

La déforestation dans la Sierra Madre Oriental du Mexique analysée avec un système d'information géographique

Alain Winckell, Michel Le Page, Nestor Matamoros,
Libia Arriaga, Javier López *

Présentation

Objectifs et méthodes

La partie centrale de la Sierra Madre Oriental du Mexique a fait l'objet d'une intense déforestation récente qui se poursuit actuellement. Avec l'aide d'un système d'information géographique (SIG) multi-utilisations et en travaillant exclusivement à partir d'informations disponibles, produites par ailleurs, nous avons tenté de « décrypter » les principales composantes de ce processus et de répondre à des questions telles que: quelle surface de forêts a été coupée? De quel type? Dans quelles conditions? Pour quelles utilisations?

Les évolutions spatiales de la couverture forestière sont localisées au moyen d'une comparaison entre deux cartographies d'inventaire élaborées par l'INEGI. La *Carta de vegetación y uso del suelo* décrit la situation des années soixante-dix; c'est une carte classique couplant interprétation de photos aériennes prises entre 1973 et 1975, échantillonnage de terrain et restitution photogrammétrique. Cette information a été actualisée en 1995 par une interprétation de l'imagerie satellite Landsat Thematic Mapper de 1993 et un transfert des résultats sur « spatiocarte », mosaïque satellitale exempte de déformations.

Les conditions biophysiques de cette déforestation sont caractérisées par une agrégation des résultats de l'étude diachronique avec quelques caractéristiques sélectionnées du milieu naturel: catégories de pentes classées sur modèle numérique de terrain et zonage bioclimatique associant altimétrie, données de température et de pluviométrie.

L'explication des mécanismes tente d'estimer les parts respectives des principales destinations des bois coupés pour la consommation des ménages, les utilisations

* Alain Winckell, géographe; Michel Le Page, informaticien, mission IRD au Mexique; Nestor Matamoros, biologiste; Libia Arriaga, économiste; Javier López, géographe, INEGI, Dirección Regional Oriente, Puebla, Mexique.

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une convention entre l'IRD (ex-Orstom) France et « El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática » (INEGI, Mexique) pour la constitution du « Système d'information géographique de l'État de Veracruz ».

artisanales locales ou industrielles. Cette approche s’effectue à l’échelle de la municipalité, *el municipio*, division administrative pour laquelle les résultats de l’étape précédente sont agrégés avec les données des différents recensements de population de 1970 et 1990, économique de 1989 et agricole de 1991.

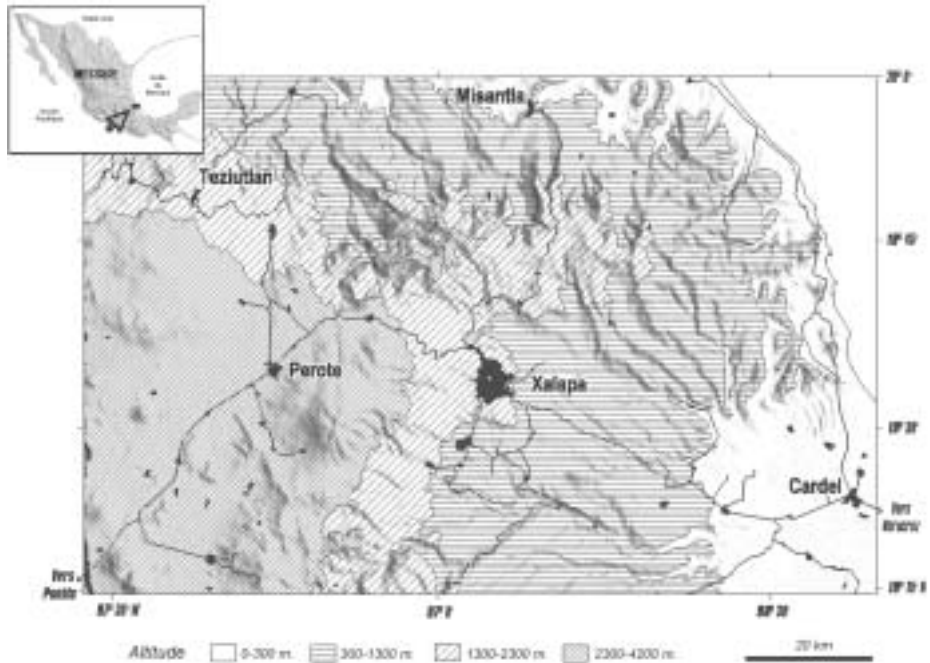
La Sierra de Misantla : présentation d’ensemble

La région choisie, connue comme la Sierra de Misantla, est un transect représentatif, physiquement très contrasté, situé sur la façade atlantique de la Sierra Madre Oriental (*carte 1*). Elle se situe dans la partie centrale de l’État de Veracruz et déborde légèrement à l’ouest sur la terminaison orientale de celui de Puebla.

Elle est traversée par le grand axe de communication entre le port de Veracruz, ville la plus importante de l’État, et Xalapa, la capitale, située à la partie supérieure du versant. Les origines de cette déforestation sont anciennes; au XVIII^e siècle, les bois du *Cofre de Perote* étaient utilisés pour la construction des navires dans le port de Veracruz, l’extraction forestière s’est accélérée à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle, à la suite de la fourniture de traverses pour les voies ferrées et des besoins urbains.

– À l’est, des terres basses, appelées « plaine côtière du Golfe », sont situées généralement en dessous de 300 mètres. Elles sont interrompues par l’avancée de la Sierra de Misantla dans la partie centrale.

Carte 1 – Localisation de la Sierra de Misantla



L'utilisation du sol reflète les conditions climatiques. La partie nord, tropicale chaude et humide, est dédiée à un élevage intensif sur des pâturages améliorés à *Privilegio et Estrella africana*. Au sud, de tendance subhumide à sèche, cet élevage est associé à une agriculture de subsistance de maïs, haricot, fruits tropicaux, et, dans les zones irriguées, à la canne à sucre, la mangue, la banane, la papaye et diverses cultures maraîchères.

– Le contact est marqué avec le versant atlantique de la Sierra Madre Oriental. Ces contreforts montagneux aux reliefs modérés puis forts constituent la retombée est des hauts plateaux centraux mexicains développés sur les émissions récentes liées à l'axe néovolcanique, dont la Sierra de Misantla constitue un chaînon avancé jusqu'au littoral atlantique. Les modelés sont très diversifiés, associant les surfaces ondulées de plusieurs niveaux étagés d'anciens épandages creusés par de profondes vallées aux flancs en gorges et des secteurs plus disséqués aux pentes très fortes.

Exposé aux circulations atmosphériques atlantiques, le versant est nettement stratifié. La frange inférieure, connue comme *Sierra baja*, de climat tropical humide, est occupée par une utilisation du sol de type côtier, associée à la caféiculture (zone de Coatepec). La partie supérieure ou *Sierra alta*, à tendance tempérée humide semi-froide, est le domaine des bois mésophiles, les pâturages tempérés à *Kikuyu* et *Gramma nativa* dominant associés aux cultures de maïs et de haricot.

– Des hauts reliefs montagneux, la plupart d'origine volcanique, s'élèvent graduellement vers l'ouest, jusqu'à 2550 mètres dans la Sierra de Misantla et culminent à 4250 mètres au Cofre de Perote, volcan aux nombreuses coulées de laves récentes.

Selon leur position au vent ou sous le vent, les versants ont des climats tempérés semi-froids variant d'humides à subhumides. C'est le domaine par excellence des bois de conifères. L'agriculture dominante est à base de maïs, pomme de terre, avoine et fève en altitude associée à un élevage extensif d'ovins et caprins.

– À l'ouest, le contact est brusque avec les hauts plateaux centraux vers 2300-2400 mètres, vastes étendues monotones dérivées des remplissages de bassins endoréiques, comme la Cuenca de Oriental, où ne subsistent que quelques lacs en voie d'assèchement.

En position d'abri derrière les massifs de la cordillère comme le Cofre de Perote, ces plateaux sont affectés par une sécheresse très marquée et des températures tempérées à froides au contact des reliefs. L'agriculture est extensive, basée sur le maïs, l'orge, le blé, le haricot et l'agave pour l'extraction du *Pulque*.

Les différentes couvertures forestières

Une harmonisation et un recodage d'ensemble des données cartographiques et statistiques se sont avérés nécessaires, afin de rendre compatibles les différentes unités des inventaires d'utilisation du sol de 1970 et 1995, d'une part, et les données des différents recensements, d'autre part.

Les types de forêts traditionnellement distingués dans la Sierra Madre Oriental ont été regroupés en cinq catégories, quatre arborées et une arbustive, qui s'associent spatialement avec les unités définies par des activités agricoles ou autres (*tableau 1*).

Tableau 1 – Regroupements des unités cartographiques

Sigle	Intitulé	Composition
<i>Activités agropéculaires et zones diverses</i>		
AR	Agriculture	Agriculture de temporal
AT	Agriculture d'irrigation	Agriculture d'irrigation, d'humidité
AP	Pâturages	Pâturages artificiels Pâturages naturels Végétation secondaire herbacée
VV	Zones diverses	Dunes cotières Agglomérations urbaines
<i>Végétation à fort potentiel forestier</i>		
BT	Bois tempérés	Bois de conifères Bois de chênes Associations chênes-conifères
BM	Bois mésophiles	Forêts des versants orientaux
BV	Forêts tropicales	Forêts tropicales de tous types Végétations aquatiques, forêts-galerie Mangrove
BS	Bois secondaires	Végétation secondaire arborée Végétation secondaire arbustive
<i>Végétation à faible potentiel forestier</i>		
VM	Matorral	Matorral de tous types

Les forêts tropicales se limitent au domaine climatique tropical chaud de la basse plaine et des premiers contreforts de la Sierra. Deux sous-types les composent, les forêts sempervirentes hautes et les forêts basses caduques. Ce sont normalement des associations à fort potentiel forestier, mais elles ne jouent plus ici qu'un rôle anecdotique, s'agissant uniquement d'unités reliques d'extension réduite, constituées de bois secondaires et de quelques restes de forêts et de chênes tropicaux, en voie de disparition.

