedios y profundos.

- Sistemas de fallas superficiales, son consecuencia de la transmisión de esfuerzos y deformaciones al interior de las placas, a partir de las fuentes primarias, los límites de placa (zona de subducción para este caso). Los más estudiados en el occidente de Colombia son los sistemas Cauca y Romeral, las principales expresiones de la llamada "Megacizalla de Dolores".

El rumbo general de estas estructuras está entre NS y N30°E. Diversos autores han propuesto la segmentación de esta región, sobre la base de manifestaciones morfológicas, vulcanológicas, de sismicidad, etc. Además, aunque pobremente documentadas, se encuentran estructuras con direcciones E-W y NW-SE.

Rasgos tectónicos principales. El rasgo estructural más notable en la Cordillera Occidental es un sistema complejo de fallas regionales de buzamiento alto, cuya dirección es en general N-S. Las principales fallas están delimitando contactos litológicos:

- *Falla Dagua - Calima*, que pone en contacto rocas volcánicas con rocas sedimentarias de la Formación Espinal.
- *Falla Río Bravo*: Pone en contacto la Formación Espinal con las rocas metamórficas de la Formación Cisneros
- *Falla El Naranjal*: Pone en contacto la Formación Cisneros con el Grupo Diabásico. Las mediciones hechas en los plegamientos más jóvenes tienen los planos axiales buzando entre 25° y 45° al SW y localmente están asociados con el desarrollo de fracturas paralelas especialmente en los horizontes más competentes. Más evidencias de estos movimientos recientes se pueden observar por el número relativo de pequeñas fallas transversales que cortan el sistema de fallas N-S en los sedimentos, (Aspden, 1984).
- *Falla Cauca*. También denominada Sistema de Fallas del Cauca, o Falla de Cali, ha sido cartografiada sobre o en cercanías del piedemonte a lo largo del valle del Cauca.

No existe homogeneidad para la denominación de esta falla: Page (1986) menciona el Sistema de Fallas del Cauca, cuyo límite con el Sistema de Fallas de Romeral no ha sido establecido aún. Ingeominas - BGS (1984, plancha No. 280) denomina a la traza que cruza el área como Falla del Cauca, e Ingeominas - BGS (1992) la denomina como Falla de Cali. En este estudio se utilizan el término Falla del Cauca para hacer referencia a la traza de falla en cuestión (en realidad un conjunto de trazas subparalelas, algunas de ellas bajo los sedimentos del valle del Cauca).

La Falla Cauca es el límite oriental de la Cordillera Occidental, separando la capa de rocas volcánicas y el relleno aluvial cuaternario del Río Cauca. No se han encontrado expresiones geomorfológicas de actividad cuaternaria. La actividad de la falla Cauca en el área de Cali se desconoce. En caso de que las fallas de esta zona se activen su grado debe ser muy bajo, si se tiene en cuenta la ausencia de rasgos geomorfológicos característicos de fallas activas del Cuaternario (Woodward-Clyde, 1983; Page, 1986).

Una de las incertidumbres no resueltas todavía es la asociación o no a fuentes sísmicas cercanas y superficiales de los sismos de 1766 y de 1925, de entre los más fuertes en la historia de Cali. El primero produjo daños entre Cali y Buga y el segundo ha sido relocalizado de manera preliminar hacia alguna falla sobre la Cordillera Occidental (Meyer, 1990). Éste, por tener reportes de numerosas réplicas, es asociable a una fuente superficial, mientras que, según datos recientes el segundo, sin reportes de réplicas, fue sentido en poblaciones lejanas, al norte de Colombia, lo que indicaría una fuente más profunda. En todo caso, la información disponible no permite asignar estos eventos a ninguna falla o sistema de fallas en particular.

De acuerdo con estudios recientes puede ahora afirmarse que el sector norte de la Falla Cauca (hacia Roldanillo) sí presenta actividad microsísmica (OSSO, 1995b), mientras que hacia el sur, incluyendo el área de Cali, la evidencia de actividad es menor, al menos durante los 8 años de registro de la Red Sismológica Regional del Suroccidente (OSSO, 1995a y 1995c).

Conociendo, además, que las fuentes de amenaza sísmica para la ciudad son principalmente regionales:

- Zona de Subducción frente al Litoral con sismos como los de 1906:01:31 y 1979:12:12, con grandes magnitudes y superficiales;
- la zona de Wadati-Benioff, con sismos como los de 1962:07:30, 1979:11:23 y 1995:02:08, con magnitudes entre 6.4 y 7 y profundidades del orden de 70 a 120 km;
- fallas continentales con sismos como los del Huila en 1967:02:09 y el de Páez en 1994:06:06,

7.3 Sismicidad

Introducción. La sismicidad es una de los aspectos ambientales físicos que deben ser tenidos en cuenta en la planificación urbana, en regiones de altos niveles de sismicidad como lo es el Occidente Colombiano.

En primera aproximación, se pueden definir dos tipos de variables ambientales para la consideración de este fenómeno, tanto en su evaluación como en su manejo:

- **Sismicidad.** Esto es básicamente la caracterización de la movimientos que pueden llegar al área urbana, que generalmente se realiza en términos de la localización de las fuentes (fallas geológicas activas), de la estimación de sus probables magnitudes máximas y sus probables períodos de recurrencia, y del efecto de la distancia entre el foco y área en riesgo. En Colombia, como en muchos otros países, esto se ha resuelto por ahora mediante la especificación de zonas de amenaza y parámetros de movimiento sísmico, contenidos en el Código Colombiano de Construcción Sismorresistente.
- **Efectos locales.** Esto es básicamente la caracterización de la modificación que pueden sufrir los movimientos sísmicos por causa de las condiciones locales superficiales en el área. Es decir, la caracterización de las condiciones geológicas superficiales y de la topografía local. En Colombia esto también se ha resuelto para fines prácticos, por ahora parcialmente, mediante el llamado “coeficiente de sitio” (Decreto Ley No. 1400 de 1984), que tiene en cuenta lo relativo a las condiciones geológicas superficiales.

