

II. COMPONENTE FÍSICO



TABLA DE CONTENIDO

1. CLIMA	II-1
Precipitación.....	II-2
Temperatura.....	II-3
Humedad relativa.....	II-4
Vientos.....	II-4
Brillo solar.....	II-5
Nubosidad.....	II-6
Evaporación.....	II-6
Evapotranspiración.....	II-7
Cambio climático global y el Humedal Tibanica.....	II-8
Síntesis climática.....	II-9
2. HIDROGRAFÍA E HIDROLOGÍA	II-10
Red hídrica.....	II-10
El Humedal Tibanica.....	II-11
Amortiguación de crecientes en el Humedal Tibanica.....	II-13
<i>Obras existentes</i>	<i>II-14</i>
<i>Obras propuestas</i>	<i>II-15</i>
Caudal ecológico.....	II-18
3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	II-20
Descripción general.....	II-20
Origen del Humedal Tibanica.....	II-20
Marco geológico regional.....	II-21
Estratigrafía.....	II-22
<i>Cretácico</i>	<i>II-23</i>
<i>Cretácico – Terciario</i>	<i>II-24</i>
<i>Terciario</i>	<i>II-25</i>
<i>Cuaternario</i>	<i>II-26</i>
Geología estructural.....	II-27
<i>Anticlinal de Bogotá</i>	<i>II-28</i>
<i>Falla de Bogotá</i>	<i>II-28</i>
<i>Sinclinal Usme-Tunjuelo</i>	<i>II-28</i>

<i>Falla de Mochuelo</i>	II-29
<i>Falla de Terreros</i>	II-29
<i>Falla de Yerbabuena</i>	II-29
<i>Falla de La Primavera</i>	II-29
<i>Anticlinal de Cheba-Quiba</i>	II-29
<i>Pliegues y fallas menores</i>	II-30
<i>Inversiones</i>	II-31
Geomorfología.....	II-31
<i>Geomorfología regional de la Sabana de Bogotá</i>	II-31
<i>Descripción general</i>	II-32
<i>Unidad estructural plegada</i>	II-33
<i>Unidades Agradacionales</i>	II-33
<i>Zonas geomorfológicas</i>	II-37
Sedimentos.....	II-38
<i>Fenómenos de erosión</i>	II-39
<i>Explotación de fuentes de materiales</i>	II-40
Áreas sujetas a riesgo.....	II-40
<i>Generalidades</i>	II-40
<i>Amenazas por contaminación ambiental</i>	II-40
<i>Áreas con probabilidad de inundación</i>	II-41
<i>Áreas con limitaciones geotécnicas</i>	II-41
4. FISIOGRAFÍA Y SUELOS	II-42
Introducción.....	II-42
Caracterización fisiográfica.....	II-42
Descripción taxonómica.....	II-43
Conclusiones diagnósticas.....	II-50
5. USO ACTUAL DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL	II-52
Revisión histórica del humedal.....	II-57
6. AGUAS SUBTERRÁNEAS	II-64
Evidencias geológicas, climáticas y arqueológicas.....	II-64
7. BIBLIOGRAFÍA	II-69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II-1. El cambio climático global en el Humedal Tibanica	II-8
Tabla II-2. Riesgo de cambio del Humedal Tibanica por efectos del CCG.....	II-8
Tabla II-3. Rasgos asociados al muestreo	II-48
Tabla II-4. Comunidades terrestres y acuáticas en el Humedal La Tibanica, identificadas y descritas en la SDA (2003-2004).....	II-52
Tabla II-5 Cobertura de vegetación del Humedal Tibanica.....	II-54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II-1. Zona de confluencia intertropical	II-2
Figura II-2. Histograma de precipitación media mensual multianual de la zona bajo estudio	II-3
Figura II-3. Histograma de temperatura media mensual multianual de la zona bajo estudio. Estación Muña.....	II-3
Figura II-4. Histograma de humedad relativa media mensual multianual de la zona bajo estudio. ...	II-4
Figura II-5. Rosa de los vientos de la zona de estudio	II-5
Figura II-6. Histograma de velocidad del viento media mensual multianual de la zona bajo estudio.....	II-5
Figura II-7. Histograma de horas de brillo solar media mensual multianual de la zona bajo estudio.....	II-6
Figura II-8. Histograma de evaporación media mensual multianual de la zona bajo estudio.....	II-6
Figura II-9. Histograma de evapotranspiración media mensual multianual de la zona bajo estudio	II-7
Figura II-10 Humedal Tibanica. (a) espejo de agua, (b) afectación del cuerpo de agua por vertimiento de basuras y avance del cocuyo.....	II-12
Figura II-11 Canal Tibanica (izquierda) separado del humedal (derecha) por un jarillón; el cuerpo de agua del canal en este tramo está cubierto su totalidad por macrófitas acuáticas	II-12
Figura II-12. Mapa de ubicación del Humedal de Tibanica en relación a los suelos.....	II-44
Figura II-13. Muestreo aplicado a la ronda del Humedal Tibanica	II-45
Figura II-14. Transecto de pozos marcados en lote con menor alteración.....	II-46
Figura II-15. Perfil de suelos Humedal Tibanica (Aeríc Epiaquents).....	II-46
Figura II-16. Medición del pH de los suelos por reacción con indicador triple y sulfato de bario....	II-47
Figura II-17. Reacción típica en color lila por presencia de cenizas producto de quemadas, reacción negativa en los suelos no alterados	II-48
Figura II-18. Medición del coeficiente de expansión por rollo húmedo y seco.....	II-50

Figura II-19. Cobertura de vegetación del Humedal Tibanica, tomado de: SDA (2003-2004)	II-53
Figura II-20. Cobertura de vegetación del Humedal Tibanica.....	II-55
Figura II-21. Tubería para conducción de aguas lluvias en la alcantarilla oriental que entra al humedal, tomada en abril 2005.	II-56
Figura II-22. Obra para drenar aguas lluvias al borde de la carretera que parte en dos al Humedal Tibanica. Imagen tomada en diciembre 2004.....	II-56
Figura II-23. Vista del jarillon paralelo al canal Tibanica y el sendero que atraviesa el humedal, registro fotográfico de diciembre 2004.	II-57
Figura II-25 Aerofotografía de 1956. Vuelo: C-619, sobre 219. Foto seleccionada: 156. Escala Aproximada: 1:18.000	II-59
Figura II-26 Plano aerofotogramétrico de Bogotá D. C. Ministerio de Hacienda y Crédito Publico Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, 1963. Fotografía aérea Diciembre 1961, Clasificación de campo septiembre 1962. Escala 1:2.000.	II-60
Figura II-27 Plano aerofotogramétrico de Bogotá D. C. Ministerio de Hacienda y Crédito Publico Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, 1978. Fotografía aérea septiembre 1976, Clasificación de campo octubre 1976, Restitución julio 1977, revisión octubre 1977. Escala 1:2.000.....	II-61
Figura II-28 Aerofotografías IGAC de noviembre-1976, enero-1991, febrero-1998 y febrero-2004 del sector del Humedal Tibanica	II-62
Figura II-29 Aerofotografía de febrero 2004. Vuelo: C-2717. Foto seleccionada: 184. Escala aproximada: 1:1.000.....	II-63

1. CLIMA

Miguelángel Bettín

Debido a que los cuerpos de agua son fundamentalmente producto del clima, a continuación se describen brevemente, con base en la literatura consultada, las condiciones climáticas del Humedal Tibanica, que son en gran parte las determinantes de sus características hidrológicas.

Por su localización geográfica, Colombia se ve influenciada por una circulación de los vientos alisios del noreste y del sureste; estas corrientes de aire cálido y húmedo provenientes de latitudes subtropicales, confluyen en una franja denominada Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). En la Figura II-1 se representa la ZCIT, donde en color amarillo y rojo se muestra el grado de convergencia de los vientos cálidos, indicando el rojo mayor convergencia. En la Figura II-1 se aprecia el cambio en la confluencia de los vientos de acuerdo a la época del año. La importancia de la ZCIT, radica en que favorece la formación de nubosidad y de lluvias (Leyva, 1993).

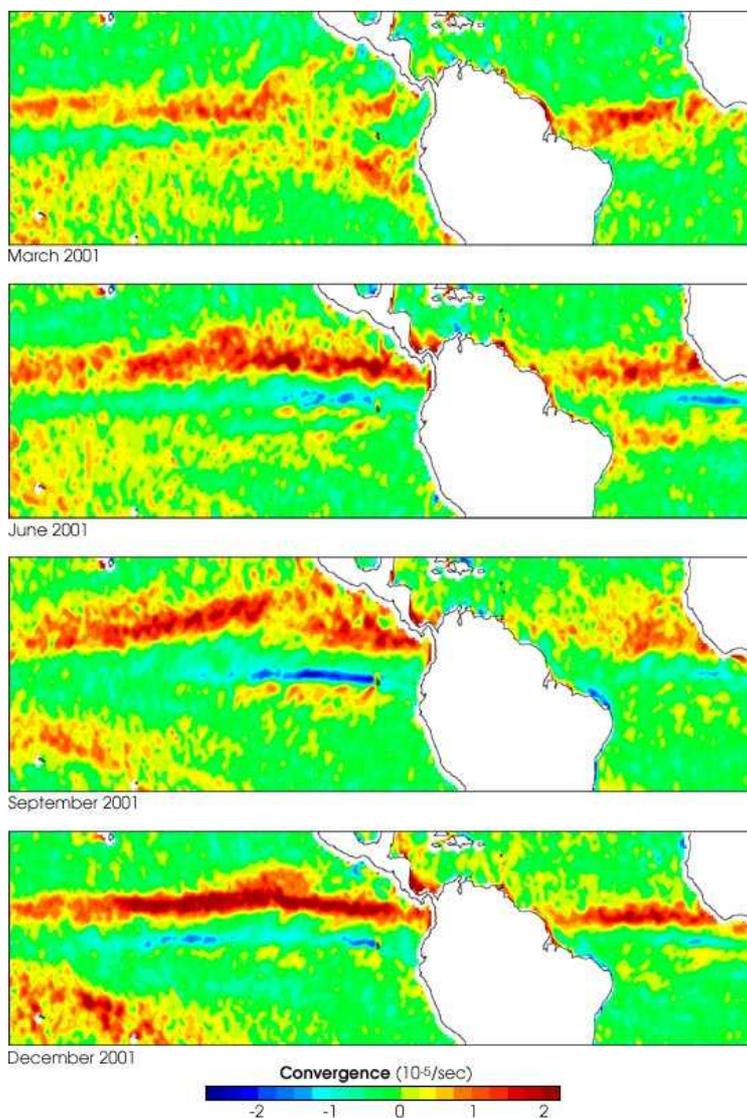


Figura II-1. Zona de confluencia intertropical. Fuente: NASA, 2001.

Otros factores incidentes en el clima son la activación de las ondas del este y la temporada de huracanes para las regiones del centro y norte del país. La ZCIT, que modula el comportamiento del clima en la mayor parte del territorio colombiano, es muy dinámica y presenta un desplazamiento latitudinal en función del movimiento aparente del sol con respecto a la tierra, con un retardo de aproximadamente 6 semanas y una amplitud latitudinal, con respecto al Ecuador, de 20° en América del Sur. En Colombia, debido a la influencia orográfica, esta banda latitudinal se fractura en tres segmentos, determinando comportamientos diferentes del régimen de precipitaciones sobre varias zonas del país. Es decir, la ZCIT, actúa de forma diferente en la región Pacífica así como en el centro, norte y el sureste del país. El segmento continental, que influye en la cuenca objeto de estudio, entre enero y febrero, aparece fraccionado e independiente del segmento del Pacífico y se ubica entre los 5° y 10° de latitud sur. Entre marzo y abril se conecta con el segmento del océano Atlántico formando un sólo sistema que se ubica entre los 5° de latitud sur y 1° de latitud norte al oriente del país. Entre junio y agosto, debido a la influencia de la Cordillera Oriental, se estanca, presentando una inclinación suroeste-noreste sobre el oriente del territorio nacional, desplazándose también hacia el norte. Entre septiembre y noviembre, la rama continental inicia su recorrido hacia el sur, moviéndose de los 8° de latitud norte hacia el Ecuador sobre la Orinoquia y Amazonia (Ver Figura II-1). (IDEAM; 1998).

Son estas variaciones las que determinan las temporadas de lluvia y sequía en la Sabana de Bogotá y, por lo tanto, en el Humedal Tibanica.

PRECIPITACIÓN

Para la caracterización de la precipitación se utilizaron la estación Bosa Barreno y Las Huertas, que se encuentran aproximadamente a 2 y 4 km, respectivamente, de distancia del humedal. La precipitación se determinó a partir de la media aritmética de los registros pluviométricos de las dos estaciones. La utilización de este método se recomienda en áreas relativamente planas, con distribución pluviométrica uniforme y registros que no difieren considerablemente (Montealegre y Torrente, 1998).

La precipitación en la zona de estudio es de tipo bimodal, con dos temporadas de altas precipitaciones (abril - junio y octubre - noviembre), y dos periodos de menores precipitaciones intercalados con los periodos de altas precipitaciones, como se muestra en la Figura II-2.

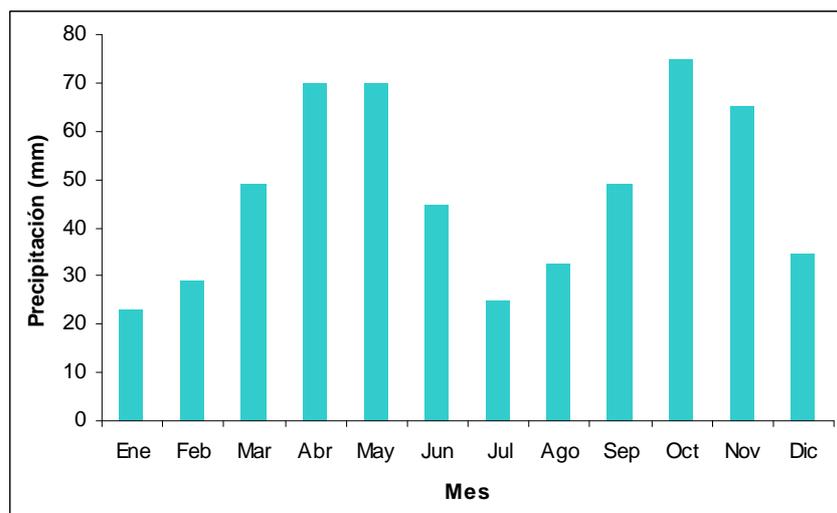


Figura II-2. Histograma de precipitación media mensual multianual de la zona bajo estudio

El promedio anual en la región es de 630,2 mm, siendo octubre el mes más lluvioso, con precipitación media del orden de 85,4 mm y enero el mes más seco con 21,2 mm. Esta zona del Distrito Capital es una de las más secas, lo que le acarrea dificultades desde el punto de vista de disponibilidad hídrica al humedal.

TEMPERATURA

Para el registro de la temperatura y de los restantes parámetros climáticos, se utilizó la información de la estación climatológica Muña (2120561), que se encuentra aproximadamente a 8 km del humedal. Aunque la estación Entre Ríos es más cercana, dejó de funcionar en el año 1978, por lo cual sus datos no se tuvieron en cuenta.

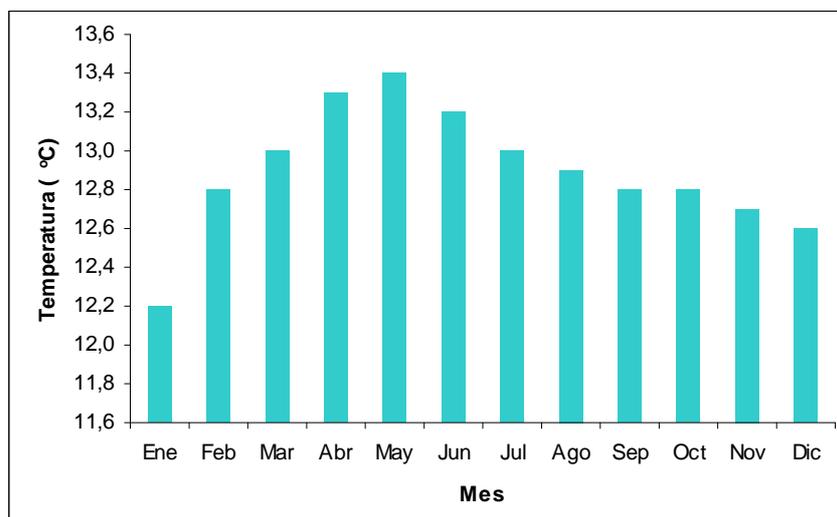


Figura II-3. Histograma de temperatura media mensual multianual de la zona bajo estudio. Estación Muña.

El valor medio anual de temperatura es 12,9 °C, con variaciones de hasta 1,2 °C. Se distingue un periodo caluroso en el año, de marzo a julio, siendo enero el mes más frío, tal

como se muestra en la Figura II-3. De noviembre a enero se registra el menor promedio de temperatura y aunque en la Sabana de Bogotá estos meses son de poca precipitación, la baja nubosidad ocasiona altas temperaturas diurnas que contrastan con bajas temperaturas nocturnas reduciendo los promedios. La regularidad de estas condiciones, así como la de los otros parámetros climáticos es muy variable debido a los fenómenos de El Niño y La Niña, que se dan en la cuenca del Pacífico y producen cambios climáticos muy fuertes.

HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa registra un valor medio anual de 79,8%, con medias mensuales que oscilan entre 74,9% y 84,0%, según la variación de la precipitación, valores que se consideran entre medios y altos. Durante las noches se presenta un incremento de la humedad relativa y se reduce a medida que se calienta la atmósfera durante el día. En la Figura II-4 se muestra la distribución de la humedad relativa durante el año en la zona de estudio.

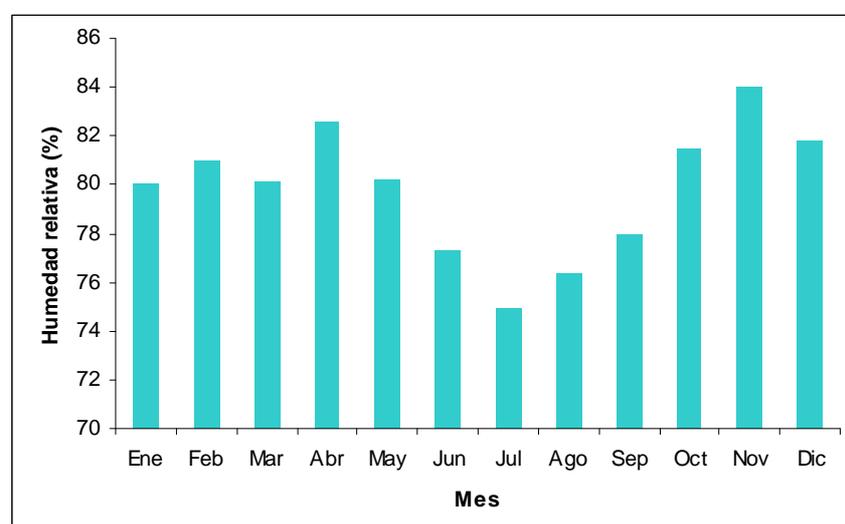


Figura II-4. Histograma de humedad relativa media mensual multianual de la zona bajo estudio.

VIENTOS

Los vientos predominantes son los procedentes del oeste y del sureste (Figura II-5) y no alcanzan grandes velocidades, con mayor ocurrencia en el rango de 1,5 a 2,0 m/s, considerados medios. El mes de mayor velocidad es julio y el menor es noviembre, con valores medios de 2,1 y 1,5 m/s respectivamente, siendo la media anual 1,8 m/s. En la Figura II-6 se muestra el comportamiento de los vientos durante el año en la zona de estudio.

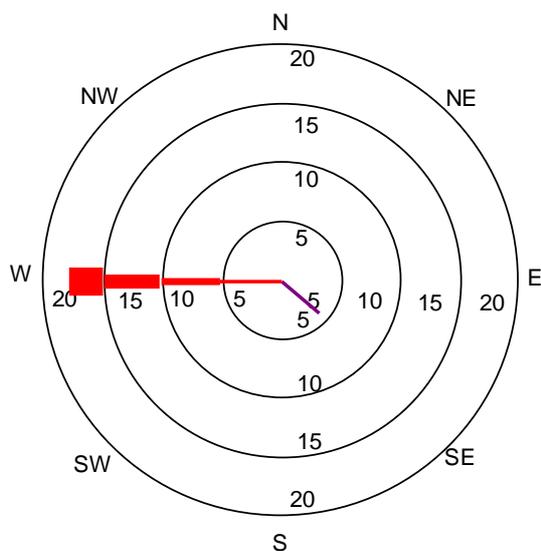


Figura II-5. Rosa de los vientos de la zona de estudio

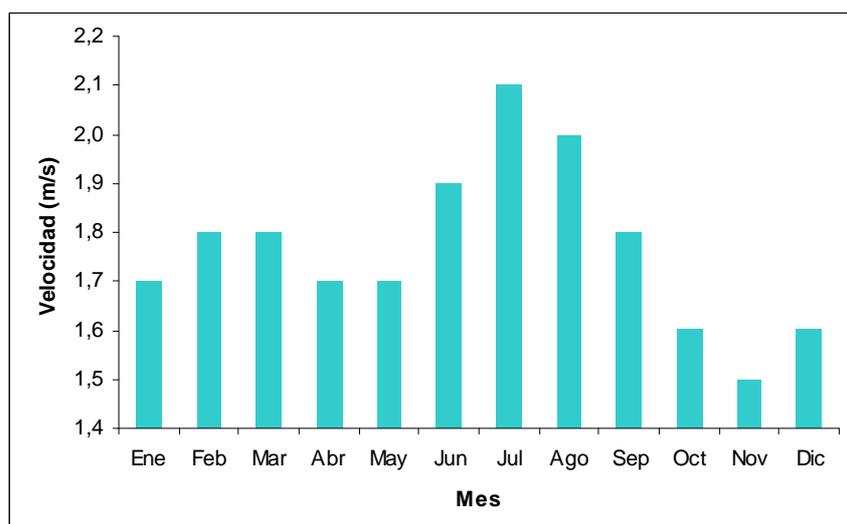


Figura II-6. Histograma de velocidad del viento media mensual multianual de la zona bajo estudio

BRILLO SOLAR

Las horas de brillo solar por día en la zona bajo estudio oscilan entre 3,6 y 5,3 horas, siendo la media 4,4 horas, lo cual es bajo. En la Figura II-7 se muestra el comportamiento del brillo solar durante el año en la zona de estudio

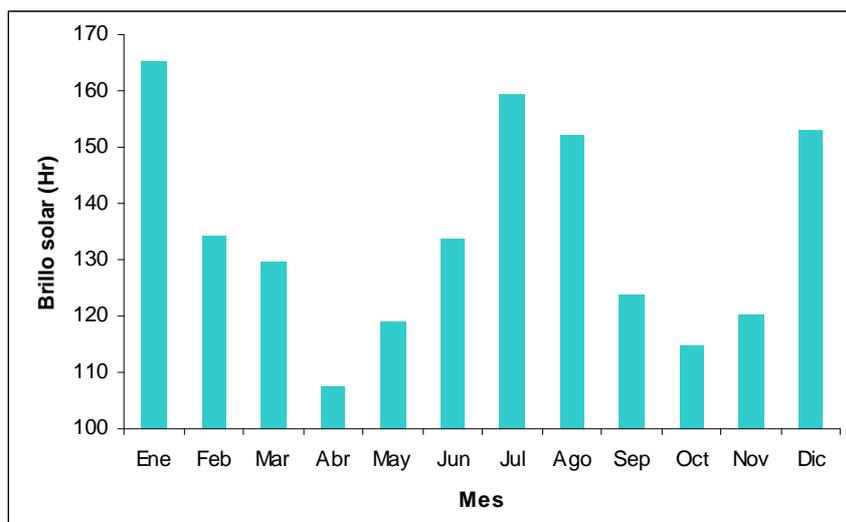


Figura II-7. Histograma de horas de brillo solar media mensual multianual de la zona bajo estudio

NUBOSIDAD

Para la determinación de la nubosidad en la zona de estudio se utilizó la estación Granja San Jorge (Cod 2120572), propiedad del IDEAM, ya que no se contó con este parámetro en la estación Muña. En la zona de estudio, la nubosidad oscila entre 4 y 5 octavos, teniendo un comportamiento relativamente constante y con valores altos.

EVAPORACIÓN

La evaporación en la zona oscila entre 64,5 y 86,0 mm al mes, según el comportamiento de la precipitación, ya que durante los meses más lluviosos, al existir menor radiación solar, se registran menores valores de evaporación. En la Figura II-8 se muestra la distribución promedio mensual de la evaporación.

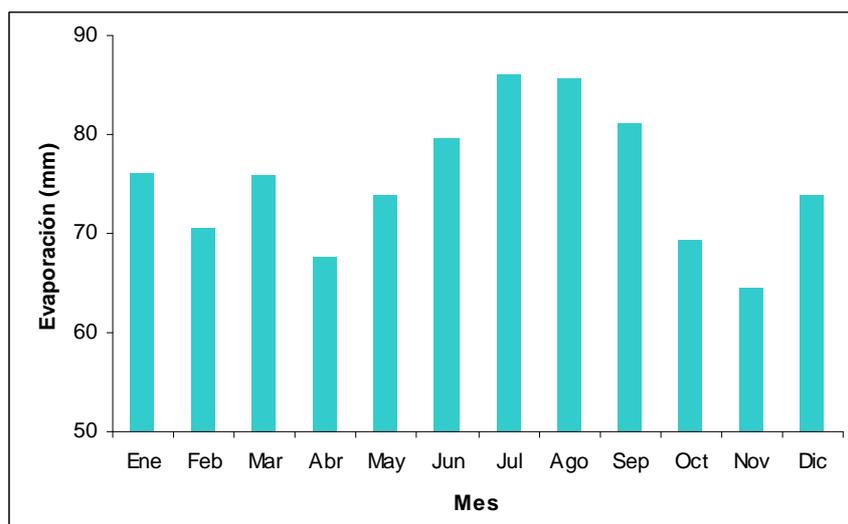


Figura II-8. Histograma de evaporación media mensual multianual de la zona bajo estudio

EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es la cantidad de agua extraída en una determinada área por los procesos combinados de evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Debido a que en este parámetro se sintetizan varios procesos, que normalmente no son medidos, para su obtención se utiliza un método indirecto.

