

2.2 CARACTERIZACIÓN GEOPEDOLÓGICA Y CALIDAD DE SITIO DE UNA SELVA TROPICAL

Armando Navarrete-Segueda,¹ Lorenzo Vázquez-Selem,² Christina D. Siebe-Grabach³

2.2.1 EL AMBIENTE BIOFÍSICO EN LA SUBCUENCA DEL LACANTÚN

La heterogeneidad de las condiciones biofísicas en las que se desarrollan las selvas tropicales contribuyen a su alta biodiversidad y a su capacidad de ofrecer servicios fundamentales para el bienestar de las sociedades (Balvanera *et al.* 2012). Sin embargo, estas selvas son constantemente modificadas (Gibbs *et al.* 2010; Balvanera 2012) sin que exista la comprensión necesaria para predecir los cambios resultantes de su manejo (Guariata y Balvanera 2009), y sin que se evalúen las implicaciones del cambio de uso de suelo sobre la capacidad de rendir servicios ecosistémicos.

Si bien los marcos para el manejo en estas selvas continúan en desarrollo, uno de los aspectos importantes a considerar es su aplicabilidad en regiones con escenarios biofísicos y sociales contrastantes (Martínez-Ramos *et al.* 2012). La información edáfica existente en México para las áreas con cobertura de selva sólo identifica el suelo dominante en una región por motivos de escala (1:250 000), y es insuficiente para el monitoreo de las áreas tropicales a lo largo del tiempo y bajo distintos usos (Cotler 2003; Guariata y Balvanera 2009). Por lo tanto, una perspectiva del paisaje que incorpore conocimiento biofísico robusto es fundamental para entender los ecosistemas tropicales, tanto conservados como modificados (Gardner *et al.* 2009).

Un enfoque que permite integrar las condiciones biofísicas es el levantamiento geopedológico (Allende y Mendoza 2007). Este enfoque es particularmente sólido porque combina los procedimien-

tos convencionales de campo, con las ventajas de la teledetección para la obtención de datos, y los sistemas de información geográfica (SIG) para su procesamiento (Zinck 2005).

La Selva Lacandona alberga alrededor de 20% de la diversidad biológica mexicana, en tan sólo 0.16% del territorio nacional (Medellín 1996). Se encuentra en un paisaje muy variable en suelos y geoformas, donde las comunidades bióticas responden a los respectivos cambios en la calidad de sitio (Siebe *et al.* 1995; Martínez-Ramos 2006). Este trabajo tiene como objetivo realizar una caracterización geopedológica necesaria para los estudios ambientales y ecológicos de la región sur de la Selva Lacandona.

2.2.2 METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó en el área circundante a la Estación Chajul, al sur de la Reserva de la Biosfera Montes Azules (RBMA), así como en la porción del municipio Marqués de Comillas que abarca los ejidos de Galacia a Boca de Chajul y hasta la frontera con Guatemala. Predomina el clima cálido-húmedo, con una temperatura media anual de 22°C. La precipitación media anual es de 3 000 mm y se distribuye a lo largo del año a razón de 60 mm por mes durante la época seca (febrero-abril) y más de 300 mm por mes entre junio y octubre (Siebe *et al.*

¹ Posgrado en ciencias biológicas, Instituto de Geología, UNAM.

² Instituto de Geografía, UNAM.

³ Instituto de Geología, UNAM.

1995; INE 2000). Presenta áreas de selva alta perennifolia, selva mediana subperennifolia y vegetación sabanoide (Siebe *et al.* 1995; Martínez-Ramos *et al.* 2002). Se reconocen más de 3 400 especies de plantas vasculares para la región de la Selva Lacandona (Martínez *et al.* 1994), de las cuales 573 son árboles, y la diversidad de especies tiende a ser más abundante que en otras selvas húmedas de Centro y Suramérica (Ibarra-Manríquez y Martínez-Ramos 2002).

El área de estudio se localiza en la provincia fisiográfica de Sierras de Chiapas y Guatemala, dentro de la subcuenca del río Lacantún. La base geológica de la región la constituyen rocas calizas formadas durante el Cretácico, sobre las cuales descansan otras rocas sedimentarias del Terciario temprano, de diversa granulometría y composición (areniscas, conglomerados, lutitas, calcarenitas), todas ellas formadas por la acumulación gradual de sedimentos en el fondo marino. Estas formaciones rocosas fueron plegadas y levantadas por esfuerzos tectónicos, quedando la zona emergida hace unos 12 millones de años (SGM 1997; Padilla Sánchez 2007).

