

Forest Change Assessment and Corresponding Driver Analysis in the Magdalena Department, Colombia (1985-2010)

TEJA KATTENBORN¹

Seit Jahrzehnten ist die alarmierende Rate der Tropenwaldverluste begleitet von empfindlichen Rückgängen der Biodiversität Gegenstand der Forschung. Jedoch wurde bisher weniger Focus auf trockene Tropenwaldgesellschaften gerichtet, den dominierenden Waldtyp der karibischen Ökoregion Kolumbiens.

Auf Grundlage von Landsat TM/ETM Daten wurden für die Jahre 1985, 2003 und 2010 über NDVI-Schwellwertbildung alle dicht mit Vegetation bedeckten Flächen ermittelt und landwirtschaftliche Flächen nach NN-Klassifizierung ausmaskiert.

Der immense Verlust an Waldflächen und damit Biodiversität wurde bestätigt und dokumentiert; tatsächlich beläuft sich die im zweiten Erhebungszeitraum 2003 bis 2010 fast verdoppelte Netto-Entwaldungsrate auf 126 km²/Jahr. Die Muster der Waldentwicklung konnten anhand sozioökonomischer Faktoren statistisch analysiert und erklärt werden.

1 Motivation und Zielsetzung

Kolumbien gehört zu den Ländern mit der höchsten Biodiversität, die seit Jahrzehnten durch Landnutzungsveränderungen hohem Druck ausgesetzt ist. Damit sind auch die Umweltleistungen der dortigen Waldbestände gefährdet sowie ihre sozio-ökonomische Nutzen.

Die Provinz Magdalena an der kolumbianischen Karibikküste wurde während der letzten Jahrzehnte in ihrer sehr dynamischen Entwicklung durch politische Instabilität, Drogenanbau, bewaffnete Konflikte und die für ein Entwicklungsland typische Armut geprägt. Die dortige Entwaldungsrate zählt zu den höchsten der Welt.

Im Rahmen eines Deutsch-Kolumbianischen Kooperationsprojektes mit dem Ziel, nachhaltige Forstwirtschaftskonzepte unter Betrachtung des Potentials von Lesser-Known Species (LKS) für diese Provinz zu entwickeln, war eine Fernerkundungspart vorgesehen, um Karten und Statistiken der Waldentwicklung seit 1985 zu erstellen, die maßgeblich durch die hohen Migrationsraten aufgrund langer gewaltsamer Konflikte geprägt ist. In den letzten Jahren haben sich in dieser Region die wirtschaftlichen Aktivitäten der meist kleinen "Stakeholder" normalisiert. Damit ist die Gefahr der Waldumwandlung in Anbauflächen und Viehweiden für die verblieben Sekundärwaldflächen wieder aktuell.

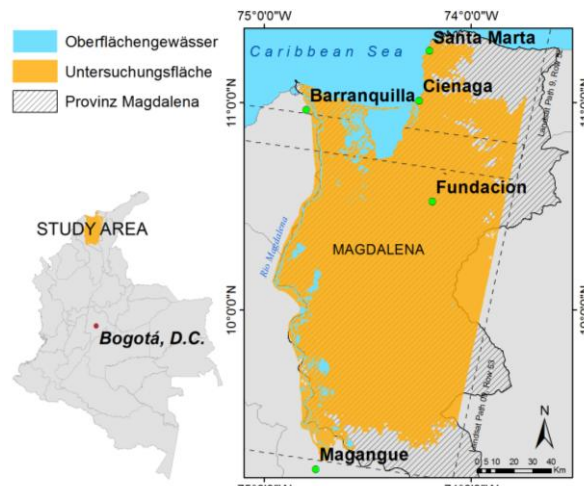
Im Rahmen des Gesamtprojektes hatte die vorliegende Studie folgende Zielsetzungen:

- Feststellung der Waldflächenveränderung seit den politischen Unruhen der 80er und der nachfolgenden stabileren Jahre seit 2003
- Analyse von Infrastruktur und Populationsdaten als Parameter für Ursachen der Walddegradation

