



Fachhochschule Köln  
Cologne University of Applied Sciences

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA  
PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES  
AND  
COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
INSTITUTE FOR TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND  
SUBTROPICS

**ANÁLISIS DE LA EROSIÓN MEDIANTE MODELADO E INDICADORES  
VISUALES EN LA MICROCUENCA BATATAL, RIO GUAPI-MACACU, RIO DE  
JANEIRO, BRASIL**

THESIS TO OBTAIN THE DEGREE OF  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES  
DEGREE AWARDED BY  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
AND  
MASTER OF SCIENCE  
TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS  
IN THE SPECIALIZATION: RESOURCES MANAGEMENT  
DEGREE AWARDED BY COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

PRESENTS:

**MARCO ARTURO MUÑOZ BLANCO**

CO-DIRECTOR OF THESIS PMPCA:

Dr. Javier Fortanelli Martinez

CO-DIRECTOR OF THESIS ITT:

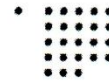
Prof. Dr. Lars Ribbe

ASSESSOR:

Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles

EXTERNAL ASSESSOR:

Dr. Elaine Cristina Cardozo Fidalgo



Fachhochschule Köln  
Cologne University of Applied Sciences

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA  
PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

AND

COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
INSTITUTE FOR TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND  
SUBTROPICS

**ANÁLISIS DE LA EROSIÓN MEDIANTE MODELADO E INDICADORES  
VISUALES EN LA MICROCUENCA BATATAL, RIO GUAPI-MACACU, RIO DE  
JANEIRO, BRASIL**

THESIS TO OBTAIN THE DEGREE OF  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES  
DEGREE AWARDED BY  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
AND  
MASTER OF SCIENCE  
TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS  
IN THE SPECIALIZATION: RESOURCES MANAGEMENT  
DEGREE AWARDED BY COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

PRESENTS:

**MARCO ARTURO MUÑOZ BLANCO**

Dr. Javier Fortanelli Martínez

Prof. Dr. Lars Ribbe

Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

August 15<sup>th</sup>, 2014

**Financiado por:  
PROYECTO INTECRAL**

**PROYECTO CAPITALIZADO POR:  
MINISTERIO FEDERAL ALEMAN DE EDUCACION E INVESTIGACIÓN (BMBF) Y EL  
SECRETARIADO ESTATAL DE AGRICULTURA Y PECUARIA - PROYECTO RIO RURAL (SEAPEC-  
PRR)**

**CON EL APOYO DE:  
DEUTSCHER AKADEMISCHER AUSTAUSCH DIENST (DAAD)  
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)**

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS DEL PROGRAMA  
NACIONAL DE POSGRADOS (PNP - CONACYT)**

## THESIS DECLARATION

Name / *Nombre*: Marco Arturo Muñoz Blanco

Matri.-Nr. / *Nº de matricula*: 11094660 (CUAS), 216196 (UASLP)

Ich versichere wahrheitsgemäß, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

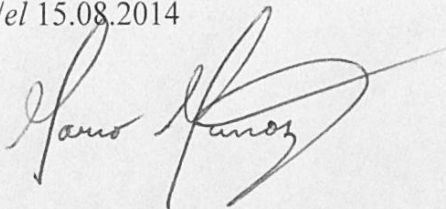
*Aseguro que yo redacté la presente tesis de maestría independientemente y no use referencias ni medios auxiliares a parte de los indicados. Todas las partes, que están referidas a escritos o a textos publicados o no publicados son reconocidas como tales.*

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsarbeit eingereicht worden.

*Hasta la fecha, un trabajo como éste o similar no ha sido entregado como trabajo de tesis.*

San Luis Potosí, den /el 15.08.2014

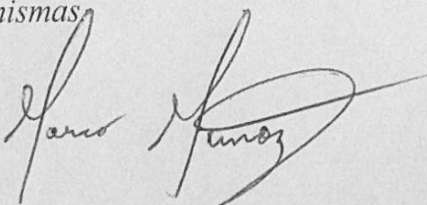
Unterschrift / *Firma*:



Ich erkläre mich mit einer späteren Veröffentlichung meiner Masterarbeit sowohl auszugsweise, als auch Gesamtwerk in der Institutsreihe oder zu Darstellungszwecken im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Institutes einverstanden.

*Estoy de acuerdo con una publicación posterior de mi tesis de maestría en forma completa o parcial por las instituciones con la intención de exponerlos en el contexto del trabajo investigación de las mismas.*

Unterschrift / *Firma*:



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las personas que me han ayudado y apoyado durante estos dos años. Especialmente a mis padres y hermana, con los que siempre puedo contar, y a Melanie, sin cuya compañía no habría sido igual, al profesor Fortanelli, que tuvo la paciencia de ayudarme a desarrollar mi tesis paso a paso, al profesor Carlos Muñoz, por su ayuda en todo momento y por enseñarme a usar ArcGIS, y al prof. Dr. Lars Ribbe. También deseo agradecer a todas las personas que en Brasil me apoyaron cuando sentía que mi tesis no iba a poder ser realizada con éxito, especialmente la Dra. Elaine Cardozo Fidalgo, y el personal de EMBRAPA solos. Y por último, agradezco a todos los productores de la microcuenca Batatal que me atendieron amablemente, dejándome entrar a sus casas y a sus terrenos de cultivo, y sobre todo a aquella familia que me ayudo cuando tuve que quedarme en Cachoeiras de Macacu sin tenerlo previsto.

## **ABSTRACT**

Erosion is a geological process that shapes the earth surface. Nevertheless, the earth erosion rate has increased drastically due to human induced soil use change, generally without soil conservation measures. The top down approach of many policies and scientific methods for land use boundaries are barely understood and implemented correctly by the local community. The Universal Soil Loss Equation (USLE) estimates soil loss at a regional level, but various local features can be overestimated or underestimated.

Batatal Microwatershed (Rio de Janeiro, Brazil) steep relief and heavy rainfall prompts its soils to be considerably eroded. Therefore, it is necessary to incentivize soil conservation at local level to prevent the erosion pernicious effects. The present study analyzed this Microwatershed soil loss through the USLE, visual indicators on the field and interviews with the local producers. With the purpose of comparing the different approximations through confusion matrices, and understanding the reasons behind the adoption of their current production practices.

Finally, the advantages and disadvantages of each soil loss approximation were stated, and it was observed that the producers easily recognize many of the visual indicators evaluated in this study. Sadly, the producers do not associate the visual indicators with the erosion. The different approximations studied can be used complementarily at local level for a better understanding of the political, social, economic, and ecological environment around the microwatershed land use practices. They can also be further developed in order to implement pertinent programs to aid producers synergistically to protect the soil. A community involved process is necessary to promote erosion awareness and allow people to preserve the soil within a supported framework.