La dinámica de plegamiento, la disolución de la roca caliza y la fracturación geológica han contribuido al desarrollo de cuerpos de roca caliza en proceso de karstificación y un sistema de interfluvios y depresiones constituido por materiales sedimentarios diversos (García-Gil y Lugo 1992). Se pueden identificar al menos cuatro grandes unidades de relieve: 1) planicies aluviales; 2) terrazas aluviales; 3) lomeríos bajos, y 4) sierra kárstica.

Delimitación de unidades geomorfológicas

Para la integración geoecológica se utilizó el sistema de clasificación jerárquico propuesto por Zinck (1988) y Zinck y Valenzuela (1990). Para obtener unidades de mapeo e integración de la información se realizó la delimitación de unidades a partir de la interpretación visual de rasgos externos del relieve (Zinck 2012) en a) fotografías aéreas a escala 1: 20 000 del INEGI del año 1991, y b) el modelo digital de elevación

procesado a partir de curvas de nivel a escala 1:50 000 de la carta de E15D87 del INEGI (2013).

Suelo

Para caracterizar y cuantificar las propiedades de los suelos se realizó la recopilación de la información edáfica generada previamente por Siebe *et al.* (1995) y Celedón (2006); asimismo se realizó la descripción y muestreo de perfiles de suelo en las unidades dominantes del área de estudio, incluyendo rasgos geomorfológicos relevantes con base en el manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo, de Siebe *et al.* (2006), y que se clasificaron con base en la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS 2006). Se colectaron muestras por horizonte para el análisis de propiedades físicas y químicas en laboratorio.

Vegetación

Se recopiló información geológica y de las comunidades vegetales en las unidades geomorfológicas, para lo cual se consultó la cartografía temática existente y los estudios realizados en el área. Se revisaron los resultados que incluyen preferentemente árboles de d.a.p. ≥ 10 cm, en cuyo muestreo se describe el sitio/unidad geomorfológica, de tal forma que se pudiera cotejar con las unidades delimitadas en este trabajo.

2.2.3 RESULTADOS

La historia geológica de Chajul indica acontecimientos relativamente recientes que formaron un ambiente morfogenético mixto. Durante el Terciario temprano y medio tuvieron lugar procesos de plegamiento, levantamiento y fallamiento de las capas de roca (SGM 1997; Padilla Sánchez 2007) que dieron lugar a un *ambiente estructural* formado por un sistema de montañas alargadas con orientación noroeste-sureste, que se encuentran separadas por un *ambiente deposicional* formado durante el Pleistoceno y el Holoceno, es decir, en las últimas decenas