En todos estos aspectos existen aún grandes incertidumbres, tanto en la especificación de las diversas variables (tanto en el modelo básico que rige a cada una como en el conocimiento de las condiciones regionales y locales que intervienen), como en la identificación misma de las variables que participan.

Prácticamente todos los códigos a nivel global incluyen hoy en día alguna variable que tiene en cuenta la influencia de las condiciones geológicas locales. Ello se debe en buena parte a que en muchos desastres sísmicos el efecto de las condiciones geológicas superficiales (suelos blandos, expresado de la manera más simple posible) ha sido dramático y hasta decisivo. En cambio el efecto de la topografía local sólo se ha incluido de manera explícita en muy pocos códigos; porque su contribución a la historia de pérdidas y desastres ha sido menor, lo cual muy probablemente está relacionado con que hay en el mundo mucho más ciudades sobre suelos de comportamiento desventajoso que sobre relieves sísmicamente desfavorables, pero también porque el entendimiento del factor topográfico es más reciente y menor que el del factor geológico. Además, parece ser que en el factor topográfico inciden otros factores de gran variabilidad, como es la dirección de incidencia de las ondas sísmicas (Aki, 1988).

Entre los pocos casos de normativas que encontramos está el Estado de Utah (EEUU), donde se prohíbe la construcción en pendientes a partir del 30%.

La nueva versión del CCCSR (A/S, 1994), parcialmente adoptada en el Congreso, incluye la evaluación y consideración del efecto topográfico como obligatoria en ciudades de más de 100.000 habitantes en zonas de amenaza sísmica alta.

A nivel global, son mucho más comunes los asentamientos en áreas planas y hasta en depresiones (donde es posible y probable la acumulación de depósitos de suelos blandos) que asentamientos sobre relieves muy pronunciados. En Cali la ocupación de áreas con relieve pronunciado es un fenómeno del desarrollo urbano muy reciente, de las últimas décadas (Velásquez & Meyer, 1994). Otro problema ambiental físico ligado a la topografía, los deslizamientos, empezaron a ocurrir en Cali hace apenas poco más de medio siglo. Por esto, la ya larga historia de terremotos y pérdidas en la ciudad no contiene ninguna experiencia que dé testimonio de la incidencia del factor topográfico.

Hoy en día la ciudad ya tiene densas y extensas áreas de pendientes pobladas, algunas con topografía verdaderamente pronunciada, como es el caso de Terrón Colorado.

Sobre el “efecto topográfico” (también llamado “efecto geométrico”) ha habido mucho menos investigación que sobre el efecto geológico (Ashford & Sitar, 1991). Un reciente taller patrocinado por la National Science Fundation y el Electric Power Research Institute (EPRI, 1991), recomendó mejorar la instrumentación para verificar y calibrar modelos numéricos, y la determinación de parámetros de fácil medición, así como factores de corrección empíricos, para mejorar el problema de la amplificación topográfica en la práctica.

Los efectos que las condiciones geológicas y topográficas locales pueden tener durante la ocurrencia de terremotos son:

- Amplificación del movimiento sísmico sobre suelos blandos.
- Amplificación o reducción del movimiento sísmico en relieves pronunciados, el llamado “efecto topográfico”. El estado del conocimiento se puede condensar así:
 - Elevaciones topográfica amplifican el movimiento.
 - La amplificación depende de condiciones locales, pero también de propiedades dinámicas del movimiento sísmico (ángulo de incidencia, longitud de onda).
 - La amplificación es más fuerte en crestas que en cuevas (e. d., el ancho del promontorio topográfico influye).
 - El efecto topográfico aumenta con la pendiente.
 - El efecto topográfico aumenta con la altura de la pendiente.
- Inducción de fenómenos secundarios (desprendimientos de roca, deslizamientos) sobre relieves pronunciados.

Entre los casos recientes que demuestran la incidencia de estas variables ambientales locales en el cuadro de efectos y pérdidas durante terremotos están:

- Los terremoto del Atrato Medio (1992) y de Páez (Cauca, junio 1994), con extensos deslizamientos y avalanchas.
- El terremoto de Lago Agrio en Ecuador (1987), cuyos extensos deslizamientos afectaron la economía del país al destruir el oleoducto transandino.
- El terremoto de Guatemala (1976), durante el cual hubo grandes áreas afectadas por deslizamientos (más de 10.000) y consecuentes pérdidas humanas y materiales (Harp et al., 1978).
- Recientes terremotos (Friuli, Irpinia) en Italia, con mayores pérdidas en asentamientos sobre áreas con alto relieve.
- Recientes terremotos de intensidades intermedias en Cali y sus efectos en áreas muy delimitadas de la ciudad (sur de la Av. Roosevelt), presumiblemente por efecto de geología superficial.

Opciones de mitigación. También en el caso de estas variables ambientales que requieren mitigación existen fundamentalmente dos enfoques para reducir probables efectos adversos:

- reducción de la exposición, mediante la limitación del desarrollo urbano en las respectivas áreas, y
- aumento de la capacidad de resistencia de la infraestructura urbana y las edificaciones en aquellas áreas.