**Key words:** Erosion, USLE, visual indicators, local knowledge, confusion matrix.

## **RESUMEN**

La erosión es un fenómeno geológico natural que se está haciendo cada vez más severo por el cambio de uso de suelo y la falta de conocimientos sobre las prácticas de conservación de suelo. Los actuales enfoques de arriba abajo tanto en la academia como en la política llevan a una zonificación del uso del suelo que difícilmente puede ser entendida y adoptada por los productores. Usualmente se modela la erosión con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), que es muy útil a nivel regional. Sin embargo, a nivel local pueden existir varias circunstancias que no se ajusten a lo predicho por el modelo.

La microcuenca Batatal (Rio de Janeiro, Brasil), cuenta con un relieve inclinado e intensas lluvias que la hacen naturalmente propicia a una erosión considerable. Por ello, incentivar la conservación del suelo a nivel local es importante para prevenir los efectos devastadores de la erosión. En este estudio se analizó la pérdida de suelo en esta microcuenca, a través de la USLE, indicadores visuales vistos directamente en los terrenos, y entrevistas a los productores. Esto con el fin de comparar las diferentes aproximaciones usando matrices de confusión y de entender los motivos por los cuales ciertas prácticas de producción se utilizan allí.

Finalmente, las ventajas y desventajas de las diferentes aproximaciones a la pérdida de suelo en los terrenos fueron establecidas y se observó que los productores detectan fácilmente muchos de los indicadores visuales evaluados en el presente estudio, aunque no los relacionan con la erosión. Dichas aproximaciones pueden usarse de forma complementaria para entender mejor las relaciones políticas, sociales, económicas y ecológicas en torno al manejo del suelo en la microcuenca. También se pueden perfeccionar en futuros estudios para implementar programas adecuados de asistencia sinérgica a los productores en la protección del suelo. Es necesario un proceso comunitario que dé a los habitantes una mayor sensibilización sobre la erosión y un acompañamiento que les permita intervenir favorablemente para conservar el suelo.

**Palabras clave:** Erosión, USLE, indicadores visuales, conocimiento local, matriz de confusión.

## ZUSAMMENFASSUNG

Erosion ist ein natürlicher geologischer Prozess, der die Erdoberfläche formt. Aufgrund veränderter Flächennutzungsformen sowie fehlender Bodenschutzmassnahmen ist die Geschwindigkeit von Erosionsprozessen jedoch drastisch gestiegen. *Top-down* Ansätze, die von vielen Seiten verfolgt werden etwa durch eine Einteilung in verschiedene Erosionszonen, sind für die lokalen Gemeinden oft schwer zu verstehen und umzusetzen. Üblicherweise wird Erosion durch die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (USLE) modelliert, welche gute Ergebnisse auf regionaler Ebene liefert; auf lokaler Ebene hingegen können aufgrund verschiedener Faktoren Abweichungen vom Model auftreten.

Das Flusseinzugsgebiet Batatal (Rio de Janeiro, Brasilien) weist ein steiles Relief sowie starke Regenfälle auf - natürliche Konditionen welche es anfällig für Erosion machen. Eine Förderung des Bodenschutzes auf lokaler Ebene ist deswegen besonders wichtig, um die verherrenden Folgen von Erosion zu verhindern. Die vorliegende Arbeit analysiert die Erosion in Batatal anhand der ABAG, der Begutachtung der Felder mit Hilfe visueller Indikatoren sowie Interviews mit lokalen Erzeugern. Ziel ist diese verschiedenen Ansätze mit Hilfe der sogenannten *confusion matrix* zu vergleichen und dabei die Gründe für die Wahl der jeweiligen Anbaumethoden der Erzeuger zu verstehen.

Es werden Vor- und Nachteile dieser verschiedenen Ansätze zur Annäherung an die Erosion festgestellt. Zudem wurde beobachtet, dass die Erzeuger problemlos viele der visuellen Indikatoren, die in dieser Arbeit verwendet wurden, auf ihren Feldern wahrnehmen, auch wenn sie sie nicht mit Erosion in Verbindung bringen. Die verschiedenen Ansätze vervollständigen sich gegenseitig und helfen dadurch besser die politischen, sozialen, ökonomischen sowie ökologischen Wechselbeziehungen rund um das Thema Bodennutzung in Batatal zu verstehen. Zudem können sie weiter entwickelt werden, um im Rahmen eines ganzheitlichen Ansatzes zum Bodenschutz die Erzeuger mit entsprechenden Massnahmen zu unterstützen. Ein partizipativer Prozess in der Gemeinde ist notwendig, um die Sensibilisierung der Einwohner zum Thema Erosion zu stärken; sowie entsprechende Begleitmassnahmen, um einen besseren Bodenschutz durch die Einwohner zu ermöglichen.

**Schlüsselwörter:** Erosion, USLE, visuelle Indikatoren, lokales Wissen, *confusion matrix*.



## **RESUMO**

A erosão é um fenômeno geológico natural que cada vez é mais forte devido à mudança do uso do solo e ao pouco conhecimento das práticas de conservação do solo. As atuais abordagens top-down do zoneamento do uso do solo na academia e nas políticas não são entendidos e adotados facilmente por os produtores. A equação universal de perda do solo (USLE) é muito utilizada para a modelagem da erosão regionalmente. Contudo, a escala local podem se apresentar diferentes condições que não correspondem com as previsões do modelo.

A Microbacia Batatal (Rio de Janeiro, Brasil) tem um relevo muito inclinado e intensas chuvas que levam de forma natural a uma erosão considerável. Por isso é importante incentivar a conservação do solo na escala local para prevenir os perniciosos efeitos da erosão. Neste estudo a perda de solo nesta microbacia foi analisada por meio da USLE, dos indicadores visuais dentro do terreno, e entrevistas aos produtores. Isso foi feito para comparar as diferentes aproximações usando as matrizes de confusão e para entender os motivos por os quais os produtores empregam suas atuais práticas de produção.

As vantagens e desvantagens das diferentes aproximações a perda do solo nos terrenos estabeleceram-se e observou-se que os produtores detectam facilmente muitos dos indicadores visuais utilizados neste estudo, embora eles não relacionam os indicadores visuais com a erosão. As aproximações utilizadas podem se aplicar complementarmente para entender melhor as relações políticas, sociais, econômicas e ecológicas relacionadas com o manejo do solo na microbacia. Também podem ser melhorados para elaborar programas apropriados de assistência sinérgica aos produtores na proteção do solo. É necessário fazer um processo comunitário para a sensibilização da população sobre a erosão e um acompanhamento nos processos da conservação do solo.