Aux forêts tropicales ont été associées deux végétations aquatiques, les forêts-galerie établies sur les alluvions le long des cours d'eaux principaux, ainsi que les mangroves.

Les bois mésophiles de montagne correspondent aux peuplements forestiers localisés aux altitudes moyennes des versants externes des cordillères. Ils se situent préférentiellement sur les zones « au vent », exposées aux circulations atmosphériques provenant de l'océan, et soumises autant aux pluies orographiques qu'aux précipitations occultes, d'où leur nom de « forêt de brouillard ». Ils renferment de nombreuses espèces exploitables.

L'association chênes-conifères selon diverses modalités représente une physionomie caractéristique des peuplements forestiers tempérés et est située quasi exclusivement sur l'Altiplano. Ils partagent la même strate bioclimatique, tempérée semi-froide humide à subhumide, débordant localement vers le sec, mais seuls les conifères atteignent les plus hautes altitudes sur les versants du Cofre de Perote par exemple.

Liste des espèces par type de forêts**Bois de conifères**

- Abies religiosa* (oyamel)
- Cupressus* sp. (cedro blanco)
- Pinus hartwegii* (pino)
- Pinus leiophylla* (pino chino)
- Pinus montezumae* (ocote blanco)
- Pinus patula* (pino colorado)
- Pinus pseudostrobus* (pino lacio)
- Pinus rudis*
- Pinus strobus*
- Pinus teocote* (pino chino)

Bois de chênes et associés

- Alnus arguta* (ilite, aile)
- Alnus jorullensis* (ilite, aile)
- Arbutus* sp (madroño)
- Carpinus caroliniana* (lechillo)
- Liquidambar styraciflua* (liquidambar)
- Platanus mexicana* (alamo)
- Quercus hartwegii* (encino)
- Quercus oocarpa*
- Quercus* spp. (encino)
- Quercus pulchella*

Bois mésophiles

- Belotia mexicana* (cuapetate)
- Cyathea mexicana* (palma real)
- Clethra matudae* (jaboncillo)
- Cupania americana* (cuisal)
- Miconia hiperprasiana*
- Miconia laevigata*
- Pinus patula* (pino colorado)
- Rhamnus caroliniana*
- Trema micrantha* (capulín)
- Ulmus mexicana*

Forêts tropicales

- Avicennia germinans* (mangle negro)
- Brosimum alicastrum* (ramón)
- Bursera simaruba* (palo mulato)
- Caesalpinia* sp.
- Cecropia obtusifolia* (guarumbo)
- Cedrela odorata* (cedro rojo)
- Coccoloba barbadensis* (carnero)
- Cordia dodecandra* (siricote)
- Crescentia alata* (cuatecomate)
- Gliricidia sepium* (cocoite)

Heliocarpus sp. (majagua)
Laguncularia racemosa (mangle blanco)
Luehea candida (tepecacao)
Lysiloma sp. (tepeguaje)
Piscidia piscipula
Rhizophora mangle (mangle rojo)
Salix chilensis (sauce)
Tabebuia spp. (primavera)

Matorrals

Nolina sp. (palmilla)
Yucca carnerosana (palma samandoca)
Opuntia sp. (nopal)

Bois secondaires

Acacia pennatula (tepame)
Bursera simaruba (palo mulato)
Caesalpinia sp.
Cecropia obtusifolia (guarumbo)
Coccoloba barbadensis (carnero)
Gliricidia sepium (cocoite)
Heliocarpus sp. (majagua)
Luehea candida (tepecacao)

Les conifères constituent le faciès dominant des bois tempérés, tant en boisement primaire qu'en reboisement. Ils comprennent deux catégories, les sapins *Oyamels*, conifères de l'étage supérieur et surtout les pins. Ce sont pour la plupart d'intéressantes variétés commerciales. Les conifères incluent aussi des espèces moins fréquentes comme les cèdres blancs. Les bois caducs tempérés sont majoritairement des forêts de chênes.

Les *matorrals* sont très abondants au Mexique, mais peu représentés dans le cadre de cette étude, à l'exception d'un matorral désertique rosétophile localisé sur les hauts plateaux de la bordure orientale de la Sierra. Le potentiel forestier du matorral n'est pas nul, car aux faciès arbustifs typiques sont souvent associées des espèces arborées secondaires qui peuvent faire l'objet d'exploitations locales.

Deux catégories de *végétations secondaires ligneuses*, définies comme la repousse et la recolonisation naturelle des espèces après un déboisement, ont été inventoriées.

Elles peuvent être arborées ou arbustives, représentant deux états de dégradation avec toutes les modalités de transition. Dans les premières, les faciès boisés hauts dominent. Ils proviennent soit d'une exploitation sélective limitée à quelques espèces particulières, soit de zones anciennement déboisées puis laissées en l'état, sur lesquelles s'est développée une recolonisation naturelle. Les secondes résultent d'un déboisement plus avancé, les faciès arbustifs y dominent.

Tableau 2 – Évolution des superficies entre 1970 et 1995

	1970		1995		Diff. 1980-1995	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Agriculture	6 890,7	70,6	6 830,5	70,0	-60,2	-0,9
– cultures	3 994,8	41,0	3 933,0	40,3	-61,8	-1,5
– élevage	2 895,9	29,7	2 897,5	29,7	+1,6	+0,1
Bois primaires	1 360,1	13,9	965,2	9,9	-394,9	-29,0
– tempérés	716,1	7,3	526,8	5,4	-189,3	-26,4
– mésophiles	591,4	6,1	422,1	4,3	-169,3	-28,6
– tropicaux	52,7	0,5	16,3	0,2	-36,4	-69,0
Bois secondaires	1 220,6	12,5	1 662,7	17,0	+442,0	+36,2
Matorral	194,8	2,0	197,8	2,0	+3,0	+1,5
Divers	87,9	0,9	98,0	1,0	+10,2	+11,5
Total	9 754,1	100,0	9 754,1	100,0		

70,6 % contre 70 % pour l'agriculture, 28,4 % et 28,9 % pour la végétation boisée et le matorral.

Une approche au niveau des types de boisement permet de discerner des comportements variés (*tableau 2*).

La déforestation de la végétation naturelle primaire a été intense et presque un tiers des surfaces existant en 1970 a disparu, mais avec des différences significatives selon les faciès (*carte 3*). L'association chênes-conifères a enregistré plus de la moitié des déforestations effectuées au cours de la période. Ce sont au total près de 190 kilomètres carrés qui ont disparu, représentant un peu plus du quart du stock de 1970. Le recul des bois mésophiles est du même ordre, le stock actuel s'élève à 422 kilomètres carrés. De surcroît, les forêts tropicales ont perdu les trois quarts des 50 kilomètres carrés qu'elles occupaient en 1970 et sont réduites à des forêts reliques qui n'occupent plus que 16,3 kilomètres carrés.

Deux associations végétales se sont relativement bien maintenues. Le matorral occupe des surfaces stables (+1,2 % avec 198 kilomètres carrés), mais le fait qu'il ne constitue pas une ressource en bois *stricto sensu* peut expliquer qu'il ne soit pas l'objet d'une dégradation significative. Il en est de même de la végétation aquatique (forêt-galerie, palmiers hydrophiles, etc.) sans vocation forestière marquée.

Une évolution intéressante caractérise la végétation arborée secondaire, qui s'accroît de 442 kilomètres carrés (+36 %) pour atteindre 1 663 kilomètres carrés en 1990, constituant l'un des changements majeurs dans la physionomie forestière de la Sierra de Misantla. Sa progression est même légèrement supérieure à la totalité des surfaces de bois primaires déforestées par ailleurs.

Cette évolution révèle en fait la dégradation généralisée de la couverture forestière dans le Veracruz, une majorité des zones forestières déboisées étant ensuite abandonnée et soumise à une régénération forestière naturelle par des espèces secondaires. Mais elle peut aussi être mise en relation avec les processus d'aban-

don de terres agricoles, non entretenues et recolonisées par des espèces secondaires arbustives puis arborées.

Il n'est pas impossible que ces chiffres soient surestimés. D'une part, à cause du regroupement dans une seule catégorie « bois secondaires » des faciès arborés et arbustifs pour assurer la compatibilité entre les données de 1970 et de 1995 et, d'autre part, parce que certaines plantations arbustives permanentes d'agrumes et de café sous ombrage ont pu être identifiées, sur l'image satellitale, comme des boisements arborés secondaires.

Relations entre déforestation et pentes du terrain

L'une des motivations de la déforestation est souvent l'incorporation de nouvelles terres à l'activité agricole. La répartition des déboisements dans la Sierra de Misantla a donc été étudiée selon quatre types de pentes, classées en fonction de leur plus ou moins grande aptitude à supporter une mise en valeur agricole (*tableau 3*).