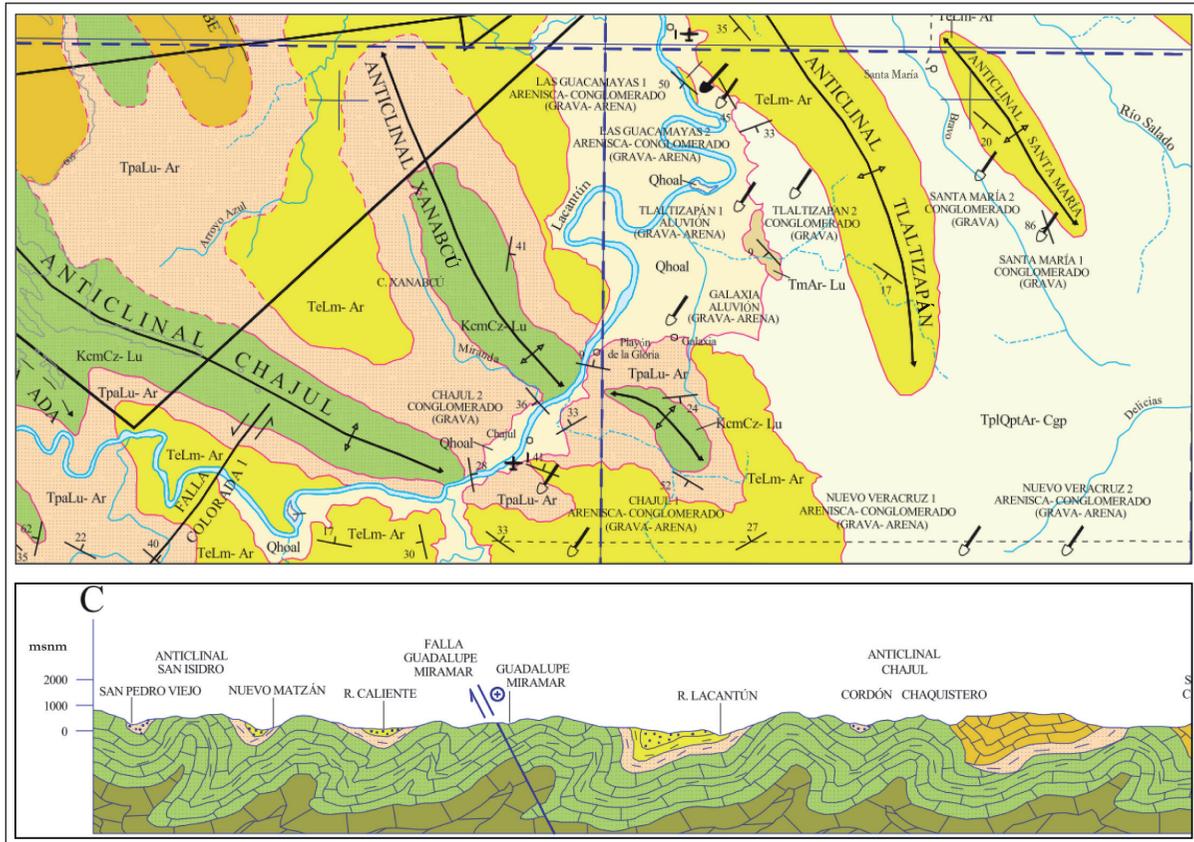


Figura 2.2.1 Geología del área de estudio. FUENTE: SGM 1997.

de miles de años, resultado del azolve de material aluvial acarreado por los ríos. Asimismo, la infiltración y el flujo subterráneo han contribuido al desarrollo de cuerpos en proceso de karstificación y un sistema rico en depresiones, producto de la disolución de la roca caliza (García-Gil y Lugo 1991).

Unidades geopedológicas

El área delimitada cubre un total de 33 898.2 hectáreas. Se encuentra en un intervalo altitudinal que va de los 140 m en las planicies aluviales hasta los 480 m en la sierra kárstica. La unidad que abarca una mayor superficie es la de lomeríos bajos; dentro de éstos, los lomeríos bajos de lutita y arenisca son los que presentan mayor cobertura en el área analizada. A continuación se describen las unidades delimitadas en este estudio.

Planicies y terrazas aluviales

Cubren 16% del área estudiada. Se dividen en las unidades de planicie aluvial de inundación y terrazas aluviales. Están formadas por depósitos aluviales del río Lacantún en el Holoceno (<0.1 Ma.). Al noreste del área de estudio se localiza una amplia superficie de planicie influenciada por el Lacantún en la cual se pueden apreciar tramos con marcadas sinuosidades del canal, o meandros, algunos de ellos ya abandonados por el río y que ahora alojan cuerpos de agua estrechos y alargados. Los suelos formados en esta unidad son profundos y tienen una muy buena penetrabilidad de raíces (67-90), están bien a moderadamente drenados, son de pH moderado a ligeramente ácido (5.6 a 6.9); los contenidos de material orgánico son altos (10% ± 3.6) dentro de los primeros 15 cm. Son suelos con un desarrollo moderado de estructura, de textura franca a franca