**Palavras-chave:** Erosão, USLE, indicadores visuais, conhecimento local, matriz de confusão.

## INDICE

Abstract	vi
Resumen	vii
Zusammenfassung	viii
Resumo	ix
Índice	x
Listado de abreviaturas	xii
Listado de figuras	xiii
Listado de tablas	xiv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	10
METODOLOGÍA	11
Zona de estudio	11
Mapa USLE	15
Selección de indicadores visuales de la erosión	18
Selección de informantes clave (IC)	22
Entrevistas	23
Seguimiento de los indicadores en los cultivos	23
Análisis de los datos	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
Mapa de pérdidas de suelo reclasificado para la Microcuenca Batatal	30
Sistemas de producción y manejo de los recursos naturales	33
Percepción local de la erosión	37
Evaluación técnica de la erosión	41
Comparación entre la cartografía y las evaluaciones locales	47

Manejo local de los recursos naturales y la erosión	53
CONCLUSIONES	57
Recomendaciones	58
Consideraciones finales	59
BIBLIOGRAFIA	60
Anexos	65

## LISTA DE ABREVIATURAS

APA	Área de Protección Ambiental
CGM	Cuenca Guapi Macacu
DINARIO	Proyecto de cambio climático, dinámicas del paisaje, uso de suelo y de recursos naturales en la Selva Atlántica de Rio de Janeiro
EMBRAPA solos	Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria – sección Suelos
EMATER	Empresa de Asistencia Técnica y Extensión Rural en Brasil
IBAMA	Instituto Brasileiro de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables
IC	Informante Clave
INTECRAL	Integrated Eco-Technologies and Services for a Sustainable Rural Rio de Janeiro – Eco-tecnologías y Servicios Integrados por la Sostenibilidad Rural en Rio de Janeiro
IV	Indicador visual
MB	Microcuenca Batatal
MDE	Modelo Digital de Elevación
RJ	Rio de Janeiro (estado)
RR	Rio Rural – Programa de desarrollo sustentable en microcuencas hidrográficas de Rio de Janeiro
RR BIRD	Nombre del proyecto de Rio Rural financiado por el Banco Mundial para reconstrucción y desarrollo de microcuencas hidrográficas
SIG	Sistemas de Información Geográfica
USLE	Universal Soil Loss Equation – Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Cobertura original del bioma de mata atlántica, dividido de acuerdo a sus subregiones biogeográficas (Tabarelli et al., 2010). 6
- Figura 2. Localización de la Cuenca Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. ([http://dinario.fh-koeln.de/content/overview\\_area.html](http://dinario.fh-koeln.de/content/overview_area.html)). 8
- Figura 3. Mapa del rio Guapi-Macacu indicando sus áreas de protección ambiental (APA). El rio Batatal de Baixo se resalta por medio de una elipse roja. (modificado de: <http://geusoinearj.blogspot.mx/2011/02/area-de-protecao-ambiental-da-bacia-do.html>, visitado el 22/07/2014). 14
- Figura 4. Secuencia de llenado de balde(s) en cada cuadrante. 24
- Figura 5. Tipos de suelos encontrados en la microcuenca Batatal, junto con la ubicación de los puntos GPS tomados en los terrenos evaluados (Modificado del mapa de suelos de la cuenca Guapi-Macacu de la base de datos DinarioRBIS). 31
- Figura 6. Pérdida de suelo en la microcuenca Batatal de acuerdo a la USLE (Elaborado por el autor, basado en el mapa de Thompson (2012). 32
- Figura 7. Fotos de los remanentes del molino para producir harina de la Microcuenca Batatal 34
- Figura 8. Localización geográfica de todos los indicadores visuales de erosión observados en campo. 47

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Efectos económicos de la erosión (Santos Telles et al., 2011).	3
Tabla 2. Tipos de suelos presentes en cada unidad de suelo mapeada para la microcuenca Batatal y su descripción según Dantas (2001).	12
Tabla 3. Valores del factor C según tipo de uso de suelo, utilizados por Thompson (2012).	18
Tabla 4. Cuestionario con los indicadores visuales de erosión.	19
Tabla 5. Clasificación de los indicadores visuales en grupos.	26
Tabla 6. Valores de tolerancia de pérdida de suelo de los principales tipos de suelos en los terrenos visitados.	31
Tabla 7. Resultados de los cuestionarios según uso de suelo, indicador y categoría final del terreno.	40
Tabla 8. Volúmenes promedio, máximo (Máx) y mínimo (Mín) de hojarasca encontrados en la Microcuenca Batatal, según los diferentes usos de suelo o cobertura de los terrenos.	44
Tabla 9. Resultados de los cuestionarios según uso de suelo, indicador y categoría final del terreno.	46
Tabla 10. Ventajas y desventajas de cada una de las aproximaciones para clasificar la pérdida de suelo.	49
Tabla 11. Matriz de confusión basada en los resultados de la USLE y la entrevista.	52
Tabla 12. Matriz de confusión basada en los resultados de la USLE y la Evaluación Técnica	52
Tabla 13. Matriz de confusión basada en los resultados de la Evaluación Técnica y la entrevista.	52

## INTRODUCCIÓN

La erosión comprende el proceso geológico natural de remoción de la superficie terrestre de forma heterogénea. Sin embargo, las actividades humanas han acelerado este proceso a través del cambio de cobertura del suelo y el manejo inadecuado del mismo, y han llevado la tasa de erosión total por encima de la tasa de erosión geológica. Además, el avance tecnológico permite que dichas actividades sean cada vez más rápidas y a mayor escala, lo que ha generado un aumento global de la tasa de erosión (Kirkby et al., 1980, Lal, 1990).

La erosión del suelo se puede clasificar, de acuerdo a los principales agentes que la generan, en: erosión eólica, hídrica y por gravedad. La erosión eólica incluye todos los efectos del viento sobre el suelo y es más relevante en los climas áridos y secos; la erosión hídrica incluye todo lo relacionado con el agua; por último, los movimientos de masas incluyen caídas, deslizamientos, flujos de escombros y los fenómenos de fluencia (Lal, 1990). La erosión hídrica actúa de diferentes maneras de acuerdo a la fase del ciclo hidrológico, y es mayor en climas húmedos. En la superficie del suelo, las precipitaciones producen erosión por salpicadura, y cuando el agua fluye sobre la superficie terrestre se produce la erosión laminar, en surcos o en cárcavas (Kirkby et al., 1980, Lal, 1990). Cuando el agua llega a un río, genera erosión de los bancos del mismo, mientras que en el océano genera la erosión costera; los glaciares también causan erosión (Lal, 1990).

La erosión es un problema muy grave porque el suelo no es un recurso renovable. La formación de suelo biológicamente productivo y económicamente fértil demora mucho tiempo, tanto así que su desarrollo sólo se puede medir en una escala de tiempo geológico y una vez perdido no se puede recuperar rápidamente (Lal, 1990). Para fines de conservación y planificación ambiental, el término erosión se refiere solamente a la pérdida de suelo que supera tasa de formación natural del suelo, debido a las actividades humanas (Kirkby et al., 1980). Los efectos dañinos de la erosión se han estudiado extensamente, e incluyen disminución de la producción de los cultivos, deslizamientos de tierra, inundaciones, y reducción de la vida útil de las presas, entre otros (Kirkby et al., 1980, Lal, 1990). Éstos pueden alcanzar tal magnitud que se convierten en un asunto

político y por ello se han integrado en la planificación ambiental de varios países (Verstraeten et al., 2003).