Frente a la ausencia de información sobre las condiciones locales y su comportamiento sísmico, pero a la vez certeza de que las condiciones generales existen en el área de la ciudad, es preferible diseñar la planificación y normativa urbana de una manera conservativa, con aspectos como:

- prohibición de la construcción en áreas donde además de topografía pronunciada hay condiciones geológicas que propician deslizamientos y caídas de rocas, y
- limitación de la densidad y altura de edificaciones en áreas cuyas condiciones generales y evidentes permitan preveer la ocurrencia de efectos geológicos y topográficos.

La diversidad de fuentes sísmicas con potencial de amenaza sobre Cali se ilustra en la Fig. 5. La densidad de información, producto de la observación continua durante los últimos 10 años con la Red Sismológica del SurOccidente, que aproximadamente tiene a la ciudad como centro, se constituye en un argumento de peso para emprender el estudio de microzonificación sísmica de la misma. De hecho, ninguna otra ciudad del país tendría a su disposición un cúmulo de información como esta.

8. PROCESOS GEODINÁMICOS.

Los principales, entre los fenómenos geodinámicos reportados en la ciudad se acopiaron de bases de datos existentes para la ciudad (*DAPM-Aguirre*, 1994, con base en el periódico El País; OSSO, archivos propios). Los registros disponibles cubren el periodo 1922 a diciembre de 1994, pero el grueso de la información corresponde a las décadas a partir de 1960 y, más aún, desde 1980.

Los fenómenos de mayor ocurrencia tienen como factor desencadenante las lluvias coadyudado por la acción antrópica (por ejemplo disposición de basuras en canales y quebradas), y en algunos casos por el diseño deficiente de las obras (canales, sifones y colectores).

En las Figuras 6 y 7 se ilustra el comportamiento mensual multianual de los deslizamientos, avenidas torrenciales e inundaciones, con picos que coinciden con los máximos de la precipitación mensual multianual (Fig. 3). En la Fig. 6 aparece un valor alto de deslizamientos en el mes de Julio, el cual puede ser interpretado preliminarmente como debido a deslizamientos ocurridos durante ocasionales aguaceros fuertes y prolongados en este mes, cuya expresión no es tan evidente en la Fig. 7 (Inundaciones y avalanchas), quizás debido al mayor número de este tipo de eventos en el conjunto de los datos analizados.

El análisis de curvas acumulativas de deslizamientos y de avenidas torrenciales e inundaciones indica un notorio incremento en la pendiente de las curvas, a partir de la década de 1980. Aunque es posible un sesgo de la información por mayor disponibilidad de información en este periodo, el caso de Cali ha sido comparado con el de otras ciudades latinoamericanas (OSSO - *LA RED*, 1995), encontrándose que más probablemente se trata de un proceso de vulnerabilidad creciente por inadecuado uso del medio ambiente en nuestras ciudades. Este tipo de razonamientos se refuerza para el caso de Cali, si se tiene en cuenta que a partir de esta

década la presión sobre todas las vertientes del piedemonte se incrementa, ocupando y deforestando en pocos años vertientes que en décadas estaban dedicadas a usos poco densos y a actividades que, en la práctica, amortiguaban los efectos de las lluvias sobre las laderas y sus consecuencias para la ciudad.

8.1. Deslizamientos.

El primer deslizamiento urbano conocido en la historia de Cali ocurrió en 1936, cuando se iniciaron banqueos sobre rocas sedimentarias del Terciario con fines urbanísticos en el barrio Juanambú.

El mayor número de deslizamientos han ocurrido entre las cuencas del río Cali y el río Meléndez, zona en la cual es común encontrar saprolitos de rocas ígneas (diabasas meteorizadas), los cuales presentan múltiples huellas de movimientos de masa. A partir de 1980, por procesos de urbanización creciente del piedemonte, se han generado deslizamientos lentos en los barrios Brisas de Mayo, San Francisco, Alto Jordán, Siloé, Lleras Camargo, La Sultana, La Estrella, Los Chorros, y Lourdes, entre los más destacados, así como en las áreas suburbanas de los corregimientos: La Buitrera, Los Andes, Pichindé, Golondrinas, etc.

Asociados a las rocas sedimentarias, cuyos estratos buzan al W, contra la pendiente topográfica, se encuentran procesos de erosión severa, como subsidencias (hundimientos de socavones de minas abandonadas) y en menor proporción deslizamientos puntuales en minas (Cerro de la Bandera, Los Chorros y La Cascada). Debido a la disposición de los depósitos de material estéril de minas y canteras sin ningún criterio o medida técnica que prevenga los flujos de escombros superficiales, principalmente durante aguaceros fuertes y continuos, cuando éstos ocurren traen como consecuencias el derrumamiento de viviendas y la obstrucción y la colmatación de las redes de drenaje urbanas vertiente abajo.

8.2. Avenidas torrenciales.

Están relacionados con las crecientes los ríos Pance, Cali, Aguacatal, Lilí, Meléndez, Cañaveralejo, y también de quebradas menores o arroyos intermitentes, la mayoría de ellos urbanizados y/o deforestados.

La creciente del río Cali en 1984, la cual coincidió con la creciente simultánea del río Aguacatal, produjo daños en los muros de protección del río e inundaciones en varios tramos de su recorrido, causando pérdidas por más de setenta millones de pesos. (Velásquez y Meyer, 1990, estimaron pérdidas del orden de \$200 millones).

El río Pance en la creciente de 1988 en el sector de La Voragine y La Cabañita, dejó como consecuencia varios desaparecidos y daños en viviendas, en la creciente de 1993 arrasó con varios puentes.