La relation déforestation-pente reste simple. Les superficies déboisées diminuent parallèlement à l'augmentation de la pente pour toutes les associations forestières primaires (*tableau 4*).

L'évolution des faciès secondaires est aussi étroitement liée à la pente, mais c'est inversement l'accroissement des surfaces qui diminue avec l'augmentation de la pente. Il s'agit de deux stimulations de même phénomène, mais dans des sens opposés. La déforestation secondaire est souvent latérale

Tableau 3 – Classes de pentes

Sigle	Classe de pentes	Conséquences sur la mise en valeur
1	p < 12 %	Terres irrigables et mécanisables
2	12 % < p < 25 %	Terres cultivables sans contraintes majeures
3	25 % < p < 50 %	Terres cultivables avec mesures de protection
4	p > 50 %	Terres à protéger ou devant conserver leur couverture naturelle

Tableau 4 – Relation déboisement-pente

Code	Agriculture	Bois primaires	Bois tempérés	Bois méso-philés	Bois tropicaux	Bois secondaires	Matorral	Divers	Total
<i>Surfaces 1970 (en km²)</i>									
0-12	4517,7	413,7	292,0	92,5	29,2	548,8	144,6	80,3	5 705,1
12-25	1557,3	394,7	220,1	162,0	12,7	352,0	29,8	4,9	2 338,7
25-50	706,3	403,4	168,0	226,4	9,1	277,7	18,6	1,4	1 407,4
> 50	109,4	148,2	36,0	110,6	1,7	42,2	1,8	1,4	303,1
TOTAL	6890,8	1360,1	716,1	591,4	52,7	1 220,6	194,8	87,9	9 754,3
<i>Variations 1970 - 1995 (en km²)</i>									
0-12	-28,7	-169,7	-120,7	-31,9	-17,1	183,8	2,5	12,1	
12-25	-16,7	-104,9	-40,9	-53,2	-10,7	122,6	0,6	-1,7	
25-50	-9,1	-90,6	-20,1	-62,9	-7,6	99,5	0,2	0,0	
> 50	-6,0	-29,8	-7,5	-21,3	-1,0	36,1	-0,3	-0,1	
TOTAL	-60,4	-394,9	-189,3	-169,3	-36,4	442,1	3,0	10,3	
<i>Variations 1970-1995 (en pourcentage du stock 1970)</i>									
0-12	-0,6	-41,0	-41,3	-34,5	-58,4	33,5	1,7	15,1	
12-25	-1,1	-26,6	-18,6	-32,8	-84,7	34,8	2,1	-34,6	
25-50	-1,3	-22,5	-12,0	-27,8	-82,8	35,8	0,9	-3,2	
> 50	-5,5	-20,1	-20,9	-19,2	-60,9	85,5	-14,8	-6,3	
Total	-0,9	-29,0	-26,4	-28,6	-69,0	36,2	1,5	11,7	

Ce sont les pentes faibles, inférieures à 12 %, qui sont préférentiellement affectées : 170 kilomètres carrés de bois primaires ont été ainsi coupés, soit 41 % de l'ensemble des surfaces déforestées. La diminution est graduelle sur les reliefs modérés. Les déforestations occupent une centaine de kilomètres carrés sur chaque classe de pente de 12-25 % et 25-50 % respectivement, ce qui représente environ la moitié des opérations de déforestation. Les terres les plus escarpées n'en sont pas indemnes, puisque près de 30 kilomètres carrés ont encore été exploités sur les pentes de plus de 50 %.

L'association chênes-conifères a été préférentiellement déforestée sur les pentes faibles, Elles ont vu disparaître, avec 120 kilomètres carrés de coupes, plus de 40 % de leur stock de 1975, soit presque les deux tiers des surfaces totales cou-

pées dans ce type de forêt. Les surfaces déboisées diminuent ensuite rapidement avec la pente.

La déforestation des *bois mésophiles* est du même ordre de grandeur. La quasi-totalité des 169 kilomètres carrés déforestés se localise sur des pentes inférieures à 50 % mais avec une répartition inverse à celle des bois tempérés, entre 31,9 kilomètres carrés et 62,9 kilomètres carrés pour les trois classes de pentes inférieures à 50 %. Ces étendues sont significatives et représentent environ un tiers des surfaces de cette forêt en 1970 pour chaque groupe de pente. Les plus fortes pentes sont encore peu atteintes, les déforestations de 21,3 kilomètres carrés n'affectent que 12,6 % du stock de 1970.

Cette répartition est liée à la localisation naturelle des bois mésophiles, sur les reliefs du versant oriental, aux pentes plus escarpées que les forêts tempérées en position sommitale ou les bois tropicaux de la région côtière.

La forêt tropicale, pendant la même période, a presque disparu. Le taux de destruction du stock disponible en 1970 dans chaque classe de pente est alarmant, atteignant toujours 60 % pour dépasser 80 % pour les pentes entre 12 et 50 %.

Les bois secondaires ont gagné plus de 400 kilomètres carrés (sur un total de 442 kilomètres carrés) répartis dans les trois classes de pentes inférieures, qui voient leur superficie s'accroître uniformément d'un tiers. Cette progression reste étroitement liée aux conditions de topographie et diminue rapidement avec la pente, de 183 kilomètres carrés sur les pentes à moins de 12 % à 100 kilomètres carrés sur les pentes de 25 à 50 %.

Leur avancée significative (+36,1 kilomètres carrés, soit une progression de 85 % de la classe > 50 %) atteste que les reliefs les plus pentus commencent à être touchés, indice d'un épuisement certain des zones les plus facilement accessibles.

La déforestation de la Sierra de Misantla n'est donc pas un phénomène terminal sur des reliefs pentus, elle s'exerce en majorité sur des stocks forestiers situés sur des terres qui pourraient avoir une vocation agropastorale.

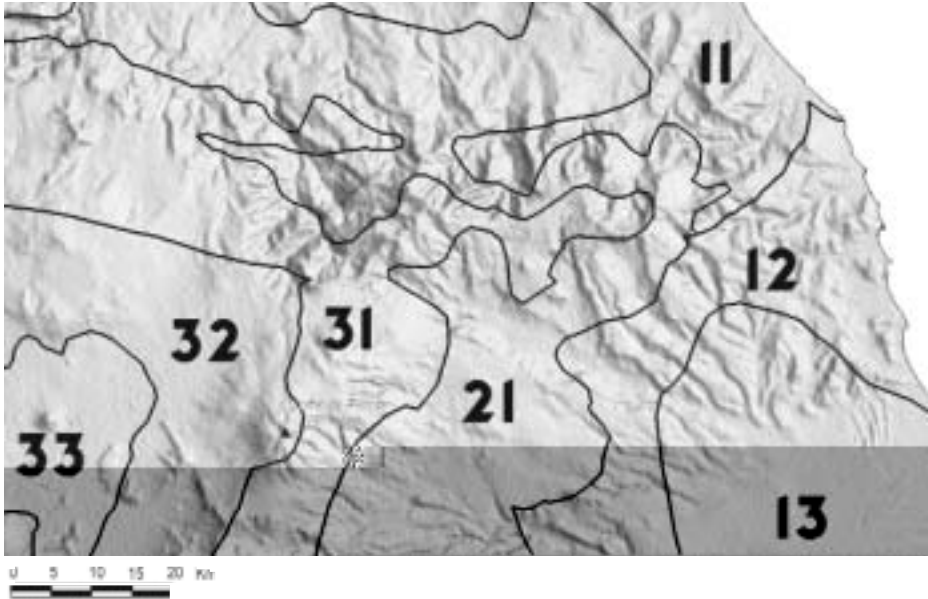
Relations entre déforestation et bioclimats

La caractérisation bioclimatique a été élaborée en combinant deux indicateurs, la température moyenne du mois le plus froid et le nombre annuel cumulé de mois secs [d'après H. Puig, 1976].

Le premier est un bon indice des limites thermiques qui conditionnent la répartition entre espèces tropicales, tempérées ou froides. Le second est calculé, par définition, comme la différence entre les moyennes mensuelles de la précipitation et de l'évapotranspiration potentielle. Pendant un mois sec, le sol est affecté par un déficit hydrique, il ne conserve théoriquement plus assez d'eau pour alimenter la végétation, rendant nécessaire des apports complémentaires par irrigation en cas de mise en culture. Sept zones ont été ainsi reconnues (*carte 4*).

La majeure partie des déforestations s'effectue dans les zones humides à sub-humides des versants de la Sierra (*tableau 5*). Deux étages à moins de 4 mois secs, les strates tropicale (21) et tempérée semi-froide (31) concentrent les deux tiers des surfaces déforestées, tandis que les secteurs à plus de 6 mois secs n'en représentent que 10 %. Cette étroite relation peut s'expliquer avec la situation originelle du stock

Carte 4 – Bioclimats



Légende de la carte

Sigle	Définition	Température moyenne du mois le plus froid	Nombre annuel cumulé de mois secs
11	Tropical chaud, humide		m.s. < 4
12	Tropical chaud, subhumide	$t^{\circ} > 18^{\circ} \text{C}$	$4 < \text{m.s.} < 6$
13	Tropical chaud, sec		m.s. > 6
21	Tropical, humide	$18^{\circ} \text{C} < t^{\circ} < 15^{\circ} \text{C}$	m.s. < 4
31	Tempéré semi-froid, humide		m.s. < 4
32	Tempéré semi-froid, subhumide	$t^{\circ} < 15^{\circ} \text{C}$	$4 < \text{m.s.} < 6$
33	Tempéré semi-froid, sec		m.s. > 6

Source: INEGI/Orstom, carte non publiée du SIG Veracruz.

forestier, préférentiellement dans les zones les plus humides, mais aussi avec la possible destination agricole des terres ainsi défrichées; les zones à longue saison sèche se prêtant plus difficilement à une activité agricole. Les changements sont mineurs et non représentatifs dans la zone tropicale, ou sur le matorral de l'étage tempéré semi-froid de l'Altiplano.