La erosión está ligada directamente con la calidad del suelo y el agotamiento de la productividad. Se ha demostrado en varios estudios que la erosión reduce la tasa de infiltración, la capacidad de retención de agua, la cantidad de nutrimentos disponibles, la materia orgánica, la biota y la profundidad del suelo. Estos efectos implican una menor disponibilidad de agua para las plantas y el aumento de la cantidad de escorrentía, lo que altera el ciclo hidrológico del lugar (Pimentel et al., 1995).

Los peores casos de erosión de los suelos ocurren cuando se aplican técnicas de producción sin tener en cuenta los factores biológicos, físicos y socioeconómicos de la zona (Lal, 1990). Según Morgan (1995), los estudios sobre la erosión no deben limitarse a la determinación cuantitativa de la pérdida de suelo; deben también generar soluciones para reducirla a niveles aceptables cuando sea necesario, de acuerdo con los procesos encontrados. Estas soluciones deben ser fácilmente asequibles e implementadas de acuerdo a las condiciones del lugar, las prácticas agropecuarias, su nivel de tecnología, y el presupuesto disponible.

Los costos de la erosión se separan de acuerdo al lugar relativo en que la erosión causa un impacto en relación con el sitio donde se originó (Tabla 1). Es decir, si los efectos dañinos de la erosión ocurren en la misma parcela donde se originó el proceso, se convierten en costos que deben ser pagados por los agricultores y son denominados costos in-situ; en cambio, cuando los efectos ocurren lejos del sitio donde se originaron (ej. inundación), se convierten en costos que son pagados por la sociedad y se denominan costos ex-situ (Santos Telles et al., 2011). Los primeros estudios relacionados con los costos de la erosión se realizaron en Estados Unidos (Bennett, 1933), y se utilizaron con éxito para convencer al gobierno de ese país, de la necesidad de promover prácticas de conservación de suelos. Si se suman los costos in-situ y ex-situ junto con los costos de producción, el costo total de producción aumenta en gran medida. Por ejemplo, en Estados Unidos los costos totales de producción aumentan en un 25% cada año al sumarles todos los costos de la erosión. Por lo tanto, la pérdida de suelo debe ser controlada y reducida a tasas sostenibles para reducir los costos de producción, garantizar la sostenibilidad de la producción de alimentos y la disponibilidad de los servicios ecosistémicos (Pimentel et al., 1995).



Para entender y predecir los efectos de la erosión en un lugar se puede usar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), la cual permite modelar los procesos erosivos a gran escala (Renard et al., 1997). De esta forma las áreas se pueden clasificar de acuerdo con la cantidad de suelo que pierden anualmente, y asignarles prácticas acordes con sus atributos biológicos y físicos.

**Tabla 1.** Efectos económicos de la erosión (Santos Telles et al., 2011).

<b>In situ</b>
Pérdida de suelo Pérdida de nutrientes Pérdida de materia orgánica Pérdida de la fertilidad química, física y biológica del suelo Daño a las plantaciones y a las estructuras Disminución del rendimiento del cultivo Pérdida de la producción Disminución del área disponible para el cultivo Disminución de las ventas
<b>Ex situ</b>
Sedimentación Sedimentación de lagos y ríos Disminución de la capacidad de las presas Inundaciones, desbordamientos, inundaciones repentinas Deslizamientos de tierra Destrucción de caminos, vías, cañerías y otras estructuras públicas Obstrucción de las vías fluviales Eutrofización Pérdida de biodiversidad Disminución de la calidad del agua Obstaculización de los procesos de las plantas de tratamiento de aguas Obstaculización de los procesos de generación de energía eléctrica Disminución de la oferta de alimentos Aumento del precio de los alimentos Obstaculización de las actividades recreativas en cuerpos de agua

La USLE se define como:

(Ecuación 1)

$$A = R * K * L * S * C * P \text{ (Wischmeier and Smith, 1978)}$$

Donde:

- A – Pérdida anual de suelo ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )
- R – Factor de precipitación y escorrentía ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )
- K – Factor de erosionabilidad del suelo ( $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )

- L – Factor de longitud de pendiente (adimensional)
- S – Factor de inclinación de la pendiente (adimensional)
- C – Factor de manejo de cobertura (adimensional)
- P – Factor de prácticas de conservación usadas (adimensional)

La USLE ha sido utilizada en todo el mundo sin reparar en que este modelo ha sido desarrollado para evaluar la erosión laminar y en surcos en pendientes cortas y poco inclinadas, y que en las regiones más grandes se deben incluir otros procesos de erosión y deposición para establecer la pérdida de suelo correctamente (Vrieling, 2006). Incluso, los resultados de la USLE pueden sobreestimar la pérdida de suelo (Bartsch et al., 2002). Adicionalmente, la resolución espacial baja usada normalmente (30m hasta 1 km) afecta las estimaciones del modelo (Vrieling, 2006), puesto que a escala local se pueden presentar circunstancias puntuales en que la erosión se magnifique o disminuya sin que esto pueda ser evidenciado a escalas más gruesas.

Las técnicas de SIG se adoptaron rápidamente para analizar la pérdida de suelo con la USLE, ya que es posible crear mapas individuales de cada factor de la ecuación y luego multiplicarlos (Bartsch et al., 2002, Lu et al., 2004, Vrieling, 2006). Esto permite una mejor comprensión de los efectos de la erosión a través de la zona de estudio para las personas con conocimientos en el tema; sin embargo, este tipo de información no puede ser fácil y profundamente analizada por las comunidades locales para tomar decisiones sobre las prácticas que se deberían adoptar. El cambio de uso del suelo está ligado al crecimiento de la población; a su vez, ambos son impulsados por la dinámica social, económica y política, y su efecto sobre la erosión se magnifica la falta de aplicación de prácticas de conservación del suelo (Udayakumara et al., 2010). Por ello, es evidente que se requiere un enfoque dirigido a la población local y que integre las diferentes causas del aumento de los procesos erosivos para lograr una conservación integral del suelo.