8.3. Vendavales.

El ocurrido en 1962, en el cual los vientos alcanzaron velocidades de más de 26 m/seg, causando destrozos de árboles y daños en los techos de las viviendas, afectó a toda la ciudad. El vendaval de 1985 dejó como consecuencia la destrucción de 35 viviendas en el barrio Petecuy III; los demás vendales que han afectado a la ciudad han causado el derribamiento de árboles y cables de transmisión de energía y teléfonos, el último de ellos el pasado 25 de diciembre de 1995.

8.4. Inundaciones.

Es el tipo de evento con mayor número de reportes en las bases de datos analizadas con 145 reportes, desde 1922. Las áreas afectadas corresponden a la zona de la llanura aluvial del río Cauca. Las inundaciones están asociadas con fuertes e intensas lluvias, desbordamiento de algunos ríos y quebradas como el Cauca, Cali, Cañaveralejo Aguacatal y al rebosamiento de canales y caños de aguas negras.

Los sectores más afectados por inundaciones son el Distrito de Aguablanca, El Guabal, San Judas, Cristobal Colón, Aguacatal, San Luis, Petecuy al igual que algunos barrios del nororiente de la ciudad como La Flora, entre otros.

9. COMENTARIOS SOBRE INFRAESTRUCTURA Y MEDIO AMBIENTE EN LAS LADERAS DE CALI.

Las obras comunitarias y de infraestructura, reconocidas como “jalonadoras” de las tendencias de ocupación urbana de nuevos territorios, han conducido el tejido urbano hacia zonas indeseables, bien por razones de seguridad frente a fenómenos naturales con potencial peligro, o bien por razones de conservación de variables ambientales de interés público. Frente a estas opciones del las consideraciones de coyuntura socioeconómica y de tenencia de la tierra también han primado sobre variables físicas ambientales. Un caso ilustra este hecho en Cali: los asentamientos en laderas inestables, por ejemplo Brisas de Mayo, Pueblo Joven y Los Chorros en parte fueron motivados en la conciencia de los pobladores por la expectativa de disponer del servicio de agua del acueducto de La Reforma, según lo manifestaron ellos mismos durante la atención de diversas emergencias por parte de miembros del Comité Local para la Prevención y Atención de Desastres de Cali.

Actualmente las expectativas de ocupación-urbanización de terrenos al Occidente de la ciudad parece gravitar en torno al proyecto de la Avenida de Los Cerros. Para garantizar que esto no ocurra, por razones de seguridad frente a fenómenos de inestabilidad potencial, de costos de servicios públicos, de calidad ambiental y, también, de la eficacia de la misma Avenida, deben proveerse todas las medidas anticipadas para evitarlo, incluido el congelamiento y/o declaratoria como zona de protección de una franja de terreno paralela a la Avenida. Arriba de la misma, debería limitarse completamente la posibilidad de desarrollos urbanísticos. Otro tanto podría ocurrir al Oriente, sobre la llanura de inundación del río Cauca, si es vías como la Avenida Ciudad de Cali o similares penetran al sur de la actual malla urbana, limitada por el antiguo cauce del río Meléndez.

Las figuras 8 y 9 (Alturas recomendadas para edificaciones y Modelo de pendientes del terreno), complementadas con información específica, por ejemplo sobre estabilidad relativa de las laderas, son una expresión, y ante todo una POSIBILIDAD, para que la ciudad se dote de normas urbanísticas con base en variables físico-ambientales cuantificables y georreferenciables. Para que las normas y estatutos de usos del suelo sean menos dependientes de voluntades transitorias de carácter socioeconómico.

10. RELACIÓN DE FIGURAS.

Carátula. Índice bioclimático esquemático. Define, en función de la temperatura ambiental, de la humedad relativa del aire (en porcentaje) y de la necesidad de vientos, la zona en la cual una persona en reposo, a la sombra, se encuentra en condiciones de *confort*.

Figura 1. Índice bioclimático esquemático para Cali. Sobre la figura (original de Olgyay, 1968), se indican las condiciones de temperatura y humedad relativas, tomando como referencia la estación climatológica Universidad del Valle, de la C.V.C. Nótese que para las condiciones promedio de la ciudad se está por fuera de la zona de *confort* en época de verano y que se requiere de adicionar vientos con velocidades entre 1 y 6 metros por segundo para valores de la temperatura ambiental arriba de 22° C, y en el rango de humedad relativa entre 70 y 80%. Los valores de humedad relativa oscilan entre 69 y 83%, con un promedio anual del 73%, según reportes meteorológicos de la C.V.C., para la estación Universidad del Valle.

Figuras 2. Temperaturas a las 12:30 p.m. Los datos de temperatura fueron analizados y depurados (se excluyeron aquellas mediciones realizadas fuera de horario y aquellas en las que condiciones locales como alta nubosidad y situación previa a lluvias generaron variaciones fuertes). Se digitalizaron las series de datos para cada horario y se procesaron mediante algoritmos generadores de isocurvas por mínimos cuadrados para distancias con radio de búsqueda predefinido y con centro en cada sitio de medición (programa "Surfer"). Siendo 3.5 km la mayor distancia entre dos puntos de medición, el radio de búsqueda se definió como de 4 km. Los valores fueron procesados sin hacer correcciones de gradiente térmico por diferencias de altura sobre el nivel del mar.