Para el cálculo de la evapotranspiración, se utilizó en este estudio el método de Grassi, desarrollado a partir de diversas experiencias en Venezuela. Grassi encontró que para las condiciones tropicales, la tendencia que siguen los valores de evapotranspiración a través del año es similar a la evaporación registrada en las estaciones climáticas (Montealegre y Torrente, 1998):

$$E_t = 0,95 \times E_v \times C_t \times K_c \times F$$

Donde,

E_t = Evapotranspiración en mm

E_v = Evaporación tanque clase A en mm

C_t (Coeficiente de temperatura) = $1,4 - 0,02T$, donde T = Temperatura media en °C

K_c (Coeficiente vegetación) = $0,0942 + 0,02774t - 0,000212t^2$, donde t = Tiempo de ciclo vegetativo en porcentaje

F = Factor de vegetación

Según Montealegre y Torrente (1998), la ecuación de Grassi trabaja bien para las condiciones colombianas y recomiendan su utilización cuando se dispone de registros de evaporación.

En la Figura II-9 se muestra la distribución promedio mensual de la evapotranspiración para la zona de influencia directa del humedal.

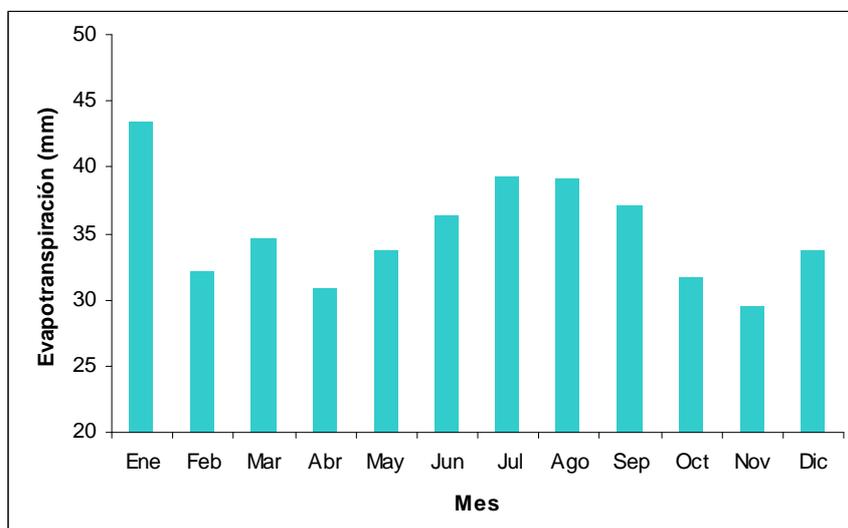


Figura II-9. Histograma de evapotranspiración media mensual multianual de la zona bajo estudio

La evapotranspiración es útil a la hora de determinar el balance hídrico, ya que su valor representa la cantidad de agua que requiere una zona y debe ser suplida por la precipitación y los volúmenes de agua provenientes de la cuenca aferente. La evapotranspiración en el humedal es relativamente baja con respecto a la Sabana de Bogotá, esto se debe básicamente al bajo brillo solar y alta nubosidad de la zona.

CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y EL HUMEDAL TIBANICA

El riesgo de cambio se considera como una función de un factor externo o amenaza y uno interno o vulnerabilidad del aspecto afectado (Andrade, 2002 *en*: Franco *et al.* 2004). Franco definió riesgo de cambio ante el cambio climático global (CCG) de acuerdo con la ecuación de Keiss von Besstel, $R=v*a$; donde R es el riesgo; v la vulnerabilidad y a la amenaza. La vulnerabilidad es una condición intrínseca de los ecosistemas determinada por características propias. Esta condición es alterada por la introducción de factores externos, que modifican componentes, estructuras y procesos. Franco *et al.* (2004) establecieron una escala para calificar la vulnerabilidad y la amenaza.

Tabla II-1. El cambio climático global en el Humedal Tibanica

Variable	Paleoclima	Clima actual	Cambio climático (2xCO ₂)	Fenómeno del niño
Zona de vida de Holdridge	Estepa montano (e-M)	Semiárido de bosque seco montano bajo (bs-MB)	Estepa espinosa montano bajo (ee-MB)	Estepa espinosa montano bajo (ee-MB)
Precipitación (mm/año)	330	550	440	330
Temperatura (°C)	7,1	12,7	15,5	13,7
Clasificación climática de Caldas-Lang	Semiárido	Semiárido	Árido	Árido

Fuente: Modificado de Franco *et al.* (2004)

La amenaza del CCG está dada por el cambio en el régimen de precipitación y temperatura que tiene manifestaciones diferentes a lo largo de la cuenca alta del Río Bogotá, e inclusive al interior de un área relativamente pequeña como el Distrito Capital. La amenaza se determinó con base en el índice de Lang, el cual relaciona las variables climáticas (precipitación/temperatura) y define un tipo de clima. Con base en las distribuciones de las zonas de vida Holdridge y en la clasificación climática de Caldas Lang, Franco *et al.* (2004) compararon cuatro escenarios climáticos en la cuenca alta del Río Bogotá: paleoclima, clima actual, cambio climático global (2XCO₂) y Fenómeno del Niño perpetuo.

El clima en el humedal hacia los años 2060 - 2100 puede transformarse, según se indica en la Tabla II-1, se espera un aumento en la temperatura del orden de 3 °C y disminución de la precipitación anual en más de 100 mm.

En la Tabla II-2 se presenta la ponderación de la amenaza y de la vulnerabilidad y el riesgo de cambio del Humedal Tibanica.

Tabla II-2. Riesgo de cambio del Humedal Tibanica por efectos del CCG

Amenaza (A)	Vulnerabilidad (v)	Riesgo de cambio (A*v)
10 extrema	26 muy alta	260 muy alto

Fuente: Modificado Franco *et al.* (2004)

En este punto, vale la pena señalar que el Humedal Tibanica es el tercer humedal con mayor en riesgo de cambio de los trece del Distrito Capital, únicamente superado por los humedales Techo y El Burro.

SÍNTESIS CLIMÁTICA

En términos generales, se puede decir que el Humedal Tibanica se encuentra en una de las zonas más secas de la ciudad y de toda la cuenca alta del Río Bogotá, siendo su precipitación ligeramente superior a 600 mm anuales. Así mismo, sus temperaturas medias son inferiores a las de la ciudad, en general.

La alimentación hídrica del humedal, debido a sus condiciones climáticas, es altamente dependiente de su cuenca aferente, ya que en general la demanda hídrica del ecosistema es mayor a la oferta dada por la precipitación. Esta situación obliga a integrar al humedal a su cuenca, para de esta manera suministrarle el recurso hídrico que necesita.

2. HIDROGRAFÍA E HIDROLOGÍA

Miguelángel Bettín

RED HÍDRICA

En el área del humedal, de acuerdo con Moreno (1995), se presentaba un patrón de drenaje que estaba conformado por varias quebradas afluentes, procedentes de los cerros surorientales de Terreros, Sucre y Cheba, que alimentaban las depresiones inundables existentes antes de 1950. En esta fecha comienza el desarrollo de urbanizaciones en el sector y se inician los cambios físicos de las características geomorfológicas originales de los humedales existentes, dentro de las cuales se pueden destacar cambios en los cursos originales de las quebradas, apertura de canales, desecación de cauces originales, rellenos de los cauces y bajos inundables, vertimiento de aguas negras a los drenajes naturales y desarrollos urbanísticos desorganizados.

La red de drenaje existente en el sector del humedal estaba conformada por un patrón subparalelo a paralelo en dirección al noroccidente, donde el cauce mayor lo constituye la Quebrada Terreros o Tibanica, cuyo caudal proveniente de la cuenca de la actual Represa de Terreros alimentaba el Humedal Terreros y la Laguna Potrero Grande, para continuar hacia Tibanica. Esta morfología y red de drenaje está totalmente transformada ante la necesidad del desarrollo urbanístico y la de colectar las aguas servidas del suroriente de la ciudad a través de los canales existentes.

El actual canal de Tibanica se observa en las fotografías aéreas desde 1950, y permanece en la cartografía de 1946 (Moreno, 1995). Otro cauce importante lo constituye el Río Claro o San Mateo, proveniente del sector urbanizado de San Mateo. Se cuenta también el colector de Sucre que viene de los cerros de Sucre.

La cuenca del canal de Tibanica se encuentra localizada en la parte sur del Río Tunjuelo, recibiendo en su parte superior la subcuenca del embalse de Terreros. El área total de la cuenca es de 2.404 hectáreas, de las cuales 546 son rurales. Las áreas correspondientes al Distrito y al Municipio de Soacha son respectivamente 521 y 1.783 hectáreas (EAAB, 1998). La Quebrada Tibanica hace parte de la subcuenca del Río Tunjuelo, al cual drenan sus aguas (INGETEC, 2002). De acuerdo con el estudio realizado por CEI para el Acueducto de Bogotá, se tiene previsto que, en el futuro inmediato, parte de esta quebrada aporte por gravedad su caudal al Río Tunjuelo (área de drenaje de 1.510 hectáreas), encauzando su curso y entregando sobre la margen izquierda del Río Tunjuelo.

El canal de Tibanica nace en el flanco occidental del Sinclinal de Usme, cerca a la loma Los Andes, en el extremo sur del Distrito Capital de Bogotá, vereda de Quiba. En la cuenca del canal de Tibanica, se ha establecido en los últimos años una parte importante del desarrollo de Cazucá, caracterizado por una alta densidad poblacional de barrios generalmente subnormales, que se incrementan a lo largo de la cuenca y asociado a la explotación de canteras. Esta densidad de población ha ido aumentando aguas arriba (Compañía de estudios e interventorías Ltda., 1997a).

El canal de Tibanica es una obra que se conserva desde 1950, según Moreno (1995), y que aparentemente era utilizado para labores de riego de la llanura aluvial y captaba las aguas superficiales provenientes de los cerros surorientales de Terreros, Sucre y Cheba, luego de abastecer los humedales de esas zonas.

La quebrada se desarrolla en dirección SSE 30° a una diferencia de altura de 700 metros, desde su nacimiento en la cota 3.000 m.s.n.m. hasta su confluencia en el canal de Tibanica, cota 2.550 m.s.n.m. En su parte más alta, cotas 3.000 a 2.850 m.s.n.m., la cuenca ha sido intervenida mayormente por el hombre en la última década y ha ido perdiendo su aspecto rural, donde el uso habitacional de la tierra se ha incrementado. A partir de la cota 2.850 m.s.n.m., se observa una explotación masiva de materiales de construcción, esta actividad genera a su vez asentamientos urbanos desordenados que han continuado el deterioro de la cuenca y el cauce, debido a la acumulación de basuras a la altura del denominado Embalse Terreros, materiales de desecho y aporte de aguas negras. Desde la cota 2.650 m.s.n.m. se encuentran grandes desarrollos urbanos, que convierten la quebrada en un colector de aguas negras (Compañía de estudios e interventorías Ltda., 1997b).

El análisis geomorfológico de la cuenca permite diferenciar dos sectores, definidos por condiciones morfológicas y topográficas específicas. Dichos sectores se han delimitado fisiográficamente y tienen, en general, las siguientes características:

- Cuenca alta – Sector I: abarca la zona desde la divisoria de aguas entre Limas y Terreros. El principal uso que se da últimamente a esta parte de la cuenca es desarrollo urbanístico. El patrón de drenaje es subparalelo, con tributarios de régimen intermitente. La pendiente del terreno es alta, alcanzando fácilmente valores entre 20 y 40 grados, se observan con frecuencia escarpes casi verticales. En su núcleo se desplaza la quebrada que capta gran cantidad del caudal de aguas lluvias y algo de caudal de aguas negras.
- Cuenca baja – Sector II: corresponde a la parte baja y plana de la cuenca, donde se desarrollan los barrios y zona industrial de Cazucá y parte de Bosa, en límites con el municipio de Soacha. El patrón de drenaje era meándrico típico de superficies planas, con amplias zonas de inundación alineadas con los cauces de las quebradas afluentes que fueron constituidos por depósitos aluviales.

Los programas de expansión urbanística e industrial de los municipios de Bosa y Soacha consideran este canal, que se convierte en la vía más adecuada para evacuar las aguas servidas de las nuevas urbanizaciones e industrias (Moreno, 1995).

Este canal es complementado con las aguas de escorrentía, más las aguas servidas provenientes del suroriente del Distrito Capital y de los barrios aledaños al municipio de Soacha, las cuales discurren hacia el canal medio del humedal, por medio de alcantarillados provisionales, algunos definitivos y por canales rectificadas que vierten sus aguas al canal de Tibanica, como un resultado de la intensa demanda de nuevas tierras para la construcción de viviendas.

EL HUMEDAL TIBANICA

El Humedal Tibanica se encuentra adyacente al área inundable Potrero Grande. Sin embargo, estos humedales no se encuentran conectados hidráulicamente y no prestan ninguna función de amortiguamiento y/o prevención de inundaciones (Ecology and Environment e Hidromecánicas, 1998).

El Humedal Tibanica (Figura II-10) está ubicado al oeste de la Autopista Sur, en el sur de Bosa lindando con el Canal Tibanica que lo separa del área inundable Potrero Grande. Comprende una extensa área de pastos y área urbana del norte de Bosa. Los humedales de Tibanica y Potrero Grande corresponden a dos cuencas hidrográficas diferentes que convergen al final del Humedal Tibanica. La cuenca hidrográfica del Humedal Tibanica

(descrita anteriormente) corresponde a la zona urbana aledaña (Ecology and Environment e Hidromecánicas, 1998).

El área inundable de Potrero Grande, bordeado por el Canal Tibanica, drena la mayor parte de la zona urbanizada al nororiente de Soacha (las montañas de las zonas de canteras de Cazucá incluyendo el área de canteras de Terreros, área urbana de San Mateo y anexas) descargando debajo de la autopista por medio de dos *box culverts* separados que se unen para formar el Canal Tibanica. Este canal recibe aguas combinadas desde la parte más alta de la cuenca y bordea tanto el área inundable Potrero Grande como el Humedal Tibanica, el mismo fluye aguas abajo hasta descargar en el Río Bogotá (Ecology and Environment e Hidromecánicas, 1998).



Figura II-10 Humedal Tibanica. (a) espejo de agua, (b) afectación del cuerpo de agua por vertimiento de basuras y avance del kikuyo. Fotos tomadas en mayo de 2005.

El Canal Tibanica (Figura II-11), cerca del Humedal Tibanica, fue desviado hacia la zona urbanizada denominada Los Olivos para conformar una protección natural contra la invasión del humedal. Varios puentes pequeños están en el Canal Tibanica, los cuales restringen el flujo e incrementan la elevación de los niveles cuando se producen crecientes pero como tienen diques permiten almacenar agua del tránsito de la creciente.



Figura II-11 Canal Tibanica (izquierda) separado del humedal (derecha) por un jarillón; el cuerpo de agua del

canal en este tramo está cubierto su totalidad por macrófitas acuáticas. Foto tomada en mayo de 2005.

Actualmente no existe ninguna estructura de entrada o de salida ni en el Humedal de Tibanica ni en el área inundable de Potrero Grande.

En resumen, la cuenca que aporta agua al Humedal de Tibanica está completamente urbanizada, sin embargo, no posee una infraestructura apropiada de desagüe tanto de aguas lluvias como servidas¹.

AMORTIGUACIÓN DE CRECIENTES EN EL HUMEDAL TIBANICA

El análisis teórico de la cuenca tributaria del Humedal Tibanica muestra que, para los diferentes periodos de retorno, la capacidad de almacenamiento es apropiada para mitigar la creciente correspondiente a una escorrentía con un período de retorno de 100 años (Ecology and Environment e Hidromecánicas, 1998).

Puede decirse que, en la eventualidad de presentarse un fenómeno hidrológico relativamente excepcional, hay un riesgo significativo de inundación especialmente en la zona baja del canal de Tibanica. Este último, combinado con el efecto del alto crecimiento demográfico, tendría consecuencias serias sobre la salud y la vida de un número importante de personas, como de hecho ha sucedido (Compañía de estudios e Interventorías, 1997b).

Sin embargo, el Acueducto de Bogotá, entidad encargada del manejo del alcantarillado pluvial de la ciudad, no ha tenido en cuenta al Humedal Tibanica para el control de crecientes de la cuenca de la Quebrada Tibanica². En el documento Plan Maestro de Alcantarillado Sanitario y Pluvial cuenca Quebrada Tibanica (Terrerros-Soacha), elaborado por la Gerencia de Planeamiento (1998), se señala:

“Para drenar el área comprendida entre la parte superior de la cuenca (Quebrada Tibanica), hasta el cruce con la Autopista del Sur, se requiere de un canal revestido en concreto, el cual se inicia en cercanías de la presa de Terreros, continuando por el actual cauce de la Quebrada Tibanica para entregar por gravedad sus aguas al Río Tunjuelo, previo dragado del mismo...”

“Para drenar el resto del área de la cuenca, aguas debajo de la autopista del sur, se requiere de un segundo canal, el cual se inicia en el cruce de la Quebrada Tibanica con la autopista del sur, y sigue paralelo al canal que funciona por gravedad, para finalmente entregar sus aguas a la estación de bombeo prevista para el desagüe de las aguas residuales”.

¹ Con relación al flujo de aguas subterráneas, “es de aclarar que lagos, humedales y chucuas son muy importantes desde el punto de vista de balances de agua, sin embargo, el potencial de recarga que estas pueden tener sobre los acuíferos no se ha cuantificado y por lo tanto es difícil de conceptualizar” (SDA, 2000).

² En los términos de referencia se señala “Con base en la información que posee la Empresa de Acueducto de Bogotá se revisará la capacidad hidráulica del humedal a 5, 10, 20 y 50 años. Mediante el tránsito por el humedal de la respectiva creciente, se deberán presentar los hidrogramas de dichas crecientes y los resultados del tránsito de las mismas, con el fin de establecer máximos y mínimos de inundación así como el caudal ecológico del humedal”. De acuerdo a las investigaciones realizadas en las oficinas de la Empresa de Acueducto de Bogotá, el Humedal Tibanica no ha sido utilizado para el tránsito de crecientes ni su capacidad hidráulica se ha tenido en cuenta para que funcione como pondaje o retenedor de crecientes en los diseños del alcantarillado pluvial de Bosa y Soacha.

En este documento, la gerencia de planeamiento del Acueducto de Bogotá pone de manifiesto la necesidad de desarrollar obras para el manejo de las aguas lluvias de la cuenca de la Quebrada Tibanica, sin embargo, las soluciones propuestas, tanto aguas arriba como aguas abajo de la Autopista Sur, no utilizan ni tienen en cuenta el Humedal Tibanica, por el contrario, pretenden tomar las aguas de su cuenca natural de drenaje y llevarlas al Río Tunjuelo o al Río Bogotá directamente.

Esta situación es crítica para el humedal, ya que al encontrarse en una zona tan seca como Bosa, el restringir la alimentación hídrica de su cuenca natural, hace que se encuentre en situación de déficit hídrico, lo que facilitará su desecación en el corto plazo.

Obras existentes

La principal obra existente de drenaje en la cuenca aferente al Humedal Tibanica es el Canal de Tibanica, denominado también Río Claro o Quebrada Tibanica, el cual está dividido en dos tramos.

El primero de los tramos - Río Claro 1- nace perpendicular a la autopista por su costado sur a unos 650 m aproximadamente, drenan a él las aguas lluvias y parte de negras del barrio San Mateo, en su gran parte recogidas desde la calle 30 y dos vertientes casi al finalizar su recorrido antes de cruzar la autopista que son las aguas del Canal Cazucá y Cazucá 1. Limita por el occidente con el barrio San Mateo y por el oriente con el barrio Parques de San Mateo. Descarga sus aguas al canal Río Claro, que es su continuación, este último va directo al Humedal Tibanica y descarga sus aguas al Río Bogotá. Recoge en su recorrido el caudal generado por el área comprendida de los barrios Parque de San Mateo, San Mateo, Urbanización Malabar, Barbados II y III, Mirador de San Ignacio, Casalinda, Balcones de San Mateo. Su longitud es de 643.08 m, llegan a él los afluentes de Cazucá y Cazucá 1, este último por medio de una tubería de diámetro 1,5 m (Estudios Técnicos, 2001a).

El canal Río Claro recibe las aguas del canal Río Claro 1 después de cruzar la Autopista Sur recibiendo también otros afluentes como el Canal Centro y, por supuesto, las áreas de drenaje de los barrios que atraviesa. Para su estudio se tienen en cuenta los siguientes aspectos: recoge a su paso las áreas de los barrios Rincón de Santafé, El Trébol, Jardines del Rosal, Los Olivos I y II, Los Ocales, Pablo VI, León XIII (Estudios Técnicos, 2001a).

Además de estos dos canales, existen en la actualidad cuatro colectores de 36" que descargan al humedal directamente. De estos, tan sólo uno fue desarrollado por entidades públicas, en este caso la Unidad Ejecutora Local del Acueducto de Bogotá, sobre los demás colectores no se tienen registro en esta entidad, encargada de construir estos sistemas en la ciudad. En este punto, vale la pena señalar que, a pesar de no encontrarse en funcionamiento este colector ya que no han sido pavimentadas las calles, recibe un sin número de conexiones erradas de aguas residuales, que hacen que fluya un caudal importante al humedal. Igual situación se aprecia en los restantes tres colectores.

En general, la capacidad de los sistemas de alcantarillado pluvial ha sido ampliamente superada (Estudios Técnicos, 2001; Martínez, *com. pers*; Forero, *com. pers.*), ya que el canal Río Claro es insuficiente para evacuar las aguas lluvias.

La insuficiencia del alcantarillado sanitario en las inmediaciones del Humedal Tibanica, genera tensionantes que ponen en peligro su funcionamiento. Las aguas residuales deben ser evacuadas por la comunidad, exista o no sistema de alcantarillado sanitario legalmente establecido. En esta circunstancia, el humedal desempeña una función de sumidero de aguas residuales para varias de las familias que habitan en sus alrededores.

Sin embargo, debido a su colmatación y reducción de área, su capacidad de depuración fue superada, lo que implica condiciones poco aptas para la vida como anoxia, sedimentación, entre otras.

Obras propuestas

En la actualidad se están desarrollando las obras planteadas en el estudio mencionado anteriormente y por la compañía Salgado, Meléndez y Asociados (1999). Estudios Técnicos (2001) definió a nivel de factibilidad las redes de alcantarillado pluvial del municipio de Soacha, donde se incluye la Quebrada Tibanica. A continuación, se describen brevemente las obras que atañen a la zona de la cuenca de la Quebrada Tibanica y por lo tanto al humedal.

Canal Tibanica gravedad

Estudios Técnicos (2001a) señala:

“El canal tiene su origen aproximadamente a 300 metros aguas abajo del rebosadero de la presa del embalse Terreros, continúa hasta llegar al límite sur de la futura urbanización San Mateo, alrededor de la abscisa K0+578, se orienta hacia el noroccidente por el corredor definido por los urbanizadores para su localización hasta la abscisa K2+033. En este punto gira hacia la izquierda, orientándose de oriente a occidente, hasta la abscisa K2+415, donde su sección se convierte en box culvert, para cruzar la Autopista Sur y las zonas urbanizadas de los barrios Rincón del Santafé y Los Rosales, siguiendo el corredor actual del canal Río Claro hasta la abscisa K3+615. Seguidamente continúa paralelo al mencionado corredor por la zona de Los Olivos hasta llegar a la zona del Humedal Tibanica en la abscisa K3+979, en donde empata con el actual corredor del canal Tibanica por el cual continúa en una distancia aproximada de 2.7 km. Aproximadamente a 500 metros al noroccidente de la estación de bombeo de La Isla en la abscisa K6+625.44, hace entrega de sus aguas al canal Tibanica existente, que desemboca finalmente al Río Bogotá.

“El canal drena un área total de 724.34 ha, todas localizadas entre la Autopista Sur y el embalse de Terreros. Al inicio recibe la afluencia de un área de 166.80 ha; en el k0+580 ya cuenta con 275.84 ha; luego recibe en el k1+280 el aporte de 40.99 ha provenientes del sector de San Mateo; después recibe el colector Cazucá, en la abscisa k2+033, que drena 220.68 ha; y finalmente recibe la afluencia de 186.83 ha a través del colector San Mateo. En su trayecto entre la Autopista Sur y el punto de entrega al canal Tibanica no capta el drenaje de ninguna área porque la cota de drenaje es más baja que la cota de fondo del canal. El caudal total de diseño es de 35.99 m³/s, para un periodo de retorno de 25 años.

“El área de drenaje del canal está comprendida en la zona localizada entre la presa del Embalse Terreros y la Autopista Sur en el sentido sur – norte y en el sentido occidente – oriente por la calle 30 de Soacha y el límite geográfico entre el Distrito Capital de Bogotá y el municipio de Soacha. Todas las áreas localizadas al sur de la presa son aferentes al embalse y por lo tanto no se consideraron aferentes al canal.

“La zona al norte de la Autopista Sur, será drenada a través del colector Tibanica – Bombeo por presentar una cota de drenaje más baja que el canal Tibanica – Gravedad.”