L'association *chênes-conifères* est majoritairement déboisée dans les strates humides à subhumides, tropicale (44 kilomètres carrés en 21) et tempérée semi-froide (126 kilomètres carrés en 31-32); les coupes effectuées dans l'étage tropical chaud (12) restant anecdotiques.

Les surfaces mises en évidence se calquent sur la répartition écologique des espèces. Les chênes sont exclusivement coupés dans la frange tropicale tandis que l'association pin-chêne est exploitée dans les strates tempérées à semi-froides. Ce sont en moyenne un quart des surfaces de 1970 qui ont été affectées. Mais ces

Tableau 5 – Relation déboisement-bioclimat

Code	Agriculture	Bois primaires	Bois tempérés	Bois mésophiles	Bois tropicaux	Bois secondaires	Matorral	Divers	Total
<i>Surfaces 1970 (en km²)</i>									
11	585,3	58,4	9,9	37,9	10,6	88,8		6,6	739,2
12	703,3	63,5	28,8		34,7	385,9		17,5	1 170,2
13	955,7	3,6			3,6	265,1		7,4	1 231,8
21	2 216,6	335,6	64,9	266,9	3,8	195,0		17,4	2 764,6
31	1 125,0	569,7	290,0	279,7		246,9		4,6	1 946,1
32	968,5	310,8	303,9	6,9		34,7	68,5	12,4	1 394,9
33	336,4	18,6	18,6			4,2	126,2	22,0	507,4
Total	6 890,7	1 360,1	716,1	591,4	52,7	1 220,6	194,8	87,9	9 754,1
<i>Variations 1970 - 1995 (en km²)</i>									
11	-29,6	-14,6	-1,4	-4,4	-8,8	42,3		1,8	
12	26,6	-38,8	-18,6		-20,2	13,7		-1,5	
13	36,2	-3,6			-3,6	-31,3		-1,2	
21	-79,0	-119,9	-43,6	-72,5	-3,8	178,3		20,6	
31	38,4	-130,9	-45,3	-85,5		94,6		-2,1	
32	-38,3	-87,9	-81,0	-6,9		133,5	-3,2	-4,0	
33	-14,5	0,7	0,7			11,0	6,2	-3,5	
Total	-60,2	-394,9	-189,3	-169,3	-36,4	442,0	3,0	10,2	
<i>Variations 1970 - 1995 (en pourcentage du stock 1970)</i>									
11	-5,1	-25,0	-13,8	-11,7	-83,0	47,6		27,4	
12	3,8	-61,1	-64,7		-58,2	3,5		-8,4	
13	3,8	-100,0			-100,0	-11,8		-16,5	
21	-3,6	-35,7	-67,2	-27,1	-100,0	91,4		118,6	
31	3,4	-23,0	-15,6	-30,6		38,3		-46,2	
32	-4,0	-28,3	-26,7	-100,0		384,1	-4,7	-32,7	
33	-4,3	3,8	3,8			261,1	4,9	-15,7	
Total	-0,9	-29,0	-26,4	-28,6	-69,0	36,2	1,5	11,5	

déforestations sont sélectives, représentant les deux tiers du stock disponible aux étages tropical chaud subhumide (12) et tropical humide (21).

Les bois mésophiles n'ont fait l'objet de coupes que dans les étages tropicaux (21) et tempérés semi-froids (31), avec moins de 4 mois secs, où 73 et 86 kilomètres carrés ont été respectivement déboisés. Il s'agit d'une déforestation importante qui représente environ un tiers des ressources disponibles à ces étages en 1970, et qui a conduit à leur totale disparition à l'étage tempéré semi-froid subhumide (32).

Les bois tropicaux sont principalement exploités dans la strate subhumide de l'étage inférieur chaud (12) où se concentrent les deux tiers des coupes. Les taux de destruction du stock originel sont toujours supérieurs à 60 % à tous les niveaux, cette catégorie de bois a même complètement disparu des étages 13 et 21.

Les bois secondaires montrent un comportement inverse et une progression forte dans les étages bioclimatiques où la déforestation des faciès primaires a été la plus importante.

L'essentiel de cette expansion se localise aux étages intermédiaires tropicaux à tempérés semi-froids, humides à subhumides (178 kilomètres carrés en 21 et 133 kilomètres carrés en 32), ce qui représente un quasi-doublement de la surface en 21 et une multiplication par 3,8 en 32. À l'opposé, l'étage tropical sec (13) accuse une régression de 31 kilomètres carrés.

Ces changements sont particulièrement significatifs, plus des trois quarts des opérations de déforestation des bois tempérés et mésophiles correspondent de fait à une exploitation sélective d'essences suivie de l'abandon de ces forêts à la recolonisation par une végétation secondaire.

Destination des terres déboisées

L'étude comparative de l'évolution des surfaces forestière et agricole permet d'évaluer les principales destinations des surfaces déforestées (*tableau 6*).

Les surfaces agricoles ont régressé de 60 kilomètres carrés pendant la période, ce recul n'est toutefois pas significatif, n'atteignant que 0,9 % des surfaces de 1970. Les surfaces abandonnées diminuent régulièrement avec l'augmentation de la pente. Mais ce bilan global doit être nuancé.

Les terres agricoles ont diminué sur toutes les pentes, avec des surfaces sensiblement égales dans chacune des trois classes inférieures. Il est étonnant de

Tableau 6 – Variation des surfaces agricoles

Code	Classe de pentes							
	0-12	12-25	25-50	> 50				
<i>Surfaces 1970 (en km²)</i>								
Agriculture	4 517,7	1 557,3	706,3	109,4				
Cultures	2 763,8	779,0	384,3	67,7				
Élevage	1 753,9	778,4	322,0	41,8				
<i>Variations 1970-1995 (en km²)</i>								
Agriculture	-28,7	-16,7	-9,1	-6,0				
Cultures	-16,4	-18,9	-20,5	-6,1				
Élevage	-12,3	2,2	11,4	0,1				
Code	Bioclimats							
	11	12	13	21	31	32	33	Total
<i>Surfaces 1970 (en km²)</i>								
Agriculture	585,3	703,3	955,7	2 216,6	1 125,0	968,5	336,4	6 890,7
Cultures	74,6	338,7	652,0	1 219,2	667,4	779,2	263,6	3 994,8
Élevage	510,7	364,6	303,7	997,4	457,6	189,3	72,7	2 895,9
<i>Variations 1970-1995 (en km²)</i>								
Agriculture	-29,6	26,6	36,2	-79,0	38,4	-38,3	-14,5	-60,2
Cultures	-6,5	43,8	35,3	-65,5	18,6	-72,5	-15,0	-61,8
Élevage	-23,1	-17,1	0,9	-13,6	19,7	34,2	0,5	1,6

constater que les pertes majeures se localisent sur les pentes les plus faibles, théoriquement les plus aptes à l'activité agricole.

Les pâturages restent par contre remarquablement stables (+1,5 kilomètre carré sur vingt-cinq ans), les pentes faibles, inférieures à 12 %, étant les seules à voir une diminution de 12 kilomètres carrés.

En zone tropicale chaude, il est difficile de déduire une tendance de l'évolution. L'augmentation des surfaces agricoles montre une incorporation de plus de 25 kilomètres carrés de bois primaires en zone 12, mais aussi de 30 kilomètres carrés de végétation secondaire en zone 13. Au contraire, la zone 11 voit une progression de 42 kilomètres carrés de la végétation secondaire au détriment de l'agriculture (deux tiers des apports) mais aussi des bois primaires.

Les tendances sont plus nettes dans les strates tropicale et tempérée semi-froide, où l'accroissement très important de la végétation secondaire se réalise au détriment de la déforestation des forêts primaires mais aussi par l'abandon de terres agricoles en quantités non négligeables : 79 kilomètres carrés en zone 21 et 38 kilomètres carrés en zone 32.

Seule échappe à cette règle la zone 31, où 38 kilomètres carrés de faciès forestiers ont été incorporés à l'agriculture (élevage, café, agrumes).

Ces résultats confirment que les pratiques de déboisement ne sont pas étroitement liées à une motivation agricole, l'incorporation de nouvelles terres à l'agriculture, même sur pentes faibles, n'apparaissant pas comme la destination prioritaire des terres déboisées.

Ce sont au contraire les bois secondaires qui sont les principaux « bénéficiaires » de ces coupes de bois. Leur accroissement se réalise principalement – pour plus de 90 % des surfaces – au détriment des bois primaires de tous types, mais aussi par une recolonisation forestière sur des zones agricoles ou des pâturages abandonnés.

Dans la majorité des situations, les opérations de déboisement dans la Sierra de Misantla consistent donc à exploiter sélectivement les essences intéressantes ; les surfaces ainsi coupées étant ensuite abandonnées à la régénération par une végétation secondaire à croissance rapide, mais appauvrie.