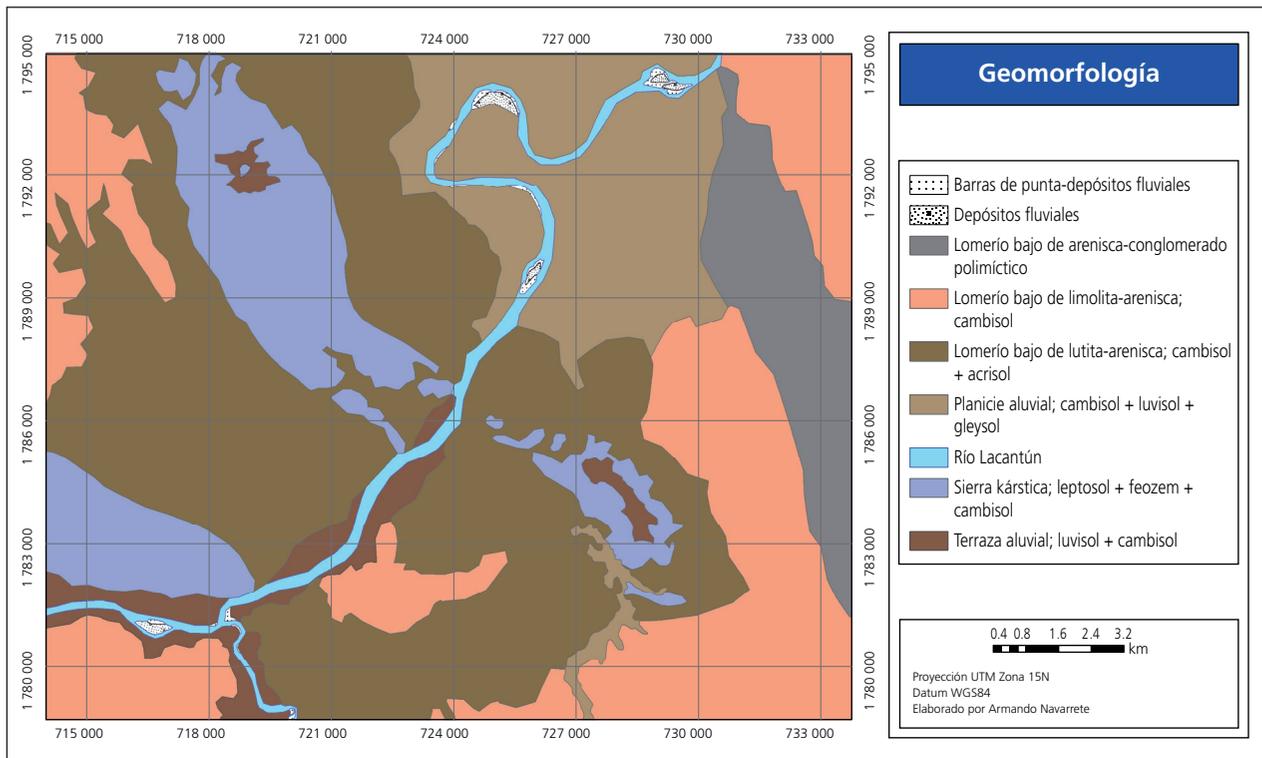


Figura 2.2.2 Unidades geomorfológicas del área de estudio.

arcillo-limosa. Su porosidad total es media-alta (47 a 60%), igual que su capacidad de aireación (8 a 12%). La capacidad de campo es de mediana a muy alta (277 a 667 litros/m²), al igual que la capacidad de retención de agua (135 a 325 litros/m²). El patrón de distribución de los suelos en esta unidad corresponde a una asociación de suelos de tipo fluvisol, cambisol y luvisol. Los perfiles descritos se clasifican como cambisol flúvico-estágnico (húmico, hiperéutrico); luvisol cutánico-estágnico (húmico, hiperéutrico, límico); cambisol flúvico (húmico, hiperéutrico); cambisol flúvico (hiperéutrico, límico) y gleysol. En algunos meandros del río Lacantún se pueden encontrar depósitos fluviales resultado de la dinámica de crecidas, a partir de la cual se forman zonas de deposición en los bordes interiores de las sinuosidades del río (barras de punta), en las cuales el sustrato comúnmente presenta textura arenosa y carece de vegetación. Dentro del cauce se logra identificar también bancos fluviales de are-

na y limo que tienen una ligera pendiente. Cubren 1% del área de estudio.

Lomeríos bajos

Cubren 70% del área de estudio y consisten de capas de roca sedimentaria inclinadas, alternando lutita, arenisca y caliza de la formación Soyaló del Paleoceno (55 a 67 Ma.). Sobre esta formación, durante el Eoceno (36 a 55 Ma.) se depositaron de manera concordante limolita y arenisca con intercalaciones de caliza de la formación del Bosque. Durante el Plioceno medio (5.1 a 1.6 Ma.) y hasta el Pleistoceno ocurrieron depósitos constituidos por arenisca, conglomerado polimíctico (depósito de piedras redondeadas de distintos tipos) y limolita (SGM 1997).

Lomeríos bajos de arenisca-conglomerado polimíctico

Se localizan al este del área de estudio, tienen una superficie de 2 990.4 hectáreas, en un intervalo de



JME

altitud que va de los 150 a los 200 m. El relieve consiste en ligeras elevaciones que forman un complejo de superficies cumbreles y laderas con pendientes de entre 2 y 26°. Los suelos de esta unidad se formaron a partir de arenisca y conglomerado polimíctico.