Además, se ha demostrado que la información sobre la erosión obtenida a través de encuestas a la comunidad local tiene una estrecha semejanza con los conceptos y análisis científicos del fenómeno (Okoba and Sterk, 2006, Udayakumara et al., 2010, Yusuf and Ray, 2011, Zegeye, 2009). Esto es muy importante porque los datos científicos necesarios

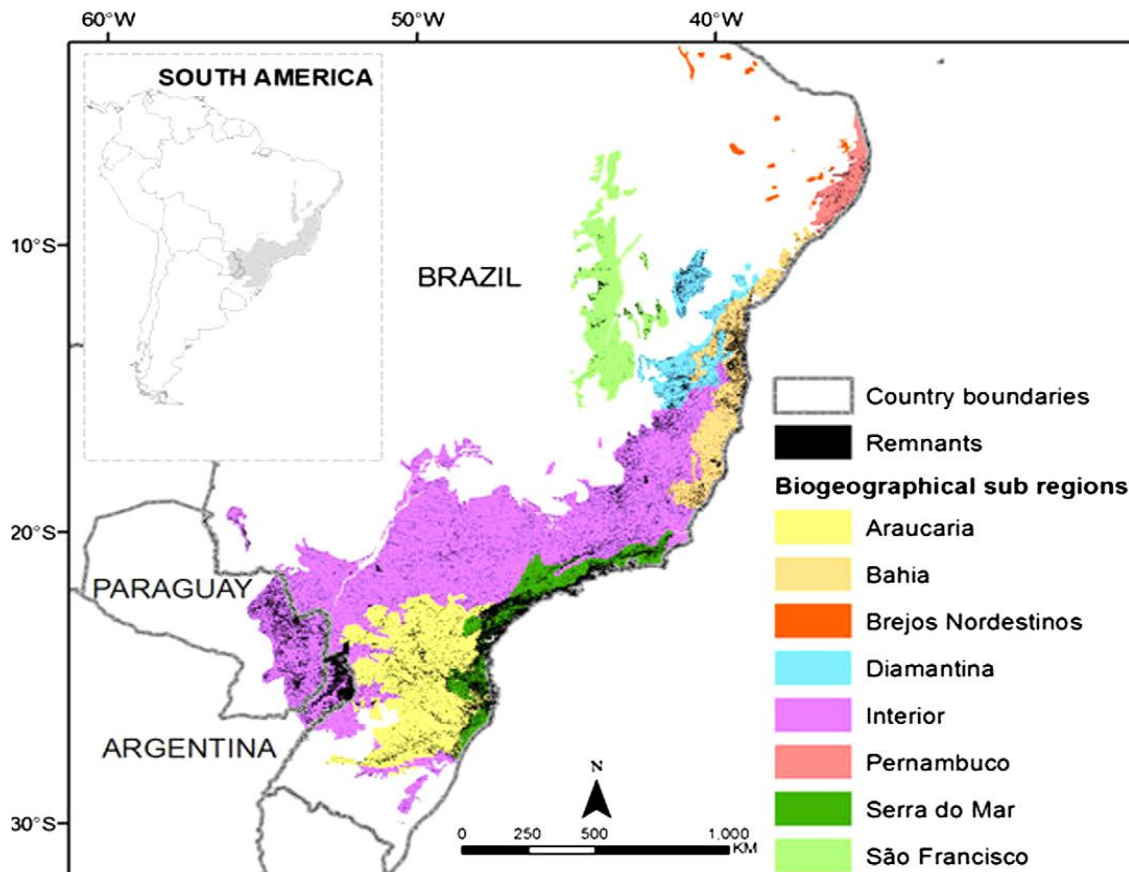
para un buen análisis de la erosión a nivel local no pueden ser alcanzados en todos los lugares del planeta, pero el conocimiento de la comunidad siempre está ahí y puede ser aprovechado para sensibilizar a las personas sobre los procesos erosivos y la importancia de las prácticas de conservación de suelos.

El enfoque de arriba a abajo de los mecanismos de regulación, junto con la falta de datos ambientales precisos en muchos lugares, suelen derivar en una pobre adopción de tales políticas por parte de la comunidad (Zurayk et al., 2001, Moote and McLaran, 1997). Por otra parte, el trabajo directo con la comunidad permite comprender la noción del manejo del suelo y sus limitaciones para el área (Zurayk et al., 2001). Es claro que la comunidad siempre ha estado en contacto con su territorio y tiene una buena idea de los procesos erosivos que se producen en la zona debido a que tienen que vivir con ellos y en algunas ocasiones han llegado a mermarlos. Cuando la presión política, económica, o social hace que alguna persona necesite modificar su entorno, esta persona tiene el poder y la responsabilidad de elegir cuál es la práctica que utilizará para ello.

En Brasil se han llevado a cabo muchos estudios sobre la erosión y el cambio de cobertura del suelo. Este país cuenta con una gran biodiversidad que ha sido históricamente afectada por la expansión de la frontera agropecuaria y la urbanización. Uno de los casos más dramáticos se observa en la reducción del Bioma de Bosque Atlántico o de Mata Atlántica, ya que en la actualidad en sólo queda el 7.3% de su cubierta original (figura 1). De ésta, el estado de Rio de Janeiro (RJ) concentra el 21.6% de su cobertura actual.

La Mata Atlántica es el tercer bioma más grande de Brasil, después de los biomas Amazónico y Cerrado (LEITÃO, 2009). El Bioma de Mata Atlántica se forma por la humedad traída por los vientos alisios que llegan al continente desde el océano. Abarca la costa este de Brasil entre los 3 - 30° S de latitud, llega hasta Paraguay y Argentina (figura 1) y comprende ecosistemas como las selvas tropicales perennifolia y subperennifolia, y los manglares. Dicho gradiente latitudinal, así como su gradiente altitudinal (0 - 1200 msnm) y su distancia de otros grandes biomas de América del Sur como la Amazonia y la región andina, permiten la existencia de una gran biodiversidad, y un alto grado de endemismo (Tabarelli et al., 2010). Cuenta con aproximadamente 20.000 especies de plantas, 261 especies de mamíferos, 620 especies de aves, 200 especies de reptiles y 280 especies de anfibios, de los cuales el 30%, 61%, 12%, 30% y 90%, respectivamente, son endémicas (Rodrigues Lagos and Alessio, 2007). La biodiversidad de árboles es muy

notable en los fragmentos de Mata Atlántica en RJ, sobresaliendo las familias Fabaceae y Myrtaceae (Thier and Wesenberg, 2009). A pesar de todas estas valiosas características, los remanentes de Mata Atlántica en RJ están altamente fragmentados, lo que los hace más vulnerables a los cambios ambientales (Gaese et al., 2012).



**Figura 1.** Cobertura original del bioma de mata atlántica, dividido de acuerdo a sus subregiones biogeográficas (Tabarelli et al., 2010).

Las leyes relevantes sobre el uso de suelo en RJ son: el Código Forestal Brasileño (Ley 12.651 de 2012), el cual regula la protección de la vegetación nativa y las distintas figuras de reserva natural en Brasil, incluyendo la extensión mínima de vegetación nativa que debe tener cada propiedad rural de acuerdo con su tamaño; y la ley del bioma de Mata Atlántica (ley 11.428 de 1986), la cual regula la conservación, protección, regeneración y utilización de este bioma, y prohíbe su deforestación bajo cualquier método sin previa autorización gubernamental, sin importar si se trata de bosque primario o secundario.