1) Teja Kattenborn, Abteilung für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Tennenbacherstr. 4, 79104 Freiburg, teja.kattenborn@felis.uni-freiburg.de

2 Material und Methoden

2.1 Die Provinz Magdalena



Das Untersuchungsgebiet mit einer Größe von 20073,13 km² befindet sich im Norden Kolumbiens zwischen Lat. 9°16' - 11°19' und Long. -73°43' - -74°57' (Abb. 1) und ist von einem innertropischen Klima geprägt. Die Ebenen (0-500m) der Provinz Magdalena werden von Semi Deciduous Tropical Forest (kurz SDTF) dominiert, wobei nahe Gewässern Mangroven und andere hygrophile Waldarten vorherrschen (OLSEN & DINERSTEIN, 2002).

Die Hügel und Berge westlich von der Sierra Nevada de Santa Marta (kurz SNSM) westlich von Fundación bzw. Ciénaga zeichnen sich durch montane Varianten von Savannen und

Abb. 1: Untersuchungsgebiet in der Provinz Magdalena, Kolumbien

Tropenwäldern aus. Der Marihuana-Anbau der Campesinos in den 1970ern später auch Coca-Anbau hatten ausgedehnte Waldzerstörungen in den niederen Regionen der SNSM zur Folge. Auf einigen dieser Flächen konnte sich sekundärer SDTF entwickeln (CAVELIER et al., 1998; FPSNSM, 1991).

Die meisten Siedlungen – analog die höchste Bevölkerungsdichte - befinden sich an der Küste und entlang des Rio Magdalena. Letztere stieg zwischen 1985 und 2011 von 38 auf 52 Einwohner/km² (DANE, 2012). Die Bevölkerung setzt sich aus diversen Gruppierungen zusammen wie den Campesinos, welche aufgrund von politischen Unruhen während den 1950ern aus dem Landesinneren eingewandert sind, vier indigenen Kulturen in den SNSM sowie militärische und paramilitärische Gruppen (FPSNSM, 1991; DAVALOS & BEJERANO, 2008).

Die Wirtschaft der Region basiert hauptsächlich auf Tourismus, Handel und arbeitsintensiver Bewirtschaftung von Bananen- und Palmölplantagen. Aufgrund des anhaltenden Bedarfs an Agrarflächen sowie des Verbrauchs von Holz kommt es nach wie vor zu ausgedehnten und vor allem unkontrollierten Waldflächenverlusten sogar in Schutzgebieten wie der SNSM durch Coca-Anbau. (RESTREPO & SYVITSKI, 2012; DAVALOS & BEJERANO, 2008).

2.2 Feldkampagne

Eine Feldkampagne wurde durchgeführt, sowohl um mit den lokalen Landnutzungsformen und Vegetationsverhältnissen vertraut zu werden, als auch um nötige Informationen für die Interpretation der Satellitendaten und Verifikation der Ergebnisse zu gewinnen. Dabei wurden die vorherrschenden Landnutzungen stichprobenweise beschrieben und mit einer GPS-Kamera dokumentiert.

Des Weiteren wurden Ansässige und lokale Experten befragt, um spezifische Einblicke und Daten der regionale Kultur und Situation sowie Triebkräfte der Waldentwicklung zu erhalten. Die Felderhebungen umfassen zusätzlich eine systematische Forstinventur von etwa 80 ha Savanne und SDTF im Kerngebiete des Rahmenprojektes (PAREDES, 2012).

2.3 Prozessierung der Satellitendaten zur Analyse der Waldentwicklung

Da die Waldvorkommen des Untersuchungsgebiets hauptsächlich aus SDTF bestehen und Strategien zu dessen Erhalt Hauptzielrichtung des Rahmenprojektes waren, wurde ein Change Detection-Ansatz entwickelt, welcher hauptsächlich auf Basis eines Vegetationsindexes Waldflächen sicher identifiziert. Auf weitergehende Verfeinerungen z.B. nach Waldtypen konnte im Rahmen der Zielsetzung verzichtet werden.