Comprendre la déforestation

L'impact des activités humaines sur le patrimoine forestier a été étudié par une évaluation spatiale et quantitative de la production et des principaux usages du bois. Trois types de recensement, levés par l'INEGI, ont été exploités. Le recensement démographique permet d'observer l'évolution des populations rurales et certains usages domestiques du bois, divers recensements agricoles sont utilisés pour quantifier la production, et les recensements économiques identifient les activités liées au bois.

Le cadre de l'étude couvre 61 municipalités appartenant aux États de Veracruz et Puebla. Cette division politico-administrative est le meilleur dénominateur commun pour les statistiques spatialisées entre 1970 et 1995. Ces municipalités ont pu être regroupées en quatre classes, au comportement relativement homogène, selon des critères altitudinaux, bioclimatiques et de type d'utilisation agricole des sols, correspondant aux « divisions régionales » communément acceptées.

- La région côtière, en dessous de 300 mètres. Sous un climat tropical chaud, les pâturages dominent sur la plaine littorale et collines des premiers contreforts.
- Entre 300 mètres et 1 300 mètres, les versants inférieurs toujours humides constituent la zone agricole tropicale par excellence associant cultures telles que café, canne à sucre et agrumes aux pâturages améliorés.
- Entre 1 300 mètres et 2 300 mètres, les versants supérieurs, aux pentes de plus en plus fortes, voient disparaître les cultures tropicales au profit de variétés tempérées représentées par l'association maïs-haricot-pâturages.
- Au-dessus de 2 300 mètres, les hauts plateaux, avec un climat tempéré semi-froid, sont dédiés, lorsque les conditions hydriques le permettent, à la polyculture à base de maïs. Les reliefs supérieurs et les pentes les plus fortes sont encore couverts de végétation naturelle.

La pression démographique

En 1995, ces 61 municipalités rassemblaient un total de plus d'un million et demi d'habitants pour une surface de 11 287 kilomètres carrés, avec un taux moyen annuel de croissance de 2,6 % depuis 1970, proche de la moyenne nationale.

La croissance est plus importante dans les parties supérieures de la région (2,88 % annuel) que dans les régions basses et côtières (1,99 % annuel). Mais cette dynamique n'est pas le fait d'une immigration à partir d'autres États du Mexique, puisqu'en 1990, la quasi-totalité (94,1 %) des habitants de la région déclaraient être nés dans l'État de Veracruz.

Conformément à la tendance générale mexicaine, on observe une forte croissance urbaine, c'est notamment le cas de la conurbation de Xalapa-Coatepec-Banderilla qui totalise aujourd'hui plus de 400 000 habitants. Teziutlán, dans l'État de Puebla, étant la seule autre ville qui dépasse les 50 000 habitants.

La population définie comme rurale – lorsqu'elle habite dans une localité de moins de 5 000 habitants – est pourtant restée dominante, malgré des taux de croissance nettement inférieurs. Elle totalise 837 900 habitants en 1995, soit une progression de 46 % sur vingt ans. La population rurale, qui représentait en moyenne 70,6 % de la population en 1970 et jusqu'à 90 % dans la plaine côtière, n'en représente plus que 55 % en 1995 (*tableau 7*).

Malgré la présence de l'agglomération de Xalapa, le versant supérieur est également resté une région très rurale puisqu'il domine largement les autres étages avec une densité de 113,7 habitants ruraux au kilomètre carré contre 76,6 pour le versant inférieur et seulement 48 sur le secteur côtier. On notera que l'Altiplano est la région qui progresse le plus en passant de 34 à 58,2 habitants ruraux au kilomètre carré entre 1970 et 1995.

L'évolution de la population économiquement active du secteur primaire (PEA1) est comparable à celle de la population rurale : elle augmente moins vite que les autres secteurs (+35,7 %) et baisse sous la moitié de la PEA totale.

L'observation des densités individualise nettement l'ensemble des versants inférieurs et supérieurs avec des valeurs de 20,1 PEA1 au kilomètre carré, doubles de celles de la frange côtière ou de l'Altiplano. C'est là que se localisent l'arboriculture tropicale typique de café, agrumes, bananes et les plantations de canne à sucre, grandes consommatrices de main-d'œuvre.

Tableau 7 – Relation déforestation-démographie

Code	Chiffres bruts			Taux de croissance		Densité		Pourcentage	
	1970	1990	1995	1970 -90	annuel	1970	1990	1970	1990
<i>Population totale</i>									
A	92060	141 874	149 534	54,1	2,19	40,14	61,85	80,75	80,79
B	248 503	386 154	407 369	55,4	2,23	66,66	103,58	80,48	78,97
C	349 150	623 088	723 582	78,5	2,94	142,71	254,68	56,16	39,40
D	124 105	208 823	239 827	68,3	2,64	44,02	74,07	77,31	70,56
Total	813 818	1 359 939	1 520 312	67,1	2,60	72,10	120,48	70,61	59,74
<i>Population rurale</i>									
A	82625	114 624	110 061	38,7	1,65	36,02	49,97	89,75	80,79
B	199 986	304 957	285 523	52,5	2,13	53,64	81,80	80,48	78,97
C	196 071	245 483	278 123	25,2	1,13	80,14	100,34	56,16	39,40
D	95 944	147 348	164 193	53,6	2,17	34,03	52,26	77,31	70,56
Total	574 626	812 412	837 900	41,4	1,75	50,91	71,97	70,61	59,74
<i>Population économiquement active du secteur primaire</i>									
A	17 302	23 227		34,2	1,48	7,54	9,28	75,96	55,93
B	49 598	68 972		39,1	1,66	13,30	17,39	74,06	62,48
C	43 127	55 109		27,8	1,23	17,63	22,88	45,56	28,78
D	23 739	34 259		44,3	1,85	8,42	10,50	72,82	60,27
Total	133 766	181 567		35,7	1,54	11,85	15,21	61,64	45,36
<i>Foyers cuisinant au bois</i>									
A	10 781	9 864		-8,5	-0,44	4,70	4,30	66,9	31,9
B	30 251	38 701		27,9	1,24	8,11	10,38	69,8	51,7
C	31 399	37 433		19,2	0,88	12,83	15,30	48,9	29,2
D	18 793	19 299		2,7	0,13	6,67	6,85	28,2	17,5
Total	91 224	105 297		15,4	0,72	8,08	9,33	47,9	30,6
<i>Maisons construites avec des murs en bois</i>									
A	5 955	5 101		-14,3	-0,77	2,60	2,22	37,0	16,5
B	21 240	24 618		15,9	0,74	5,70	6,60	49,0	32,9
C	24 187	25 666		6,1	0,30	9,89	10,49	37,6	20,0
D	9 407	9 953		5,8	0,28	3,34	3,53	14,1	9,0
Total	60 789	65 338		7,5	0,36	5,39	5,79	31,9	19,0

Utilisations domestiques

La cuisine au bois et au charbon. Selon les statistiques nationales de l'INEGI, les unités agricoles utilisent traditionnellement le bois comme combustible domestique.

Le nombre global d'utilisateurs varie relativement peu entre 1970 et 1990. Par contre, ce type de pratique devient moins fréquent puisqu'en 1990, les 105 000 foyers de la Sierra de Misantla qui déclaraient brûler normalement le bois ou le charbon de bois d'origine végétale comme combustible pour la cuisine représentaient 30,6 %, contre presque la moitié vingt ans auparavant. Le bois est surtout utilisé sur les versants mais son usage est peu répandu dans la région côtière et l'Altiplano. Dans ces deux secteurs, le nombre des utilisateurs reste stable entre 1970 et 1990, alors qu'il augmente de 23,5 % sur les versants. Cette répartition contrastée souligne aussi une certaine relation avec les étages dotés des plus abondantes ressources forestières.

L'origine exacte des bois utilisés pour la cuisine reste cependant indéterminée, proviennent-ils majoritairement de ramassages de bois effectués à proximité du lieu d'habitation, ou incorporent-ils des produits provenant de déboisements plus éloignés ?

Les maisons construites avec des murs en bois. Selon le recensement levé par l'INEGI en 1990, l'État de Veracruz contient près du quart des habitations mexicaines construites avec des murs en bois. Dans la Sierra de Misantla, les 65 338 maisons aux murs en bois, soit 18,6 % du total des habitations, représentent une proportion inférieure à la celle de l'État (23,16 %).

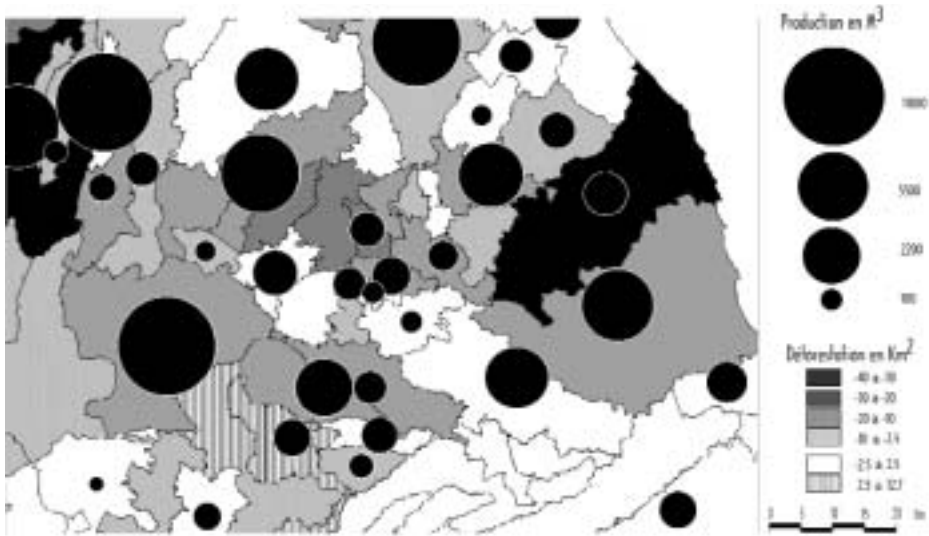
Ici, comme partout au Mexique, les maisons en bois se localisent plutôt dans les régions rurales. Leur progression est proportionnellement très faible à tous les étages d'altitude et leur nombre diminue dans les régions côtières. Comme pour la cuisine au bois, leur importance relative chute sensiblement entre 1970 et 1990, ce qui peut s'expliquer par une amélioration du niveau de vie et par la possibilité d'accéder à des matériaux de constructions plus estimés – et signe extérieur de richesse – comme la pierre, le ciment ou la brique, matériaux dont l'amélioration des infrastructures routières facilite par ailleurs la diffusion.