De la concepción del Canal Tibanica gravedad se desprenden varias conclusiones. Drena una importante área de la cuenca de la Quebrada Tibanica (724,34 ha), sin embargo, su área de drenaje es en su mayoría de la cuenca alta, ya que en el trayecto de la Autopista Sur al humedal, su cota de drenaje es más baja que la de fondo del canal. Sus aguas serán entregadas al canal Tibanica y de ahí al Río Bogotá directamente. Es importante recalcar que, en ningún momento, realiza intercambio hídrico con el Humedal Tibanica, drena las aguas de su cuenca pero no las lleva al humedal.

Sistema de colectores Tibanica-Bombeo

Estudios Técnicos (2001a) señala:

Colector La Despensa:

Este colector en su origen capta los caudales provenientes del colector existente de diámetro 1.20 m, que drena los sectores provenientes del barrio La Despensa, perteneciente a la localidad de Bosa, cuyo tramo final está localizado por el separador entre la Autopista Sur y la vía paralela a ésta, El colector en un primer tramo de 210 m tiene una dirección oriente-occidente, paralela a la Autopista Sur hasta la intersección con la futura Avenida Terreros, donde gira hacia el noroccidente y continúa por el corredor de esta avenida hasta la transversal 15, en el barrio Rincón de Santa Fe, lugar en cual entregará sus aguas al colector Tibanica-Bombeo. El colector La Despensa tiene una longitud de 720 m y un diámetro de 1,40 m en la totalidad de su trazado.

Drena un área de 149.17 ha, la cual genera un caudal de diseño de 3.11 m³/s para un período de retorno de 10 años.

Colector Centro:

El actual canal centro localizado en el separador de la Autopista Sur, tiene su origen a la altura de la calle 30 y fluye en sentido occidente oriente hasta el actual canal Río Claro y fue construido como un brazo artificial de este canal. Funciona actualmente como canal de aguas negras.

Se propone reemplazarlo por un colector que permita el drenaje de las aguas lluvias generadas por las áreas localizadas al norte de la Autopista Sur entre la Calle 30 y la Calle 33C, y las de un área de 14.64 ha localizadas en el sector de San Mateo. Al igual que el canal existente el colector se extiende en su tramo inicial por la Autopista Sur en sentido occidente-oriente hasta el actual canal Río Claro, lugar en el cual continua paralelo a éste hasta hacer entrega en el colector Tibanica Bombeo. Drena en total un área de 38.44 ha que generan un caudal de diseño de 1.12 m³/s. Su longitud total es de 924 m y sus diámetros varían entre 36” y 1.10 m.

Colector Tibanica Bombeo:

Este colector tiene como finalidad principal captar las aguas lluvias provenientes del sector de la cuenca oriental localizado al norte de la Autopista Sur cuya topografía no permite drenar los caudales generados por las aguas lluvias mediante el sistema del canal de gravedad implementado para la parte sur de la cuenca. Capta en su origen, el colector denominado La Despensa el cual en la actualidad vierte sus aguas en un canal en tierra localizado en el separador de la Autopista Sur; además, en su recorrido interceptará los colectores de aguas lluvias llamados Centro, Los Olivos y todos aquellos provenientes de los sectores de futuro desarrollo de la zona. El colector inicia su recorrido en la intersección de la futura Avenida Terreros con la transversal 15, en el barrio Rincón de Santa Fe. Su trazado hasta el pondaje de la Estación de Bombeo La Isla (lugar en donde entrega sus aguas) lo realiza por el corredor previsto para la futura Avenida Terreros. El colector tiene una longitud de 3.195 m y está conformado por un box culvert de sección 2.50 x 2.00 m, en la totalidad de su trazado el colector drena un área de 398.78 ha que generan un caudal de diseño máximo de 8.53 m³/s.

Colector Los Olivos:

En este caso especial, se implementó un colector de aguas lluvias que permitirá el drenaje de la zona central del sector denominado Los Olivos, por cuanto estaría localizado en el corredor donde hoy existe un “canal” muy superficial que recoge aguas negras de aproximadamente 150 metros a lado y lado del “canal”, el cual parece ser un tramo de los drenajes antiguos del lote donde hoy están los barrios del sector. El colector se extiende en sentido oriente – occidente, cruza por debajo del canal Tibanica Gravedad y entrega al colector Tibanica Bombeo.

El colector tiene diámetros entre 14” y 36” y una longitud de 866 m. Drena un área de 57.99 ha. que generan un caudal de diseño de 1.09 m³/s. Canal Tibanica Bombeo.

El sistema de bombeo drenará la parte baja de la cuenca de la Quebrada Tibanica, en el sector de Soacha. Este sistema tiene un área de drenaje de 644,38 ha. Sin embargo, al igual que el Canal Tibanica gravedad, no lleva la totalidad ni parte de sus aguas al humedal, este sistema por el contrario llevará sus aguas al futuro pondaje La Isla. Este sistema en resumen, recogerá los canales existentes de aguas negras y los construidos por la comunidad, los ensanchará y volverá sistemas combinados (aguas lluvias y negras). Esta situación no es la mejor para el humedal, ya que si es necesario derivar parte de su caudal para alimentarlo, las condiciones de calidad no serán las mejores.

Colector Piamonte

Es el colector principal para evacuar las aguas lluvias del sector de la localidad de Bosa, afluente al humedal, fue concebido originalmente por la firma Hidrosan, en el marco de un gran proyecto denominado Agrológicas III y luego diseñado en detalle por Salgado, Meléndez y Asociados (1999). Este colector recibirá las aguas de los colectores menores: Islandia, Juan Pablo II, El Retiro, Naranjos y Charles de Gaulle.

El colector Piamonte descargará finalmente al Canal Tibanica Bombeo, al occidente del humedal. La concepción del sistema Piamonte no tiene en cuenta al Humedal Tibanica y descarga fuera de éste.

En general, en las obras propuestas y en las que actualmente se construyen, no se tiene en cuenta el cuerpo de agua del Humedal Tibanica como amortiguador de crecientes o como receptor de alcantarillado pluvial, por el contrario las aguas de escorrentía son evacuadas rápidamente al Río Bogotá. En la actualidad, sólo existen cuatro entradas de aguas lluvias con diámetros menores a 30" que no representan mayores caudales.

El manejo de las aguas lluvias de la cuenca aferente al Humedal Tibanica no lo tiene en cuenta, recoge sus aguas y las lleva al Río Bogotá. Dadas las condiciones climáticas secas del humedal, el quitarle las aguas provenientes de la cuenca implica su próxima desaparición, ya que no se podrán cumplir los requerimientos hídricos para el mantenimiento de un ecosistema anfibio.

Además de los cuatro colectores que ingresan al humedal, existe un antiguo brazo del Canal de Tibanica que ingresa al cuerpo de agua, el cual representa serios problemas en cuanto a la calidad del agua, pero aporta muy poco en cantidad.

De estos cinco aportantes hídricos principales no se tiene información de niveles ni mucho menos de caudales, lo que hace imposible la estimación de hidrogramas de entrada para crecientes con distintos períodos de retorno ni la elaboración de un balance hídrico con información primaria. De igual forma, al ser la zona del humedal un área proclive a los asentamientos subnormales, las conexiones erradas tienen un gran peso sobre el caudal de los colectores, lo que les adiciona un componente imposible de estimar y que debe ser medido directamente.

Así mismo, debido a que como se ha mencionado anteriormente, el Acueducto de Bogotá no ha tenido en cuenta al humedal como amortiguador de crecientes, no ha determinado su capacidad hidráulica, ni mucho menos calculado tránsito de crecientes en el mismo, lo que implica un desconocimiento completo de los máximos y mínimos de inundación del humedal.

Por lo tanto, para determinar la capacidad hidráulica del humedal, es necesario monitorear durante un lapso prudencial de tiempo, sus entradas y salidas de agua para de esta forma calcular los hidrogramas de entrada y salida y así transitar las crecientes con distinto período de retorno.

CAUDAL ECOLÓGICO

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, mediante resolución No. 0865 del 22 de julio de 2004, define el caudal ecológico de la siguiente manera:

“El caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua. Existen diversas metodologías para conocer los caudales ecológicos:

Hidrológicas. Se basan en el comportamiento de los caudales en los sitios de interés, para lo cual es necesario el conocimiento de series históricas de caudales.

Hidráulicas. Consideran la conservación del funcionamiento o dinámica del ecosistema fluvial a lo largo de la distribución longitudinal del río, es decir que el caudal de reserva que se deje en los distintos tramos permita que el río siga comportándose como tal.

Simulación del hábitat. Estiman el caudal necesario para la supervivencia de una especie en cierto estado de desarrollo.

Mínimo histórico. El Estudio Nacional del Agua (2000) a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el

caudal promedio multianual de mínimo 5 a máximo 10 años que permanece el 97,5% del tiempo y cuyo periodo de recurrencia es de 2,33 años.

Porcentaje de descuento. El IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

La autoridad ambiental debe escoger entre las anteriores metodologías de acuerdo con la información disponible y las características regionales particulares.”

Siguiendo las recomendaciones señaladas en la normatividad, a partir la información disponible, es imposible determinar el caudal ecológico utilizando criterios sustentados técnicamente, por lo tanto se propone desarrollar un estudio de dinámica de caudales que ingresan al humedal, así como de las demandas hídricas de los distintos hábitat que permita determinar un correcto caudal ecológico y determinar su capacidad hidráulica.

3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Miguelángel Bettín

DESCRIPCIÓN GENERAL

El área del Humedal Tibanica está constituida en el subsuelo por rocas sedimentarias que abarcan edades desde el Cretácico al Reciente, correspondientes al Grupo Guadalupe y a la Formación Guaduas; los rellenos Terciarios de la Sabana representados por las formaciones Sabana y Tilatá; los depósitos de abanicos y conos aluviales; depósitos de piedemonte y los rellenos lacustres del antiguo lago que cubría la sabana (Moreno, 1995).

El análisis desde el punto de vista geológico y geomorfológico, en general, se realizó a una escala regional, esto es, a nivel de la cuenca del Río Tunjuelo y no solamente para el área de influencia directa del Humedal Tibanica puesto que las características de las formaciones geológicas se definen, con ciertas particularidades, a escalas más grandes.

ORIGEN DEL HUMEDAL TIBANICA

Como es de conocimiento general, la Sabana de Bogotá fue una gran laguna pleistocénica, de lo cual se ha establecido el marco paleogeográfico como un resultado a los cambios morfodinámicos. Ésta inició su proceso de desecación hace más o menos 24.000 ± 600 años, como remanentes quedaron lagunas y humedales que actualmente están mal conservados y en vías de desaparecer.

La Sabana de Bogotá a partir de esta época, inicia su proceso de desecación a través de una brecha abierta sobre las areniscas del Grupo Guadalupe a la altura de Alicachín, en dirección al Salto de Tequendama. La desecación ocurrió muy lentamente, si se considera que la máxima altura de los sedimentos lacustres sobre el nivel de base actual en Alicachín es de apenas 15 m. Avanzando el proceso de desecación, el ambiente de la sabana pasó a ser un pantano para evolucionar posteriormente hasta un terreno plano con inundaciones periódicas, que se presenta en la actualidad.

El humedal puede considerarse como uno de los remanentes de esa gran laguna, el cual ha sido transformado a través de los años por procesos de canalización y relleno parcial (Moreno, 1995). Sin embargo, en diálogos con personas de la comunidad (Benavides, *com. pers.*; Forero, *com. pers.*; Martínez, *com. pers.*; Torres, *com. pers.*; Silva, *com. pers.*) se señala que el humedal es artificial y fue construido por los campesinos de la zona con el fin de delimitar los terrenos, así como aumentar la disponibilidad del recurso hídrico.

A pesar de lo señalado por la comunidad, se descarta por los suelos aún conservados (Aeric Epiaquent) la creación artificial del humedal, puesto que corresponden a las áreas encharcadas en el plano de inundación entre los ríos Tunjuelo y Bogotá, además no se aprecia depósito de arcillas por excavación alrededor del cuerpo de agua en cantidad que sugiera que se realizó una cubeta artificial. Por último, los suelos a pesar de estar en clima frío seco muestran en su evolución alta reducción y fuerte gleyzación por exposición a ambientes edáficos húmedos no relacionables directamente con el régimen pluviométrico, lo que indica que han estado sometidos permanentemente a lo largo de su evolución a la invasión de las aguas.

Por otro lado, la alteración de los suelos por rellenos no revela una remoción de tierras equiparable a la necesaria para construir una cubeta artificial que albergara las aguas, aunque no se descartan obras anteriores de profundización. La fauna y vegetación

asociada tardan en conformar un sistema como este, todos estos argumentos respaldan el origen natural del humedal a pesar de la fuerte antropización del paisaje.

En síntesis, Tibanica corresponde a un humedal permanente que fue transformado por la construcción de diques para emplear los excedentes de agua en la época de lluvias en épocas secas aprovechando la escorrentía superficial y el rebose del curso de agua afluente del Río Claro (actual canal Tibanica), por desbordes del mismo, por interacción entre ambos procesos y por fluctuaciones del nivel freático. Es probable que el humedal tuviera antes un carácter estacional asociado a los desbordamientos del Río Claro y períodos fuertes de lluvia, pero debido a las intervenciones realizadas, adquirió un carácter permanente. Hace parte de la cuenca del Río Bogotá y microcuenca del Río Tunjuelo.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La Cordillera Oriental constituye la principal unidad física del oriente andino. Su gran diferencia con las otras cordilleras radica en la presencia de depósitos sedimentarios de origen marino y continental, producto a su vez de las diferentes fases del ciclo andino oriental, definido por Hubach en 1957, comenzando en la fase de inmersión total del área de la cordillera bajo el mar, con depósito de gran cantidad de sedimentos marinos (Cretácico – Eoceno); fase de pre – emersión del terciario superior, o de retiro del mar hacia el norte, a la que sucedieron eventos tectónicos que dieron origen al levantamiento de la cordillera y a una intensa erosión de carácter continental a finales del Terciario, terminando finalmente con la fase de nuevos períodos de erosión y depósito continental y lacustre del Cuaternario que permiten definir la configuración actual del eje y de los bordes externos, incluyendo los fenómenos morfodinámicos presentes hoy en día.

Esta evolución de la Cordillera Oriental origina una estructura diversa y compleja:

- Aparición de numerosos ejes anticlinales y sinclinales producto de las diferentes fases de plegamientos. Los primeros permiten observar el basamento antiguo (Precámbrico – Paleozoico), con sedimentos del Mesozoico litificados, alternados con grandes depósitos de sedimentos marino – continentales que rellenan las estructuras sinclinales y los bordes externos de la cordillera.
- Los sedimentos de mayor espesor se encuentran en las depresiones sinclinales de la Sabana de Bogotá y Sogamoso, donde existe además una cobertura de origen lacustre. Hacia el este, la acumulación de sedimentos cretácicos descienden de los 1.500 a 500 m de espesor, mientras los sedimentos terciarios que bordean la cordillera alcanzan cerca de los 5.000 m (Hubach, 1957 y Julivert, 1978).

Estos conjuntos sedimentarios que constituyen actualmente los componentes principales de la cordillera y, en menor proporción, los afloramientos de los actuales macizos de rocas metamórficas restringidos al sector suroriental de la cordillera, presentan un plegamiento moderado a intenso, como resultado de los intensos eventos tectónicos que caracterizaron a la cordillera durante su evolución geológica y que están representados por numerosos pliegues, endurecimiento del material y el paso de una estructura flexible a una más rígida. Además, las fallas y fracturamiento intenso de los materiales son frecuentes, así como la deformación de los estratos como resultado de los movimientos verticales.

El intenso plegamiento y la presencia de dos grandes sistemas de fallas inversas, con fuerte cabalgamiento en cada uno de las márgenes externas de la cordillera, ha permitido

deducir que la deformación anterior al levantamiento epirogénico tuvo que haber sido producida principalmente por compresión de la corteza.

La Formación Sabana (Qts) presenta numerosas capas de cenizas volcánicas (Loboguerrero, 1994). Este material provino de la actividad volcánica de la Cordillera Central y probablemente de los focos volcánicos, ubicados en Boyacá. Debido a la rápida alteración o asimilación orgánica de algunos de los constituyentes de la ceniza, en ocasiones, se dificulta su identificación. Las capas de diatomitas de la sabana están asociadas con ceniza volcánica, como sucede en la mayoría de los yacimientos, evidenciado por los altos contenidos de SiO₂ en el agua y por el aporte volcánico periódico registrado en las perforaciones realizadas en la sabana.

ESTRATIGRAFÍA

Las rocas que conforman el valle del Río Tunjuelo (donde se ubica el Humedal Tibanica) son de carácter sedimentario, es decir, formadas a partir de la meteorización, erosión y transporte de rocas preexistentes. Las edades de estas rocas varían desde el Cretáceo Superior hasta los depósitos no consolidados del reciente que rellenan el valle y la sabana (Compañía de estudios e interventorías Ltda., 1997b).

Dentro de las rocas sedimentarias más antiguas expuestas en superficie en la Sabana de Bogotá, se encuentran aquellas que corresponden a la Formación Chipaque, que no aflora directamente en el área del presente estudio: El Grupo Guadalupe, constituido por las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna, y las Formaciones Guaduas, Areniscas del Cacho, Bogotá, Arenisca de la Regadera, y Usme.

El Grupo Guadalupe y la Formación Guaduas corresponden en superficie con las geoformas montañosas que circundan la Sabana de Bogotá y otras sierras aisladas dentro de ella. En el área de estudio estas unidades están conformando los flancos del gran Sinclinal de Usme-Tunjuelo. Suprayaciendo a las Formaciones Labor y Tierna, del Grupo Guadalupe, se encuentra la Formación Guaduas, aflorando principalmente en el área de los cerros de Suba, Cota-Chía y en los cerros surorientales. Las demás unidades consolidadas del Terciario se presentan en el núcleo del sinclinal a lo largo de la cuenca del Río Tunjuelo y en el subsuelo de la sabana, sobre las cuales se conforma la planicie aluvial. En el sector estudiado afloran las formaciones Arenisca del Cacho, Bogotá, Arenisca de la Regadera y Usme, que no se encuentran en inmediaciones del Humedal Tibanica.

Entre las unidades sin consolidar se puede mencionar la Formación Tilatá, de edad Plioceno y reportada en el subsuelo de la ciudad a partir de perforaciones, que tiene gran exposición al norte de la Sabana y yace bajo la Formación Sabana, ésta última formando niveles de terraza.

La formación sabana está compuesta por depósitos lacustres principalmente. Tradicionalmente ha sido dividida en Depósitos de Terraza Alta (Formación Tilatá) y Depósitos de Terraza Baja (Formación Sabana). Aflora en las partes bajas del valle del Río Tunjuelo, generando morfologías planas con amplia formación de cárcavas.

La Formación Sabana incluye además los suelos negros, humus, los fondos actuales de ríos y lagunas, los materiales del borde de la sabana, el limo que forma las terrazas en el interior de la sabana, los restos de antiguas terrazas y sedimentos lagunares alterados. La edad de esta formación es aproximadamente Pleistoceno Medio – Holoceno. Perforaciones de Funza mencionan que la sedimentación lagunar es continua desde el Plioceno a la actualidad, lo cual hace difícil la diferenciación entre las formaciones Tilatá y Sabana.

Como se mencionó anteriormente, en el área estudiada afloran unidades consolidadas y no consolidadas, con edades que van desde el Cretáceo hasta el Reciente. Las consolidadas corresponden a la zona montañosa del sector y las no consolidadas se encuentran principalmente en la parte plana de la llanura aluvial que se extiende al norte, este y oeste del área.

A continuación, se presenta una descripción de las unidades estratigráficas relacionadas al área de estudio, empezando por la más antigua.

Cretácico

Grupo Guadalupe (Kgg)

Fue definido por Hettner (1892), redefinido por Hubach y la caracterización más actual corresponde a Pérez y Salazar (1971). Aflora principalmente hacia los flancos del Anticlinal de Bogotá y en el núcleo de los cerros surorientales. Constituye las elevaciones más importantes de las partes oriental y suroeste de la cuenca del Río Tunjuelo. El Grupo Guadalupe consta principalmente de intercalaciones de arenisca con limolitas silíceas y arcillolitas, depositadas en un ambiente litoral a sublitoral en una llanura de marea. La localidad tipo se encuentra en las carreteras Bogotá – Choachí, y Bogotá – La Calera se encuentra dividida en cuatro formaciones, Formación Arenisca Dura, Formación Pleaners, Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna (Pérez y Salazar, 1971 en Ingeominas 1988), aunque para fines prácticos, se consideró como una sola unidad geomorfológica.

Formación Arenisca Dura

También conocida como la “Formación Raizal”, constituye la base del Grupo Guadalupe (Moreno, 1995). Aflora parcialmente al suroccidente del área de estudio, conformando el núcleo de un anticlinal en la Vereda Quiba. Ocupa un área bastante grande, especialmente en la zona montañosa al sur de la represa de Terreros, entre los ríos Soacha y Tunjuelo, donde está muy afectada por callamientos que causan repeticiones de su secuencia litológica (Moreno, 1995). Está compuesta por una serie de cuarzo arenitas, con cemento silíceo e intercalaciones de lodolitas y lodolitas arenosas. Las areniscas presentan un color amarillento y se caracterizan por conformar gruesos paquetes, de hasta 3 m de espesor (Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997a).

Formación Pleaners

Está conformada por una serie de lilitas intercaladas con arcillas. El tipo de fracturamiento que presentan las lilitas hace que esta formación no sea estable, por lo que al no poseer cobertura vegetal es fácilmente erosionable. Sin embargo, esta formación no aflora directamente sobre el valle del río, presentándose en la parte alta de la Vereda Quiba hasta el Barrio Paraíso y en cercanías del Barrio Los Alpes (Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997a).

Está distribuida principalmente en ambos flancos de la estructura sinclinal del Río Soacha y en el flanco oeste del anticlinal de Soacha. También al este de la Falla de Sucre, formando una pendiente estructural suave y delgada sobre la Arenisca Dura, que buza hacia el NE. Geomorfológicamente casi siempre muestra superficies suaves y deprimidas, debido a su poca resistencia a la erosión. Se encuentra en sección completa en el flanco oeste del Anticlinal de Cheba y 1 km al noroeste de la represa de Terreros (Moreno, 1995).

Formación Arenisca de Labor y Arenisca Tierna

Compuestas fundamentalmente por gruesos paquetes de areniscas, ligeramente arcillosas, de color blanco amarillento, grano fino y moderadamente friables.

Las areniscas de la Formación Arenisca Tierna son cuarzosas, de grano fino a medio y de fino a grueso, a veces ligeramente conglomeráticas (clastos hasta de 1 cm de diámetro) y lodosas, color blanco, ocasionalmente manchadas de amarillo y/o rojizo por los óxidos de hierro, típicamente friables, con laminación cruzada y gradación normal. El espesor de los estratos oscila entre 0,2 y 0,3 m y excepcionalmente forman bancos de 1,5 m de espesor. Su grueso se ha calculado en unos 120 m.

Por otra parte, la Formación Labor consta de una serie de areniscas de grano fino a medio, bien seleccionadas y a veces lodosas, poco cementadas, blandas a medianamente duras, con cemento calcáreo y a veces silíceo. Algunas de estas areniscas poseen ichnofósiles y ondulitas. Aflora en capas de 0,05 m hasta 1,5 m de espesor. Hay intercalaciones de bancos hasta de 2,5 m de espesor compuestos por arcillolitas gris claras laminadas, las cuales son más abundantes hacia el contacto con la Formación Arenisca Tierna. Igualmente se presentan algunas intercalaciones de lodolitas silíceas hacia el contacto inferior con la Formación Plaeners. Su espesor aproximado se estima en 180 m (Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997a). Su expresión morfológica es similar a la de la Arenisca Dura, es decir, que está formando escarpes. En la cuenca del Río Tunjuelo aflora principalmente en el flanco oeste del Anticlinal del Río Soacha. En algunas colinas aisladas al noroeste del humedal (Moreno, 1995).

Estas rocas se caracterizan por formar escarpes prominentes en los extremos laterales del Siclinal de Usme, aflorando principalmente en la cuenca baja de la Quebrada Limas.

Cretácico – Terciario

Formación Guaduas (Tkg)

Fue definida por Hettner en 1892, redefinida por Hubach en 1957 (*en*: Ingeominas, 1988). Sin embargo, existen trabajos estratigráficos más recientes sobre la definición de límites y características estratigráficas publicados por Ingeominas y no concernientes con los objetivos del presente estudio. Aflora en el sector de los cerros de Terreros bordeando el Anticlinal de Cheba – Quba, flanco occidental del Sinclinal Usme – Tunjuelo, piedemonte suroccidental de Bogotá. La unidad consta de tres conjuntos: el inferior con predominio de limolitas y arcillolitas grises, en la parte media con niveles de areniscas friables y arcillosas, y en la parte superior constituida por arcillolitas rojizas. Además se tienen mantos de carbón en la mayoría de los niveles de la formación. A nivel geomorfológico, se manifiesta como una zona angosta, de relieve negativo debido a su escaso espesor y a su poca resistencia a la erosión. No tiene las mismas características en el límite Tierna – Guaduas, que aflora de la falla de Terreros hacia el noreste (parte oriental del área), allí no es netamente arcillosa, pues aparecen intercalaciones de areniscas de grano fino a medio, en capas hasta de 20 cm de espesor y a veces con lentes de carbón (0,5 m), como en el caso del cerro inmediatamente al NE de la represa Terreros (Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997b).

No aflora directamente en el valle del río, presentándose hacia el sector de Terreros y hacia el flanco occidental del Siclinal Usme-Tunjuelo.