2.3.1 Datenakquise und Vorprozessierung

Aufgrund vegetationssensitiver Sensorspezifikationen sowie guter zeitlicher und räumlicher Abdeckung wurden Landsat/TM/ETM+-Daten als Grundlage für die Change Detection-Studie gewählt. Drei Landsat-Abdeckungen (Pfad 08, Reihe 52/53) der Jahre 1985 (TM), 2003 (ETM+) und 2010 (TM) wurden identifiziert, welche den Großteil der Provinz Magdalena abdecken, aufgenommen jeweils zwischen dem 24. und dem 29. Januar, so dass jahreszeitliche Dynamiken die Change Detection-Ergebnisse nicht beeinflussen. Da dieser Zeitraum im Zentrum der meteorologisch stabilen Trockenzeit liegt sind die Daten zudem geringer von wechselnden atmosphärischen Bedingungen wie Nebel oder Dunst beeinflusst. (BRUCE & HILBERT, 2006)

Aus den so vorliegenden Rohdaten wurden zunächst anhand von post-Launch Gain and Offsets Top of Atmosphere-Reflektanzen berechnet. Zur Atmosphärenkorrektur wurde die Dark Object Subtraction angewandt, da diese keine in situ-Messungen benötigt, schnell implementierbar ist und dabei sehr gute Ergebnisse liefert (SONG et al., 2001).

Kleinflächig auftretende Cirrus- und Stratuswolken wurden auf Grundlage einer Orthogonal Subspace Projection (OSP) klassifiziert und anschließend maskiert.

Aufgrund der äquivalenten Aufnahmegeometrie der Landsat-Szenen und der überwiegend flachen Topographie wurde in der Auswertung auf eine topographische Korrektur verzichtet.

2.3.2 Normalized Difference Vegetation Index zur Walflächenanalyse.

In Tests verschiedener Vegetationsindizes (NDVI, SAVI, EVI, TCT) lieferte der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) die besten Ergebnisse. Damit wurden eine Reihe von ähnlichen Studien in der Nutzung von Landsat-NDVI für die Analyse von SDTF-Formationen bestätigt (MARTINUZZI et al., 2007, BARREDA-BAUTISTA et al., 2011).

Um den direkten, quantitativen Vergleich in der Change Detection-Analyse zu ermöglichen, müssen die Datensätze der Zeitreihe radiometrisch angeglichen werden. Unter der Annahme, dass Wasser, Fels und dicht bestandene Waldflächen z.B. in Schutzgebieten oder unzugänglichen Tälern zeitlich stabile spektrale Reflexionseigenschaften aufweisen, wurden deren NDVI-Werte zum radiometrischen Angleich genutzt. Zur Anwendung der Pseudo Invariant Feature (PIF)-Methode (BRUCE & HILBERT, 2006), wurden auf Basis der Feldaufnahmen 14 vegetationsfreie bzw. dicht bewachsene PIF ausgewählt. Um potentielle spektrale Veränderungen der PIF zwischen den Zeitperioden zu minimieren, wurde der mittlere Aufnahmezeitpunkt 2003 als Referenzspektrum gewählt, an das die NDVI-Spektren der Jahre 1985 und 2010 angeglichen wurden.

Im Anhalt an MARTINUZZI et al. (2007) wurde auf Basis von Ground Truth, panchromatischen ORBVIEW3-Daten und Landnutzungskarten des JRC/CIAT TREES-II-Projektes (ACHARD et

al., 2002) ein NDVI-Schwellwert bestimmt, der Waldbestände nach der FAO-Definition (FAO, 2005) von anderen Vegetationstypen trennt.

Um aufgrund ihrer hohen NDVI-Werte ebenfalls erfasste Bananen- und Palmenölplantagen auszuschneiden, wurden Maximum Likelihood-, Parallel Piped- und Neural Network-Klassifizierer mit originalen und synthetischen Landsat-Kanälen getestet, wobei die Kombination von Tasseled Cap-transformierten Landsat-Kanälen und Neural Network-Klassifikation die besten Ergebnisse lieferte. Somit konnte die aktuelle Waldfläche identifiziert werden, indem die aus der NDVI-Schwellwertbildung erhaltenen Vegetationsflächen mit jenen der klassifizierten Plantagen verschnitten wurden.