A grandes rasgos, y con base en los modelos obtenidos, los cuales deben ser considerados como preliminares y sujetos a refinamientos, sobre la ciudad predomina el incremento de las temperaturas desde el piedemonte hacia el centro del valle, con cuatro tendencias de temperaturas relativamente homogéneas durante el día: el Norte y el Sur, con vectores de incremento de temperaturas en dirección NE; el centro, con un vector de orientación WE y el "Centro-Sur" (aproximadamente a la altura de la Cra. 66), con un vector WE, pero con una tendencia de las curvas de isotemperaturas a desplazarse hacia el W.

Haciendo la corrección por altura para los puntos de medición 1, 2, 3, 10, 11, 12 y 13, los cuales se encuentran a más de 100 m sobre el nivel promedio de la ciudad (1,000 msnm), según el gradiente de 1° C cada 184 metros de diferencia de alturas, los modelos generados conservan las tendencias.

Figura 3. Zonas de vida y variación de la precipitación. Las zonas de vida son una expresión de las condiciones climáticas en función de la precipitación promedio anual, la evapotranspiración potencial y la altura sobre el nivel del mar. Las zonas de vida bosque seco tropical (bs-T) y bosque seco pre-montano (bs-PM) predominan sobre el área urbana, con límite hacia la cuenca del río Cañaveralejo, en donde se dispone de mayor precipitación media anual, como se muestra al comparar los registros de las estaciones meteorológicas El Descanso y San Luis. Hacia los Farallones de Cali, al SW, las zonas de vida se caracterizan por un aumento de la precipitación.

Las zonas de vida pueden entenderse también como expresión directa de la necesidad de protección y recuperación de condiciones ecológicas: sobre las zonas más húmedas la conservación y recuperación de la vegetación y de las cuencas hidrográficas, como fuentes de agua y a la vez amortiguadoras de avenidas torrenciales, y sobre las zonas más secas (y deforestadas), además de estas razones, para minimizar el acarreo de sedimentos generados por las frecuentes avenidas a raíz de aguaceros fuertes y concentrados. Son, además, un indicador de las condiciones generales de meteorización de las rocas: para el mismo tipo de unidad litológica se expresa en mayores perfiles de alteración y por lo tanto de inestabilidad potencial de vertientes en las zonas más húmedas. Los límites de las zonas de vida deben tomarse como indicativos ya que evaluaciones más detalladas sobre la distribución de los factores climáticos y de las asociaciones vegetales podrán identificar microzonas, como de hecho existen aún en las zonas más secas, a manera de relictos de bosques, por ejemplo en las cuencas bajas y medias de los ríos Cali-Aguacatal y Menga.

Figura 4. Unidades geológicas superficiales. Las unidades geológicas fueron digitalizadas a partir del trabajo de Alvarez y Tenjo (1971), originalmente a escala 1:50.000. Este, además de ser el trabajo geológico de mayor escala que cubre toda la ciudad y su área rural, tiene la ventaja de cartografiar los diversos tipos de depósitos sobre la llanura de inundación del río Cauca. Las unidades geológicas características pueden agruparse en tres grupos: rocas y depósitos de vertiente sobre la Cordillera Occidental, conos aluviales de los ríos Cali, Meléndez, etc., depósitos aluviales de llanura y de cauces.

La ciudad se emplazó y desarrolló durante casi 400 años sobre suelos de buenas propiedades geotécnicas, en el denominado Cono de Cali. De hecho, las avenidas torrenciales del río Cali, las inundaciones del Cauca y afluentes, y los terremotos fueron hasta hace poco los fenómenos de origen geológico más importantes en la ciudad. Sin embargo, a partir del inicio de la urbanización de sectores del piedemonte, los deslizamientos cada vez se han vuelto más frecuentes en Cali. La caracterización de las diferentes unidades geológicas y sus aptitudes de uso han sido documentadas en el trabajo Ofertas y Amenazas Ambientales en Cali (Velásquez & Meyer, 1994), el cual se anexa.

Los problemas identificados de inestabilidad de vertientes en la ciudad ocurren en todas las unidades geológicas cartografiadas, principalmente asociados a procesos de urbanización sobre pendientes moderadas a fuertes, por cortes (banqueos, terracedos, sobreempinamiento de taludes), por deforestación de las laderas y por vertimiento o escapes de acueductos y sistemas de disposición de aguas servidas.

Las diversas unidades geológicas sobre la Cordillera, cosa que es característica en toda la región andina, presentan estructuras tales como fallas, estratificación y diaclasamientos (fracturas o fisuras que se cruzan formando poliedros con tamaños desde centimétricos hasta métricos). El grado de fracturamiento de las unidades no ha sido cartografiado, excepto las principales trazas de falla, las cuales no se han incluido en el mapa en razón de que su grado de actividad como potenciales como generadoras de sismos no ha sido documentada instrumentalmente: las estimaciones disponibles indican que el Sistema de Fallas del Cauca, que cruza sobre la región, tuvo su última actividad hace millones de años y que su grado de actividad actual es de bajo a muy bajo (Woodward-Clyde, 1983); por otra parte, la información histórica sobre sismos recientes relativamente cercanos como el de junio de 1925 no ilustran que hayan ocurrido réplicas, el indicador más confiable sobre la superficialidad de un sismo.

Al Oriente, sobre la llanura de inundación del río Cauca, en donde predominan los suelos blandos generados por depósitos geológicamente jóvenes y las madreviejas o meandros abandonados, las propiedades geotécnicas, tales como la capacidad portante y el potencial de asentamientos, el potencial de licuación de suelos por vibraciones sísmicas y los altos costos de urbanización con requerimientos de redes de drenajes con sistemas de bombeo, no hacen recomendables estos terrenos para desarrollos urbanísticos. Allí, como lo contemplaban pasados planes de desarrollo, debería mantenerse la vocación agrosilvopastoril y de protección ecológica.