Terciario

Formación Arenisca del Cacho (Tc)

Fue definida por Scheibe en 1918, redefinida por Hubach en 1945 y Campbell en 1962 (*en*: Ingeominas, 1988). Sin embargo, existen estratigráficos más recientes sobre la definición de límites y características estratigráficas (Acosta y Beltrán, 1987; Cuervo y Ramírez, 1985). Su contacto con la Formación Guaduas es normal y se encuentra bien expuesta en las cabeceras de la Quebrada Mochuelo, límite sur de la cuenca del Río Tunjuelo. Litológicamente corresponde a litoarenitas, cuya textura es un conglomerado areno-lodoso, con líticos de chert y lodolitas. Se intercalan lodolitas color rojizo, bien expuestas en el área del Rincón. En la parte media de la unidad hay un nivel de lodolita rojo-violáceo. La parte superior son areniscas conglomeráticas, altamente meteorizadas, con costras y crecimientos ferruginosos en estratificación delgada, gruesa y cruzada interna. La expresión morfológica es de crestones con pequeñas depresiones. Debido a que solo aflora en esta cuenca, se infiere la existencia de una discordancia y tectonismo (Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997a).

Formación Bogotá (Tb)

Fue definida por Hubach en 1945 y redefinida por este mismo autor en 1957 (*en*: Ingeominas, 1988). En el área de la cuenca del Río Tunjuelo, descansa concordantemente sobre la Formación Arenisca del Cacho. Cambia transicionalmente con un aumento en los niveles de las arcillolitas abigarradas con intercalaciones de areniscas verdes. Litológicamente consiste en lodolitas arcóscicas de colores rojos a violetas, en capas gruesas a muy gruesas. Hay intercalaciones arenosas con intraclastos de lodolitas y líticos de chert, con estratificación cruzada. Morfológicamente esta unidad corresponde al valle de la Quebrada Trompeta, viéndose expuesta también en la Quebrada Mochuelo (Compañía de estudios e interventorías Ltda., 1997a).

Formación Arenisca de la Regadera (Tr)

Fue definida por Hubach en 1957 (*en*: Ingeominas, 1988). Representa el mayor rasgo morfológico y topográfico de la cuenca del Tunjuelo, configurando la serranía que constituyen los márgenes del valle del Río Tunjuelo o de Usme, formando los flancos de la estructura sinclinal. Está constituida por areniscas cuarzofeldespáticas poco cementadas por arcilla de grano medio a grueso en bancos y capas gruesas y la alternancia de capas de conglomerados guijarrosos. Alternando con las areniscas y conglomerados se encuentran capas de arcillas rosadas o rojizas, hacia la base son más frecuentes las capas de conglomerados de formas lenticulares. Se le asigna una edad Eoceno Medio, esta es la unidad Terciaria más moderna. Todo el conjunto debe tener un espesor de aproximadamente 800 m. La Arenisca de La Regadera está cortada subsecuentemente por la Quebrada Yomasa a la altura de Tocaimita. La misma quebrada recorre parcialmente desde la cota de los 2.880 m.s.n.m. hasta los 2.810 m.s.n.m.

Se encuentra en contacto discordante erosivo con la Formación Bogotá. En la cuenca del Río Tunjuelo, es una secuencia granodescendiente que se inicia con areniscas, cuya textura corresponde a conglomerados y conglomerados arenosos. Hay areniscas caolinizadas con textura de conglomerados arenosos y areniscas lodosas con cemento y crecimientos ferruginosos. La estratificación es plano-paralela en capas gruesas y estratificación interna cruzada. La parte media está constituida por una lodolita arcóscica violeta. Esta unidad aflora continuamente con dirección N-S en el flanco oriental del área estudiada, con un fuerte escarpe en el costado occidental del valle del Río Tunjuelo en el cerro Doña Juana.

Formación Usme (Tu)

Fue definida por Hubach en 1957 y redefinida por Julivert en 1963 (*en*: Ingeominas, 1988). La Formación Usme aflora hacia ambas vertientes de la cuenca, desde el estrechamiento de la Serranía Juan Rey – Guacamayas. Se encuentra discordantemente sobre la arenisca de La Regadera y está constituida por dos niveles; el inferior constituido principalmente por arcillolitas grises con ocasionales intercalaciones de areniscas de grano fino y el nivel superior constituido principalmente por areniscas cuarzosas de grano grueso y conglomerados de grano fino. Se le asigna una edad Eoceno Superior.

Formación Tilatá (Qt)

Fue descrita originalmente por Sheibe en 1933, redefinida por Julivert en 1961 (*en*: Loboguerra, 1994). Está compuesta por gravas y gravillas de cuarzo y lidita, arena de cuarzo rebajado, limo, arcilla, turba y numerosas niveles de piroclastos finos en capas lenticulares poco consolidadas. Reposa discordantemente sobre las unidades anteriores y fue originada por sedimentación lacustre del paleo-lago de la Sabana, pero se encuentran bajo los sedimentos lacustres superiores de la Sabana (Formación Sabana).

Cuaternario

Los depósitos inconsolidados que conforman las zonas geomorfológicas planas y de piedemonte se clasifican de acuerdo con su aspecto morfológico, origen y composición. Las unidades anteriores que forman los niveles de terrazas, se presentan cubiertas por los depósitos Cuaternarios de diferente forma, textura, y composición. Estos se pueden diferenciar como depósitos aluviales de terraza (Qts, Formación Sabana), Depósitos fluvio-glaciares (Qgl), Complejo de Conos Aluviales del Tunjuelo (Qcc), Coluviones (Qcr), Depósitos Lagunares (Qdl), Aluvión Reciente (Qal), y desechos de construcción, como relleno y rellenos sanitarios (Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997a).

Formación Sabana (Qts)

La formación está referenciada como relleno de la Sabana de la Cordillera Oriental. Está descrita como depósitos lacustres paludales y marginales distribuidos en las planicies. Esta formación ha sido conocida como terraza alta (Formación Tilatá) y terraza baja (Formación Sabana), las cuales se depositaron sobre los conos fluvio-glaciales del Río Tunjuelo. En la cuenca afloran en las partes bajas y en el valle de algunas quebradas. Litológicamente, la parte inferior es un conglomerado de gravas de cuarzo y chert, con el cual se encuentran bolsas de arenas y paleocauces con arcillas verdes y grises. La morfología de estos depósitos es plana con amplio desarrollo de cárcavas.

Coluviones (Qcr)

Es un depósito de fragmentos subredondeados a redondeados de rocas sedimentarias con tamaños variables, desde bloques hasta arenas, en una matriz limo-arcillosa mal seleccionada y generalmente con desarrollo de suelos. Su morfología es un lóbulo, generalmente con grietas producidas por movimientos. Son depósitos de ladera resultantes de la fracturación y el arrastre que han sufrido los materiales provenientes de zonas fracturadas con alta pendiente que facilitan su movimiento por gravedad. Los depósitos provenientes de las unidades arenosas se presentan principalmente en el piedemonte, a partir del Grupo Guadalupe y las formaciones suprayacentes. Estos coluviones y taludes están constituidos por matriz de guijos y bloques. Debido a su composición granulométrica, son de depósitos con una alta permeabilidad. Pueden alcanzar espesores de más de 30 m y por su poca compactación son depósitos con un comportamiento geotécnico muy pobre.

Depósitos fluvioglaciales (Qfl)

Corresponden con conos de origen fluvio-glacial ubicados en la parte alta del valle del Río Tunjuelo, principalmente en su lado oriental y en menor proporción por el occidental, que confluyen al valle para formar el complejo de conos del Tunjuelo.

Complejo de conos del Río Tunjuelo (Qcc)

Es descrito y definido como fragmentos de varios conos que descendieron de la vertiente este del valle del río y se fusionaron en él para formar un fondo aluvial. Esta unidad es observable en las explotaciones de grava dispuestas sobre las márgenes del río; está compuesta por bloques, cantos y gravas de arenisca y chert, redondeados a subredondeados, con buena selección y en matriz areno-limosa color gris. Presenta intercalaciones lenticulares de arenas con estratificación plano-paralela y cruzada.

Aluvión reciente del río (Qal)

Son acumulaciones actuales del río de material limo-arenoso con gravas que varían de color marrón a amarillo. Corresponde a zonas donde suelen desbordarse los cauces. Son materiales en tránsito transportados por las corrientes y que conforman el lecho actual del cauce. Se presentan como acumulaciones de fondo, a manera de barras laterales o medias dentro del cauce. Asociadas a ellos, es frecuente encontrar acumulaciones de basuras y desechos de todo tipo que son arrojados al cauce, ocasionando así disminución de la sección, factor que facilita el taponamiento de las estructuras existentes, generándose desbordamientos del cauce en épocas de crecidas.

Material de relleno (Qcr)

Estos depósitos Cuaternarios corresponden a desechos y basuras dispuestos en su gran mayoría en zonas bajas que se han llenado con material heterogéneo proveniente de excavaciones en zonas a urbanizar, material de construcción y rellenos de desechos de la ciudad. Estos depósitos pueden alcanzar hasta el borde de la terraza alta y en algunos sitios han sido utilizados para cimentación de urbanizaciones. En algunas zonas se han realizado excavaciones en sectores arcillosos e impermeables donde se han sepultado desechos de basuras.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Dentro de la zona del Río Tunjuelo, la región montañosa es compleja desde el punto de vista tectónico, lo cual se manifiesta en las variadas direcciones de sus estructuras y en complicados sistemas de fallas de diferente tipo y escala. Generalizando, la estructura de la sabana es una estructura plegada con asimetría de sus pliegues, presencia de fallas e inversiones en la posición de los estratos (Moreno, 1995).

Ingeominas (1988) considera tectónicamente el área de la Sabana de Bogotá dividida en tres grandes bloques: Bloque oriental levantado (Anticlinal de Bogotá, cerros surorientales, limitado con el flanco oriental del sinclinal de Usme por la falla de Bogotá); Bloque central hundido (Sinclinal de Usme Tunjuelo, limitado al oriente por la Falla de Bogotá y al occidente por la Falla de Mochelo), y el Bloque occidental levantado (Anticlinal de Cheba-Wuiba limitado al oriente por la falla de Mochuelo y al occidente por el valle y la falla del Río Soacha).

Dentro de estos bloques tectónicos se encuentran estructuras de plegamiento y callamiento que configuran morfológicamente el paisaje estructural que se conoce hoy, en cuyo núcleo se ubica el valle aluvial del Río Tunjuelo, centro de atención del presente estudio, que está influenciado por las mencionadas estructuras de carácter regional y

local, las cuales serán descritas a continuación con el fin de clarificar los principales rasgos tectónicos en el área.

Se pueden mencionar además tres tendencias estructurales principales, definidas a partir de los sistemas de fallas reconocidas como límites de los bloques tectónicos relacionados en la literatura, así: la dirección N-NW, que predomina y controla la posición de las rocas a escala regional, y la dirección N-E que dispone las estructuras regionales (pliegues y fallas) dentro de los bloques tectónicos. Existe como tercera tendencia, lineamientos y direcciones estructurales de menor envergadura, pero de igual importancia de los análisis, tanto estructurales como de estabilidad y susceptibilidad de riesgo, como son la N-W, E-W y N-NE, las cuales influyen de manera más localizada.

Se relacionan y describen por ubicación geográfica, de manera secuencial de oriente a occidente, las principales estructuras tectónicas regionales y locales descritas en la literatura (Moreno, 1995; Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997a; Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997b).

Anticlinal de Bogotá

Se ubica al este del Sinclinal de Usme, correspondiente con los Cerros Orientales conformados por rocas competentes del Grupo Guadalupe, donde nace la mayoría de las quebradas afluentes en la margen derecha del Río Tunjuelo. Es una estructura asimétrica y estrecha con orientación N-S a N-E, N-W, afectada en su núcleo por la Falla del Alto del Cabo, fuera del área del presente estudio y en su flanco occidental está afectada por la Falla de Bogotá. De oriente a occidente, la estructura ha sido afectada por fallas de tendencia E-W. En su parte meridional, su flanco occidental constituye el flanco oriental fallado del Sinclinal Usme.

Falla de Bogotá

Es un cabalgamiento con rumbo N15°E y buzamiento suave al suroriente que corta y levanta el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá y pone en contacto las rocas del Grupo Guadalupe de edad Cretácica con rocas terciarias de la Formación Bogotá. Su rasgo morfológico está representado por el escarpe topográfico de la serranía que circunda el perímetro urbano y que produjo y ha producido los materiales de bloques de las grandes colusiones fluviales y fuvio-glaciales del piedemonte sabanero, así como los coluviones que reposan discordantemente sobre las formaciones más recientes expuestas en los flancos de las estructuras.

Sinclinal Usme-Tunjuelo

Se conoce como Sinclinal Usme-Tunjuelo a la estructura que forma el valle aluvial del Río Tunjuelo y sus afluentes, como la más importante del sur de la Sabana de Bogotá. Es un pliegue muy amplio y asimétrico, con un rumbo preferencial N-NE a S-SW. Presenta su cierre hacia el norte bajo los sedimentos Cuaternarios de la sabana; debido a la actividad tectónica regional presenta frecuentes inversiones en la posición de sus flancos. Como se mencionó, su límite oriental es la Falla de Bogotá y el occidental la falla Mochuelo-Anticlinal de Cheba-Quiba. Trabajos previos a los citados, sectorizan los dos flancos de la estructura sinclinal con base en la disposición de los estratos de las unidades aflorantes en el sentido de capas normales o invertidas, y en la presencia de fallas menores en cada uno de ellos, como son las fallas de la Fiscala-Bogotá y Hierbabuena-Mochuelo y otras menores.

Falla de Mochuelo

Es una falla que limita el bloque levantado del flanco occidental del Sinclinal de Usme y tiene una dirección preferencial NW-SE. Hacia el sur pone en contacto rocas del Grupo Guadalupe con rocas de la formación Bogotá, y en el área de Ciudad Bolívar pone en contacto rocas de la Formación Guaduas con rocas de la Formación Bogotá. Esta falla representa morfológicamente de manera regional, el límite entre la región montañosa estructural plegada y las unidades morfológicas agradacionales al borde de la zona plana del valle del Río Tunjuelo. Al occidente de la falla se encuentran estructuras tales como el Anticlinal de Cheba-Quiba y fallas como las de Sucre, Calderón, Terreros, Limas y Primavera, los cuales junto con pliegues menores afectan el bloque tectónico regional de occidente.

Falla de Terreros

Es una falla inversa que corta el flanco este del Anticlinal de Cheba, en sentido NW-SE, causando un levantamiento de su bloque occidental. Su continuidad hacia el NW se enmascara bajo los sedimentos Cuaternarios, aproximadamente bajo el Humedal Tibanica. Su mayor desplazamiento lo causa en el borde NW, donde pone en contacto a las formaciones Arenisca Dura y Guaduas. Hacia el SE disminuye su influencia hasta desaparecer. Su plano se inclina hacia el occidente, con buzamientos entre los 45° y los 80° grados. Entre la Falla de Mochuelo y la de Terreros se ubica una serie de pliegues de mediana escala que constituyen una especie de transición del Anticlinal de Cheba al Sinclinal de Usme.

Falla de Yerbabuena

Definida por Ingeominas (1988), presenta una orientación N30°E y un buzamiento de 80° hacia el sur este. Los depósitos del cono del Tunjuelo allí presentes y cortados para la vía en ambas márgenes del río se observan basculados y diaclasados que evidencian geotectónica.

Falla de La Primavera

Definida por Ingeominas, tiene una orientación N50°E. Tanto la falla de Yerbabuena como la de Primavera y las diaclasas y microfallas dentro del cono del Tunjuelo es EN-SW. Esto permite asumir que este sistema de fallas en el flanco occidental del sinclinal puede ser activo.

Anticlinal de Cheba-Quiba

Conforma el denominado bloque occidental levantado, conocido también como el Anticlinal Quiba -Paráiso. Esta estructura presenta una dirección S-N y morfológicamente representa una estructura alargada, abrupta y estrecha, con un núcleo con rocas normales en posición normal y sus flancos con rocas en posición invertida y falladas, con tendencias N-W a S-E a S-W y E-W, que forman estructuras anticlinales y sinclinales estrechas y cortas.

La estructura regionalmente está cubierta en su mayoría por suelos negros y afectada tectónicamente por fallas y pliegues menores. Sobre el núcleo se observan areniscas masivas de la Formación Arenisca Dura. El flanco oriental está compuesto por lodositas y arenas de las formaciones Plaeners, Labor y Tierna, no diferenciadas dentro de la cartografía y con zonas afectadas por callamiento N-W a S-E, dentro de las cuales se pueden mencionar las fallas de Limas, Volador, Cordillera y Terreros. El flanco occidental con estratos de las formaciones Arenisca Dura y Plaeners y fallas como las de Calderón, Sucre y Terreros.

Localmente se observan depósitos de coluviones y aluviones recientes; morfológicamente la estructura se muestra con un relieve suave en el núcleo, una arcilla sobresaliente al oriente y una cresta menor al occidente. Su límite oriental es la falla de Mochuelo y el occidental el valle y la falla del Río Soacha.

Pliegues y fallas menores

Son pequeños anticlinales y sinclinales, principalmente sobre la Formación Guaduas. Se explican a partir del carácter arcilloso de la unidad y del comportamiento incompetente de dichas rocas. Todos son de escala menor a media y están ubicados entre la represa de Terreros y el sector del Humedal Tibanica, afectando a las formaciones Arenisca Dura y Plaeners.

El sistema de fallas E-W tiene escasa importancia. Incluye fallas de mediana importancia en la parte sur del Sinclinal del Río Soacha y también algunas fallas de tipo normal, con desplazamientos menores a 10 m y que aparecen al norte de la Represa de Terreros. La zona ubicada de la represa de Terreros hacia el sur, hasta la altura del Humedal Tibanica, presenta un buen grado de fracturas y diaclasas de gran longitud en rocas de las formaciones Plaeners y Arenisca Dura. La zona ubicada al norte de Terreros y conformada por la Formación Guaduas, se encuentra afectada de manera muy constante por diaclasas asociadas en su mayoría a las fallas de mediana y pequeña escala que allí abundan, así (Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997a):

Falla de Soacha

El valle del río Soacha tiene el carácter de una estructura sinclinal, con ángulos de buzamientos entre 45° y 50° y en ocasiones hasta 80°. Este valle presenta muy cerca del Río Tunjuelo, el trazo de la falla de Soacha que sirve de límite tectónico entre el Grupo Guadalupe y la Formación Guaduas.

Falla El Rincón

Su rumbo tiene un trazo aproximado de N97°E, el cual puede seguirse a lo largo del carretable que conduce al Rincón. Es una falla de rumbo, de carácter dextral que pone en contacto las formaciones de Guadalupe Superior con unidades Terciarias. Fallas normales de poco salto se le asocian y la cortan en ángulos de 35° a 50°. Se han observado a lo largo de 3 Km de longitud y en gran parte están cubiertas por el Cuaternario.

Falla Cordillera

Con rumbo N30°W, es una falla normal de poco salto, que afecta rocas de parte del Grupo Guadalupe Superior. A la altura del barrio cordillera invierte los estratos y presenta una zona de brecha que ha originado coluviones con gran cantidad de bloques de arenisca.

Falla de Sucre

Corta el flanco E del Anticlinal de Cheba, poniendo en posición normal su bloque oriental. Al parecer se prolonga al norte bajo el relleno cuaternario, disminuyendo así su desplazamiento vertical y siendo cortada por la Falla de Terreros. Se desconoce qué tipo de falla es, pues por su trazo parece que tiene un plano de falla casi vertical.

Falla de Quiba

Su trazo tiene dirección aproximada N45°E y determina el recorrido de la Quebrada Limas y su tributario occidental, por el cual continúa hasta desaparecer bajo los sedimentos Cuaternarios. Es una falla oblicua que comprende una componente longitudinal y otra

vertical de desplazamiento. Posee un salto pequeño. Su longitud es de 4 Km aproximadamente.

Falla Jerusalén

Es una falla con dirección N90°W; su trazo no es fácil de observar pues está casi totalmente cubierta por depósitos Cuaternarios. Se desplaza más o menos paralela al cauce afluente de la Quebrada Peña Colorada.

Inversiones

En el flanco occidental del Sinclinal de Usme, dentro de la cuenca del Río Tunjuelo, sector Mochuelo-Doña Juana, se presenta una inversión notable que involucra rocas cretácicas y terciarias. En el Cerro Doña Juana, la Formación Regadera llega a tener buzamientos de 40°W en posición estructural invertida. El volcamiento es fruto de determinados esfuerzos; generalmente la inversión de las capas superiores es debida a fenómenos gravitacionales. Algunas inversiones son frecuentes en replegamientos de unidades incompetentes y que fácilmente se deforman por acción de la gravedad o fallamiento intenso.

Dentro de la cuenca del Río Tunjuelo, la región montañosa del sector de Terreros es compleja desde el punto de vista tectónico, lo cual se manifiesta en las variadas direcciones de sus estructuras y en los complicados y abundantes sistemas de fallas de diferente tipo y escala. Generalizando, se pueden mencionar tres tendencias estructurales principales, definidas como sistemas de fallas, así: la dirección N-NW, que predomina y controla la posición de las rocas a escala regional, y la dirección NE. Se menciona además otras tendencias, como NW, E-W y NNE, las cuales influyen de manera más localizada como en el sector de Terreros. Al sur y NE de la represa de Terreros hay una serie de fallas de menor escala y alineamientos que podrían ser diaclasas de gran continuidad. Finalmente, hay fallas menores y de escala media en el flanco E del anticlinal de Soacha. Los pliegues se pueden agrupar en dos: al SW del área, asociados a la falla San Eugenio-Chusacá y los del NE del área, asociados a las fallas inversas de Terreros.

GEOMORFOLOGÍA

Geomorfología regional de la Sabana de Bogotá

Geográficamente, la Sabana de Bogotá es una cuenca cerrada de la Cordillera Oriental colombiana, rodeada por cerros y sierras que alcanzan hasta los mil metros por encima del nivel promedio. La parte plana fue un lago de montaña alta, del cual quedan aún remanentes lacustres como la Laguna de la Herrera. Posee como principal drenaje el Río Bogotá, cuya única salida al suroccidente es el Salto del Tequendama. La longitud total de la altiplanicie desde el extremo sur, cerca de Sibaté, hasta Nemocón en el norte, es de unos 80 Km; entre Bojacá en el occidente y Usaquén en el oriente, su anchura es de 37 Km. Desde allí, el lago desecado se estrecha hacia el norte y nororiente, dividiéndose casi en forma digital en las ramas de Facatativa, Subachoque, Tenjo-Tabio, Cota-Chía, Cajucá-Zipacquirá hasta el norte de Nemocón, y en el brazo de Tocancipá-Suesca (Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997b).

Actualmente la Sabana de Bogotá tiene un régimen climático semiárido, clasificado como zona de bosque montano bajo. Sin embargo, hasta no hace muchos años, la Sabana de Bogotá, Cordillera Oriental de Colombia se mantenía en un estado pantanoso. Aún hoy en día, en inviernos prolongados, las riberas de los ríos Tunjuelo y Bogotá sufren inundaciones y se presentan alternadamente períodos muy secos.

El valle aluvial del Río Tunjuelo está localizado dentro de la parte suroriental de la Sabana de Bogotá, Cordillera Oriental de Colombia, Departamento de Cundinamarca. Está constituido en sus flancos y en el subsuelo por rocas sedimentarias que abarcan edades desde el Cretácico al Terciario, cubiertas con los rellenos Cuaternarios de la sabana que están representadas por las formaciones Sabana y Tiltá, rellenos lacustres del antiguo lago que cubría la sabana.

Descripción general

El área de estudio está localizada dentro de la parte suroriental de la Sabana de Bogotá, Cordillera Oriental de Colombia, Departamento de Cundinamarca, y específicamente entre los límites de los municipios de Soacha y el Distrito Capital y las áreas del humedal aledañas al Río Tunjuelo.

La caracterización del proceso evolutivo del área perimetral y su morfogénesis, el relleno de las márgenes del humedal Tibanica y el área inundable de Potrero Grande, así como la dinámica fluvial de la Quebrada Tibanica en el sector de influencia, asociado al acelerado proceso de urbanismo a que está siendo sometido la zona perimetral del humedal, se realizó a partir de información secundaria.

El humedal de Tibanica y el área inundable de Potrero grande constituían un solo cuerpo. Para este estudio se consideró separadamente, encontrándose que su área en 1940 era de 277 Ha y se extendía hasta la Autopista Sur. El límite legal para Tibanica posee una extensión de 28.8 Ha equivalentes al 10% del área anteriormente mencionada. En la actualidad cuenta con un área de 3 Ha aproximadamente que corresponde al 1% del humedal original. La tasa de reducción ha sido de 1% anual, deduciéndose que prácticamente al humedal le queda muy poco para extinguirse.

Para el área inundable de Potrero Grande el área estimada es de 36 Ha, significando un 12% de extensión del humedal original (Ecology and environment e Hidromecánicas, 1998).

A continuación, se describen los aspectos geomorfológicos más relevantes al planeamiento urbano. Las diferentes unidades geomorfológicas presentes en el área de influencia del humedal, son el resultado, no sólo del tipo de roca o sedimento encajante, sino también de los diferentes eventos tectónicos y de los procesos denudativos y morfogenéticos que han estado actuando hasta el presente, ayudados por la influencia antrópica incrementada en los últimos años por el desarrollo incontrolado del urbanismo (Moreno, 1995).

El área de influencia del humedal se puede dividir en dos unidades morfológicas bien definidas, una montañosa y otra plana, las cuales corresponden a unidades de tipo estructural plegada, donde la morfogénesis predominante es deductiva y estructural y de tipo agradacional o acumulativa a partir del material arrastrado por las corrientes y procesos erosivos, asociados en las últimas etapas a procesos de acumulación lagunar (Moreno, 1995).

En la primera unidad la industria gravillera ha creado una morfología dominada por grandes depresiones, con taludes semiverticales y coronas de talud conformadas por obras de contención y adecuación del río (principalmente jarillones).

Igualmente, en la segunda unidad, antes de su descarga al Río Bogotá, el cauce ha sido modificado por la adecuación con jarillones de contención, que hacen que el nivel del río sea superior al de la llanura de inundación. En este último tramo se presenta una serie de depresiones inundables correspondientes a bajos topográficos (Compañía de estudios e interventorías Ltda., 1997b).