On notera que les habitants des zones hautes froides ne vivent pas dans des constructions en bois (moins de 10 % des habitations) : éloignement des sites de disponibilité ? inaptitude à assurer une bonne isolation contre le froid ?

Exploitation industrielle des bois

Si, globalement, on observe que la distribution des régions offrant les disponibilités en essences commerciales concorde avec celle des statistiques de production, dans le détail, la relation n'est pas directe entre les productions et l'espace d'exploitation. Les municipalités affectées par les coupes les plus importantes entre 1970 et 1995 ne correspondent pas précisément à celles qui déclarent les plus grosses productions (*carte 5*). Cela implique un fonctionnement relativement complexe du processus de déboisement, les volumes extraits n'étant pas nécessairement enregistrés dans la municipalité d'origine du bois. Ces données de production suggèrent aussi qu'une partie des productions déclarées provient de l'exploitation des forêts secondaires dans la région côtière et sur les versants.

Carte 5 – Déboisement et production



Sources : INEGI, 1991, *VII Censo Agrícola-Ganadero*; INEGI, 1984, *Carta de uso del suelo y vegetación*, 1: 250 000, Hoja Veracruz E14-3, 1a. edición, México; INEGI, 1996, *Carta de uso del suelo y vegetación*, 1: 250 000, Hoja Veracruz E14-3, edición provisional, México.

Les statistiques de production – deux sources ont été évaluées – sont sans doute parmi les plus incohérentes. Celles provenant de la SARH (*Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos*) détaillent les autorisations de coupe par municipalité en 1995 et 1996. La moyenne annuelle s'élève à 63 770 mètres cubes pour toutes les espèces confondues, les pins représentant 90 % du total. Le recensement agricole de l'INEGI de 1991, effectué dans les unités de production agricole, apporte une autre évaluation des volumes coupés. Le total est alors de 124 541 mètres cubes.

Les différences entre les deux sources ne concernent pas seulement la quantité totale, mais aussi les répartitions entre espèces. Après étude comparée des méthodologies utilisées pour l'obtention de ces statistiques, nous avons décidé de n'utiliser que les résultats de l'INEGI, comme de simples indicateurs intermunicipaux de la production forestière.

L'État de Veracruz n'est qu'un producteur moyen comparé à d'autres États de la Sierra Madre Occidental, comme le Durango ou le Chihuahua avec plus de 2 millions de mètres cubes. Il a produit 1 290 194 mètres cubes de bois en 1991, dont 10 % proviennent des 61 municipalités de la Sierra de Misantla.

Selon le recensement agricole de 1991, les trois quarts de la production de la région sont d'origine privée. Les utilisations déclarées vont de la confection de poteaux (31,6 %) au brûlage pour l'énergie (29,9 %), à la livraison aux scieries (2 %), le reste se partageant en usages non différenciés.

Selon le recensement économique de 1989, 163 unités de production déclaraient travailler dans l'industrie du bois et employer (seulement !) 867 employés.

Les scieries et les fabriques de meuble sont les deux catégories les mieux représentées, les deux autres secteurs recensés par ailleurs par l'INEGI, industries du papier et du carton, sont pratiquement inexistantes dans la Sierra de Misantla.

On notera que les scieries déclarent 392 employés, alors que selon le recensement agricole de 1991, seulement 2 % du bois leur serait destiné ! Quatre pôles concentrent la totalité des industries du bois répertoriées : Perote, dont la scierie avec 194 employés est le plus grand employeur industriel du bois de la région, suivi de Xalapa, Teziutlán et Misantla.

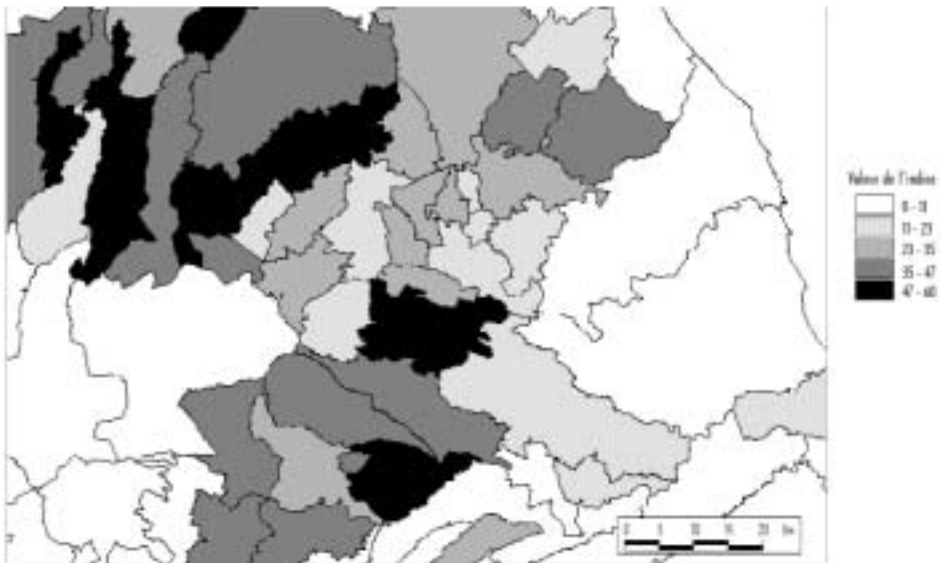
Estimer la menace anthropique sur la forêt

Par leur nombre, leurs activités ou leur comportement, les habitants ruraux font peser une menace sur le stock forestier. L'évaluation de cette menace a pu être modélisée en combinant trois variables liées aux opérations d'extraction de bois :

- la densité de la population économiquement active du secteur agricole,
- la densité de foyers qui cuisinent au bois,
- la densité de maisons construites avec des murs en bois.

Chacune de ces séries a été ordonnée (fonction Rank) selon une modalité croissante. L'indice final est la somme linéaire de ces trois qualifications, réétablie suivant le nombre de municipalités. Sa représentation cartographique (*carte 6*) confirme la localisation exclusive des municipalités les plus *agressives* sur les reliefs

Carte 6 – Indice de la menace anthropique sur la forêt



Sources: INEGI, 1990, *XI Censo general de población y vivienda*.

de la Sierra, préférentiellement à la frange supérieure. Les utilisations locales à des fins de consommation domestique interviennent donc pour une part importante dans l'utilisation des bois exploités. Dans le détail par contre, les disparités entre municipalités agressives et statistiques de production sont la règle, confirmant l'existence de flux des produits du bois entre municipalités.

L'exploitation des bois secondaires est difficilement appréhendée par les techniques utilisées. En calculant une densité de production moyenne annuelle à partir de la production enregistrée en 1991, des surfaces obtenues par croisement des cartes et du nombre d'années d'exploitation, selon la formule « $\text{prod}/(1/20 \times \text{surf})$ », on remarque que les trois étages supérieurs ont une production moyenne similaire d'environ 16 mètres cubes au kilomètre carré par an alors que la région côtière produirait quatre fois plus.

Dans la mesure où cette région côtière ne comptait déjà plus de forêts primaires en 1970, cette apparente anomalie de production ne peut s'expliquer que par le traitement sur place de bois coupés dans des municipalités des régions voisines, mais aussi par l'exploitation des faciès forestiers secondaires. Il est donc fort probable que cette exploitation soit généralisée et que d'importantes quantités de bois soient extraites des forêts secondaires à tous les étages.

Par ailleurs, l'exploitation forestière se caractérise aussi par la pratique de coupes *clandestines*. Les statistiques de production ne recouvrent donc vraisemblablement qu'une fraction du bois réellement extrait. Deux méthodes de calcul du volume total exploité pendant la période 1970-1990 apportent en effet des estimations fort différentes.

– La production totale de la période, estimée à partir des statistiques du recensement agricole de l'INEGI de 1991, s'élèverait à 2,5 millions de mètres cubes. Cette évaluation est d'ailleurs sous-estimée car cinq des municipalités étudiées n'ont déclaré aucune production, ce qui est douteux.

– La production *attendue* des surfaces déboisées au cours de cette même période a été calculée à partir d'un chiffrage des volumes de bois disponible élaboré par la SARH. Ces rendements s'échelonnent entre 85,2 mètres cubes à l'hectare pour les bois tempérés et 148,7 mètres cubes à l'hectare pour les forêts tropicales primaires. Le total général s'élèverait à 4,4 millions de mètres cubes.