Die entsprechenden Waldflächen der Jahre 1985, 2003 und 2010 dienten folgend dem Prinzip von ELMQVIST et al. (2007) zur Erstellung der Waldentwicklungsklassen (Tab. 3).

2.4 Korrelation zwischen Waldentwicklung und potentiellen Triebkräften

Für eine Bewertung der potentiell für die Walddegradation bzw. -flächenveränderungen verantwortlichen sozio-ökonomischen Triebkräfte standen folgende Parameter zur Verfügung: A) Transportnetzwerk bzw. Zugänglichkeit, B) Entfernung zur nächsten Siedlung und damit Holzmarktnähe, C) Populationsdichte als Indikator für direkten Holzverbrauch D) Naturschutzgebiete E) Brandflächen (Tab. 1).

Tab. 1: Parameter zur Analyse der Beziehung zwischen Waldentwicklung und sozio-ökonomischer Triebkräfte, Provinz Magdalena, Kolumbien

<i>Triebkraft</i>	<i>Parameter</i>	<i>Räuml. Auflösung</i>	<i>Datenquelle</i>
A) Zugänglichkeit	Euklidische Distanz zum Transportnetzwerk [m]	90-m grid	Vorliegende Studie
B) Marktnähe	Euklidische Distanz zur nächsten Siedlung [m]	90-m grid	GRUMP
C) Holzverbrauch	Populationsdichte [Bewohner/km ²]	5-km grid	UNEP-GRID
D) Schutzstatus	Naturschutzgebiete [binär 0/1]	90-m grid	SIGAC
E) Slash & burn	Klassifizierte Brandflächen in 1985, 2003, 2010	30-m grid	Vorliegende Studie

Die Beziehung zwischen diesen Parametern und den Waldentwicklungsklassen (Waldverlust, stabiler Wald und Waldzuwachs seit 1985) wurde sowohl für geeignete Sub-Regionen als auch für das gesamte Gebiet in R-Statistical Language untersucht. Dabei wurde Spearman's Korrelationskoeffizient genutzt, da einige dieser Parameter keine Normalverteilung aufwiesen.

3 Ergebnisse

NDVI-Schwellwert und Maskierung von landwirtschaftlichen Flächen durch NN-Klassifikation ergaben die Verteilung der Waldflächen (Tab. 2), wobei deutlich wird, dass lediglich 22,6% des gesamten Untersuchungsgebietes in 2010 bewaldet sind. Anhand der erstellten Waldentwicklungsklassen (Tab. 3) lässt sich erkennen, dass 60% des gesamten Waldverlustes zwischen 1985-2010 seit 2003 stattfand. Hierdurch ergibt sich für den Zeitraum 2003-2010 eine Nettowaldverlustrate von 126 km², die sich im Vergleich zum Zeitraum 1985-2010 mehr

Tab. 2: Wald- und Plantagenfläche, Provinz Magdalena, Kolumbien, 1985/2003/2010

<i>Jahr</i>	<i>Wald (km)²</i>	<i>%</i>	<i>Plant. (km)²</i>	<i>%</i>
1985	6368,75	31,7	337,6	1,6
2003	5417,29	26,9	619,7	3,1
2010	4534,60	22,5	808,9	4,0

als verdoppelt hat.

Die Waldverluste hauptsächlich an SDTF fanden überwiegend in ländlichen und abgelegenen Gebieten statt aber auch in Hotspots nahe den klassifizierten Plantagen und in sekundären SDTF östlich von Fundación (Abb. 2).

Stabiler Wald wurde überwiegend in schwer zugänglichen Gebieten der SNSM über 450m NN oder in den Sümpfen der Lagune Ciénaga de Grande de Santa Marta identifiziert. Kleinere Flächen befinden sich am Rande von Flussläufen oder an steilen Hängen und Tälern. Waldzuwachs fand verstreut auf ehemaligen Rodungsflächen und in Clustern nahe Baranquilla, Ciénaga und Santa Marta statt.