Unidad estructural plegada

La unidad montañosa corresponde a la parte suroriental del área. Está caracterizada por alturas hasta de 3.200 m.s.n.m., formando cerros de diferente tipo que están controlados por las estructuras geológicas que afectan las rocas sedimentarias Crétaceo-Terciarias allí aflorantes. Algunas de esas estructuras se prolongan en profundidad hacia el norte, dando origen a colinas aisladas en medio de la altiplanicie (Moreno, 1995).

Unidades agradacionales

Corresponden con la zona plana que está circundando al sector montañoso, conforme con la denominada altiplanicie de la Sabana de Bogotá y alcanza su mayor amplitud al occidente y norte del área estudiada; está constituida por el relleno sedimentario cuaternario, conformado por unidades de tipo agradacional generadas por procesos morfodinámicos de sedimentación y acumulación bajo condiciones fluviales y lacustres. Estas unidades corresponden a los depósitos Cuaternarios de conos aluviales, terrazas, depósitos aluviales, lagunares y rellenos.

Depósitos Cuaternarios (Q)

Los depósitos inconsolidados y semiconsolidados se clasifican como unidades geomorfológicas teniendo en cuenta su aspecto morfológico, origen, composición y textura. Se han diferenciado Conos Aluviales (Qtc), Terrazas Altas (Qta), Terrazas Bajas (Qtb), Depósitos Aluviales (Qal), Depósitos Lagunares (Qdl) y Material de Relleno (Qr).

Conos Aluviales (Qtc)

Dentro de este término se agrupan los conos fluvio-glaciares como el del Tunjuelo, conos aluviales como el de Soacha, cono de derrubios de Terreros y los conos aluviales del piedemonte oriental de Bogotá.

- *Cono del Tunjuelo.* De manera regional, aflora en la cuenca del Río Tunjuelo desde el barrio Meissen hacia el sur. Tiene una morfología plana con ligera pendiente hacia el norte. Su espesor aumenta gradualmente de sur a norte, siendo aproximadamente de 100 m en el sector de las gravilleras del Tunjuelo, donde se compone de gravas, cantos y bloques redondeados hasta de 1,5 m de diámetro, todo esto dentro de una matriz areno-arcillosa, mostrando una estratificación clara. Su selección de tamaño es mala en esta parte alta pero va gradualmente mejorando hacia el norte, donde no aflora, pues yace cubierta bajo depósitos más recientes de composición esencialmente arcillosa.

Este cono tiene su ápice en el sector de Usme y su parte distal en los barrios de Bosa, Class, Kennedy y Bavaria, definido por su morfología ligeramente inclinada hacia estos sectores. Su límite distal es aterrazado y fácilmente cartografiable cuando está en contacto con la terraza baja y con la llanura aluvial del Río Tunjuelo, pero es difícil delimitarlo cuando está en contacto con la terraza alta y sólo se infiere por un ligero cambio de pendiente.

- *Conos de deyección o abanicos aluviales.* Estos depósitos se distribuyen a lo largo de todo el borde montañoso o piedemonte de la sabana, pero se distinguen por su gran extensión como los que circundan a Bosa y Soacha. Tienen pendientes bajas y sus espesores oscilan desde 5 m hasta los 20 m, se componen de gravas y bloques en matriz areno-arcillosa, disminuyendo el tamaño de los fragmentos hasta ser arcillas y arenas en las partes más alejadas de la montaña. Su selección de tamaño varía de muy mala a regular. Los conos de Soacha y Terreros son tal vez los de menor espesor; en el caso de Soacha se evidencia que es aluvial, con un mayor transporte y

una mejor selección que el cono de Terreros, el cual refleja un transporte muy corto y cuyas fuentes principales fueron las lutitas silíceas del Grupo Guadalupe.

- *Coluviones*. Son depósitos que forman las laderas y se encuentran esparcidos en el área a manera de "parches" de diferente extensión, pero se concentran especialmente en la zona montañosa ubicada entre los ríos Soacha y Tunjuelo. Estos depósitos normalmente tienen pendientes entre los 5 y 30° debido a que son originados esencialmente por acción de la gravedad. Tienen espesores muy variables que oscilan normalmente entre 1 y 12 m, pero a veces alcanzan los 30 m. Su composición es de fragmentos de arenisca de muy diferentes tamaños (0,05 hasta 3 m de diámetro), angulosos y que se encuentran embebidos dentro de una matriz areno-arcillosa. Su selección de tamaño, por tanto, es muy mala y carece de estratificación.
- *Suelos residuales*. Se asocian a estos depósitos los suelos residuales producidos por la meteorización o intemperismo de las rocas especialmente incompetentes que no han sufrido transporte y que se han conformado sobre pendientes topográficas.

Dentro de este grupo se encuentra los conos de deyección de Terreros y Soacha. Es la unidad más importante, constituida por material grueso de gravas, guijos y bloques, tiene una gran importancia económica debido a su calidad excepcional para concretos. Su límite distal es aterrazado y fácilmente cartografiable en contacto con la terraza baja y la llanura aluvial del Río Tunjuelo. Algunos autores denominan a esta unidad como formación Tunjuelo, ya que en su mayoría corresponden a conos similares, tanto a nivel composicional como textural, al abanico del Río Tunjuelo al suroriente de la ciudad, y todos han tenido su origen de tipo fluvial similar aunque en menores proporciones.

Para el sector del humedal, se han considerado similares los conos de gravas y clastos en matriz arcillosa que circundan los cerros de Terreros y Soacha, cuyo registro se ha detectado por medio de perforaciones para construcciones en áreas aledañas.

Los coluviones asociados son depósitos de ladera, resultantes de la fracturación y el arrastre que han sufrido los materiales provenientes de zonas fracturadas con alta pendiente que facilitan su movimiento por gravedad. Los depósitos provenientes de las unidades arenosas, tales como el Grupo Guadalupe y la formación Guaduas, se presentan principalmente en el piedemonte de los cerros de Terreros.

Estos conos y coluviones están constituidos por bloques en una matriz de guijos y gravas. Debido a su composición granulométrica, son depósitos con una alta permeabilidad, pudiendo alcanzar espesores de más de 30 m. Por su poca compactación son depósitos con un comportamiento geotécnico muy pobre.

Terraza Alta: (Qta)

Se trata principalmente de una superficie plana ligeramente ondulosa y que está disectada por el Río Bogotá y algunos de sus tributarios. En términos generales, esta unidad está constituida por materiales predominantemente arcillosos con intercalaciones de niveles arenosos y gravas, pobremente estratificadas principalmente de forma lenticular, el cual es correlacionable con la Formación Sabana.

Los niveles arenosos y de grava dentro de la unidad, reportados a través de perforaciones, se estiman con una porosidad primaria que les permite considerarse como acuíferos importantes. Los niveles arcillosos y limo-arcillosos se estiman con una porosidad primaria baja y muy baja. El límite de esta unidad, tanto en la terraza baja como la llanura aluvial, es claramente identificable y se manifiesta por la presencia de un

escarpe aproximadamente de 1 m de espesor, que circundan el humedal y representan en algunos casos el lecho mayor de los principales ríos que disectan la Sabana.

Se considera esta unidad como el resultado del relleno lacustre de la Sabana de Bogotá y las denominadas formaciones Tilatá y Sabana. Estudios recientes de Ingeominas (1985) consideran la terraza alta como continuidad de los depósitos de conos y de los depósitos dejados por el Río Bogotá, transportados por las corrientes y con una expresión morfológica diferenciable.

Terraza Baja: (Qtb)

Comprende los depósitos antiguos originados por los ríos Bogotá y Tunjuelo. Está representada por superficies planas a ligeramente onduladas y poco disociadas que se elevan sobre el nivel de las llanuras aluviales actuales. Su composición es predominantemente limo-arcillosa. Su contacto con los conos y la terraza alta es neto y se marca con un escarpe suave.

Se caracteriza por ser la zona donde se presentan frecuentemente inundaciones y donde se encuentran los humedales y pantanos de la Sabana de Bogotá.

En el sector del humedal se restringe a los depósitos sobre la llanura aluvial o los depósitos lagunares (Qdl) que lo conforman, por tal razón su diferenciación en las diferentes restituciones se enmascara con los cambios en las condiciones del humedal en general por su desecación, incremento de vegetación de pastos y el avance del relleno sobre las laderas de las terrazas baja y alta y del mismo humedal, como en el caso del barrio Los Olivos.

Llanura Aluvial (Qal)

Las llanuras aluviales han sido formadas por la disección de las terrazas alta y baja y de los conos que corresponden a los depósitos más antiguos. Esta disección ha sido generada por los ríos Bogotá y Tunjuelo, principalmente, los cuales han cortado y erosionado los depósitos.

Dentro de la llanura aluvial se destacan los depósitos de aluvión, los cuales se encuentran en los costados de los ríos y quebradas que atraviesan la ciudad. Los canales han sido excavados por cursos de agua, junto con los depósitos acumulados en los bordes de los cauces. En el valle del Río Bogotá, esta unidad se extiende en sentido noreste-suroeste, presentando unos 500 a 600 m de anchura, que luego se van ampliando hacia el suroeste del valle hasta alcanzar una anchura de unos 6 a 7 Km al suroeste de Soacha.

Esta llanura aluvial, en el área del humedal se restringe al perímetro interno y a la zona de divagación del Río Tunjuelo en cercanías a la confluencia, donde su dinámica actual está controlada a partir de diques artificiales, pero en épocas anteriores fue muy intensa y su registro permite diferenciar divagación de cauces y meandros, depósitos de desborde, depresiones o bajos inundables, hoy cubiertos por el intenso urbanismo al que está sometida la llanura aluvial del río.

Corresponden a los depósitos más recientes, formados por las mayores corrientes fluviales. Entre ellos se destacan los correspondientes a los ríos Bogotá, Tunjuelo, Soacha y sus tributarios, pero también los hay a lo largo de algunas quebradas de tamaño intermedio en la parte alta de la Quebrada Tibanica, los cuales han disectado y erosionado los depósitos más antiguos correspondientes al complejo de conos y a las terrazas altas y bajas anteriormente mencionadas. Estos depósitos se caracterizan por estar ubicados a lo largo de las corrientes y por la redondez de los fragmentos que los

forman, los cuales varían en tamaño desde gravas hasta limo, su espesor en las quebradas no sobrepasa los 2 m, siendo mayor en los ríos donde alcanza los 30 m.

En esta zona se presentan fenómenos de dinámica fluvial, donde el Río Tunjuelo migra longitudinalmente, corta y abandona sus meandros, forma albardones o jarillones, especialmente en las zonas de migración lateral asociados a depósitos de barras, geformas que se encuentran enmascaradas por acción del hombre.

En el valle lagunar de Tibanica la llanura aluvial es angosta y se caracteriza por presentar sitios con depresiones inundables que han permitido la formación de paleo-lagunas como la de Potrero Grande. En este sector el contacto actual con la terraza alta está enmascarado con depósitos de relleno que han tratado de nivelar estas llanuras aluviales con la terraza alta.

La llanura aluvial, en el área del humedal se restringe al perímetro interno y a la zona de irrigación del Río Tunjuelo en cercanía a la confluencia de la Quebrada Tibanica, donde su dinámica actual está controlada por su rectificación y a partir de diques artificiales, lo que en épocas anteriores fue muy intenso y su registro, permite diferenciar divagación de cauces y meandros, depósitos de desborde, depresiones o bajos inundables, hoy cubiertos por el intenso urbanismo al que está sometida la llanura aluvial del río en cercanías de su confluencia con el Río Bogotá.

Depósitos Lagunares (Qdl)

Como se han descrito anteriormente, los depósitos lagunares corresponden casi totalmente a la parte central y plana en el la cuenca del Río Tunjuelo, constituyendo el principal depósito inconsolidado que relleno la parte superior de la sabana. Como su nombre lo indica, se trata de sedimentos de origen principalmente lacustre y algo de origen fluvial, que según información de pozos están compuestos esencialmente por arcillas gris verdosas, amarillas y marrones, arenas arcillosas y en menor cantidad arenas finas, también hay algunas capas de turba y restos vegetales dentro de las arcillas.

Rellenos (Qr)

Estos depósitos recientes corresponden en su gran mayoría a zonas bajas o pantanosas dominio del río como meandros abandonados y bajos inundables y el talud de las terrazas alta y baja, que han sido rellenos con material heterogéneo, proveniente de excavaciones en zonas a urbanizar, restos de material de construcción y rellenos de desechos de la ciudad. Estos depósitos pueden alcanzar hasta el borde con la terraza alta y en algunos sitios han sido utilizados para cimentación de urbanizaciones.

En algunas zonas se han realizado explanaciones de las depresiones naturales para el relleno de basuras en sectores arcillosos e impermeables donde se han sepultado desechos, como en el caso del área de los barrios Juan XIII y Carlos Alban, antigua parte del humedal y depresión inundable, donde las restituciones de diferentes épocas permite identificar diversos períodos de relleno (Moreno, 1995).

El modelado del relieve presenta variaciones debido a las diferencias en composición litológica de las unidades aflorantes, así como también en el tamaño del grano y en la resistencia al ataque de los agentes meteorizantes. De esa manera, se pueden diferenciar unidades geomorfológicas predominantemente arenosas con topografía abrupta y escarpada donde el ataque de los agentes meteorizantes no han logrado denudar y modelar fácilmente su relieve original, mientras que las unidades geomorfológicas en taludes de pendiente baja a moderada corresponden a unidades litológicas fino-granulares, blandas y fáciles de ser atacadas y modeladas por los agentes denudativos.

Se puede considerar que dentro del área de estudio los agentes erosivos más importantes que han actuado son el agua, dentro del régimen climático, y por otro lado, el hombre que ha originado un proceso destructivo del paisaje natural principalmente en las zonas aledañas al humedal.

El proceso erosivo de mayor importancia que afecta el área ha sido la erosión fluvial, cuyas evidencias pueden observarse a lo largo de las corrientes principales. La formación de las terrazas bajas y la llanura aluvial, así como la modificación parcial de los cauces de los ríos revelan una profundización del cauce de estas corrientes, en las terrazas altas y conos aluviales antiguos, dentro de la parte peniplanizada de la sabana.

Diques o Jarillones

Corresponden a los límites de los actuales canales construidos para encausar la red de drenaje de escorrentía, a la cual le han adicionado las aguas servidas del sector y de los barrios circunvecinos. La mayoría de ellos se encuentran elaborados desde hace muchos años, aproximadamente desde 1950 y han sido mantenidos y mejorados para evitar desbordamientos.

Ocurren prácticamente a todo lo largo del canal de Tibanica, y demás colectores del sector. Limitan el canal de Tibanica, límite geográfico entre el municipio de Soacha y el Distrito Capital. A partir de 1992, se levantó un nuevo dique que separa la zona urbanizada de Los Olivos del sector de la antigua Laguna de Potrero Grande.

La mayoría de estos jarillones han sido levantados por los mismos propietarios de ambas márgenes del canal con materiales propios del fondo del mismo canal y han causado también ampliación del ancho del cauce y profundización de los mismos.

Depresiones inundables

Corresponden con los bajos topográficos existentes en las zonas de terrazas y la llanura aluvial, las cuales pueden ser inundadas de manera esporádica en épocas de alta pluviosidad o también pueden permanecer permanentemente inundadas si tienen una fuente, tales como manantiales de aguas subterráneas, corrientes permanentes o colectores de aguas domésticas.

Zonas geomorfológicas

Teniendo en cuenta los procesos modeladores del paisaje discutidos anteriormente, regionalmente en el área de la Sabana de Bogotá se han reconocido cinco grandes zonas geomorfológicas, cuyas características se describen a continuación, y que han sido redefinidas en los apartes siguientes para el área de influencia del Humedal Tibanica (Compañía de estudios e interventorías Ltda, 1997a)

Zona geomorfológica 1

Corresponde a la unidad definida como estructural plegada y de lomeríos, la cual presenta una morfología abrupta y en algunos sectores escarpada como consecuencia del predominio de niveles arenosos. En los cerros surorientales presenta alternancia de niveles blandos importantes y genera por lo tanto una geomorfología escalonada. La pendiente topográfica varía entre 20 y 70°. Dada la importancia industrial de las rocas que afloran en esta zona, allí se han ubicado algunas canteras donde se han generado fenómenos de remoción en masa y taludes muy pendientes.

Zona geomorfológica 2

Corresponde al piedemonte en los cerros surorientales, donde afloran depósitos de colusión y torrenciales, y cuya pendiente topográfica varía entre 5 y 10°. Esta zona

presenta precarias condiciones de estabilidad, en algunos sectores con procesos de reptación.

Zona geomorfológica 3

Corresponde a la terraza alta, presenta una topografía plana a ligeramente ondulada y disectada tanto por el Río Bogotá, como por sus principales afluentes, como el Río Tunjuelo. Corresponde al fondo del valle antiguo del río y la propia sabana. En general, presenta suelos blandos muy compresibles y de baja resistencia que corresponden con la denominada Formación Sabana.

Zona geomorfológica 4

Comprende las terrazas bajas de morfología principalmente plana a ondulada, sin evidencias importantes de disección y que cubren el lecho mayor de los principales cauces y del propio valle del Tunjuelo. Se encuentra también en los alrededores de los humedales y representa la reactivación de la cuenca del Río Bogotá y sus tributarios, donde la migración de cauces y erosión lateral de estas corrientes han destruido en gran parte esta unidad geomorfológica.

Zona geomorfológica 5

Comprende la parte más baja, caracterizada por ser completamente plana e incluye la llanura aluvial y zonas inundables de los ríos Bogotá, Tunjuelo y otros pequeños tributarios. Presenta principalmente material lacustre; varios sectores están siendo cubiertos por rellenos de desechos de construcción y sanitarios. Esta zona presenta procesos erosivos por divagación, con cauces y meandros abandonados, zonas de desborde, diques naturales y depresiones inundables. Son zonas propensas a ser inundadas por desbordes, algunas de ellas permanecen inundadas o como pantanas.

SEDIMENTOS

Los procesos erosivos en el humedal Tibanica y el área inundable de Potrero Grande se presentan principalmente en las laderas de los suelos de la parte montañosa de las subcuencas de los mismos. También se observan en los sectores con predominio de uso habitacional unifamiliar e industrial. Los productos estimados de sedimentos por año, provenientes de cada subcuenca para estos humedales se calculan en 14.000 ton. para Tibanica y 51.000 ton. para Potrero Grande. Ecology and Environment e Hidromecánicas (1998) señalaron que se esperan problemas de sedimentación al cabo de 12 años para Tibanica y de aproximadamente 3 años para Potrero Grande si no se implementan medidas correctivas, esto hace ya 7 años. Teniendo en cuenta que no se han tomado mayores medidas para el control de sedimentos, las condiciones en la actualidad deben ser críticas.

Se debe destacar que el problema de erosión en la cuenca del Canal de Tibanica se limita a las zonas de las cuencas hidrográficas ubicadas al sur de la Autopista Sur, en donde existe una alta pendiente y materiales susceptibles a este fenómeno y en donde los procesos de erosión y explotación de fuentes de materiales son más fuertes; al norte de la Autopista Sur los fenómenos de erosión son bajos, debido principalmente a las bajas pendientes del terreno y al tipo de material que se encuentra -limos y arcillas de alta cohesión producto de inundaciones de los ríos Bogotá y Tunjuelo- (Estudios Técnicos, 2001b).

Fenómenos de erosión

La erosión es un proceso que consiste en la separación, transporte y depósito de materiales que componen el suelo, por medio de agentes como el agua, el viento y el efecto gravitacional. Este fenómeno evoluciona con el tiempo alterando las formas del terreno. Los factores que aceleran o retardan el proceso de erosión son los siguientes:

- Factores bióticos: están relacionados con la vegetación natural y la implantación de micro- y macrofauna encargada de mantenerlo. La zona de estudio se caracteriza por presentar escasa vegetación de poca altura, que requiere para su sostenimiento volúmenes bajos de agua, ya que subsiste en medios áridos.
- Factores abióticos: tienen relación con la parte física, tales como la pendiente del terreno, tipo de roca y su grado de meteorización, condiciones geológicas y climáticas, características del drenaje e intensidad de los vientos.
- Factores antrópicos: son originados por la acción del hombre, cuyas actividades alteran el paisaje y las condiciones del suelo. De acuerdo con las características de la zona, se destaca la explotación de materiales, los asentamientos urbanos, las zonas de pastoreo y las vías o caminos.

Dependiendo del grado de avance del fenómeno de erosión, esta se puede clasificar en:

- Erosión laminar: erosión en estado incipiente dando origen a la pérdida del terreno en forma de pequeños surcos, normalmente en la dirección de la pendiente del terreno. Este tipo de erosión se ubica en general diseminada indiscriminadamente al sur de la autopista del sur y se ve afectada principalmente por los procesos de urbanización y pastoreo no controlados que se presentan, con mayor afectación en el área de drenaje de la hoya hidrográfica del río Terreros al suroccidente de la Autopista del Sur.
- Erosión en cárcavas: estado de erosión intermedio que consiste en la formación de cárcavas en forma de canales del orden de 0,5 a 2,0 m de profundidad. Este tipo de erosión se presenta en donde la erosión laminar se hace más crítica, y en la zona de la cuenca del canal de Tibanica en las áreas de urbanización no controladas, los taludes de corte de las vías o caminos y las fuentes de explotación de materiales tipo receberas o areneras.
- Erosión en cárcavas profundas: finalmente, la erosión puede degenerar en cárcavas profundas, que son hendiduras de gran tamaño (mayor de 2 m), con flancos de alta pendiente, que pueden dar origen a movimientos en masa. Este tipo de erosión es la más crítica de todas, y en la cuenca del canal de Tibanica está relacionada también con los taludes de corte de las vías o caminos, y en las fuentes de explotación de materiales tipo receberas o areneras.

Las cuencas de los ríos Terreros y Soacha al sur de la Autopista Sur, en las zonas de pendiente alta a moderada, se caracterizan por presentar materiales rocosos con bajo grado de cementación siendo susceptibles a la erosión. De acuerdo con las características geológicas del área, la Formación Tilatá es el material más vulnerable, ya que está compuesto principalmente por arenas, limos y arcillas poco consolidadas, dando origen a la formación de cárcavas de gran profundidad cuando el suelo queda expuesto producto del drenaje natural o artificial de los asentamientos urbanos (Estudios Técnicos, 2001b).

En las zonas pobladas es necesario implementar sistemas de drenaje en las vías por medio de filtros, canales revestidos y la instalación de sistemas de alcantarillado de las viviendas para evitar que la erosión progrese. En las zonas de surcos y cárcavas

recuperables se debe contemplar la construcción de trinchos en piedra pegada o en gaviones dispuestos de manera escalonada a lo largo del eje de cárcavamiento y luego rellenarlos, dejando finalmente una canaleta de drenaje en toda su longitud; las paredes de las cárcavas deben ser recuperadas con vegetación. Las zonas de cárcavamiento frecuente intenso y sus vecindades se consideran de alto riesgo, por lo tanto, no se debe permitir la construcción de viviendas.

Explotación de fuentes de materiales

Sobre las cuencas hidrográficas de los ríos Terreros y Soacha se encuentran varias canteras de explotación en las areniscas fracturadas de las formaciones geológicas. Estas canteras presentan taludes casi verticales y de gran altura, cubiertas por coluviones, soportados con bloques de arena. Sobre la superficie de los taludes de corte se presentan problemas de erosión laminar avanzada y se encuentran cárcavas de gran profundidad cuyos flancos ya presentan problemas de deslizamientos; en la parte alta de las laderas se encuentran, en algunos casos, casas muy cercanas a la corona de los taludes de explotación y de cárcavamiento, por lo que este tipo de zonas presenta alto riesgo y se recomienda su desalojo.

Sobre el terreno explanado por las canteras se encuentran, en otros casos, viviendas, las cuales también deben ser reubicadas por encontrarse, al igual que los anteriores, en un área de alto riesgo por deslizamiento. Debido a la magnitud de los taludes, su recuperación resulta difícil y de un alto costo, puesto que se requiere el manejo de grandes volúmenes de materiales para la conformación de terrazas que mejoren su estabilidad. En otros casos, hay canteras abandonadas; estas explotaciones pueden presentar taludes verticales de hasta 30 m de altura, con una depresión en forma circular de hasta 50 m de diámetro y en donde se acumula el agua. Aunque los taludes de corte se encuentran estables, el agua acumulada en la zona es una fuente potencial de inestabilidad hacia la parte baja de la ladera, por efecto de la infiltración a través de las fracturas. En este tipo de sectores es necesario plantear medidas correctivas tendientes a drenar la zona húmeda y en lo posible efectuar escalonamiento del talud (Estudios Técnicos, 2001b).

ÁREAS SUJETAS A RIESGO

Generalidades

En el área de estudio y como conclusión de lo indicado en los apartados anteriores, se encuentra gran parte del área bajo amenaza o en condiciones de riesgo. Se denomina *amenaza* a cualquier evento, fenómeno o factor potencialmente peligroso y que expresa la posibilidad de ocurrencia del fenómeno considerado, en el espacio y en el tiempo. El *riesgo* es una medida de la probabilidad de perjuicio a vidas humanas y a bienes en un lugar y en un cierto periodo de tiempo; éste corresponde a la calificación o cuantificación de los daños asociados con una o varias amenazas. Las amenazas se han clasificado en tres grupos: por contaminación ambiental, por inundación y problemas de drenaje y aspectos geotécnicos (Moreno, 1995).

Amenazas por contaminación ambiental

La presencia, actual y futura, de canales abiertos con aguas residuales representa claramente una amenaza para la población que se asienta en sus cercanías, a menos que se creen las condiciones de aislamiento ambiental adecuadas. Consecuentemente, las áreas ribereñas a fuentes de agua en condiciones anóxicas se consideran bajo amenaza ambiental, hasta una distancia de 200 m (a selección de este valor, 200 m, es arbitraria

pues no existen los estudios requeridos para su justificación técnica, económica y social). Se estima que es un valor adecuado y corresponde a la franja de manejo ambiental.