Ce serait donc presque 2 millions de mètres cubes de bois, soit 40 % du volume, qui n'auraient pas été enregistrés entre 1970 et 1990. Ces coupes *hors statistiques* semblent être la règle et jouent un rôle non négligeable dans la destruction du patrimoine forestier de la Sierra de Misantla.

Leur origine est double :

– des exploitations à des fins commerciales, par des coupes effectuées sans autorisation et non déclarées,

– des coupes par la petite paysannerie (des *ejidos* en particulier) pour laquelle l'extraction du bois vise à la fois à répondre à des besoins domestiques comme source d'énergie ou matière première de construction et à apporter un complément monétaire non négligeable pour cette frange de la société agricole, en situation économique souvent précaire.

Essai de définition d'une typologie des fonctionnements régionaux

Les cartes ci-après apportent une visualisation synthétique des principaux phénomènes qui régissent le fonctionnement de l'exploitation forestière de la Sierra de Misantla.

L'indice de la disparité déforestation-production (*carte 7 a*) aide à mettre en valeur les contrastes résultant de la confrontation des données cartographiques, comme la mesure des surfaces déforestées, et statistiques, avec les volumes déclarés de production.

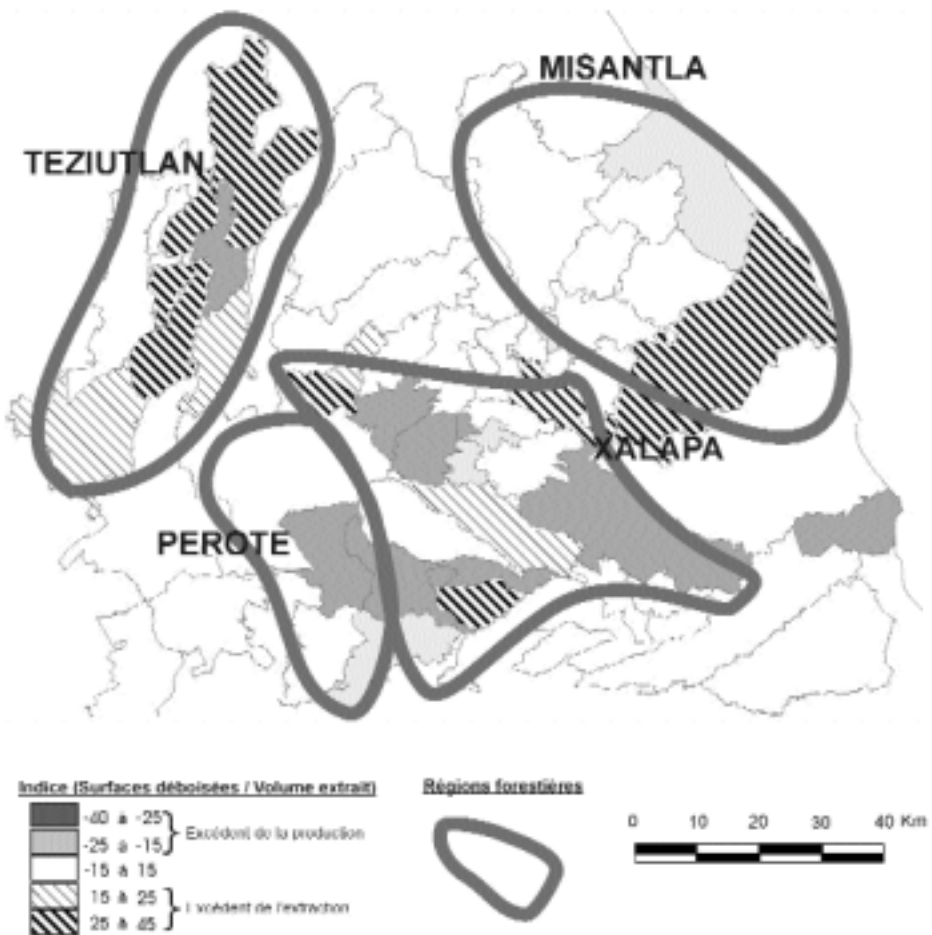
Cet indice a été calculé avec la formule suivante :

$$\text{Indice} = \text{Rank} (\text{prod91}/\text{surfmuni}) - \text{Rank} (\text{surfdébois}/\text{surfmuni}^2)$$

où :

- Rank est la fonction d'ordre entre les 61 municipalités,
- prod91 est la production totale de bois en mètres cubes déclarée dans le recensement agricole de 1991,
- surfmuni est la surface totale de la municipalité,

Carte 7 a – Surfaces déboisées/volumes extraits



- surfdébois est la surface de bois primaire disparue entre 1975 et 1995, par municipalité dans le cadre d'étude,
 - surfmuni2 est la surface de la municipalité incluse dans le cadre de l'étude.
- Trois secteurs industriels transforment les produits forestiers: les scieries, les fabriques de meubles et les usines d'emballages. Ils ont été combinés, à l'échelon municipal, et symbolisés par des cercles dont la surface est proportionnelle au nombre total d'employés, pour chacune des trois catégories mentionnées (*carte 7 b*).

Carte 7 b – Schématisation du fonctionnement de l'exploitation forestière



Les voies de communications classées comme principales en 1975 permettent de visualiser les axes de transports des produits du bois aux différents stades de l'exploitation. La régionalisation esquissée par la répartition des industries est ainsi délimitée dans l'espace par l'indice de disparité. Les flux de bois entre lieux de production et d'utilisation sont synthétisés par des flèches, qui permettent de visualiser les utilisations dans les municipalités de proximité ou au contraire les transports routiers vers les lieux majeurs de transformation.

Trois types de relation entre produits du bois et volumes extraits peuvent ainsi être mis en évidence :

Type 1: la production déclarée sur place est compatible avec les possibilités d'extraction offertes par les surfaces déboisées. La municipalité est en *équilibre*. Les bois produits peuvent être utilisés soit sur place soit à l'extérieur, mais ce type de flux échappe à l'indice des disparités.

Type 2: une production est déclarée dans la municipalité mais les surfaces déforestées ne peuvent pas avoir produit la totalité des volumes déclarés. Il s'agit donc d'une municipalité *utilisatrice*, « importatrice » de bois extrait ailleurs.

Type 3: une production est déclarée, mais il n'y a pas dans cette municipalité d'industries du bois. Il s'agit alors d'une municipalité *productrice* et « exportatrice », où le bois déclaré est extrait par les habitants de la municipalité qui le vendent dans d'autres municipalités dotées d'infrastructures plus appropriées.

Le schéma de fonctionnement du processus de déforestation dans la Sierra de Misantla semble ainsi s'articuler autour de quatre ensembles régionaux.

Les deux municipalités de Teziutlán et Tlatlauquitepec dans l'État de Puebla exploitent les derniers versants forestiers de la région. L'indice de disparité y est positif, indiquant que les exploitants forestiers vont chercher leur matière première sur le territoire des municipalités voisines. La production, en majorité de bois tempérés, alimente les scieries de taille moyenne de ces deux villes, ainsi qu'une fabrique de meubles.

Le fonctionnement de l'industrie du bois dans la municipalité de Perote est mixte. D'une part, c'est un très gros producteur. Mais les productions dépassent les possibilités des surfaces exploitées et l'approvisionnement de son importante scierie s'effectue aussi en dehors des limites municipales sur les flancs du Cofre de Perote, déclaré parc national depuis 1937! D'autre part, la gestion des forêts est différente de celles du type précédent, car ce sont ici les exploitants des municipalités voisines qui déclarent extraire du bois qu'ils vendent ensuite aux industries de transformation de Perote.

Xalapa est un centre important de communications situé sur le grand axe routier qui descend de l'Altiplano vers Veracruz, mais aussi bien relié avec les agglomérations latérales à cet axe. La capitale de l'État, dotée d'une industrie variée et de multiples intermédiaires, est donc un lieu d'attraction, d'échange et de consommation. L'industrie du bois n'échappe pas à cette règle, qui utilise les productions des municipalités voisines et se révèle bien diversifiée avec une prédominance des fabriques de meubles. Les essences traitées sont diverses car Xalapa se situe aux limites de plusieurs régions bioclimatiques.

La zone de Misantla est moins active que les précédentes. Les transferts sont peu marqués et les bois transformés sont essentiellement produits sur place. Ils

sont principalement utilisés pour la construction de meubles, certains renommés comme ceux élaborés à partir de cèdre rouge, extrait de quelques plantations locales, mais aussi des bois tropicaux secondaires en l'absence de forêt primaire d'importance.

*

Cet essai avait pour but de tenter de comprendre un processus de déforestation en cours sur deux décennies par le recours exclusif à l'information existante : cartographies thématiques, imageries satellitales, données de recensements et statistiques, et les moyens de traitement d'un système d'information géographique intégrant données naturelles, biophysiques et humaines.

Deux catégories d'enseignement peuvent être tirées, sur la situation régionale, d'une part, sur les avantages et limites de la méthode mise au point, d'autre part.

L'objectif initial qui consistait à décrypter les mécanismes de la déforestation patente de la région de Misantla a été globalement atteint. En effet, si le phénomène semblait généralement identifié, les traitements effectués ont apporté une compréhension précise de l'évolution récente en fonction de la diversité écologique de la fenêtre d'étude : comportements différenciés des groupements forestiers par essences, leurs relations respectives avec pentes ou bioclimats, leur spatialisation, quantification et évolution temporelle.