Die ermittelten Waldentwicklungsklassen und sozio-ökonomischen Faktoren weisen generell eine hohe Korrelation auf (Spearman's rho).

Davon wies Zugänglichkeit (Abb. 3) die stärkste Korrelation auf. Die Beziehung zeigt, dass Waldflächenverluste vermehrt in leichter zugänglichen Gebieten auftreten. Entsprechend befindet sich das erste Quantil der Waldflächenverluste innerhalb einer Distanz von 212 m zum Verkehrsnetzwerk. Stabiler Wald hingegen befindet sich hauptsächlich in weniger zugänglichen Gebieten. Waldflächenzuwachs weist kein deutliches Muster.

Die Entfernung zu Siedlungen wies ein ähnliches Muster auf, wobei die gleichwohl starke Korrelation geringer ausfiel. Auffallend ist jedoch die leichte Zunahme von Waldflächenzuwachsen in Nähe zu Siedlungen.

Verlust an Waldflächen konzentriert sich in Gebieten mit geringen Populationsdichten (23 Einw./km²). Mit höheren Populationsdichten steigt der Anteil von Waldflächenzuwachs (32 Einw./km²) und stabilen Wäldern (46

Tab. 3: Waldentwicklungsklassen nach Fläche und Prozent, Provinz Magdalena, Kolumbien, 1985-2010

Waldentwicklungsklasse	Logisch. Ausdruck*	in km ²	in %
Waldverlust 1985-2010	1985 ¬(2003 v 2010)	3019,7	15,0
Waldverlust 2003-2010	2003 ^¬ 2010	1829,3	9,1
Stabiler Wald 1985-2010	1985 ^ 2003 ^ 2010	2925,2	14,6
Waldzuwachs 1985-2010	2010 ^¬ 1985	1185,5	5,9
Waldzuwachs 2003-2010	2010 ^¬ 2003	946,6	4,7

*^ steht für "und"; ¬ steht für "nicht"; v steht für "oder"