Áreas con probabilidad de inundación

Los estudios geológicos y geomorfológicos permitieron determinar en la planicie la zona permanentemente ocupada por el humedal, que corresponde a las zonas que históricamente han utilizado la Quebrada Tibanica como áreas de desbordamiento y actualmente construidas. Estas áreas se consideran sujetas a amenaza de inundación, además de presentar problemas de drenaje por estar en un sector de muy baja pendiente y cotas (niveles del terreno), inferiores a los niveles máximos de las aguas en el Río Tunjuelo. Una amplia zona aledaña al humedal cae bajo esta denominación, la que se encuentra casi totalmente urbanizada.

Áreas con limitaciones geotécnicas

Como se indicó anteriormente, por el análisis de información secundaria y el reconocimiento de campo, se identificaron áreas en donde se han venido presentando procesos de relleno, como en el sector de Los Olivos y Manzanares. La mayoría de estos se realizan con desechos de construcción, basuras y otros elementos, formando un cuerpo muy heterogéneo en donde es de esperar problemas de cimentación de las estructuras y de las deficientes infraestructuras de servicios realizadas por los habitantes.

Adicionalmente, se delimitaron áreas plano cóncavas, donde el agua tiende a permanecer por mucho tiempo debido a las dificultades de drenaje (depresiones inundables) y donde se ha desarrollado un suelo arcilloso orgánico que presenta una muy baja capacidad portante. Estas zonas se encuentran distribuidas al lado izquierdo del humedal en el sector de Los Olivos.

4. FISIOGRAFÍA Y SUELOS

Francisco Barranco
Fundación de Investigaciones Geoarqueológicas y Ambientales

INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene la descripción de las principales características fisicoquímicas de los suelos presentes en el Humedal Tibanica, así como la descripción del paisaje que ocupan de acuerdo a las categorías analíticas del enfoque fisiográfico. La caracterización corresponde a observaciones hechas en campo del perfil típico y a pruebas químicas realizadas a las muestras extraídas del lugar. El informe técnico introduce, por último, algunas recomendaciones para la restauración de los suelos y el ecosistema del humedal.

CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA

Los suelos del Humedal Tibanica se encuentran en clima frío seco con temperaturas entre 12 y 18 °C y precipitaciones anuales promedio entre 500 y 1.000 mm ocupando los planos de inundación de los Ríos Bogotá y Tunjuelo. El relieve es plano a ligeramente inclinado con pendientes de 0 a 5 %, se trata de suelos muy superficiales de baja evolución a partir de depósitos clásticos hidrogénicos con drenaje lento. Su régimen de humedad no se corresponde con el climático, sino que está condicionado por la dinámica de inundaciones. Su evolución muestra en las arcillas la exposición a ambientes húmedos muy marcados. Es posible apreciar una fuerte gleyzación en las arcillas por la fluctuación del nivel freático y la saturación de agua del horizonte superficial que causó la reducción característica de estos suelos de áreas inundables.

La dinámica fluvial, más concretamente las inundaciones por explayamientos generalizados al colmatarse el cauce de la quebrada Tibanica, aportaron sedimentos de texturas medias a finas creando un ambiente resistástico que truncó periódicamente la evolución de los suelos al limitar la actividad biológica.

La secuencia de eventos evidenciables en la geología y la evolución de los suelos muestra que después de la desecación del gran lago Pleistocénico que ocupó la Sabana de Bogotá, evidenciable en capas de turba típicas de ambientes lacustres o palustres, los grandes ríos dominaron el cuaternario realizando aportes de materiales que constituyen el material parental de los suelos actuales; los materiales depositados denominados depósitos clásticos hidrogénicos, engloban en realidad una gama diversa de texturas según la configuración del terreno. Arcillas producto de la decantación en las cubetas, napas de limos de desbordamiento y finalmente diques de texturas arenosas. En la fotografía aérea es posible apreciar la distribución diferencial de la humedad en el sector aledaño al humedal, producto de encharcamientos.

El Humedal Tibanica, por ocupar una zona tan reducida y debido a la fuerte antropización del paisaje, se ha considerado como un pequeño lente artificial. Sin embargo, su posición en el paisaje, así como las evidencias de exposición a ambientes edáficos de humedad marcada que caracteriza la evolución de los suelos, revela que la invasión de las aguas en la zona es un proceso constante. En los últimos 5.000 años la sabana experimentó cambios climáticos que influyeron en la evolución de los suelos; el paso de un clima frío seco a uno un poco más benigno y de mayores precipitaciones, con un desarrollo mayor de la vegetación, permitió en los últimos 2.000 años del cuaternario un incremento en las inundaciones. Los humedales se formaron entonces por el desborde de los ríos que

alteraron su cauce por interferencia de sus propios sedimentos. Ante un aumento del caudal de los Ríos Bogotá o Tunjuelo se verificaron rupturas en los albardones en las áreas de los meandros donde la corriente adquiría mayor fuerza. Los meandros abandonados fueron invadidos por las aguas creando áreas palustres o pantanosas.

Otro tipo de humedales más extensos se crearon por las inundaciones en bastas áreas de configuración plana o cóncava correspondientes a napas o cubetas antiguas.

El Humedal Tibanica debe considerarse como un relicto de esos sistemas de espejos de agua de gran extensión, el cual sobrevive gracias a su proximidad al curso de la quebrada Tibanica que aportaba agua por explayamientos generalizados al humedal. La observación de la fotografía aérea permite apreciar que las áreas aledañas al humedal como Potrero Grande se encuentran anegadas frecuentemente y sufren el mismo proceso de inundación. Sin embargo, el clima actual y la distancia de los Ríos Tunjuelo y Bogotá, no permiten un caudal suficiente para mantener la zona inundada.

El clima actual se cree es más seco que el experimentado por los antiguos pobladores muiscas. Hace 1.000 años los ciclos de inundación de los Ríos Bogotá y el Tunjuelo debieron mantener la zona inundada. Debe considerarse como evidencia de ello la ausencia de reportes de material prehispánico en las zonas cercanas al humedal y la fuerte reducción, sin que se aprecie una alta oxidación del suelo.

La alteración de los suelos por rellenos no revela una remoción de tierras equiparable a la necesaria para construir una cubeta artificial que albergara las aguas, aunque no se descartan obras anteriores de profundización. La fauna y vegetación asociada tardan en conformar un sistema como este, todos estos argumentos respaldan el origen natural del humedal a pesar de la fuerte antropización del paisaje.

DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

Una vez identificada la zona de ronda del humedal, se procedió a la ubicación de la posición del humedal respecto a las unidades de suelos cartografiadas más recientemente por el IGAC (Figura II-12).

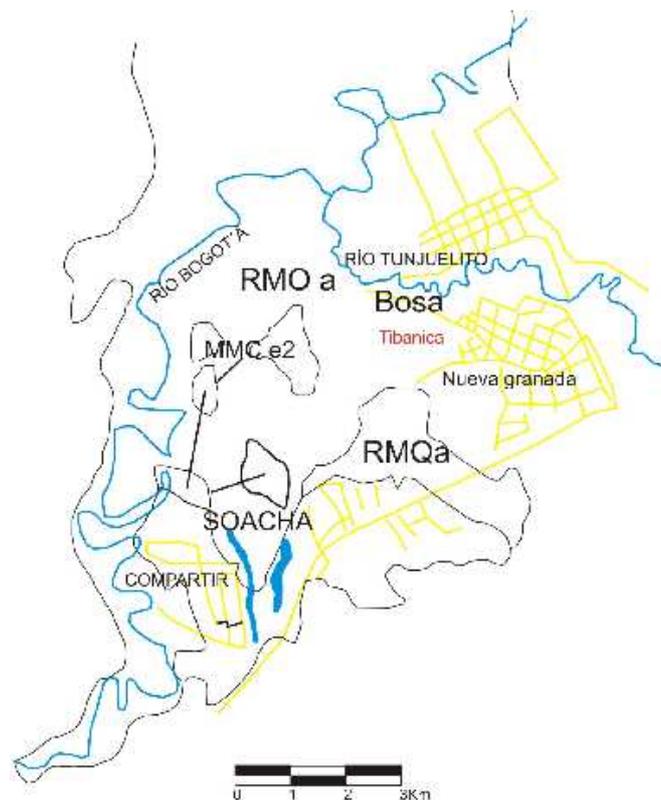


Figura II-12. Mapa de ubicación del humedal de Tibanica en relación a los suelos.

El humedal se ubica al interior de la Asociación RMO donde predominan los suelos Aeríc Epiaquents y Fluvaquentic Endoaquents típicos del plano de inundación del Río Bogotá. Debido al grado de alteración, se diseñó una malla de muestreo dividiendo la ronda del humedal en cuatro lotes donde se realizaron 43 pozos de sondeo de 40 x 40cm y profundidad promedio de 50cm (Figura II-13) el objetivo era delimitar las áreas con mayor alteración y observar las características de dichas alteraciones y en que grado afectaron las variables fisicoquímicas de los suelos.

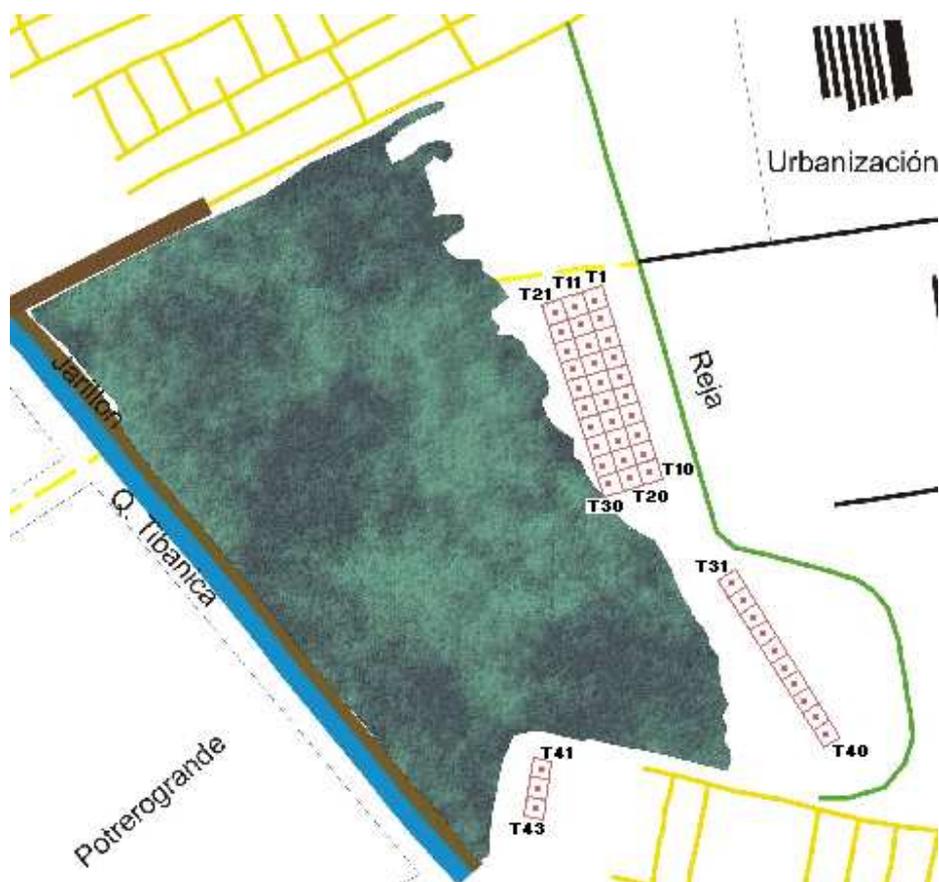


Figura II-13. Muestreo aplicado a la ronda del Humedal Tibanica

El número de pozos de sondeo es arbitrario, el muestreo se intensificó en el área más conservada, los treinta pozos realizados allí cada 20m (Figura II-14) confirmaron la secuencia de horizontes Ap Cg1 y Cg2 de los suelos Aeríc Epiaquents y permitieron tomar varias muestras de cada horizonte para observar posibles fluctuaciones en la acidez. Las áreas mayormente transformadas se muestrearon menos, puesto que no había utilidad alguna en realizar un mapeo de las alteraciones ya muy marcadas que obligan a la remoción de escombros. Se efectuaron 10 pozos de sondeo en la zona afectada más seriamente por rellenos y remoción de escombros que permitieron determinar que a pesar de la alteración física, la alcalinidad de los suelos se mantenía en términos generales. La zona aledaña al jarillón se muestreó con tres pozos que mostraron limitación de la profundidad por rellenos sólidos que obstruyen los suelos.



Figura II-14. Transecto de pozos marcados en lote con menor alteración

A continuación se presenta la descripción del perfil de suelos correspondiente a la trinchera de observación T1, ampliación del pozo de sondeo T23.

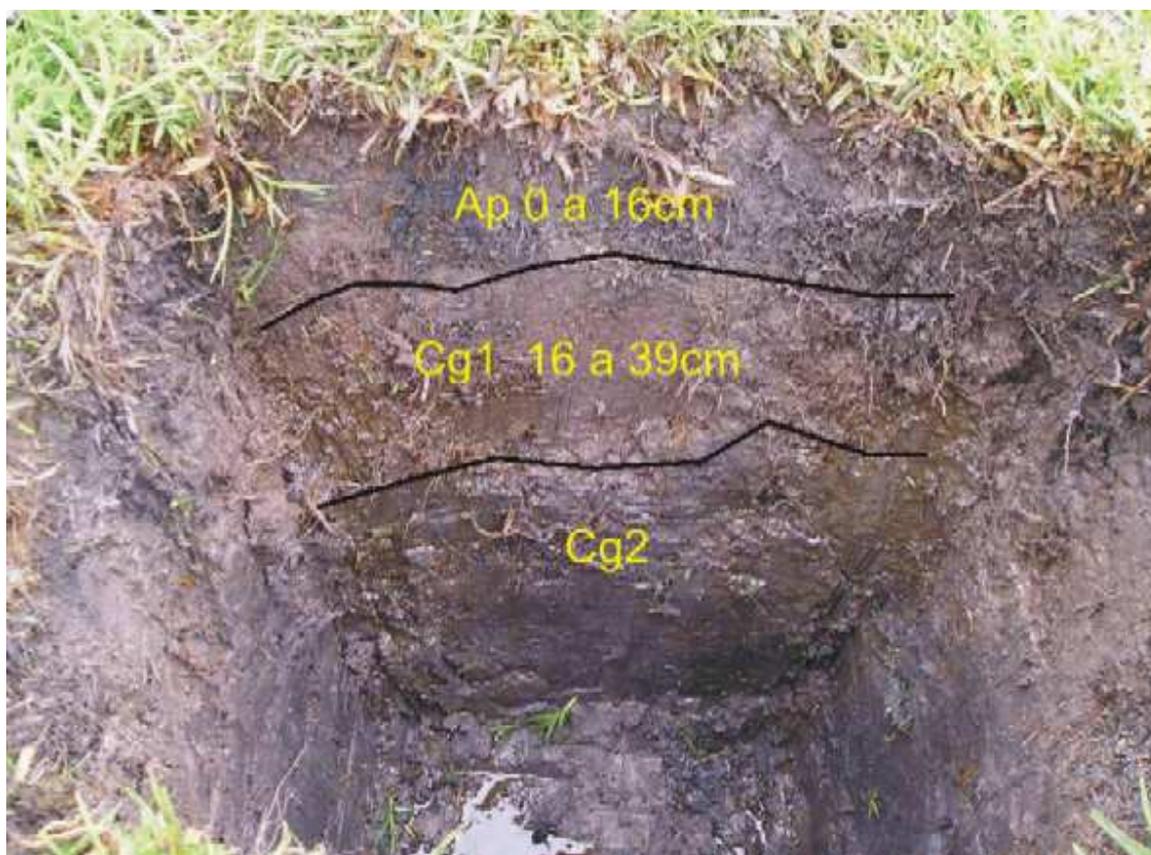


Figura II-15. Perfil de suelos Humedal Tibanica (Aeríc Epiaquents)

Se puede apreciar en la fotografía del perfil que hay infiltración del agua en el primer horizonte y que a su vez el horizonte Cg2 se encuentra saturado también, en general, se aprecia gran cantidad de agua en todo el perfil a causa del drenaje deficiente. El horizonte superficial A perturbado, muestra alteración por actividad antrópica con una profundidad aproximada de 16cm, su color es pardo oscuro, textura franco arcillo limosa, estructura débilmente desarrollada de bloques subangulares de tamaño medio, ligeramente

pegajosa y no plástica. El horizonte Cg1 es de color pardo claro con moteado de color gris claro, su estructura es muy débil, de bloques subangulares, textura franco arcillosa, ligeramente pegajosa y ligeramente plástica. El horizonte Cg1 carece prácticamente de estructura (estructura masiva), el color es gris a gris claro con moteado por reducción en betas blancas.

Estos suelos son de reacción alcalina con un pH uniforme de 8 (Figura II-16); en algunos casos se presentan variaciones mínimas de pH a lo largo del perfil a causa de las alteraciones; los análisis mostraron que no se presenta reacción al ácido clorhídrico, descartando una fuerte influencia de carbonatos de calcio. Las pruebas en busca de influencia de cenizas volcánicas fueron negativas, algunas reacciones positivas al fluoruro de sodio se presentaron en alteraciones que seguramente contenían cenizas producto de quemaduras (Figura II-17).



Figura II-16. Medición del pH de los suelos por reacción con indicador triple y sulfato de bario (reacción alcalina, pH=8)

La actividad biológica en estos suelos es reducida, no se aprecia entomofauna, ni profundización de las raíces. Las pruebas a realizar permitirán determinar las cantidades de aluminio, fósforo e intercambio catiónico para ampliar el presente informe.



Figura II-17. Reacción típica en color lila por presencia de cenizas producto de quemas, reacción negativa en los suelos no alterados

A continuación, se presenta una tabla que resume los rasgos asociados a cada pozo de sondeo.

Tabla II-3. Rasgos asociados al muestreo

Sondeo	Rasgos asociados a los horizontes Ap, Cg1 (0-20cm)
T1	Alteración mínima, textura franco arcillosa, pH 8, alcalino
T2	Alteración mínima, textura franco arcillosa, pH 8, alcalino
T3	Alteración mínima, textura franco arcillosa, pH 8, alcalino
T4	Fuerte compactación, abono orgánico, baja actividad biológica pH neutro a alcalino
T5	Fuerte compactación, abono orgánico, baja actividad biológica pH neutro a alcalino
T6	Fuerte compactación, abono orgánico, baja actividad biológica pH neutro a alcalino
T7	Fuerte compactación, abono orgánico, baja actividad biológica pH alcalino
T8	Fuerte compactación, abono orgánico, baja actividad biológica pH neutro a alcalino
T9	Pérdida del horizonte superior, material parental a los 25cm, alcalino
T10	Pérdida del horizonte superior, material parental al os 25cm, alcalino
T11	Alteración mínima, pH alcalino
T12	Alteración mínima, pH alcalino
T13	Alteración mínima, pH alcalino
T14	Alteración mínima, pH alcalino
T15	Fuerte gleyzación, pH neutro a alcalino
T16	Pérdida del horizonte superior, arcillas superficiales
T17	Fuerte gleyzación, pH alcalino
T18	Secuencia normal Ap, A1, Cg1, Cg2. pH alcalino
T19	Secuencia normal Ap, A1, Cg1, Cg2. pH alcalino

Sondeo	Rasgos asociados a los horizontes Ap, Cg1 (0-20cm)
T20	Secuencia normal Ap, A1, Cg1, Cg2. pH alcalino
T21	Secuencia normal Ap, A1, Cg1, Cg2. pH alcalino
T22	Secuencia normal Ap, A1, Cg1, Cg2. pH alcalino
T23	Secuencia normal Ap, A1, Cg1, Cg2. pH alcalino
T24	Secuencia normal Ap, A1, Cg1, Cg2. pH alcalino
T25	Ligera alteración por relleno, pH neutro
T26	Secuencia normal Ap, A1, Cg1, Cg2. pH alcalino
T27	Secuencia normal Ap, A1, Cg1, Cg2. pH alcalino
T28	Saturación de agua, fuerte gleyzación, pH alcalino
T29	Saturación de agua, fuerte gleyzación, pH alcalino
T30	Saturación de agua, fuerte gleyzación, pH alcalino
T31	Rellenos de construcción, actividad biológica mínima. pH ligeramente ácido
T32	Rellenos de construcción, actividad biológica mínima. pH ligeramente ácido
T33	Rellenos de construcción, actividad biológica mínima. pH ligeramente ácido
T34	Rellenos de construcción, actividad biológica mínima. pH ligeramente ácido
T35	Arcillas gleyzadas en superficie, pH alcalino
T36	Arcillas gleyzadas en superficie, pH alcalino
T37	Arcillas gleyzadas en superficie, pH alcalino
T38	Rellenos de construcción, actividad biológica mínima. pH ligeramente ácido
T39	Rellenos de construcción, actividad biológica mínima. pH alcalino
T40	Rellenos de construcción, actividad biológica mínima. pH alcalino
T41	Rellenos muy sólidos, pH alcalino
T42	Rellenos muy sólidos, pH alcalino
T43	Rellenos muy sólidos, pH alcalino

En términos generales, la alteración de los suelos no afectó de manera drástica los valores de acidez típicos esperados. El área prospectada con los sondeos T1 a T30 revela una menor alteración, conservándose aún la secuencia típica Ap, Cg1, Cg2. A su vez, el muestreo en esta zona reveló que se han adelantado labores de fertilización con abono orgánico. La medición de cantidades de fósforo, nitrógeno, saturación de bases y presencia de aluminio complementará las enmiendas a aplicar, que por el momento se reducen a la aplicación de fósforo y urea con el fin de contrarrestar la alcalinidad y fijar nitrógeno.

La zona prospectada con los sondeos T31 a T40 muestra una alteración completa con rellenos de diverso tipo, entre ellos granitos que pulverizados aumentan la acidez del suelo; la alteración muestra además de la mezcla caótica, un descapotado que afectó el horizonte Cg1 exponiéndolo en superficie. La recomendación inmediata es la mecanización para efectuar un descapotado que elimine los desechos en superficie y deje expuestas las arcillas que posteriormente pueden recibir aportes de una fina capa de arenas gruesas y materia orgánica. La zona no muestreada revela limitaciones en profundidad por lo que debe mejorarse el espesor de los suelos con aplicación de abonos y fósforo. Los análisis más rigurosos permitirán complementar las enmiendas y sugerir junto con el diagnóstico sobre fauna y flora, la vegetación más apropiada para la recuperación del humedal.

Por último, la medición del coeficiente de expansión de las arcillas descartó la posibilidad de que se tratara de arcillas expansivas o esmectitas, por el contrario se trata de arcillas 1:1 permeables (Figura II-18); lo que, sin embargo, no afectará la profundización del

humedal, ya que el actual fondo se asienta sobre ellas. Una profundización por dragado seguirá encontrando ese mismo material por el espesor tan grande de esos depósitos.



Figura II-18. Medición del coeficiente de expansión por rollo húmedo y seco (no hay mayor contracción)

Generalmente, los estudios implementados por el IGAC asocian un cuerpo de suelos según las características ya mencionadas con una clase agrológica o capacidad de uso. Los suelos Aeríc Epiaquent, descritos para el humedal, pertenecen a la clase IV hs-.1, lo cual implica que son aptos para ganadería semi-intensiva para producción de leche y agricultura de subsistencia o semicomercial con cultivos transitorios, presentándose limitaciones por inundaciones, drenaje imperfecto, problemas de expansión radicular (penetración y expansión de las raíces) y bajas precipitaciones en uno de los semestres del año. Evidentemente en el caso particular del Humedal Tibanica el fin inmediato es la conservación, por lo cual las actividades agrícolas o pecuarias deben ser suspendidas.

CONCLUSIONES DIAGNÓSTICAS

Se adelanta como conclusión que el Humedal Tibanica es un sistema de espejo de agua dentro del plano de inundación del Río Tunjuelo y la Quebrada Tibanica. Los humedales se crean, por lo general, gracias a la invasión de las aguas por ruptura de albardón o explayamiento generalizado en los meandros abandonados o en configuraciones relativamente planas o cóncavas correspondientes a napas de limos de desbordamiento o antiguas cubetas de decantación de los ríos.

Se descarta por los suelos aún conservados (Aeríc Epiaquent) la creación artificial del humedal, puesto que corresponden a las áreas encharcadas en el plano de inundación entre los Ríos Tunjuelo y Bogotá, además no se aprecia depósito de arcillas por

excavación alrededor del cuerpo de agua en cantidad que sugiera que se realizó una cubeta artificial. Por último, los suelos a pesar de estar en clima frío seco muestran en su evolución alta reducción y fuerte gleyzación por exposición a ambientes edáficos húmedos no relacionables directamente con el régimen pluviométrico, lo que indica que han estado sometidos permanentemente a lo largo de su evolución a la invasión de las aguas.

El humedal se ubica en un paisaje de clima frío seco, con altitud promedio de 2.600 m.s.n.m. relieve plano con pendientes del 0% y negativas en la configuración cóncava de la cubeta donde se asientan las aguas, los procesos observables son de origen fluvial (decantación de arcillas), los suelos se desarrollan sobre arcillas de gran profundidad perteneciente al Cuaternario Aluvial. A mayor profundidad sería posible apreciar un manto de turba asociada al antiguo lago Pleistocénico que ocupó la Sabana de Bogotá. Los suelos corresponden a la Asociación RMO, conjunto Aeric Epiaquent, típicos de zonas inundables con periodos cortos de aireación caracterizados por su alcalinidad, poca profundidad y saturación de humedad.

5. USO ACTUAL DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL

Carlos Hernández y Juliana Nates

La cobertura vegetal del Humedal de Tibanica es principalmente de herbáceas, con algunos arbustos y árboles (la mayoría de los cuales sembrados recientemente), en la Tabla II-4 se presentan las plantas identificadas y descritas en el Protocolo Distrital de Rehabilitación y Recuperación de Humedales Urbanos (Versión preliminar 2005) y en la Figura II-19 la cartografía de vegetación.