Figura 5. Sismicidad regional. Toda la región andina de Colombia está determinada, en términos de fallas geológicas y de sismos, por el proceso de convergencia de dos grandes placas tectónicas, la de Nazca (oceánica) y la de Suramérica. Entre estas dos, el llamado "Bloque Norandino" (entre la Zona de Subducción frente al Litoral Pacífico y el Piedemonte de la Cordillera Oriental), se ha desarrollado como una microplaca, con movimiento en dirección hacia el NNE. Dentro del esquema de esfuerzos regionales producidos por la fricción entre estas placas, se destacan tres tipos de fuentes sísmicas de importancia para la región de Cali: **a) La "Zona de Subducción"**, cuya traza superficial corre a unos 150 - 200 km paralela a la Costa Pacífica. Es la más importante de las fuentes sísmicas en Colombia, en términos de las magnitudes máximas y recurrencias de sismos grandes, con magnitudes mayores de 8.0. Su sismicidad es superficial, hasta profundidades de 40 km aproximadamente. **b) Sismicidad de la "Zona de Wadati-Benioff"**, la parte profunda del plano de fricción entre las placas que convergen (o sea la continuación de la Zona de Subducción). Su sismicidad es la más profunda de la región, hasta unos 200 km. Se concentra en la parte N del Valle del Cauca.. Sus magnitudes pueden ser de 7.0. **c) Sismicidad**

tipo "intraplaca" . A esta categoría pertenecen fallas como las del sistema Romeral, Cauca y - aunque no *sensu stricto* - la Falla Frontal del Borde Llanero (que separa la placa Suramérica del Bloque Norandino). Este tipo de fuente en principio puede generar los sismos más cercanos a la ciudad de Cali (sobre los sistemas de fallas Cauca y Romeral). Los sismos de Popayán (1983) y Páez (1994) fueron generados por fuentes "intraplaca".

Las fallas o tramos de falla conocidos que la sismicidad registrada por la red regional permiten identificar como activas son las siguientes: Zona de Subducción; Zona de Wadatti-Benioff; Romeral (Cordillera Central); Cauca, (vertiente Oriental de la Cordillera Occidental); Área de Farallones de Cali; Área Buenaventura - Golfo de Tortugas - Anchicayá; Río Magdalena; Santander de Quilichao y Huila. Dos cúmulos de actividad superficial al N de Cali, no corresponden a sismos, sino a explosiones de dinamita en canteras.

El mapa es una imagen de la distribución de sismos (la inmensa mayoría sólo detectados instrumentalmente), registrados por la red sismológica del suroccidente, operada por el OSSO en cooperación con la CVC.

Figuras 6. Deslizamientos en Cali, mensual multianual (1960-1989). El número y frecuencia de ocurrencia de deslizamientos está asociado a los picos mensuales de lluvia y a los años de mayores precipitaciones (OSSO para CORPES de Occidente, 1995). Los reportes de deslizamientos se obtuvieron a partir de archivos hemerográficos, principalmente del periódico El País (Velásquez & Meyer, 1990; Aguirre, 1994), y del Comité Local para la Prevención de Desastres de Cali (Plan General para la Prevención y Atención de Desastres, OSSO, edit., 1996).

Figuras. 7. Inundaciones y avalanchas, mensual multianual (1960-1989). Los reportes de inundaciones y avalanchas presentan un notable incremento a partir de la década pasada. Como producto de la construcción de obras de mitigación para inundaciones, tales como el sistema de canales y diques al oriente de la ciudad, así como de la construcción y puesta en operación del embalse regulador de Salvajina, la extensión de las áreas inundadas durante las dos últimas décadas ha sido disminuída sustancialmente. Las inundaciones y avenidas torrenciales ocurren principalmente a raíz de aguaceros torrenciales debido al aumento de la tasa de escorrentía por aumento del área urbanizada, por deforestación de las vertientes y por colmatación de sedimentos en las redes de drenajes. Algunos eventos catastróficos, como por ejemplo la avenida torrencial en el río Aguacatal en Octubre de 1989 y las inundaciones de los barrios Juanambú, Granada, Santa Mónica y Versalles en 1988, produjeron colmatación de los drenajes urbanos cuyos costos de limpieza ascendieron a centenares de millones de pesos.

Tanto en el caso de deslizamientos como en el de inundaciones y avenidas torrenciales, las tendencias al aumento de frecuencia de ocurrencia documentadas (Plan para la Mitigación de Riesgos en Cali; Velásquez, edit., 1996: 144-146), seguirán creciendo, si es que no se toman las medidas adecuadas de planificación sobre el uso del suelo en las vertientes de la Cordillera Occidental.

Figura 8. Modelo de pendientes del terreno. Para la zonificación de pendientes se obtuvo parte de la cartografía digital de Cali (curvas de nivel cada 5 metros) cuya resolución completa es de curvas cada metro para el área urbana, a escala 1:1,000. Esta información fué suministrada por el SIGCALI a través de Catastro Municipal. Se seleccionaron curvas de nivel cada 20 metros las cuales fueron codificadas y tratadas mediante el uso de sistemas de información geográfica (PROMAP, IDRISI). La base cartográfica utilizada representa las curvas de nivel a partir de la cota 980 msnm hasta la cota 1200 msnm, de tal manera que se incluye el piedemonte de la Cordillera Occidental y las áreas de expansión o áreas suburbanas al Occidente de la ciudad.