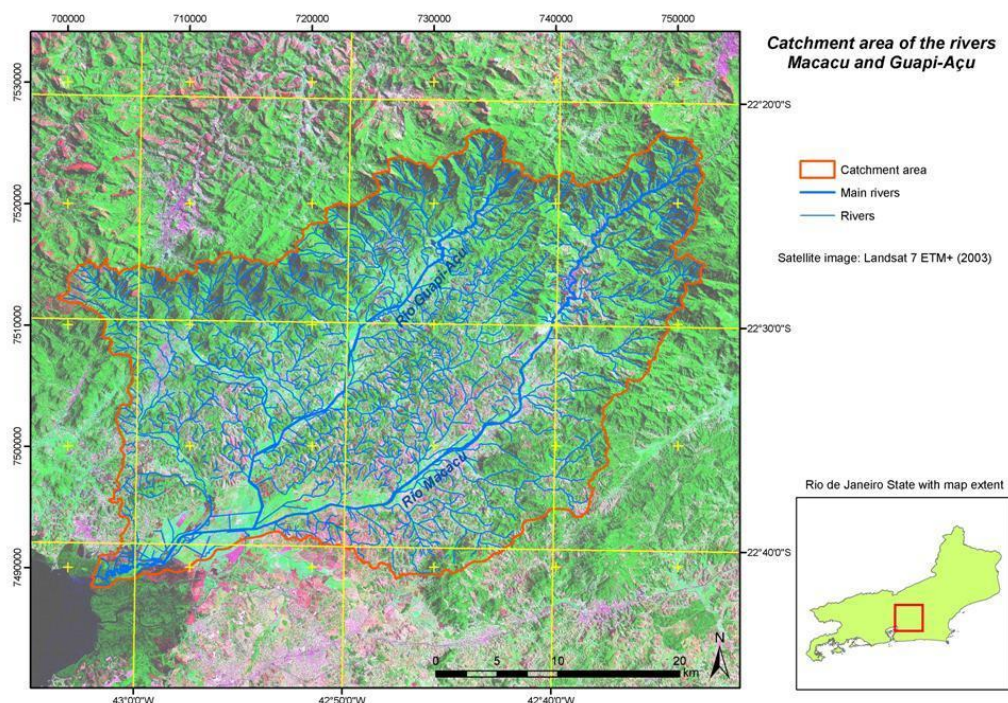
En el estado de RJ existen programas gubernamentales que promueven la sostenibilidad. Por ejemplo el programa Rio Rural (RR) busca el desarrollo rural sustentable de RJ bajo un enfoque de trabajo por microcuencas hidrográficas. Actualmente esta entidad tiene bajo su cargo los proyectos RR BIRD, para la reconstrucción y el desarrollo de las microcuencas, y RR GEF, para el manejo integrado de la Mata Atlántica a través de la autogestión sustentable de las familias de las zonas Norte y Noroeste de RJ (Rio Rural, s. f). Tradicionalmente, otras entidades públicas han venido trabajando con los productores de la región, como: EMATER, que realiza asistencia técnica y extensión rural; y EMBRAPA solos, que desarrolla estudios agropecuarios y ambientales en todo el estado.

Debido a la dinámica de la erosión y sus efectos sobre la población, su estudio se convierte en parte fundamental de la sostenibilidad y la conservación de la Mata Atlántica. En Brasil, muchos estudios se han desarrollado utilizando la USLE (Lal, 1990), como la estimación de la erosión a nivel nacional (Silva et al., 2011), en diferentes lugares a través del país (Lu et al., 2004, Silva et al., 2007, Beskow et al., 2009, Bacchi et al., 2000) o en condiciones especiales, como pendientes muy inclinadas (Miguel et al., 2011).

En el estado de São Paulo, que también cuenta con zonas de Mata Atlántica (figura 1), se han evaluado los costos de la erosión, y se ha demostrado la importancia de la conservación del suelo en el sureste de Brasil. Estos costos oscilan entre 27 y 1500 dólares  $ha^{-1} año^{-1}$ , con pérdidas de suelo de 0.9 a 26.6  $t ha^{-1} año^{-1}$  (Marques et al., 1961), y para poder reemplazar los nutrientes perdidos se necesitaría invertir 212 millones de dólares en abono (Martin et al., 1991). Por lo tanto, la conservación del suelo es muy importante en estas zonas y es por eso que su implementación ya se ha venido investigando en Brasil desde hace un buen tiempo (Bertoni and Lombardi Neto, 1985).

En RJ, la Cuenca del rio Guapi-Macacu (CGM) y la cuenca del rio Caceribu proporcionan agua a aproximadamente a 2.5 millones de personas (Pedreira et al., 2009). Estas dos cuencas se encuentran dentro de la "Serra do Mar", que es una subregión biogeográfica de la Mata Atlántica (figura 1), con un alto endemismo de mariposas, aves, mamíferos, plantas y anfibios (Tabarelli et al., 2010). Por lo tanto, la explotación de forma sostenible de estos recursos hídricos forma parte de la agenda gubernamental de este estado. La microcuenca Batatal (MB), que es la zona de estudio del presente trabajo, hace parte de la CGM, la cual se describirá a continuación.

La CGM está compuesta por dos ríos principales, el río Macacu y el río Guapiaçu (figura 2) y está ubicada en los municipios de Cachoeiras de Macacu, Guaipirim e Itaboraí. Esta cuenca aporta la mayor proporción del agua que llega a la parte oriental de la Bahía de Guanabara (RJ) y tiene mejor calidad de agua en comparación a las cuencas que drenan en el lado occidental de la bahía (Pedreira et al., 2009). Además, proporciona agua potable a sus 106.000 habitantes y también a varios habitantes de municipios externos como Niteroi, São Gonçalo, Paquetá y algunos lugares de Itaboraí (Penedo et al., 2011). Sin embargo, la calidad del agua se ve amenazada por los procesos de erosión, contaminación y sedimentación derivados de actividades humanas tales como la explotación agropecuaria y la expansión urbana (Pedreira et al., 2009).



**Figura 2.** Localización de la Cuenca Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.

([http://dinario.fh-koeln.de/content/overview\\_area.html](http://dinario.fh-koeln.de/content/overview_area.html)).

La ley estatal 4018 de 2005 crea el Área de Protección Ambiental (APA) de la CGM, describiéndola como las zonas ubicadas a una distancia menor a 150 m a lado y lado de los ríos Macacu y Guapiaçu, y a menos de 50 m de sus afluentes. Con lo anterior se protegen las márgenes de la red hídrica de la cuenca (da Silva, s. f.). Además de la APA, en la cuenca se encuentran ocho unidades de conservación federales, estatales y municipales (Fidalgo et al., 2008).