Tabla II-4. Comunidades terrestres y acuáticas en el Humedal La Tibanica, identificadas y descritas en la SDA (2003-2004).

Comunidad	Cod
Pastizal de kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) en áreas sedimentadas	P2
Pastizal de kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>).	P7
Pastizal de kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) con lengua de vaca (<i>Rumex conglomeratus</i>) y barbasco de pantano (<i>Polygonum sp.</i>).	P9
Vegetación nativa dominada por chilco (<i>Baccharis cf. latifolia</i>) con intercalaciones de junco <i>Schoenoplectus californicus</i> .	V10
Vegetación tipo pastizal denso, 30-40 cm de altura, sobre agua panda o lodo	PL
Comunidad acuática dominada por junco <i>Schoenoplectus californicus</i> . (Sinónimo: <i>Scirpus californicus</i>).	SC
Comunidad acuática dominada por lenteja de agua (<i>Lemna sp.</i>).	LM
Comunidad acuática dominada por buchón (<i>Limnobium laevigatum</i>) y lenteja de agua <i>Lemna sp.</i>	MJ
Comunidad acuática dominada por buchón (<i>Limnobium laevigatum</i>) botoncillo (<i>Bidens laevis</i>) y lenteja e agua (<i>Lemna sp.</i>).	MP
Comunidad acuática con presencia principal de sombrilla de agua (<i>Hydrocotyle rannunculoides</i>) buchón de agua (<i>Eichornia crassipes</i>) lenteja de agua (<i>Lemna sp</i>) y helecho de agua (<i>Azolla filiculoides</i>).	MN

Las mayores abundancias, por su cobertura, son de juncos (*Schoenoplectus californicus* sinónimo *Scirpus californicus*), que se levantan como una cortina impenetrable donde encuentran refugio y sitio de reproducción (anidación) varias especies de animales, entre ellas aves. También abunda la enea (*Typha sp*). Por otra parte, están presentes los *Polygonum hydropiperoides* y *P. punctatum*, *Rumex conglomeratus*, con una amplia distribución. En las zonas secas o menos inundadas (o que han sido objeto de relleno de escombros) se observa una amplia cobertura de gramíneas con predominio del pasto *Pennisetum clandestinum*, acompañadas con otras especies como el botoncillo (*Bidens laevis*), junco (*Juncus effusus*), cortadera (*Cyperus sp.*), diente de león (*Taraxacum officinalis*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y carretón (*Trifolium virginianum*).

En el cuerpo de agua sobresalen las plantas acuáticas: *Azolla filiculoides* (este pequeño helecho acuático es muy abundante en una charca de la zona norte del humedal), parches aislados de *Eichornia crassipes* (planta de rápido crecimiento y altas tasas de reproducción que alcanza alta densidad lo que genera problemas al flujo de agua y navegación en canales). La pequeña lenteja de agua *Lemna sp.*, que también crece en altas densidades, de tal manera que forma generalmente un tapete verde claro sobre el espejo de agua. Se observan, así mismo, parches pequeños de *Limnobium laevigatum*. En zonas inundadas crecen la gramínea *Polypogon monspeliensis*, las hierbas *Cotula coronopifolia* e *Hydrocotyle ranunculoides*.

La vegetación arbórea es muy escasa, en algunas áreas crecen ejemplares de *Eucalyptus spp* (*E. camandulensis* y *E. globulus*), se reportó que antes crecían urapán *Fraxinus chinensis*, sauce *Salix humboltiana*. En general, las plantas leñosas han sido eliminadas

por la actividad antrópica en la transformación de madera en carbón de leña³. Se observaron arbolitos de *Prunus serotina* (cerezo), un individuo de *Ricinus communis*, pequeños arbolitos de *Xylosma spiculiferum* (cacho de venado, espino puyón,), *Acacia melanoxylon* (acacia japonesa) y un ejemplar de *Cupressus lusitanica* (ciprés). En resumen, el estrato arbóreo es muy escaso, tanto en Tibanica como en el sector de Potrero Grande (Soacha).

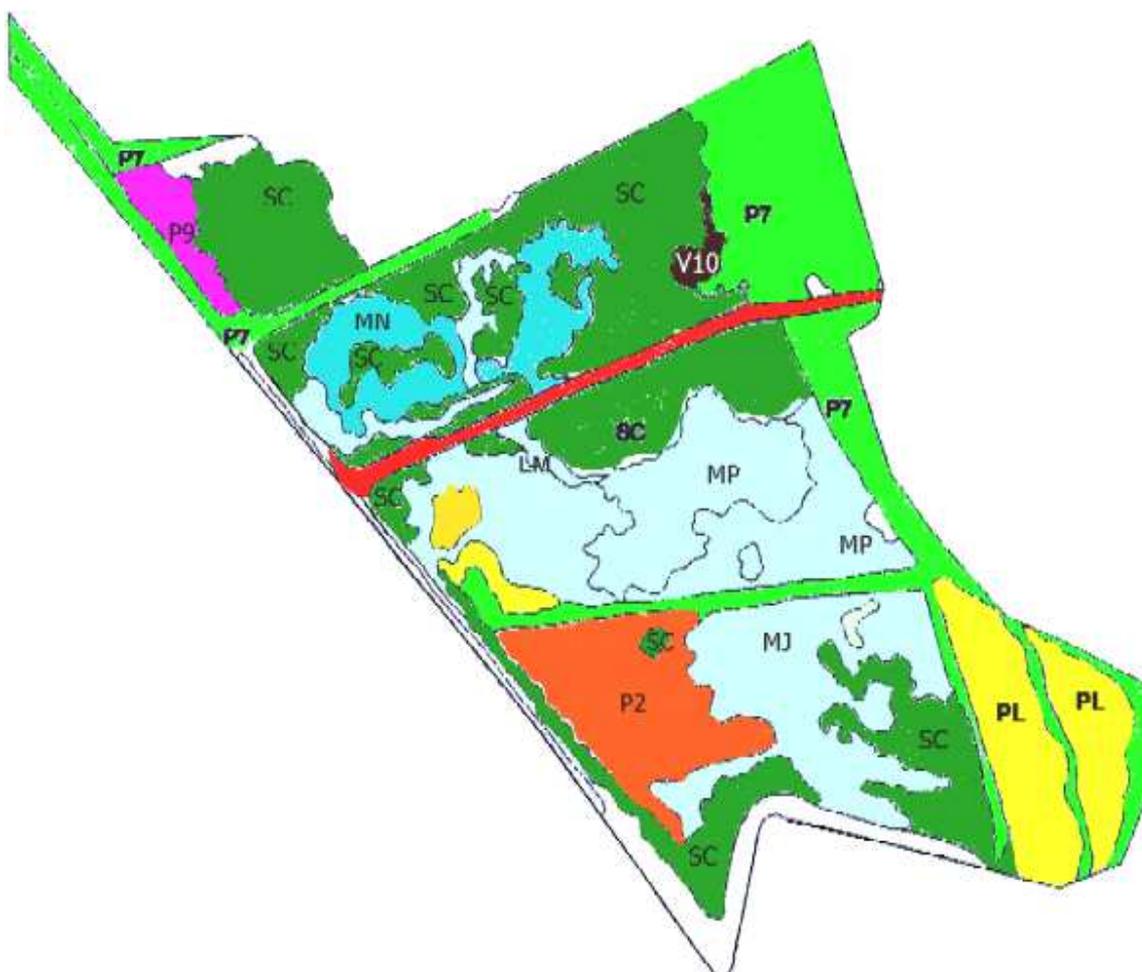


Figura II-19. Cobertura de vegetación del Humedal Tibanica, tomado de: SDA (2003-2004). En la actualidad existen cambios importantes

En la actualidad, la cobertura dominante en el ambiente acuático de Tibanica es de juncal de *S. californicus*, que cubre 7,7 Has, equivalentes al 25% de la superficie del humedal; ésta es seguida por la cobertura de espejo de agua y comunidad Acropleustophyta dominada por *L. giba* (lenteja de agua) que ocupa 6,2 Has, esto es, el 20%. A nivel terrestre, la cobertura dominante es pastizal de kikuyo *P. clandestinum*, que se encuentra en 3,8 Has (4%), seguido por suelos con relleno mixto cubiertos por *P. clandestinum* y macollas. Sin embargo, es importante señalar que tanto en el ambiente acuático como en

³ Lo anterior se fundamenta en lo observado en el campo y en la bibliografía consultada, Chaparro (2003) y Schmidt-Mumm (1998).

el terrestre, se encuentra una especie dominante, que ocupa la mayor proporción de los ambientes de forma individual, pero se encuentra también asociada a otras. Ver la Tabla II-5 y la Figura II-20 para la referencia a la superficie de cada cobertura de vegetación, expresada tanto en hectáreas como en porcentaje.

Tabla II-5 Cobertura de vegetación del Humedal Tibanica.

Tipo de Cobertura	Área (Has)	Área (%)
Arbolado de eucalipto	0,02	0,07
Comunidad arbolitos de <i>P. serotina</i> , <i>V. stipularis</i> , <i>P. coccinea</i> , <i>H. lanatus</i>	0,17	0,55
Matorral de <i>B. latifolia</i> con <i>S. californicus</i>	0,60	1,96
Pastizal de Kikuyo <i>P. clandestinum</i>	3,84	12,48
Pastizal <i>P. clandestinum</i> + <i>R. conglomeratus</i> + <i>P. hydropiperoides</i>	1,41	4,58
Pastizal Kikuyo en áreas sedimentadas con <i>P. clandestinum</i>	0,46	1,49
Suelos con relleno mixto con <i>P. clandestinum</i> y Macollas	2,54	8,26
Comunidad <i>P. clandestinum</i> y Eleocharis	0,05	0,17
Espejo de agua y Comunidad Acropleustophyta dominada por <i>L. giba</i>	6,18	20,10
Caños y canales	1,20	3,89
Comunidad Acropleustophyta <i>L. laevigatum</i> , <i>B. laevis</i> y <i>L. giba</i>	0,14	0,44
Juncal dominado por <i>S. californicus</i>	7,67	24,95
Comunidad Acropleustophyta de <i>E. crassipes</i>	0,11	0,37
Comunidad acuática dominada por <i>L. laevigatum</i> y <i>L. giba</i>	0,39	1,26
Comunidad dominada por <i>P. hydropiperoides</i>	0,09	0,31
Comunidad dominada por <i>P. monspellensis</i> , <i>P. hydropiperoides</i> , <i>P. clandestinum</i>	0,17	0,54
Comunidad Helophyta dominada por <i>B. bidens</i> , <i>L. laevigatum</i> y <i>L. giba</i>	1,21	3,95
Comunidad Helophyta dominada por <i>C. coronopifolia</i> , <i>Bidens</i> , <i>Elocharis</i> , <i>Hydrocotyle</i>	0,28	0,91
Comunidad Helophyta dominada por <i>S. californicus</i> y <i>L. laevigatum</i>	0,06	0,20
Comunidad Helophyta dominada por <i>Typha cf angustifolia</i> , <i>Polypogon</i> , <i>Rumex</i> , <i>P. clandestinum</i>	0,32	1,02
Vías, alameda y jarillón	1,67	5,43
Zona de demolición	2,17	7,07
Total	30,75	100,00

Fuente: Mapa de cobertura y uso actual (este estudio).

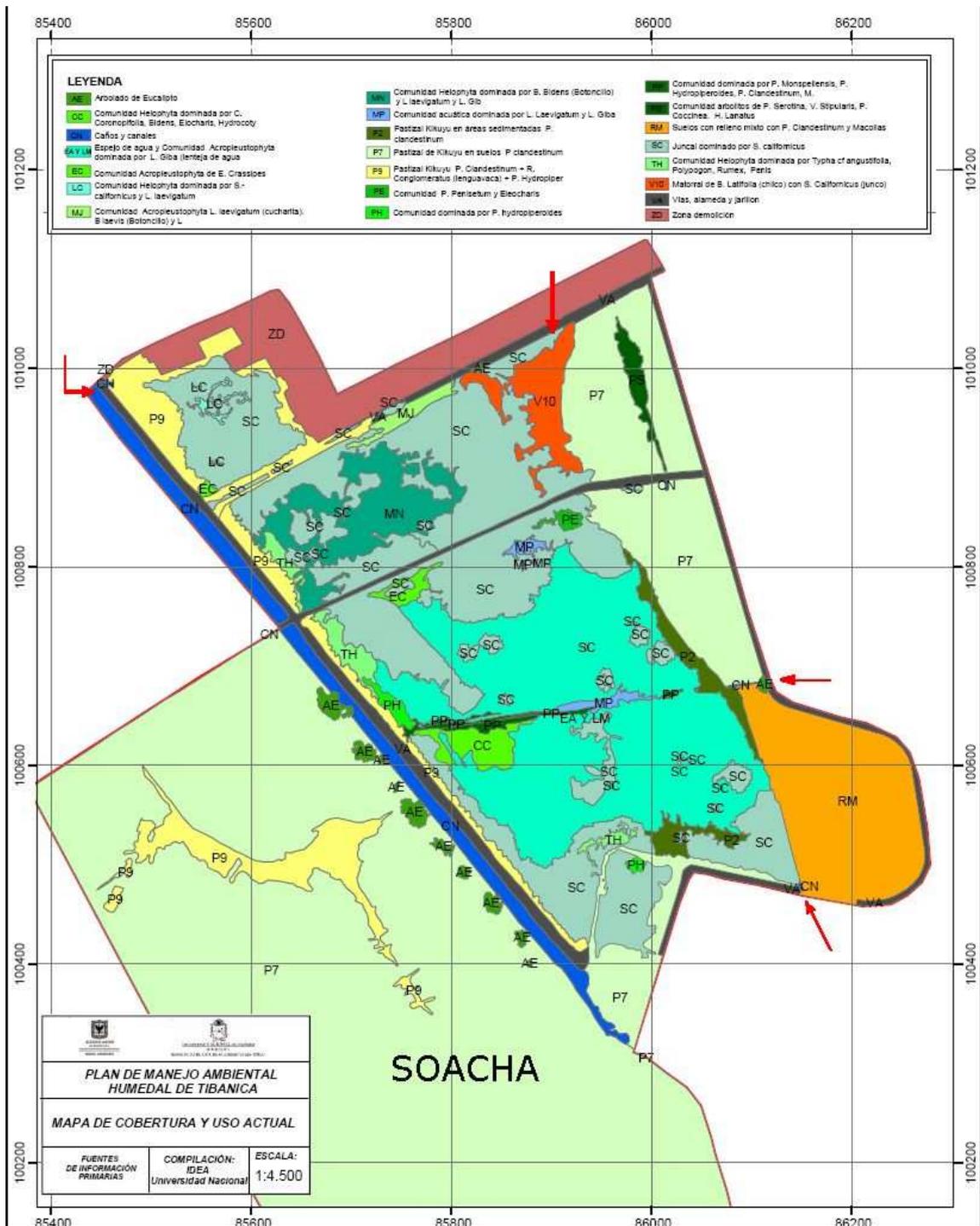


Figura II-20. Cobertura de vegetación del Humedal Tibanica.



Figura II-21. Tubería para la entrada de aguas lluvias al humedal provenientes de la urbanización Alamedas del Parque, tomada en abril 2005.

Entre las acciones recientes están el realce del jarillón que separa el humedal con el canal Tibanica, que en este sector la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá tiene proyectado la construcción del canal Tibanica bombeo y Tibanica Gravedad. El jarillón una vez realzado presenta evidencias de erosión; parte de los materiales con los que fue construido han llegado al cuerpo de agua del humedal contribuyendo a su terrificación.



Figura II-22. Obra para drenar aguas lluvias al borde de la carretera que parte en dos al Humedal Tibanica. Imagen tomada en diciembre 2004.



Figura II-23. Vista del jarillón paralelo al canal Tibanica y el sendero que atraviesa el humedal, registro fotográfico de diciembre 2004.

REVISIÓN HISTÓRICA DEL HUMEDAL

Con base en fotografías aéreas y planos aerofotogramétricos obtenidos en el IGAC y presentados a continuación, se presenta la siguiente revisión histórica del humedal. En primera instancia, es importante anotar que el humedal en su origen fue una zona de desborde de las quebradas Claro y Tibanica, el carreteable fue el primer obstáculo construido que se remonta a tiempos anteriores de 1950, luego se levantan diques que dan origen a un cuerpo de agua permanente.

De acuerdo a la aerofotografía de **1956** (Figura II-24), ya está construido el carreteable que atraviesa el Humedal Tibanica conectando Soacha con Bosa. La zona urbana de Bosa está limitando con la Autopista Sur, los terrenos que bordean el Humedal Tibanica tienen un uso agropecuario. Potrero Grande es un área inundable extensa, mientras el área actual de Tibanica aparece como un terreno inundable, al igual que el terreno aledaño a Soacha. El vértice que se une Tibanica y Río Claro está rodeado por un plano inundable.

En el plano aerofotogramétrico (IGAC) de diciembre **1961** (Figura II-25), correspondiente a un periodo de sequía en los terreros actuales de Tibanica y Potrero Grande, se observan cuerpos de agua rodeados de suelos secos. Esto permite argumentar que el humedal en esos momentos era de tipo temporal, es decir, que en época de lluvias se inundaba y en la época seca las aguas se retiraban. El carreteable actual aparece como un dique; se inicia el levantamiento de diques en las rondas de las quebradas y en las zonas de los humedales temporales. Se observa claramente el actual canal Tibanica, pero no es evidente el curso de Río Claro.

En el plano aerofotogramétrico IGAC de septiembre **1976** (Figura II-26), que corresponde a la época de lluvias, el terreno de Tibanica está inundado por desborde de la quebrada.

Se observa que la inundación supera la altura del dique y este aparece formando una especie de islas pequeñas.

La aerofotografía del IGAC del 2 de noviembre de **1976** (Figura II-27) muestra un avance del desarrollo urbano de Bosa y Soacha. La ronda del Humedal Tibanica, en jurisdicción de los dos municipios, no está urbanizada.

La aerofotografía del IGAC del 8 de enero de **1991** (Figura II-27) evidencia el aumento de la zona urbanizada, que llega a los límites de cuerpo de agua de Potrero Grande (Soacha). Se levantó el dique que separa el Canal Tibanica del Humedal Tibanica, de manera que éste es a la fecha un cuerpo de agua permanente.

De acuerdo a la aerofotografía del IGAC de febrero **1998** (Figura II-27), el desarrollo urbano alcanza un estado similar al actual, se percibe un proceso de desecación y relleno en el cuerpo de agua permanente de Tibanica y el dique que separa el Canal del Humedal Tibanica está levantado, de manera que éste es un cuerpo de agua que se mantiene en la época seca. El sector de Potrero Grande muestra un proceso de desecación.

Por último, la aerofotografía del IGAC más reciente, de febrero de **2004** (Figura II-27 y Figura II-28), permite observar que el desarrollo urbano continúa avanzando y aparece construida la Alameda del Porvenir, que define el límite del humedal. Por otra parte, el sector de Potrero Grande continúa desecándose.

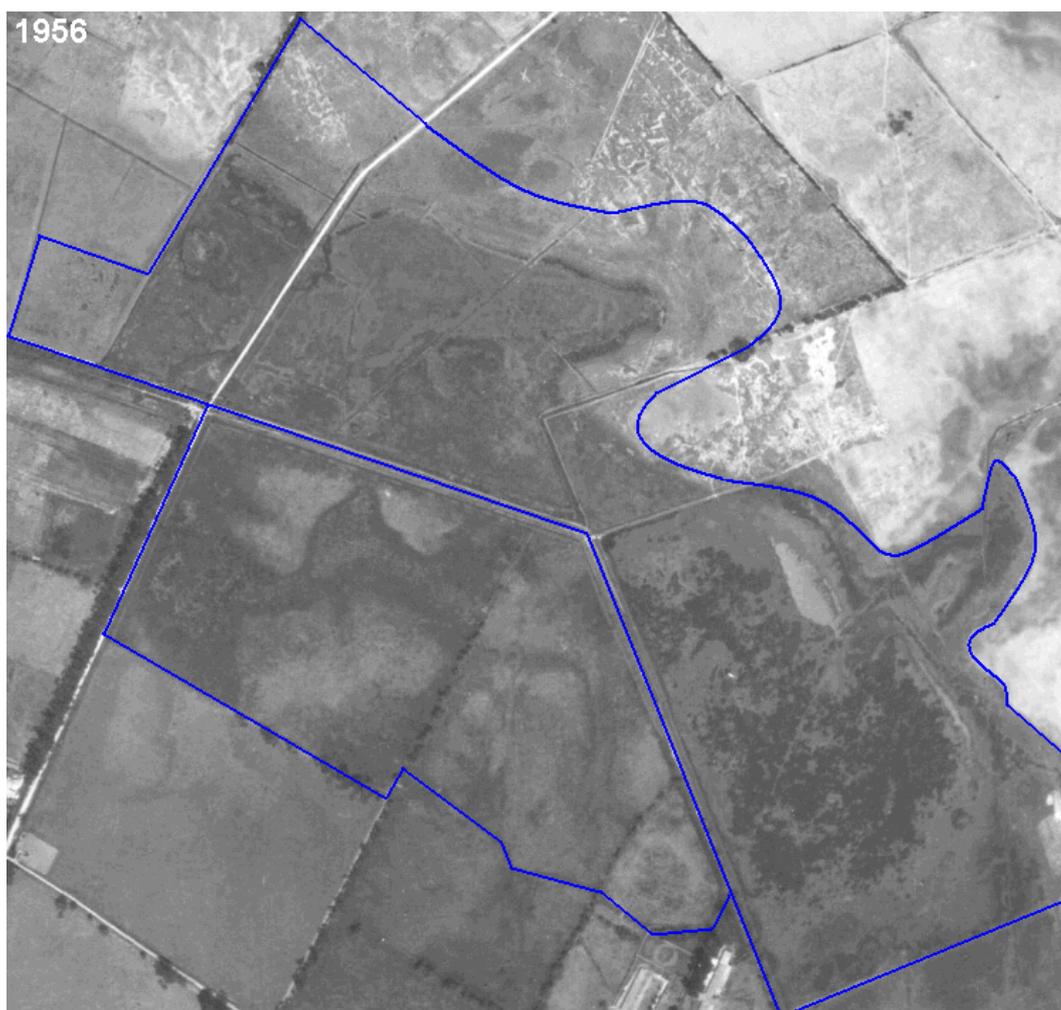


Figura II-24 Aerofotografía de 1956. Vuelo: C-619, sobre 219. Foto seleccionada: 156. Escala Aproximada: 1:18.000. El carreteable que atraviesa el Humedal Tibanica y conecta Soacha con Bosa ya está construido.

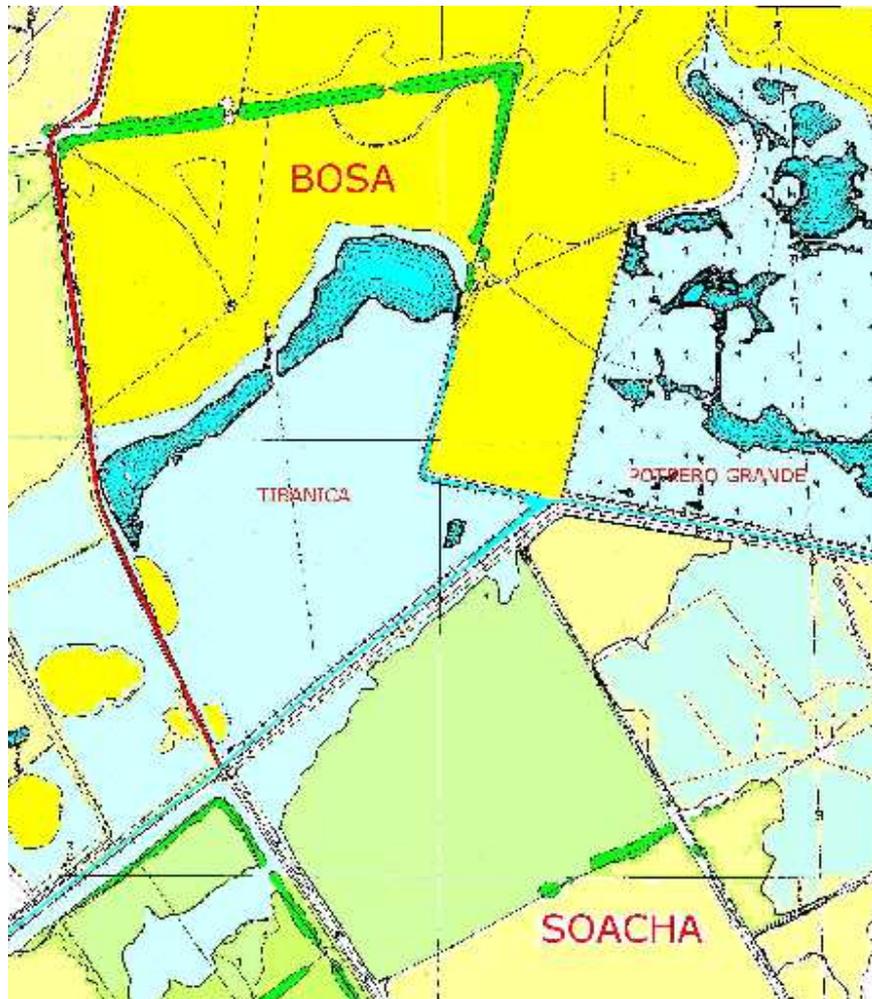


Figura II-25 Plano aerofotogramétrico de Bogotá D. C. Ministerio de Hacienda y Crédito Público Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1963. Fotografía aérea Diciembre 1961, clasificación de campo septiembre 1962. Escala 1:2.000. Las zonas azules son áreas inundadas o encharcadas.