Lomeríos bajos de limolita-arenisca

Tienen una superficie de 8068.6 hectáreas, con altitudes que van de los 180 a los 200 m dentro de la Reserva de la Biosfera Montes Azules y de 150 a 200 m en la zona de Marqués de Comillas; presentan una topografía con pendientes de entre 2 y 26°. Los suelos, que se formaron sobre depósitos de sedimentos constituidos por limolita y arenisca, son de mediana profundidad (30 a 40 cm). Tienen un pH ligeramente ácido (6) y un alto contenido de materia orgánica (7% \pm 1.7) en su horizonte superficial; su textura es franco-limosa y cuentan con un

espacio poroso total mediano a bajo (36 a 46%), una capacidad de aireación mediana (7.5 a 8.5%), una capacidad de campo baja (181 litros/m²) y una capacidad de retención de agua disponible para las plantas baja (67.1). El drenaje es deficiente y se observan evidencias de procesos de oxidación-reducción a 40 cm de profundidad. Se encuentran mantillos tipo Mull. Los suelos de esta unidad corresponden a cambisoles. De acuerdo con los perfiles descritos se clasifican como cambisol vértico-estágnico (hiperdístrico) y cambisol estágnico (dístrico).

Lomeríos bajos de lutita-arenisca

Son la unidad que tiene mayor superficie en el área de estudio; se presentan en un intervalo de altitud que va de los 150 a los 200 m. El relieve consta de ligeras elevaciones que forman un complejo de superficies cumbreles y laderas con pendientes de en-

tre 2 y 26° en el área de la RBMA y de 2 a 6° en el área de Marqués de Comillas. Los suelos de esta unidad se pueden subdividir en suelos formados a partir de lutita y suelos formados a partir de arenisca. Los primeros presentan profundidad fisiológica media (60 a 66cm); tienen un pH fuertemente ácido (4.2) a moderadamente ácido (5.3) y altos contenidos de materia orgánica (10.3% ± 6) dentro de los primeros 20 cm. Son suelos bien estructurados en superficie; su textura va de arcillosa a arcillo-arenosa y el espacio poroso total es alto (> 50%), pero a profundidad el espacio poroso es mediano a bajo y su estructura suele ser masiva, lo que determina un drenaje deficiente. La capacidad de aireación del suelo es baja a mediana (4 a 11%); la capacidad de campo va de muy baja a alta (123 a 501) y la capacidad de retención de agua disponible para las plantas igualmente va de baja a alta (53 a 174 litros/m²). El suelo presenta rasgos que indican condiciones cambiantes de óxido-reducción. Los suelos se clasifican como cambisoles y los perfiles descritos corresponden a cambisol vértico-estagnico (hiperéutrico), cambisol estagnico (epidístrico), cambisol estagnico (húmico, hiperéutrico), cambisol estagnico (hiperéutrico).

En los suelos formados sobre areniscas la profundidad fisiológica es mediana (40 a 69 cm); el pH es fuertemente ácido (4 a 5); los contenidos de materia orgánica son altos (9% ± 2.9), así como los de aluminio intercambiable; tienen una capacidad de aireación mediana (8 a 10%), una capacidad de campo media-baja (80 a 287 litros/m²) y una capacidad de retención de agua disponible para las plantas que va de baja a alta (42 a 170 litros/m²); su drenaje es bueno, y se observan rasgos de iluvación de arcilla. Los suelos de esta unidad son acrisoles asociados a cambisoles. Los perfiles descritos clasificaron como acrisol cutánico (hiperdístrico, epiarénico), acrisol cutánico (húmico, hiperdístrico, arénico), cambisol háplico (alúmico, hiperdístrico), acrisol cutánico (alúmico, hiperdístrico).

Sierra kárstica

Cubre 13% del área de estudio; la estructura consiste de estratos de rocas plegadas, formando los

anticlinales (cadenas montañosas) Chajul y Xanab-cú, de dirección NW-SE, donde alternan estratos de caliza y de lutita del Campaniano-Maastrichiano (Cretácico superior, 67 a 83 Ma.) (SGM 1997). Una vez formadas estas elevaciones por los esfuerzos tectónicos, los procesos exógenos desgastaron gradualmente las formaciones rocosas dando lugar a las laderas y depresiones kársticas.

Laderas kársticas

Son unidades geológicamente constituidas por roca caliza; Abarcan una superficie de 4223.8 hectáreas, con altitudes que van de los 160 a los 425 m. Presentan una topografía abrupta con pendientes de entre 2 y 60°, dominando las superficies de entre 18 y 26° de inclinación. Presentan pedregosidad superficial de hasta 40%; los suelos formados a partir de la roca caliza en general son someros, con profundidad de 5 a 50 cm, pH ligeramente ácido (6 a 7) y altos contenidos de materia orgánica (17 ± 8.7%); su textura es arcillo-limosa y cuentan con un espacio poroso total mediano a alto (50 a 55%), una capacidad de aireación mediana (6.5 a 10.5%), una capacidad de campo mediana-alta (233 a 434 litros/m²) y una capacidad de retención de agua disponible para las plantas baja a media (81 a 142 litros/m²); se encuentran mantillos tipo Mull y los suelos dominantes son leptosoles asociados a feozems en las laderas. Los perfiles descritos clasificaron como leptosol réndzico y feozem réndzico (límico). En el borde con las planicies aluviales se pueden encontrar suelos de tipo cambisol estagnico (éutrico, límico).