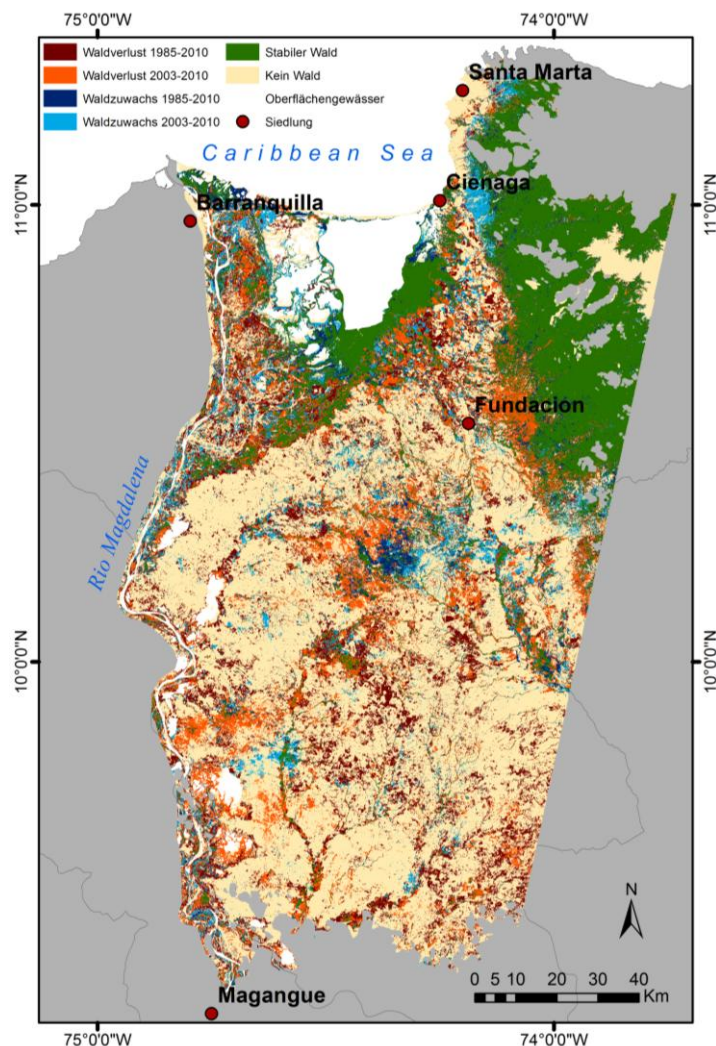


Abb. 2: Karte der Waldentwicklung, Provinz Magdalena, Kolumbien, 1985-2010

Einw./km²), letztere befinden sich überwiegend in dichter besiedelten Gebieten.

Schutzgebiete weisen einen deutlich erhöhten Anteil von stabilen Wäldern auf (Tab. 4). Dabei stieg der Anteil stabiler Wälder im Zeitraum 2003-2010 deutlich an.

Tab. 4: Relativer Anteil der Waldentwicklungs-klassen in geschützten und nicht geschützten Gebieten, Provinz Magdalena, Kolumbien

		Zeitraum	Seit 1985	Seit 2003
Geschützt	Verlust		4,7%	0,9%
	Stabil		77,9%	90,1%
	Zuwachs		17,3%	8,9%
Ungeschützt	Verlust		47,1%	36,0%
	Stabil		36,3%	46,2%
	Zuwachs		16,5%	17,7%

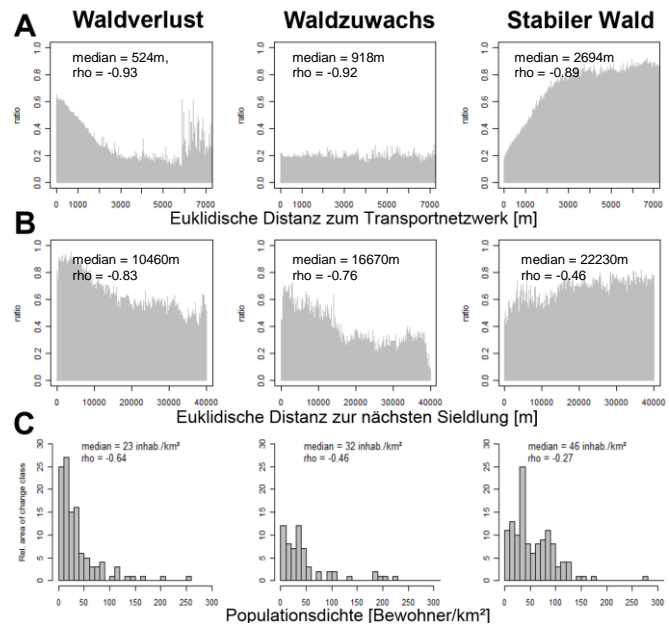


Abb. 3: Beziehung der Waldentwicklungs-klassen zu Zugänglichkeit, Marktnähe und Populationsdichte, Provinz Magdalena, Kolumbien, 1985-2010

4 Diskussion und Schlussfolgerung

Unter operationellen Bedingungen wurde eine modulare, flexible Prozessierungskette entwickelt. Korrektur der Satellitendaten und deren Auswertung bezüglich der Waldentwicklung und der korrespondierenden Triebkräfte sind als Blaupause auf ähnliche Regionen übertragbar, wiederholbar und somit ein wertvolles Werkzeug für Monitoring und Erfolgskontrolle implementierter Maßnahmen. Überschlägig kalkulierte Kosten für das Verfahren belaufen sich auf 0.46 €/km². Damit konnten mit geringem Mitteleinsatz wertvolle, detaillierte Informationen in Form von Karten und Statistiken erstellt werden.

Die alarmierende Waldzerstörung und der damit einhergehende Verlust von Ökosystem-Leistungen wurde von vorherigen Studien auf nationalen und kontinentalen Skalen belegt (z.B. TREES II, FAO-FRA). Dies konnte in der vorliegenden Studie auf regionaler und lokaler Ebene für einen Untersuchungszeitraum von drei Jahrzehnten bestätigt und analysiert werden. Dabei wurden die Waldzerstörungstrends für die Provinz Magdalena zum ersten Mal kartiert und gleichzeitig deren sozio-ökonomischen Triebkräfte analysiert.