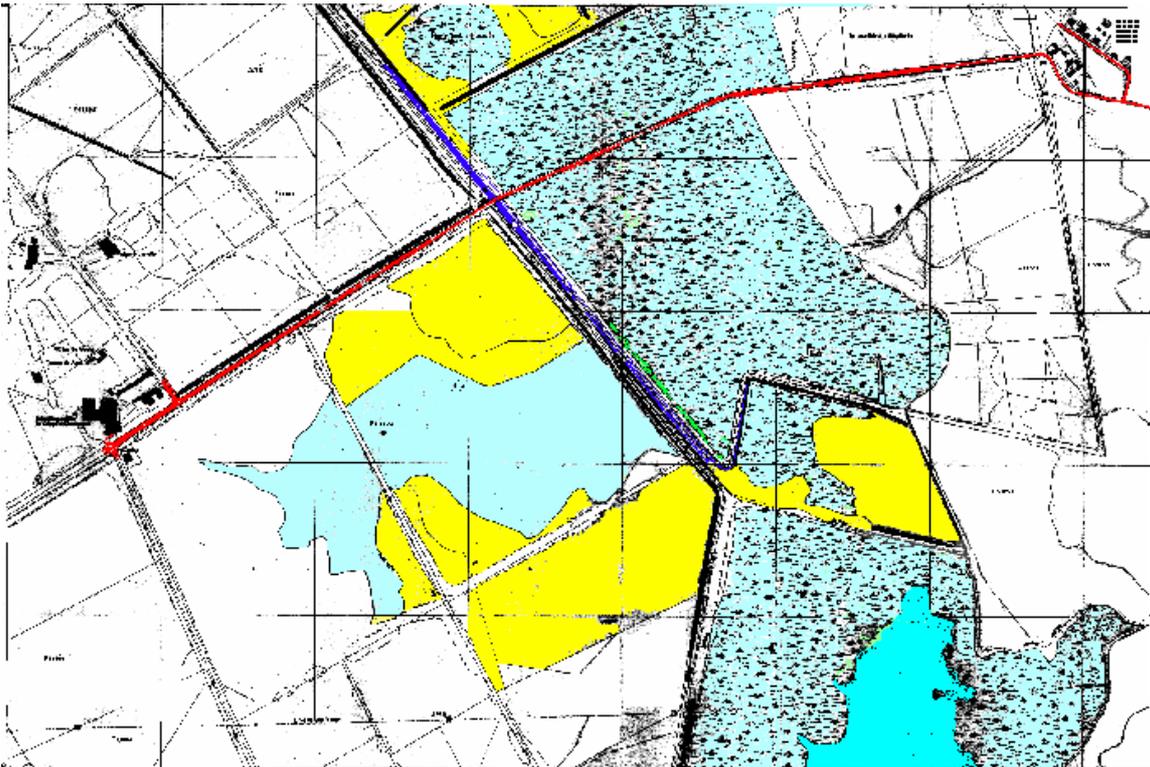


Figura II-26 Plano aerofotogramétrico de Bogotá D. C. Ministerio de Hacienda y Crédito Público Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1978. Fotografía aérea septiembre 1976, Clasificación de campo octubre 1976, Restitución julio 1977, revisión octubre 1977. Escala 1:2.000. Las zonas azules son áreas inundadas o encharcadas, las amarillas están a una mayor altura y no fueron inundadas.



Figura II-27 Aerofotografías IGAC de noviembre-1976, enero-1991, febrero-1998 y febrero-2004 del sector del Humedal Tibanica. Se observa el crecimiento urbano de Bosa sobre el sector del humedal. Ocurre algo similar en el municipio de Soacha por el sector sur oriente, mientras que en los sectores sur occidente y occidente se mantiene el uso del suelo rural.



Figura II-28 Aerofotografía de febrero 2004. Vuelo: C-2717. Foto seleccionada: 184. Escala aproximada: 1:1.000. Se aprecia el Canal Tibanica, que en el sector de Soacha es rural; mediante este canal podría ampliarse la zona de ronda para lograr una ruta de conectividad con el Río Bogotá. Hacia los cerros es posible si se logra superar el obstáculo establecido por la Autopista Sur.

6. AGUAS SUBTERRÁNEAS

*Francisco Barranco- Fundación de Investigaciones Geoarqueológicas y Ambientales,
Miguelángel Bettín*

El presente capítulo pretende dar respuesta a las inquietudes presentadas por la SDA respecto a la génesis, procesos evolutivos del humedal y a las funciones atribuibles a éste en cuanto a descarga de acuíferos y relación posible con reposición de aguas subterráneas. Se aportan consideraciones sobre el tema a partir de los componentes de suelos e hidrología, prestando atención a los materiales parentales observados y su composición, y a la vez agregando algunos comentarios tomados de los estudios realizados por van der Hammen (1995, 2003) sobre el tema de aguas subterráneas en la Sabana de Bogotá.

En primer lugar, es necesario anotar que los humedales han sufrido procesos naturales y antrópicos que han influido en su conformación actual. Los humedales no son estáticos y por lo tanto, pueden presentar atributos diversos y en algunos casos diametralmente opuestos en diversos momentos de su evolución. Para el caso de Tibanica hay que aclarar algunos aspectos sobre la dependencia de la cuenca aferente en el presente y en el pasado, así como la importancia de otras fuentes aportantes, aguas lluvias, escorrentía superficial, conexiones erradas y por último, intercambio con aguas subterráneas.

Se espera que una descripción breve de la historia evolutiva del humedal permita aclarar los atributos del humedal en diferentes periodos, hasta llegar a la conformación actual sobre la cual se hizo énfasis en el diagnóstico.

EVIDENCIAS GEOLÓGICAS, CLIMÁTICAS Y ARQUEOLÓGICAS

El origen de los humedales de la Sabana de Bogotá puede seguirse hasta el antiguo lago pleistocénico que ocupó esta región. Los sedimentos de origen lacustre depositados en el área plana de la Sabana corresponden a la formación que lleva este mismo nombre (Formación Sabana Qsa), compuesta de arcillas lacustres e intercalaciones de arcillas orgánicas, turbas y arcillas arenosas intercaladas hacia los bordes de la cuenca sedimentaria.

El miembro Sabana de la Formación Río Tunjuelo corresponde a gravas y gravillas de origen fluvio-glacial en los valles de ríos y áreas planas; los sedimentos descritos fueron recubiertos por arcillas de inundación producto de los depósitos de los ríos que antes llegaban al lago pleistocénico y que empezaron a labrar su curso tras la desaparición de éste, luego de experimentar un descenso rápido de su nivel a partir del 30.000 A. P. hasta casi su desaparición. Estas arcillas de inundación se conocen como la Formación Chía Qch (arcillas de inundación, localmente limos fluviales y en áreas pantanosas, arcillas orgánicas/diatomíticas de origen lacustre), en algunas zonas aparecen recubriendo gravas de la Formación Río Tunjuelo.

Según la información disponible se puede inferir que el patrón de drenaje de las aguas en la zona plana de la sabana a través de los humedales, puede asociarse en antigüedad a las fechas más antiguas de la Formación Chía. La secuencia depositacional descrita permite asociar al Humedal Tibanica con arcillas orgánicas producto de las depositaciones del Tunjuelo y las quebradas como Tibanica, de al menos 5 m de espesor, depositadas a finales del Pleistoceno y a lo largo del Holoceno sobre las descritas arcillas lacustres de la formación sabana de hasta 300 m de profundidad.

La acción de los glaciares en el Pleistoceno durante la última glaciación alcanzó la cota 3.000 m.s.n.m., experimentándose un clima frío y húmedo hacia el 40.000 A. P. A partir de allí, se presenta un periodo de intenso frío (28.000 - 24.000 A. P.), un descenso continuo de las precipitaciones determina un clima frío, pero muy seco, donde los glaciares retroceden a los 3.500 m.s.n.m. A partir de entonces un aumento en la temperatura hace desaparecer los glaciares por completo hacia el comienzo del Holoceno en el 10.000 A. P.

Las chucuas o humedales se extendían a lo largo de la Sabana de Bogotá ocupando grandes extensiones a principios del Holoceno, dependiendo en gran medida de los aportes de los ríos que habían empezado a labrar sus cursos en fecha no menor a los 20.000 A. P. El Holoceno presenta cambios importantes a nivel de colonización de especies, incluyendo al hombre que había arribado hace 12.000 A. P. a las áreas con abrigos colindantes con la Sabana de Bogotá. Los restos de megafauna recuperados en sitios con fechas antiguas de ocupación humana como Tibitó muestran que, hacia principios del Holoceno, el clima aún era frío y se conservaban reductos de grandes especies como el mastodonte y el caballo americano propios de áreas abiertas, que vieron su hábitat restringido por la colonización de los bosques andinos; este tipo de fauna fue finalmente exterminada debido a la acción de los cazadores, la mencionada desaparición total de los glaciares y la colonización del bosque andino, mientras en las áreas planas se extendían amplios sistemas palustres.

El hombre prácticamente desaparece del registro arqueológico hasta reaparecer representado por los primeros grupos agroalfareros Herrera con fechas promedio que los sitúan hacia el 700 a.C. en la planicie inundable del Río Bogotá. Los sedimentos expuestos del antiguo lago pleistocénico fueron recubiertos por cenizas volcánicas que permitieron la formación de Andisoles, a su vez los Alfisoles evolucionaron en áreas de relativa estabilidad en los planos de inundación, asociándose en muchos casos a los pobladores Herrera.

Durante el Periodo Herrera, el clima frío y seco condicionó el patrón de asentamiento en áreas con alta disponibilidad de agua, tales como riveras de los ríos y cercanías a las chucuas o humedales. De acuerdo a las descripciones etnohistóricas y a la evolución de suelos, es posible apreciar periodos húmedos y secos muy marcados durante el periodo Herrera Temprano (700 a.C. a 700 d.C.) durante el cual los humedales dependieron altamente de los ciclos de desborde de los ríos. Para el caso de Tibanica, que debió ocupar un área mucho más extensa, fueron indispensables los aportes del Río Tunjuelo y la quebrada Tibanica.

En época de fuertes lluvias periódicas que caracterizaron el comienzo de nuestra era con precipitaciones más altas entre el 0 y el 400 d.C. y una época aún más húmeda entre el 800 y 1000 d.c., que coincide con el periodo Muisca Temprano, los ríos Bogotá y Tunjuelo debieron generar fuertes inundaciones que debieron aumentar los volúmenes de agua almacenados por los humedales. Lo anterior impulsó a los muisca en el periodo tardío a implementar sistemas de camellones y canales para manejo de inundaciones y posteriormente, hacia finales del tardío (1300 a 1700 d.C.) a optimizar el riego en áreas más secas, entre las cuales la zona suroccidente de la actual Bogotá debió presentar los niveles de precipitación más bajos como ocurre en la actualidad, para esa parte de la Sabana que alberga al Humedal Tibanica.

Como conclusión, se puede afirmar que durante la ocupación Muisca hasta el 1700 d.C., el clima fue en general más húmedo que el actual y que entre el 800 y 1000 d.C. el área de Tibanica tuvo mayor precipitación, a la vez que el nivel freático se encontraba mucho más alto; durante esta época los niveles del agua en el subsuelo fueron altos y

empezaron a disminuir hasta el 1700 d.C., a partir del cual las lluvias disminuyeron hasta acercarnos al patrón de precipitación actual.

El clima frío y algo seco experimentado desde la colonia, sumado a la pérdida de coberturas y la modificación de los patrones depositacionales hicieron al Humedal Tibanica altamente dependiente de la quebrada Tibanica para albergar un cuerpo de agua permanente. Los factores climáticos y antrópicos señalados condicionaron un descenso acelerado del nivel freático durante la colonia y la república. El profesor van der Hammen agrega que, a partir de los años 1950, aumentó la explotación de aguas subterráneas que agravó la situación.

Los depósitos de agua subterránea se denominan acuíferos. El proceso de almacenamiento y aprovechamiento de los acuíferos se estudia con base en los fenómenos de infiltración y de percolación; este último es el movimiento del agua a través del medio poroso que está conformado por los granos del suelo (Silva, 1998).

Parte del agua que cae durante las lluvias se infiltra y percola verticalmente hasta cuando encuentra una capa impermeable, que impide el movimiento vertical y genera el almacenamiento del agua en espacios vacíos del suelo. En este punto, dada la presencia de arcillas compactadas en el lecho del humedal, las cuales pueden contener una gran cantidad de agua, pero transmitir muy poca (Trefethen, 1981), es posible afirmar que la precipitación directa y los afluentes por escorrentía al humedal no pueden percolarse y por lo tanto, recargar los acuíferos subyacentes.

La pérdida del agua subterránea habría iniciado con la tala y pérdida de coberturas en los cerros, que ocasionó modificaciones en la capacidad de retención de los suelos y la regulación de las aguas de ríos y quebradas. Van der Hammen considera que, hacia principios del siglo XX, los niveles de agua del subsuelo debieron estar cerca de la superficie, pero que hoy se encuentran varias decenas de metros por debajo de ésta, debido a los miles de pozos existentes en la sabana y al descenso del nivel de agua en los cerros que genera pérdida de manantiales y quebradas en la parte plana, sin que aún puedan medirse las pérdidas ambientales por este fenómeno.

De existir aguas subterráneas (grandes depósitos acuíferos) en Tibanica, estas se encontrarían a una gran profundidad en la Formación Sabana que, como ya se señaló, registra profundidades medidas para otras áreas en la sabana de hasta 300 m. El agua encontrada en el perfil de suelos descritos corresponde a la saturación del horizonte superficial en gran parte del año, lo que condiciona la clasificación (Aeríc Endoaquepts). Esa saturación tiene que ver con la fluctuación estacional de los niveles del humedal y la temporada más lluviosa que a su vez condicionó los desbordes de la quebrada Tibanica antes de su aislamiento a través del jarillón.

Cuando se describió el humedal como humedal colgado, se hacía referencia a la configuración actual; sin embargo, antes de la construcción del jarillón fue el ciclo de inundaciones de Tibanica y las lluvias los que permitieron que el cuerpo de agua fuese permanente. Precisamente ante el clima seco experimentado en la actualidad y el aislamiento de la fuente principal de agua, el humedal se habría secado de no ser por las conexiones erradas en el sistema de drenaje de aguas residuales y los aportes directos de aguas servidas provenientes de Soacha.

El agua del horizonte superficial drena por gravedad al humedal, sin embargo ésta no sería suficiente para mantener un cuerpo de agua permanente, tal vez esto sugirió la posibilidad de intercambio con aguas subterráneas.

Una de las grandes paradojas del sistema de drenajes que confluyen en Tibanica radica en que éste debe su supervivencia, tras la construcción del jarillón, a las conexiones erradas, cuyos aportes son continuos, prácticamente imposibles de medir e indeseables por condiciones de salubridad.

De acuerdo a los datos aportados por los estudios de van der Hammen (1995, 2003) y otros más concretos como los de Loboguerrero (1992) acerca de explotación de acuíferos, el agua que se extrae del subsuelo es antigua y data de 1.000 hasta 30.000 años A.P. y se depositó en las rocas de los cerros y en sedimentos Plio-Cuaternarios, por lo cual la posibilidad de interacción entre aguas subterráneas y el cuerpo de agua del humedal es casi nula. A continuación, se citan algunas conclusiones de van der Hammen sobre el tema de humedales y explotación de acuíferos en la Sabana, expuestos en el libro sobre el Neogeno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y Alrededores.

“Durante el máximo de la última glaciación, vegetación de páramo dominaba en el área, pero al comienzo del actual interglaciar, toda el área plana (fuera de los pantanos) y las laderas de los cerros hasta los 3400 m o más, se cubrieron de bosques andinos. El drenaje del área plana se efectuaba por valles de la planicie (actualmente llamado Chucuas) hacia los ríos principales, efectuándose ya un drenaje artificial extenso de la parte plana, estas chucuas son los principales humedales que nos quedan en el área.” (van der Hammen, 2003).

En cuanto a las aguas subterráneas, la profundidad a la que se encuentran, rocas asociadas a las mismas y viabilidad de explotación comenta: *“Actualmente hay miles de pozos en la Sabana y los niveles de agua en el subsuelo se han bajado decenas de metros (en el comienzo del siglo debe haber estado todavía cerca de la superficie). Los datos hidrogeológicos más recientes de investigaciones sobre el agua subterránea en la Sabana, indican que la recarga de acuíferos es tan lenta que es casi imperceptible a escala humana. Eso significa que la explotación de agua subterránea no es sostenible: es un recurso no renovable. Eso podría no ser tan grave, si no fuera que las condiciones geológicas son tal, que el efecto del descenso del agua subterránea tiene efectos en la superficie. El descenso de los niveles de agua en los cerros ha causado la desaparición de manantiales y quebradas en la parte plana, y en los cerros ha contribuido al desecamiento de los suelos. Las pérdidas ambientales y económicas de estos fenómenos no se han calculado, pero deben ser considerables, y se requiere con urgencia un cambio en la política de manejo del agua, para detener los graves deterioros mencionados.”* (van der Hammen, 2003).

“El agua que se extrae del subsuelo, es agua antigua, de edades 14C de 1.000 hasta 30.000 años. Hace 35.000 años AP. La laguna de la sabana existía y su nivel era alto, tocando los piedemontes y los cerros, y el clima era de altas precipitaciones, y parece probable que por entonces (y después durante la primera parte del Holoceno) se llenaron los sedimentos Plio-Cuaternarios y las rocas de los cerros con el agua que estamos ahora extrayendo.” (van der Hammen, 2003).

Como conclusión se puede afirmar que los sedimentos de las formaciones Chía y Sabana son muy profundos, así mismo los datos hidrogeológicos muestran que actualmente el nivel del agua subterránea acumulada en rocas y sedimentos del Plio-cuaternario ha descendido mucho. Lo anterior sugiere que el humedal no está soportado por aguas subterráneas, las cuales deben estar aisladas por su profundidad y por las arcillas relativamente impermeables que forman el material parental de los suelos y el fondo del humedal. Una capa de arcilla, incluso delgada bastará para impedir la circulación vertical del agua (Gipson y Singer, 1984), lo que descarta el intercambio hídrico del humedal con los posibles acuíferos existentes bajo éste.

El humedal, antes del aislamiento de la quebrada Tibanica, dependió para su existencia permanente de los ciclos de inundación de la misma y, por lo tanto, una de las funciones que perdió en parte fue la de regulador de las inundaciones. Si el agua subterránea es tan profunda, y el clima es tan seco, el agua en el perfil se debe al encharcamiento estacional y a una capacidad media de retención de humedad; si las capas de arcilla del fondo fueran demasiado permeables, experimentando precipitaciones promedio de 700 mm anuales y sin conexión con Tibanica, el humedal habría desaparecido.

En cuanto a la función del humedal para recarga de acuíferos, como afirma van der Hammen, esta es imperceptible a escala humana. De igual manera, debido al permanente aporte de conexiones erradas al humedal, el suelo se encuentra permanentemente saturado, haciendo nula su capacidad de infiltración.

Para terminar, parece oportuno aclarar que en algún momento el vínculo entre el humedal y las aguas subterráneas pudo ser más estrecho; sin embargo, lamentablemente es muy difícil emprender estudios detallados al respecto, ya que la contrastación de hipótesis y datos sobre aguas subterráneas requiere muestreos a altas profundidades que no se justifican a nivel presupuestal, pues no es el interés primordial la utilización de aguas profundas en las áreas de humedales. No obstante, es una pena que estas aguas no estén disponibles para ayudar a garantizar la permanencia de los humedales en la sabana.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2000. Decreto Distrital 619 del 28 de julio de 2000 “por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para Santafé de Bogotá Distrito Capital”. Bogotá.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2000. Decreto Distrital 1110 del 28 de diciembre de 2000 “por el cual se adecua el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C., según lo dispuesto en la resolución 0621 de 2000 dictada por el Ministerio del Medio Ambiente”. Bogotá.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2003. Decreto Distrital 469 del 23 de diciembre de 2003 “por el cual se revisa el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.”. Bogotá.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2004. Decreto Distrital 190 del 22 de junio de 2004 “por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003”. Bogotá.
- Acosta, J. y Beltrán, W. 1987. Estratigrafía de la Formación La Regadera en el flanco occidental del Sinclinal de Usme. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias. Bogotá.
- Barranco, F. 2002. Aplicación del enfoque fisiográfico en la creación de modelos predictivos de ocupación prehispánica en el Valle de Surba y Bonza. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C.
- Compañía de estudios e interventorías Ltda. 1997a. Volumen 4- Línea base ambiental. Informe Final. *En*: Compañía de estudios e interventorías Ltda. 1997. Estudio de saneamiento ambiental y control de crecientes en la cuenca del Río Tunjuelo. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá D.C.
- Compañía de estudios e interventorías Ltda. 1997b. Apéndice E -Geología, Geomorfología y Dinámica Fluvial. *En*: Compañía de estudios e interventorías Ltda. 1997. Estudio de saneamiento ambiental y control de crecientes en la cuenca del Río Tunjuelo. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá D.C.
- Correal, G. 1990. Aguazuque. Evidencias de Cazadores, Recolectores y Plantadores en la Altiplanicie de la Cordillera Oriental. Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales del Banco de la república. Bogotá, D.C.
- Cuervo, E. y Ramírez, A. 1985. Estratigrafía y ambientes de sedimentación de la Formación Cacho en los alrededores de Bogotá. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias. Bogotá.
- Chaparro, B. 2003. Reseña de la vegetación en los humedales de la Sabana de Bogotá. 71-90 pp. *En*: Acueducto de Bogotá y Conservación Internacional Colombia. 2003. Los humedales de Bogotá y la Sabana. Volumen 1. Bogotá. 264 p.
- SDA. 2000. Modelo hidrogeológico para los acuíferos de Bogotá D.C. Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá, D.C.
- SDA. 2005. Protocolo Distrital de rehabilitación y recuperación de humedales urbanos. Versión preliminar. Secretaría Distrital de Ambiente, Subdirección de Ecosistemas y Biodiversidad. Grupo Humedales. Componente de vegetación terrestre. Documento electrónico. Bogotá.

- Ecology and Environment Inc. e Hidromecánicas Ltda. 1998. Plan de manejo ambiental del Humedal de Tibanica – Potrero Grande Tomo 5 – Anexo No. 8. *En: Ecology and Environment Inc. e Hidromecánicas Ltda. 1998. Plan de manejo ambiental de los humedales Torca, Guaymaral, Embalse de Córdoba, Capellanía, El Burro, Techo, La Vaca y Tibanica. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá D.C.*
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-Gerencia de Planeamiento. 1998. Plan maestro de alcantarillado sanitario y pluvial cuenca Quebrada Tibanica. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá D.C.
- Eslava, J. 1993. Climatología. *En: Leyva, P (ed.). 1993. Colombia Pacífico. Fondo para la protección del Medio Ambiente (FEN), Bogotá D.C.*
- Estudios Técnicos. 2001a. Estudios para definición a nivel de factibilidad del plan maestro de alcantarillado y realización diseños para construcción de redes de alcantarillado en diversos sectores del municipio de Soacha - Hidrología y sedimentología. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá D.C.
- Estudios Técnicos. 2001b. Estudios para definición a nivel de factibilidad del plan maestro de alcantarillado y realización diseños para construcción de redes de alcantarillado en diversos sectores del municipio de Soacha - Informe final. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá D.C.
- Franco, L.; Gutiérrez, H. y Castañeda, J. 2003. Los humedales de Bogotá frente al cambio climático global. *En: Libro Los humedales de Bogotá y la Sabana. Conservación Internacional Colombia/Acueducto de Bogotá. IDEAM. Bogotá D.C.*
- Gibson, U. y Singer, R. 1974. Manual de Pozos Pequeños. Limusa. México.
- van der Hammen, T. (ed.). 1995. Plioceno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y Alrededores. Análisis Geográficos 24. Bogotá.
- van der Hammen, T. (ed.). 2003. Neogeno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y Alrededores. Análisis Geográficos 26. Bogotá.
- Hubach, E. 1957. Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores. *Boletín Geológico (2): 93-113.*
- IDEAM. 1998. El medio ambiente en Colombia. IDEAM. Bogotá D.C.
- Ingeominas. 1988. Mapa geológico de Colombia Memoria Explicativa. Ingeominas. Bogotá D.C. 71p.
- INGETEC. 2002. Diseños para construcción de las obras para el control de crecientes en la cuenca del Río Tunjuelo – Informe de hidrología. Empresa de Acueducto de Bogotá. Bogotá D.C.
- Julivert, M. 1978. Lexique stratigraphique International Colombia Vol. 5. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Leyva, P. 1993. Colombia Pacífico. Fondo para la protección del Medio Ambiente (FEN), Bogotá D.C.
- Loboguerrero, U. 1992. Geología e Hidrología de Santafé de Bogotá y su Sabana. VII Jornadas geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. 22p.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT. 2002. Política Nacional para humedales interiores de Colombia: Estrategias para su conservación y uso sostenible. 24 p
- Moreno, J. 1995. Estudio geológico y geomorfológico del sector del “Humedal de Tibanica-Potrero Grande”, límite entre los municipios de Soacha y el Distrito Capital, Sabana de Bogotá. Informe Final. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá D.C. 67pp.
- Montealegre, F. y Torrente, A. 1998. Hidrología, Universidad Nacional de Colombia, Universidad Nacional, Palmira. 162pp.
- NASA, 2001, Imagen de satélite de la Zona de confluencia intertropical. Documento electrónico. Tomado de http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/Images/ITCZ_QUI_2001.jpg. Enero de 2005.
- Schmidt-Mumm, U. 1998. Vegetación acuática y palustre de la Sabana de Bogotá y plano del río Ubaté. Ecología y taxonomía de la flora acuática y semiacuática. Tesis de postgrado Universidad Nacional de Colombia. Bogotá 181 pp.
- Silva, G. 1998. Hidrología Básica. Universidad Nacional de Colombia.
- Trefethen, J. 1981. Geology for Engineers. Princeton, NJ. USA.