Depresiones kársticas

Son unidades en las que la disolución de la roca caliza ha sido más pronunciada, resultando oquedades o depresiones en cuyo fondo queda retenido suelo.

2.2.4 EL EFECTO DE LA CALIDAD DE SITIO SOBRE LAS PRINCIPALES ESPECIES ARBÓREAS

El área de estudio presenta variaciones importantes en geoformas y suelos asociados a las mismas, en los

cuales contrastan los factores limitantes para el desarrollo de la vegetación. González-Gutiérrez (2000), reporta que existen diferencias significativas en la distribución y abundancia de las especies entre las diferentes unidades ambientales del área de estudio.

Efectos sobre la distribución

En las laderas kársticas se presentan los suelos más someros del área de estudio. En estas unidades se encontró una baja capacidad de retención de agua, lo que puede determinar estrés hídrico durante la época seca (febrero-abril). Sólo en algunos puntos se encuentran pequeños mosaicos de acumulación de suelo en los que se observa un mayor almacén de agua. Salinas-Melgoza (2002) analizó los patrones espaciales de distribución en individuos con d.a.p. > 10 cm en el área de estudio, a partir de lo cual reporta que el patrón espacial agregado fue más común en la sierra kárstica, es decir, en esta unidad aumenta la probabilidad de encontrar individuos de la misma población en una menor superficie. Asimismo, en esta unidad se pueden encontrar especies como *Neea psychotrioides*, *Manilkara zapota* y *As-tronium graveolens* (Siebe et al. 1995; González-Gutiérrez 2000). Algunas especies como *Aegephylla argentea* se desarrollan predominantemente en laderas inclinadas de calizas a altitudes mayores a 300 m.

En contraste, la unidad de lomeríos presenta una mayor variación en cuanto a calidad de sitio; de forma general los lomeríos muestran una mayor profundidad fisiológica y muy alta capacidad de retención de agua. El factor limitante puede ser la deficiencia de drenaje, en algunos sitios el pH fuertemente ácido, y la alta saturación de aluminio. En esta unidad Salinas-Melgoza (2002) encontró una distribución azarosa de las especies vegetales, similar a lo reportado por González-Gutiérrez (2000). Hay especies como *Miconis argentea*, *Trophis mexicana*, *Caesearia sylvestris*, *Calophyllum brasiliense* y *Schizolobium parahyba*. Asimismo, Siebe et al. (1995) reportan a *Dialium guianense*, *Cupania dentata* y *Brosimum costaricanum* como especies dominantes en esta unidad.

Dentro de los lomeríos también se puede encontrar vegetación de tipo sabanoide, caracterizada por árboles de alturas máximas de 15 m (Siebe et al. 1995). Su composición arbórea es similar a la del bosque en lomeríos bajos, con la abundancia adicional de *Terminalia amazonia*, *Lacistema aggregatum* y *Calophyllum brasiliense*. En las áreas periódicamente inundadas, caracterizadas por condiciones de deficiencia de drenaje dominan palmas de *Bactris belanoides*, *B. trichophylla* y árboles como *Pachira acuatica* y *Bravaisia integerrima* (Siebe et al. 1995).

La unidad de planicie aluvial tiene suelos bien drenados, con buen almacén de nutrimentos, pH ligeramente ácido y con un ambiente estable para el desarrollo de la vegetación. En esta unidad se reportan para el dosel superior especies como *Licania platypus* y *Brosimum alicastrum*, *Quararibea funebris*, *Stemmadenia donell-smithii*, *Castilla elastica*, *Talauma mexicana* y *Guarea glabra* (Siebe et al. 1995; González-Gutiérrez 2000).

Efectos sobre la abundancia

González-Gutiérrez (2000) encontró que la mayor abundancia de árboles en individuos con d.a.p. > 10 cm se presentó en la unidad de lomeríos; le siguieron en orden decreciente la planicie y la sierra kárstica. Los sitios de meandros abandonados mostraron la menor abundancia, que fue casi tres veces menor que aquella encontrada en los lomeríos. En estos últimos, *Brosimum costaricanum*, *Cymbopetalum penduliflorum* y *Protium copal* presentaron un mayor número de individuos. Asimismo, las especies que tienen mayor abundancia en planicie son *Licania platypus*, *Quararibea funebris*, *Stemmadenia donell-smithii*, *Castilla elástica*, *Talauma mexicana* y *Guarea glabra*. En los meandros se pueden encontrar: *Protium copal*, *Faramea occidentalis*, *Ceiba pentandra* y *Psychotria chiapensis*.