Der Großteil der Entwaldung fand in den leicht zugänglichen Ebenen (siehe Abb. 4) der Provinz Magdalena statt. Vergleichbar zu einer ähnlichen Studie von ELMQUIST et al., (2006) fand weitreichende und intensive Entwaldung in dünn besiedelten Gebieten mit großen Distanzen zu den Märkten statt. Diese Regionen zeichnen sich insbesondere durch veraltete Landwirtschaftspraktiken, Unsicherheit durch Paramilitär- und Guerillapräsenz, Armut begleitet von einer erhöhten Abhängigkeit von natürlichen Ressourcen z.B. Brennholz. Gleichzeitig ist von einer unzureichenden Durchsetzung von Landnutzungs- und Umweltverordnungen

auszugehen, d.h. Entwaldung findet oft unkontrolliert statt (Etter et al. 2006). Bis 2003 wurde die Entwaldung vor allem durch die bedingt von politischen Unruhen hohen Migrationsraten katalysiert, indem Einwanderer illegal Grundstücke besetzten. Derartige Zustände verminderten besonders langfristige Investitionen (KERNAN et al., 2006)

Neben dem Bedarf an Flächen zur Ausweitung der Infrastruktur wurden Waldflächen zu Bananen- und Palmölplantagen transformiert, deren Fläche sich zwischen 2003 bis 2010 fast verdoppelt hat. Die bisherige Wirtschaftsweise ist geprägt von kurzfristigen Investitionen in Monokulturen, intensiver Pestizid- und Düngernutzung und kurzer Rotation von Anbauflächen. Langfristig führt dies zur Unfruchtbarkeit und Erosion von Böden und verminderten Erträgen. Die vielfache Anwendung der Slash & Burn-Technik erhöht die Bodendegradation und reduziert das Nutzungspotential auf Weidebetrieb. Folgen sind eine stetige Rodung für neue Anbauflächen im Zuge einer stetigen Savannisierung (RESTREPO & SYVITSKI, 2006; CAVALIER et al., 1998), da SDTF auf den degradierten Flächen nur ein geringes Regenerationspotential aufweisen. Die separat durch MxL-Klassifikation identifizierten Slash & Burn-Flächen sind auf die gesamte Region verteilt und folgen in ihrer räumlichen Verteilung den Entwaldungsmustern.

Bis auf kleine Flächen nahe Flussläufen oder auf steilen Hängen befinden sich stabile Wälder hauptsächlich in Naturschutzgebieten. Die Analyse von Waldentwicklung und Schutzgebieten (Tab. 5) hat zeigt, dass deren Effektivität von Schutzmaßnahmen im Zeitraum 2003-2010 zugenommen hat. Die noch vorkommenden Waldverluste in Schutzgebieten (siehe Peaks in Abb. 4A) resultieren u.a. aus der Erschließung von Coca-Anbauflächen durch Guerilla, deren Präsenz nicht nur zur Entwaldung selbst, sondern auch zur Behinderung von Forstinventuren, Monitoring und Naturschutz beiträgt (DAVALOS & BEJERANO, 2008).

Waldflächenzuwächse weisen keine deutlichen Abhängigkeiten bezüglich der sozio-ökonomischen Variablen auf und erfolgt wie auch ETTER et al. (2006) bestätigt zufällig statt. Damit wird deutlich, dass in den ländlichen Gebieten der Provinz Magdalena bisher ungenügend Anstrengungen zur Aufforstung unternommen werden.

Zusammenfassend verdeutlicht die untersuchte Beziehung zwischen Waldentwicklung und sozio-ökonomischen Faktoren den Bedarf an nachhaltigem Forstmanagement und Schutzgebieten in ländlichen Gebieten, die leicht zugänglich und von direktem Konsum geprägt sind. Insbesondere Anreize zur Nutzung von Lesser-Known Species (LKS) könnten ein nachhaltiges Management fördern. Gleichzeitig müssen dafür nötige Rahmenbedingungen, wie Sicherheit, Bildung und Monitoring-Konzepte mit einbezogen werden.