La MB se encuentra dentro del municipio de Cachoeiras de Macacu. Este municipio fue fundado en 1979, tiene un área de 956 km<sup>2</sup> y una población total de 54370 personas, de las cuales el 86.5% es urbana y el 13.5% es rural (Posdena et al., Proyecto DINARIO). El 90% de su producción agrícola va a CEASA Grande Rio, que es la central principal de abastecimiento de alimentos de la ciudad de Rio de Janeiro (Cavalin and Monteiro, 2012).

La historia del municipio se remonta a la época de la colonización portuguesa. Desde su inicio la producción agrícola se orientó hacia los alimentos, especialmente yuca, y no hacia la producción de caña, aunque ésta última era el cultivo común en RJ (Cabral and Fizon, 2004). En los siglos XVIII a XIX sucedió el boom del café, el cual contribuyó a la deforestación. Con la deforestación aumentaron los procesos erosivos y se dio origen a los primeros esfuerzos ingenieriles orientados a disminuir las inundaciones. A comienzos del siglo XX, la mayoría de cultivos de café y caña en la región se volvieron improductivos y gran parte de los terrenos agrícolas fueron transformados en pastizales. Al mismo tiempo comenzaron a expandirse los cultivos de banana y cítricos (Posdena et al., Proyecto DINARIO). En cuanto a la población, ésta fue mayoritariamente rural, más o menos hasta 1980 cuando la población urbana del municipio comenzó a ser mayor que la población rural, diferencia que ha continuado creciendo hasta el presente (Cavalin and Monteiro, 2012).

De acuerdo a la ley 11.326, de 2006, la agricultura familiar en Brasil está definida porque la propiedad en cuestión: a) no tiene más de cuatro módulos rurales, b) es trabajada principalmente por mano de obra familiar, c) brinda el principal ingreso familiar, congruente con las actividades realizadas en él (FAO, 2012) y d) que la actividad productiva esté dirigida por la familia. Los módulos rurales a los que se refiere la ley corresponden al tamaño mínimo de parcela, mismo que varía en cada municipio brasileño. Sin embargo, a pesar de que 67% de las unidades de producción del municipio de Cachoeiras de Macacu son consideradas de agricultura familiar, estas ocupan sólo 21% del territorio (Posdena et al., Proyecto DINARIO).

La MB en Brasil ha sido objeto de estudio tanto por entidades brasileras como por el ITT que pertenece a la Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia, Alemania (FH Koeln). La participación del ITT comenzó con el proyecto DINARIO en colaboración con EMBRAPA solos; en este proyecto se evaluó el cambio climático, dinámicas del paisaje, y el uso de suelo y de recursos naturales en la Selva Atlántica de Rio de Janeiro. A

principios de 2014 se inició un nuevo proyecto llamado INTECRAL (Integrated Eco-Technologies and Services for a Sustainable Rural Rio de Janeiro) el cual busca promover la sostenibilidad rural en RJ a través de las Eco-tecnologías y servicios integrados, bajo el cual se enmarca el presente trabajo de investigación.

Las decisiones finales sobre el uso de la tierra están determinadas por los propietarios de los terrenos, y obedecen a causas sociales, económicas y políticas. Entender esto es crucial para trabajar la erosión a nivel local, y para verificarla se pueden usar indicadores. El uso de indicadores sencillos para que el productor pueda evaluar rápidamente el estado actual de su cultivo ha sido explorado por diferentes autores. Se han desarrollado indicadores de sostenibilidad para evaluar el estado de los ecosistemas (Gómez et al., 1996, Maserá et al., 1999 ) y de los agroecosistemas (Altieri and Nicholls, 2002, Embrapa-Cerrados, 2006). La mayor importancia de estos trabajos radica en su esfuerzo por acercarse al productor como tomador consciente de decisiones y usar elementos que él puede apreciar día a día en su ambiente de trabajo.

Con base en lo anterior, el presente trabajo evalúa la erosión en la MB basándose en indicadores visuales (IV) para contrastarlos con los resultados de la USLE. Para ello se realizaron entrevistas directamente a los productores a fin de entender la percepción local de la erosión, las prácticas de manejo y la funcionalidad de los IV en la toma de decisiones relacionadas con la conservación del suelo. De esta manera es posible aproximarse al entendimiento local de la erosión teniendo en cuenta los factores biofísicos (USLE), las evidencias en campo (IV) y las ideas que tiene la comunidad en torno al uso del suelo y sus efectos (entrevistas). Por lo anterior, se espera que su integración proporcione una mejor comprensión de la dinámica a escala local del proceso de erosión y su gestión en la MB. Así entonces, se espera que este trabajo contribuya en la construcción de una metodología que permita evaluar la erosión de manera integral a escala de microcuenca, enfocada en el productor rural y basada en IV comprensibles y calificables.

## **OBJETIVO**

Integrar diferentes aproximaciones (modelado, evaluación técnica in situ y percepción de los productores agrícolas) para analizar en nivel local (Microcuenca Batatal) la magnitud, causas y medidas de control de la erosión hídrica.



## METODOLOGÍA

### Zona de estudio

La MB se encuentra dentro de la CGM entre las coordenadas: 22°28'36,77''S - 22°32'5,45''S y 42°40'25,66''W-42°34'28,67''W. De acuerdo a Thompson (2012) el clima en la región es del tipo Aw en la clasificación de Köppen, la temperatura máxima es de 35°C y la mínima es de 13°C. El verano climático es largo y ocurre de septiembre a marzo, la temperatura más alta se registra entre diciembre y enero, mientras que la más baja se presenta en Julio durante el invierno (Pedreira et al., 2009).

Los meses de verano tienen las mayores precipitaciones (Barreiro et al., 2002, Thompson, 2012) y la mayor humedad, principalmente los meses de diciembre a febrero (Thompson, 2012). La precipitación media anual es de 1600 mm en las partes bajas y va aumentando con la altura llegando aproximadamente hasta los 2600 mm, aproximadamente, en las partes altas (Naegeli, 2010).

La geomorfología de la región está relacionada con la formación de la “Serra do Mar” y los procesos subsecuentes. La Serra do Mar se originó durante la acreción del bloque continental Gondwana del Neoproterozoico al ordovícico (Fernandes et al., 2010). Del Cretácico al Paleógeno, Gondwana se fracturó por la deriva de placas dando origen al continente suramericano (Ferrari, 2001, Riccomini et al., 2004) y al complejo geotectónico llamado “Rift continental del SE de Brasil”, que va de NE a SW, se encuentra segmentado transversalmente y se compone de cuencas sedimentarias, valles tectónicos y montañas (Riccomini et al., 2004). Varios bloques de corteza terrestre bajaron o subieron a través de las fallas normales del Meso-cenoico, y uno de esos bloques ascendentes es la “Serra dos Órgãos” (nombre local de la Serra do Mar) (Fernandes et al., 2010). Posteriormente se acumularon sedimentos fluviales en las partes bajas (formaciones Macacu y Pre-Macacu) (Naegeli, 2010). Los procesos de denudación parcial generaron macizos (colinas) aislados en el terreno, mientras que los sedimentos fluviales del Holoceno y Oligoceno cubren las zonas planas de la parte baja (Fernandes et al., 2010).