Efectos sobre la acumulación de biomasa

González-Gutiérrez (2000) reporta que el área basal demostró ser un buen indicador de las caracte-

rísticas favorables del ambiente geomorfológico y edáfico para el desarrollo de las plantas. En aquellas unidades donde se presentaron características que limitan el buen desarrollo vegetal (sierra kárstica y meandros), los individuos mostraron un menor crecimiento que en las unidades en donde los suelos presentaron una mayor profundidad y presentaron mayor almacén de nutrimentos (planicie).

Al respecto, Siebe *et al.* (1995) describen que la mayor área basal y altura del dosel se alcanza en la planicie aluvial, que presenta el mejor balance hídrico, buen drenaje y ligera acidez, así como los más altos contenidos de fósforo disponible.

Los lomeríos bajos presentaron un área basal menor; dentro esta unidad, el sitio que presentó menor área basal y altura del dosel se encontró asociado con Acrisoles, con pH fuertemente ácidos, una alta saturación de aluminio (68%), bajas concentraciones de bases intercambiables y de retención de humedad, características que en conjunto presentan condiciones desfavorables para el desarrollo de algunas especies (Siebe *et al.* 1995).

2.2.5 CONCLUSIONES

Los resultados reflejan la alta variación en las propiedades de los suelos en las distintas geoformas. La variabilidad espacial de características específicas de los suelos tiene una importante influencia en la composición y estructura de la vegetación actual. El manejo de los recursos de esta zona, sin tener el conocimiento de los suelos, puede llevar a la pérdida de biodiversidad así como de capacidad productiva y de almacenes de carbono. Los esfuerzos de conservación y restauración de la selva y sus servicios ambientales deben considerar las características geopedológicas de la región.

REFERENCIAS

- Daniels, T.W., J.A. Helms y F.S. Baker, 1979. *The Principles of Silviculture*. Nueva York, McGraw-Hill.
- De Jong, B., S. Ochoa-Gaona, M. Castillo-Santiago, N. Ramírez-Marcial y M. Cairns, 2000. Carbon flux and patterns of land-use/land-cover change in the Selva Lacandona, Mexico, *Journal of the Human Environment* 29(8): 504-511.
- Chazdon, R., C. Harvey, O. Komar, D. Griffith, B. Ferguson, M. Martínez-Ramos, H. Morales, R. Nigh, L. Soto-Pinto, M. Van Breugel y S. Philpott, 2009. Beyond reserves: A research agenda for conserving biodiversity in tropical cultural landscapes, *Biotropica* 41: 142-153.
- Celedón, H., 2006. Impacto del sistema de roza, tumba y quema sobre las características de tres unidades de suelo en la selva Lacandona de Chiapas. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas (Ecología y ciencias ambientales). Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cotler, H., 2003. El uso de la información edáfica en los estudios ambientales, *Gaceta Ecológica* 68: 33-42.
- DeClerck, F., R. Chazdon, K. Holl, J. Milder, B. Finegan, A. Martínez-Salinas, P. Imbach, L. Canet y A. Ramos, 2010. Biodiversity conservation in human-modified landscapes of Mesoamerica: Past, present, and future, *Biological Conservation* 143: 2301-2313.
- García-Gil, J.G., y J. Lugo-Hupb, 1992. Las formas del relieve y los tipos de vegetación en la Selva Lacandona, en M.A. Vázquez-Sánchez y M.A. Ramos (eds.), *Reserva de la Biosfera Montes Azules, Selva Lacandona: investigación para su conservación*, pp. 39-49. Centro de Estudios para la Conservación de los Recursos Naturales, A.C. Publicaciones Especiales de Ecosfera 1, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.
- González-Gutiérrez, M., 2000. Patrones de distribución y abundancia de especies arbóreas en Chajul, Chiapas. Su relación con la geomorfología. Tesis de licenciatura en Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Iztacala.
- Ibarra-Manríquez, G., y M. Martínez-Ramos, 2002. Landscape variation of liana communities in a Neotropical rain forest, *Plant Ecology* 160: 91-112.
- Martínez-Ramos, M., L. Barraza, P. Balvanera, J. Benítez-Malvido, F. Bongers, A. Castillo-Álvarez, A. Cuarón, G. Ibarra-Manríquez, Paz-Hernández, A. Pérez-Jiménez, M. Quesada-Avedaño, D. Pérez-Salicrup, A. Sánchez-Azofeifa, J. Shondube, K. Stoner, J. Alvarado-Díaz, K. Boege, E.