5 Danksagungen

Dank gilt dem DAAD für finanzielle Unterstützung in Kolumbien. Weiteren Dank für technische Unterstützung an A. Figueroa (Universidad Distrital, Bogotá), G. Becker, A. Paredes, C.P. Gross, B. Porkorny, (Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg), TREES-Projekt (JRC, Ispra)

6 Literaturverzeichnis

ACHARD, F., EVA H., STIBIG H.J., MAYAUX P., GALLEGO, J., GICHARDS, T. & MALINGREAU, J. P., 2002: Determination of the world's humid tropical deforestation rates during the 1990's –

- methodology and results of the TREES-II research programme. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 144 pp.
- OLSON, D. M. & DINERSTEIN, E. 2002: Ecosystemas Terrestres de Colombia. In: The global priority ecoregions for global conservation. USDA Forest Service and U.S. Geological Survey: The Nature Conservancy **89**:125-126. -, ,
- CAVALIER, J., AIDE T.M., SANTOS, C., EUSSE, A.M. & DUPUY, J.M. 1998: The savannization of moist forest in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Journal of Biogeography* **25**:901-912.
- FPSNSM, FUNDACIÓN PRÓ-SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA. 1991: Historia y geografía, Sierra Nevada de Santa Marta. Bogotá, CORPES; Fondo FEN; Bavaria; PROPAL; Banco de Occidente; Jessie Smith Noyes Foundation; Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza-UICN.
- DANE, DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA. 2012: Estimaciones de población 1985-2005 y proyecciones de población 2005-2020. <http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/Edades_Simples_1985-2020.xls> last visited 02. Jul. 2012.
- DAVALOS, L.M. & BEJARANO, A.C. 2008: Conservation in conflict: Illegal drugs versus habitat in the Americas. *State of the wild 2008-2009: A global portrait of wildlife, wildlands and oceans* (2):218-225.
- RESTREPO, J.D. & SYVITSKI, J.P.M. 2006: Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major Andean river: The Magdalena drainage basin, Colombia. *Ambio* **35**(2):65-74.
- PAREDES, A. 2012: Assessing utilisation of lesser-known tree species in secondary semi-deciduous tropical forest in Colombia: A contribution to ecosystem rehabilitation and sustainable management. *Promotionschrift, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, Deutschland*.
- SONG, C. WOODCOCK, C.E., SETO, K.C., LENNEY, M. P. & Macomber, S.A. 2001: Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment* **75**:230-244.
- MARTINUZZI, S., GOULD, W.A., RAMOS GONZALEZ, O.M., MARTINEZ ROBLES, A., MALDONADO, P.C., PÉREZ-BUITRAGO, N. & FUMERO CABAN, J.J. 2007: Mapping tropical dry forest habitats integrating Landsat NDVI, Ikonos imagery, and topographic information in the Caribbean island of Mona. *Rev. Biol. Trop.* **56**(2):625-639.
- BARREDA-BAUTISTA, B., LÓPEZ-CALOCA, A.A., COUTURIER, S. & SILVÁN-CÁRDENAS, J.L. 2011: Tropical dry forest in the global picture: The challenge of remote sensing-based change detection in tropical dry environments. In: *Planet Earth – Global warming challenges and opportunities for policy and practice*: 232-256.
- ETTER, A., MCALPINE, C., PULLAR, D. & POSSINGHAM, H. 2006: Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *Journal of Environmental Management* **79**:74-87.
- KERNAN, B.S., MONJE, C. C. A. & VON HILDEBRAND, M.P. 2006: Report on tropical forests and biological diversity. USAID, Colombia country strategy management. FY 2006-2010, Bogota D.C., Colombia. 98 pp.
- BRUCE, C.M. & HILBERT, D.W. 2006: Pre-processing methodology for application to Landsat TM/ETM+ imagery of the wet tropics. Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management. Rainforest CRC, Cairns. 44 pp.