Las pendientes del terreno fueron clasificadas en 5 rangos. De acuerdo con evaluaciones realizadas en otras ciudades, así como en literatura nacional e internacional (p., ej.: Mejía, 1988; Hermelín, 1992; Olivera & Aguirre, 1991; Mora & Vahrson, 1992; OSSO para ECOPETROL, 1995), los rangos de pendientes se seleccionaron teniendo en cuenta la aptitud de uso potencial

con fines urbanísticos de terrenos de ladera, pero sin incluir características intrínsecas de las formaciones geológicas (p. ej., grado de meteorización, estructuras, propiedades geotécnicas), que generalmente tienden a reducir la aptitud urbanística de las vertientes, más aún en condiciones tropicales húmedas.

Las pendientes menores del 3%, consideradas en sí mismas sin tener en cuenta las propiedades de los suelos que las conforman, normalmente no presentan restricciones para los usos urbanísticos. Entre este valor y el 12% los problemas potenciales por inestabilidad de vertientes son mínimos, y normalmente solucionables con medidas tradicionales de ingeniería. Cali se desarrolló hasta hace pocas décadas casi exclusivamente sobre pendientes comprendidas en estos rangos. Consideraciones adicionales, tales como la densidad de viviendas y su distribución deben ser factores adicionales al reglamentar el uso de estas áreas, sobre todo en los valles transversales y en cercanías del piedemonte, donde pueden impedir el flujo de los vientos.

Entre el 12 y el 25% las laderas empiezan presentar fenómenos de inestabilidad, sobre todo cuando son alteradas por cortes y terracedos que generan sobreempinamiento de taludes. Las obras de urbanización, tales como acometidas de redes hidráulicas y vías, requieren de especiales consideraciones técnicas. Arriba del 18 o 20% de pendiente las obras de urbanización y las edificaciones pueden ser difíciles de ejecutar con criterios y provisiones de seguridad adecuados, sobre todo si es que se trata de trasladar las experiencias y técnicas constructivas de las zonas planas o suavemente inclinadas a zonas con estos rangos de pendientes.

Entre el 25 y el 35% de pendiente natural los terrenos pueden ser urbanizables con severas restricciones: las condiciones de potencial inestabilidad son críticas y aún en situaciones de poca o nula intervención humana, las laderas pueden sufrir movimientos inducidos por saturación de agua de los suelos, o por otros agentes naturales. Estas zonas deberían tener un uso restringido en cuanto a densidad de edificaciones y ser parcialmente utilizadas para vivienda livianas y de poca altura solamente si los accesos hasta el área no presentan limitaciones (p. ej., pendientes mayores, inestabilidad potencial evidente), y si se cuenta con medidas de protección tanto mediante obras civiles como a través de control de erosión superficial y en masa (drenajes, reforestación). Las evaluaciones empíricas (estadísticas) disponibles indican que en el trópico húmedo de montaña la mayor frecuencia de deslizamientos ocurre en este rango de pendientes (Olivera & Aguirre, 1991; Mora & Vahrson, 1992).

Pendientes mayores del 35%. Aún cuando técnicamente es posible edificar en estas pendientes, los terrenos deberían ser dedicados exclusivamente a usos de protección - conservación, incluyendo si es del caso opciones de actividades extractivas con reposición, como por ejemplo reforestaciones con especies comerciales.

Figura 9. Alturas recomendadas para edificaciones. Corresponde a un mapa de matices hipsométricos o de rangos de iguales alturas sobre el nivel del mar. Con base en la orientación del Plan de Desarrollo, según la cual la altura de las edificaciones debe ser menor a medida que se asciende sobre el piedemonte, esta es una variable física cuantificable, pero no única, para lograr este propósito del Plan. La zonificación representada por los matices hipsométricos podrá estar afectada en diversas áreas por otras variables físicas y urbanísticas de mayor peso al momento de tomar decisiones sobre alturas. Entre estas variables se encuentran las pendientes topográficas, restricciones por densidad de viviendas y/o de habitantes por unidad de área estipuladas en la reglamentación urbana, tipos de urbanización y usos urbanísticos que privilegien la protección y conservación de parámetros ambientales como el paisaje (lo cual implica considerar también el relieve local según cada proyecto), las corrientes de viento y los cauces permanentes y estacionales, así como condiciones de estabilidad de laderas y de suelos.