- del-Val, M. Favila-Carrillo, I. Suazo-Ortuño, L. Ávila-Caballero, M. Álvarez-Añorve, M. Cano-Ramírez, J. Castillo-Mandujano, O. Chaves-Badilla, E. de la Peña, A. Corzo-Domínguez, M. Godínez-Gutiérrez, A. Gómez-Bonilla, A. González-Di Piero, B. Fuentealba-Durán, W. Gudiño-González, O. Hernández-Ordóñez, K. Margalef, M. Lobeck, A. López-Carretero, C. Manrique-Ascencio, S. Maza-Villalobos, M. Méndez-Toribio, F. Mora-Ardila, C. Muench-Spitzer, C. Peñalosa-Guerrero, L. Pinzón-Pérez, M. Páramo-Pérez, F. Pineda-García, A. Ricaño-Rocha, M. Rocha-Ortega, J. Rodríguez-Velázquez, N. Schroeder, J. Trilleras-Motha, M. Van Breugel, P. Van der Sleen, E. Villa-Galaviz e I. Zermeño-Hernández, 2012. Manejo de bosques tropicales: bases científicas para la conservación, restauración y aprovechamiento de ecosistemas en paisajes rurales, *Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública* 4(2): 11-129.
- Martínez-Ramos, M., 2006. Aspectos ecológicos de la selva húmeda en la región Lacandona: perspectivas para su estudio y conservación, en K. Oyama y A. Castillo (eds.), *Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México. Perspectivas desde la investigación científica*, México, Siglo XXI Editores, pp. 292-325.
- Martínez, E., C.H. Ramos y F. Chiang, 1994. Lista florística de la Lacandona, Chiapas, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 54: 99-177.
- Medellín, R., 1996. Reserva de la Biosfera Montes Azules, *Gaceta Ecológica* 38: 23-26.
- Padilla y Sánchez, R.J., 2007. Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* LIX: 19-42.
- Salinas-Melgoza, M.A., 2002. Aspectos ecológicos de patrones espaciales de árboles tropicales, caracteres de historia natural y tipo de hábitat en una selva húmeda neotropical (Chajul, Chiapas, México). Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Servicio Geológico Mexicano, 1997. Carta Geológico-Minera: Las Margaritas, Chiapas, E15-12 D5-3.
- Siebe, Ch., G. Bocco, J. Sánchez y A. Velázquez, 2003. Suelos: distribución, características y potencial de uso, en A. Velázquez, A. Torres y G. Bocco, *Las enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales*, México, INE, Semarnat.
- Siebe, C., M. Martínez-Ramos, G. Segura-Warnholtz, J. Rodríguez-Velázquez y S. Sánchez-Beltrán, 1995. Soil and vegetation patterns in the tropical rainforest at Chajul Southeast Mexico, en D. Sigmarangkir (ed.), *Proceedings of the International Congress on Soil of Tropical Forest Ecosystems, 3rd Conference on Forest Soils (ISSS-AISS-IBG)*, Jakarta, Mulawarman University Press, pp. 40-58.
- Siebe, C., 1999. Monitoreo edafo-ecológico multiescalar, en C. Siebe, H. Rodarte, G. Toledo, J. Etchevers y C. Oleshko (eds.), *Conservación y restauración de suelos*, México, UNAM-Semarnap, pp. 263-278.
- Siebe, G., G. Bocco, J. Sánchez y A. Velázquez, 2003. Suelos: distribución, características y potencial de uso, en A. Velázquez, A. Torres y G. Bocco, 2003. *Las enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales*, México, INE-Semarnat.
- Tscharntke, T., J. Tylianakis, T. Rand, R. Didham, L. Fahrig, P. Batáry, J. Bengtsson, Y. Clough, T. Crist, C. Dormann, R. Ewers, J. Fründ, R. Holt, A. Holzschuh, A. Klein, D. Kleijn, C. Kremen, D. Landis, W. Laurance, D. Lindenmayer, C. Scherber, N. Sodhi, I. Steffan-Dewenter, C. Thies, W. van der Putten y C. Westphal, 2012. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses, *Biological Reviews* 87: 661-685.
- Zinck, J., 2005. *Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*, ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, University of Twente, Países Bajos.
- Zinck, J., y C. Valenzuela, 1990. Soil geographic database: Structure and application examples, *ITC Journal* 3: 270-294.
- Zinck, J., 1988. *Physiography and Soils. Soil Survey Course*, ITC, Enschede, Países Bajos.