Cette étude a aussi permis de démontrer que le processus de déboisement est constitué de divers sous-systèmes parfois concurrents, parfois rivaux, qui sont plus ou moins agressifs par rapport à leur écosystème. Ces sous-systèmes ne sont d'ailleurs pas forcément liés entre eux et peuvent obéir à de simples limites topographiques, comme à Perote, ou géoadministratives, Teziutlán se situant dans l'État de Puebla.

Les résultats de pratiques néfastes ont été mis en évidence sur la totalité de l'espace considéré : la surexploitation des essences rares, voire leur quasi-disparition à certains étages, la déforestation sans but agricole immédiat, l'exploitation sélective sans suivi forestier générant des forêts secondaires aux qualités ligneuses bien inférieures en sont des exemples.

Le système socioécologique de la Sierra de Misantla que nous avons tenté de décrire n'est pas indépendant des orientations économiques, politiques ou sociales du reste de la région atlantique mexicaine, pour lesquelles la protection du biotope n'est peut-être pas actuellement prioritaire.

Cette étude résulte du concours de plusieurs disciplines : sciences de l'information, géographie, économie se sont en effet fédérées autour de l'outil « Système d'information géographique ».

L'approche de type SIG a apporté une vision d'ensemble des différents aspects de l'exploitation forestière dans la Sierra de Misantla incluant les relations homme-milieu dans leurs dimensions spatiales, quantitatives et temporelles. La confrontation de ces informations de sources différentes a permis d'identifier des dynamiques spatiales inappréciables sur le terrain parce que trop diffuses. La variété des opérations permise par un SIG encourage la création de résultats intermédiaires sous forme de cartes, tableaux ou graphiques et favorise donc une analyse

exploratoire et empirique de l'information. C'est ainsi que nous avons pu proposer des explications cohérentes aux dynamiques mises en évidence sur ce territoire.

Cette conclusion optimiste n'autorise pourtant pas à cacher un certain archaïsme des outils actuels de traitement face à la pléthore d'informations organiquement et qualitativement distinctes. Dans un univers informationnel où se côtoient données de densité, pourcentages et valeurs absolues, images satellitales, cartographies d'inventaire ou délimitations géopolitiques, l'interprétation doit reposer sur des protocoles de manipulation largement dépendants de l'expérience des experts. C'est cette dernière qui doit générer les méthodes adéquates à des informations qui ne sont autres que les agrégats résultant d'autres expertises.

Dans ce contexte, vouloir confronter et analyser en interdépendance des données du milieu physique et des données humaines constitue un vrai défi. Quand il s'agit ensuite d'analyser l'évolution comparée et d'en extraire les dynamiques spatiales, l'outil ne peut être relégué qu'à une place secondaire.

Les clés de la réussite résident avant tout sur la qualité de l'expertise humaine de tout le processus, sur une bonne connaissance de l'existence et la disponibilité des informations, et ensuite sur leurs aspects ontologiques et génétiques. Ce sont ces connaissances qui permettent ou autorisent certains usages. C'est par exemple ici l'impossibilité, pour des problèmes de géométrie de restitution, de réaliser une superposition directe des deux cartographies successives de végétation qui a dirigé cette étude vers des regroupements relatifs aux caractères écologiques de la zone.

Une telle approche ne doit pas chercher à se substituer aux méthodes d'étude plus traditionnelles, comme sondages ou enquêtes de terrain, techniques irremplaçables lorsque l'expertise requise devient sociale. Cependant, aucune autre méthode d'analyse n'aurait permis d'obtenir un décryptage à vocation aussi exhaustive de l'ensemble des mécanismes de l'exploitation forestière dans la Sierra de Misantla, dans les mêmes conditions de délais et de rapport investissement/résultats.

BIBLIOGRAPHIE

- ANÓNIMO [1981], *Comisión Técnico Consultiva para la determinación regional de los coeficientes de agostadero (Cotecoca)*, Secretaria de agricultura y recursos hidráulicos (SARH), Subsecretaria de ganadería, Veracruz, Segunda edición, México, D. F.
- CASTILLO C.G. [1991], *Vegetación y flora del municipio de Xalapa Veracruz*, Instituto de Ecología, Programa del hombre y la Biosfera (Mab, Unesco), Xalapa, Veracruz, México.
- CHALLENGER A. [1998], *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*, Conabio, UNAM y Agrupación Sierra Madre, S.C. México: 523-526.
- GEREZ FERNÁNDEZ P. [1985], « Uso del suelo durante cuatrocientos años y cambio fisonómico en la zona semiárida poblano-veracruzana », Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz, México, *Biótica*, 10 (2): 123-145.
- GOLBERG A.D. (Compilador) [1983], *Cuaderno de investigación: El Cofre de Perote, Investigaciones ecológicas en un área conflictiva*, Cuaderno de divulgación 9, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz, México: 11-69.
- HOFFMANN O. [1993], *Rumbos y paisajes de Xico (Geografía de un municipio de la sierra de Veracruz)*, Orstom, Instituto de Ecología, A. C. 13-28.
- HUMBOLD A. [1822], « Ensayo político sobre el Reino de la Nueva España », Col. Sepan cuantos, 39, Ed. Porrúa, México, D. F., *Biótica*, 10 (2), 198, Xalapa, Veracruz, México.

- INEGI [1970], *IX Censo General de Población, Estados de Puebla y Veracruz*, Dirección General de Estadística, Secretaría de Industria y Comercio, México.
- INEGI [1970], *V Censo Agrícola-Ganadero y Ejidal, Puebla, Veracruz*, Dirección General de Estadística, Secretaría de Industria y Comercio, México.
- INEGI [1980], *X Censo General de Población y Vivienda, Estados de Puebla y Veracruz*, México.
- INEGI [1982-1997], *Anuarios Estadísticos de Puebla*, 1982, 1985, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 y 1997, INEGI-Gobierno del Estado de Puebla, México.
- INEGI [1984-1997], *Anuarios Estadísticos de Veracruz*, 1984, 1988, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 y 1997, INEGI-Gobierno del Estado de Veracruz, México.
- INEGI [1989], *XIII Censo Industrial. Estados de Puebla y Veracruz. Resultados Definitivos*, Censos Economicos, México.
- INEGI [1990], *Codice 90, Resultados Definitivos, XI Censo General de Población y Vivienda*, Disco Compacto, México.
- INEGI [1991], *Sector Agropecuario. Resultados Definitivos. VII Censo Agrícola-Ganadero*, Disco compacto, México.
- INEGI [1994], *Los Municipios de México, Información censal, Censo económico 1989, XI Censo General de Población y Vivienda 1990, VII Censo Agrícola-Ganadero y Ejidal 1991*, Disco compacto, México.
- INEGI [1995], *Espaciograma*, Escala 1 : 250 000, Hoja Veracruz E14-3, 1a Edición, México.
- INEGI [1996], *Conteo 95, Conteo de Población y Vivienda, Resultados definitivos*, Estados de Puebla y Veracruz, Disco compacto, México.
- INEGI [1996], *Carta de Uso del Suelo y Vegetación*, Escala 1 : 250 000, Hoja Veracruz E14-3, edición provisional, México.
- INEGI-ORSTOM [1992], *Sistema de Información Geográfica del Estado de Veracruz*, Dirección Regional Oriente, INEGI, Puebla, México.
- MATAMOROS N., WINCKELL A. *et alii* [1994], *Sistema de Información Geográfica « SIG-Veracruz », Manual del usuario de la base de datos de los medios natural y agrario*, junio, Orstom-INEGI, Puebla, México, 126 p.
- NARAVE FLORES H. [1985], « La vegetación del Cofre de Perote, Veracruz, México », *Biótica*, 10 (1): 35-64.
- ORTEGA O.R. [1981], « Vegetación y flora de una corriente de Lava (malpaís) al NE del Cofre de Perote », Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz, México, *Biótica*, 6 (1).
- PIERRE R.J., GEISSERT D., CAMPOS A., KILIAN J. [1987], *Morfoedafología del área Xalapa-Coatepec. Descripción de las Unidades del mapa Morfoedafológico, escala 1 : 75,000*, Laboratorio de Investigaciones y Desarrollo Regional, Reconocimiento del espacio regional, Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom), Instituto nacional de investigaciones sobre recursos bióticos (INIREB), Centre de coopération internationale de recherche agronomique pour le développement (Cirad), Xalapa, Veracruz, México.
- PUIG H. [1976], *Végétation de la Huasteca, Mexique*, Mission archéologique et ethnologique française au Mexique, México: 45-60.
- RAMOS C.H., GONZÁLEZ-MEDRANO F. [1972], « La vegetación de la zona árida veracruzana », *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México*, 43 (1): 77-100.
- SOSA H.A. [1937], « El parque Nacional Nauhcampatépetl o Cofre de Perote », Bol. Dept. For. Caza y Pesca, *Biótica*, 10 (2), 1985, Xalapa, Veracruz, México.
- SOTO E.M. [1986], *Localidades y climas del estado de Veracruz*, Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos, Xalapa, Veracruz, México: 136-137.
- SPP-CGSNEGI [1982], *Carta Topográfica*, Escala 1 : 250 000, Hoja Veracruz, E14-3, Primera edición, México.
- SPP-INEGI [1984], *Carta de Uso del Suelo y Vegetación*, Escala 1 : 250 000, Hoja Veracruz E14-3, Primera edición, México.
- SUBSECRETARÍA FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE [1994], *Inventario Forestal Periódico del Estado de Veracruz*, Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, 95 p.
- VARGAS M.F. [1984], *Parques Nacionales de México y Reservas equivalentes pasado, presente y futuro*, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, D. F.