REFERENCIAS

- Aki, K., K. Irikura (1991).** Characterization and mapping of earthquake shaking for seismic zonation. *En Proceedings, IV International Conference on Seismic Zonation*, Vol. I, Earthquake Engineering Research Institute, Stanford, pp. 61-110.
- Aki, K. (1988).** Local site effects on strong ground motion. *En Earthquake Engineering and Soil Dynamics II - Recent Advances in Ground-Motion Evaluation*, J.L. Von Thun edit., Geotechnical Special Publication No. 20, American Society of Civil Engineers, New York, pp. 103-155.
- Alcaldía de Santiago de Cali, (1986).** Decreto extraordinario No. 0659 de julio 31 de 1986, "Por el cual se expide el Código Urbano del Municipio de Cali" y Decretos y Acuerdos complementarios. Publicaciones DAPM, Cali.
- Álvarez, A. & s. Tenjo, (1971).** Hidrogeología del río Cauca entre Santander de Quilichao y el río Sonso. Informe Ingeominas No. 1568, Informe C.V.C. No. 71-4. Bogotá-Cali. 1 Vol., anexos, mapas.
- Ashford, S.A. & N. Sitar.** "Analysys of topographic amplification of steep slopes". *Proccedings, V US National Conference on Earthquake Engineering*, Vol. III, Earthquake Engineering Research Institute, pp 293-301.
- Bruniard, E. (1986).** Singularidades Climáticas de América del Sur. SENOC, B. Aires. 118 p.
- Catastro Municipal Santiago de Cali, (1995).** Mapa digital de Cali. (Curvas de nivel cada 5 metros y drenajes urbanos y suburbanos, escala 1:1000). Información preliminar en medio magnético del Sistema de Información Geográfica de Cali - SIGCALI.
- C.V.C. - Corporación Autónoma Regional del Cauca (1995).** Series mensuales multianuales de datos climatológicos de las estaciones meteorológicas de Cali. Impresos. Cali.
- Concejo Municipal de Santiago de Cali, (1991).** Plan de Desarrollo del Municipio de Santiago de Cali. Acuerdo No. 14, mayo 3 de 1991. (Editado por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal. FERIVA, Cali, 1992. 68 p., 2 mapas.
- Concejo Municipal de Santiago de Cali, (1993).** Estatuto de Usos del Suelo. Acuerdo 30 de diciembre de 1993.
- Departamento Administrativo de Control Físico, (1991).** Mapa de Cali, escala 1:20.000. Carvajal S.A., Cali.
- EPRI (Electric Power Research Institute). (1991).** *Proccedings, NSF/EPRI Workshop on Dynamic soil Properties and Site Characteristics*, Report No. EPRI NP-7331, VI.
- Espinal, L.S., et al, (1977).** Mapa Ecológico de Colombia, escala 1:500.000. IGAC, Bogotá.
- Escuela Superior de Bomberos de Cali, (s.f.).** Causas y formación de los vientos locales. Mimeo, s.p. de i.
- Harp, E.L., R.C. Wilson, G.F. Wieczorek, D.K. Keefer (1978).** Landslides from the February 4, 1976 Guatemala earthquake: implications for seismic hazard reduction in the Guatemala City area. *Proceedings, II International Conference on microzonation for safer construction - research and application*, Vol. I, pp. 353-366.
- Mejía, M. del P., (1988).** Plan de Ordenamiento Territorial Zona Sur. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. L. Vieco e Hijos, Medellín, 429 p.
- Meyer, Hj. & A. Velásquez, edit. (1989).** Plan general para la atención de emergencias en Cali. Comité Operativo de Emergencias de Cali - Fondo FES Emergencia Ciudadana. Cartopel Ltda., Cali, 512 p., 21 mapas.
- Mora, S. & W.G. Vahrson (1992).** Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. In, Alzate, J.B. editor. Memoria del I Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica para el Estudio de Riesgos Naturales. IGAC, Bogotá, pp. 259-273.
- Naciones Unidas (1973).** El clima y el diseño de casas. Serie: Diseño de viviendas económicas y servicios de la comunidad, Vol. I. Edit. Naciones Unidas, New York, 90 p.

- Oficina de Planeación Municipal, Cali, (1969).** Acuerdo No. 16 del 21 de abril de 1969. Proyecto de Acuerdo sobre reglamento de zonificación urbana. Cali, mimeo.
- Olivera, M.F. & N. Aguirre (1991).** Evaluación ambiental de amenazas naturales en el Departamento de Cundinamarca (nivel regional, escala 1:250.000). Gobernación de Cundinamarca-PNUD. Bogotá. 106 p., 2 mapas.
- Olgyay, V. (1968).** Clima y Arquitectura en Colombia. Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura. Carvajal S.A. Cali, 240 p.
- OSSO para Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali (1995a).** El riesgo sísmico en la planificación urbana. Informe Final, inédito, I Etapa Convenio Interadministrativo DAPM/OSSO. 45 p. mapas, anexos.
- OSSO para Hidrooccidente (1995b).** Estudio de amenaza sísmica para el acueducto de Roldanillo, La Unión, Toro. Informe Final. Inédito.
- OSSO para TermoPacífico (1995c).** Estudio de amenaza sísmica para el Proyecto TermoPacífico. Informe Final. Inédito.
- OSSO para CORPES de Occidente (1995d).** Atlas regional para la planificación con riesgos por fenómenos naturales. Memoria Explicativa inédita, Mapas.
- OSSO para ECOPETROL - Plan Nacional de Gas Natural (1995e).** Análisis de amenazas, vulnerabilidades y riesgos naturales para las redes de transporte del Plan de Masificación de Gas. Informe Contrato PNG 94-099, Memoria Explicativa inédita, 63 p. Mapas.
- Pequeño Larousse (1992).** Diccionario Ilustrado. Larousse. Edit. Printer Colombiana, Bogotá, 1663 p.
- Salazar, S. (1989).** "La Ley 09 de 1989: El espacio público y la renovación urbana. Anotaciones sobre Planeación, Univ. Nal., Seccional de Medellín, Centro de Publicaciones, Medellín. pp., 85-97
- Vauter, E. (1962).** El hombre y su vivienda frente al Clima. Unión Panamericana, Dpto. de Asuntos Sociales. Bogotá. 22 p.
- Velásquez, A. editor (1996).** Plan para la Mitigación de Riesgos en Cali. Alcaldía de Cali, Subsecretaría de Emergencias y Desastres. Feriva Impresores, Cali. 202 p.
- Velásquez, A. & Hj. Meyer. (1994).** Ofertas y amenazas ambientales en Cali. Publicaciones Ocasionales del OSSO, No. 3. Universidad del Valle, Centro de Publicaciones de Ingeniería. Cali, 37 p.
- Velásquez, A. & Hj. Meyer. (1994).** Un estimativo de pérdidas por desastres en el Valle del Cauca durante el decenio 1980. Agid Report No. 13. M. Hermelín, Editor. U. EAFIT, Medellín, cap. 40.