Para este municipio, el módulo rural corresponde a 14 ha (Landau et al., 2012), y la agricultura familiar en ese municipio puede tener una extensión máxima de 56 ha, de acuerdo con la ley 11.326 de 2006. De acuerdo a los resultados de Rodríguez Osuna (2014), ningún predio en la MB sobrepasa las 14 ha, lo cual teóricamente permitiría a cualquier propietario dedicarse a la agricultura familiar y beneficiarse de la ley que la cobija. Según Cavalin y Monteiro (2012) el promedio de las propiedades es de 18 ha con un máximo de 100 ha.

La MB hace parte del municipio de Cachoeiras de Macacu del estado de RJ, se encuentra localizada a 10 km de la sede principal del municipio y la carretera conecta únicamente con ese sitio. Está dividida en las localidades de: Bom Jardim de Faraó, Faraó de Baixo y Faraó de Cima (Cavalin and Monteiro, 2012).

De acuerdo al mapa de suelos disponible en la base de datos del proyecto Dinario (DinarioRBIS), los suelos principales de la MB (Tabla 2) se pueden describir así: Suelos aluviales de origen reciente (Ad1); suelos viejos con alta infiltración, de colores rojos y amarillos (Lva13 y Lva14); suelos en formación (Ca2 y Ca6); y suelos rocosos (Ra), de acuerdo al sistema brasilero de clasificación de suelos – SiBCS (Embrapa Solos., 2005).

**Tabla 2.** Tipos de suelos presentes en cada unidad de suelo mapeada para la microcuenca Batatal y su descripción según Dantas (2001).

Tipo de suelo	Descripción
Ad1	Suelo principal: Aluvial distrófico o álico con arcilla de actividad baja. Horizonte A moderado con textura media o media/arenosa + Gleysol poco húmico distrófico, con arcilla de actividad baja. Horizonte A moderado con textura media o arcillosa
Ca2	Suelo principal: Cambisol álico con arcilla de actividad baja. Horizonte A moderado o prominente con textura media o arcillosa, y fase no rocosa o rocosa + Latosol rojo-amarillo álico poco profundo o no. Horizonte A moderado o prominente con textura Arcillosa
Ca6	Suelo principal: Cambisol álico o distrófico con arcilla de actividad baja. Horizonte A moderado o prominente con textura arcillosa o media + Latosol Rojo-Amarilloálico o distrófico. Horizonte A moderado o

	prominente, con textura arcillosa + Latosol Rojo-Amarillo poco profundo álico o distrófico. Horizonte A moderado o prominente, con textura arcillosa
LVa13	Suelo principal: Latosol rojo-amarillo álico o distrófico. Horizonte A moderado, con textura arcillosa o muy arcillosa + Podzol rojo-amarillo distrófico, con arcilla de actividad baja. Horizonte A moderado con textura arcillosa/muy arcillosa o media/arcillosa + Podzol rojo-amarillo álico o distrófico, con horizonte A moderado y textura arcillosa o muy arcillosa
LVa14	Suelo principal: Latosol rojo-amarillo álico o distrófico. Horizonte A moderado con textura arcillosa o muy arcillosa + Cambisol álico o distrófico con arcilla de actividad baja. Horizonte A moderado con textura arcillosa o media
Ra	Suelo principal: Litosol con Arcilla de actividad baja. Horizonte A moderado con textura media o arcillosa, fase rocosa + Cambisol álico con arcilla de actividad baja. Horizonte A moderado con textura media o arcillosa

El río principal de la MB es el Batatal de Baixo, el cual cuenta con un área de drenaje de 36.7 km<sup>2</sup>, fluye de E a W, y desemboca directamente en el río Macacu. En el inicio de su recorrido recibe aguas de 8 afluentes (Figura 3), los nombres de sus afluentes más importantes para la comunidad son: Bata, Xixá y Maratuã (Cavalin and Monteiro, 2012). Estos se originan en las partes más altas (hasta 1052 msnm) de acuerdo al modelo digital de elevación de la base de datos DinarioRBIS. El nombre de MB se ha usado tradicionalmente para designar la cuenca del río Batatal de Baixo desde el proyecto Dinario, como se puede observar en Penedo et al. (2011).

Según Rodríguez Osuna (2014), en las partes bajas de la MB se cultiva yuca (*Manihot esculenta*), maíz verde (*Zea mays* L.), ñame (*Dioscorea* spp.), calabaza (*Cucurbita* spp.), y banana (*Musa* spp.); en las partes altas se cultiva banana principalmente, aunque en algunos predios se siembra yuca.

Además de los cultivos mencionados anteriormente, también se cultiva palmito (*Bactris gasipaes* Kunth) en ésta zona. Los pastizales son utilizados para criar ganado o para

alimentar caballos o burros. Se debe resaltar que los burros se utilizan principalmente para transportar banano, y ocasionalmente algunas otras cosas relacionadas con la producción (insumos agrícolas, materiales, etc.) ocasionalmente. La mayoría de pastizales se ubican en la parte baja y usualmente se encuentran fragmentos de mata atlántica en las zonas altas de la cuenca (Rodríguez Osuna, 2014) o en la vera del río.



**Figura 3.** Mapa del río Guapi-Macacu indicando sus áreas de protección ambiental (APA). El río Batatal de Baixo se resalta por medio de una elipse roja. (Modificado de: <http://geusoinearj.blogspot.mx/2011/02/area-de-protacao-ambiental-da-bacia-do.html>), visitado el 22/07/2014).

Otros aspectos económicos en la MB incluyen dos envasadoras de agua potable, la cual se origina en las partes altas de la montaña. También es preciso nombrar que la comunidad de Faraó cuenta con su propia asociación de productores de banana, llamada ALAF (Associação dos Lavradores e Amigos do Faraó). Ese cultivo había venido reduciéndose por el bajo precio del producto en la región, pero ahora éste presenta una leve mejoría. Los fines de semana muchas personas de otras zonas vienen a visitar el río Batatal para bañarse, lo que representa una fuente adicional de ingresos derivados de la actividad turística

(Projeto Rio Rural BIRD., Plano Executivo da Microbacia Rio Batatal - Cachoeiras de Macacu.).

### **Mapa USLE**

El mapa de erosión potencial por medio de la USLE, fue elaborado por Thompson (2012) con base en el modelo InVest a escala 1:50000 y fue cedido amablemente para este estudio. A continuación se ofrece una breve descripción de su elaboración tomada de la tesis de su autora.

Los modelos InVest (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs), son softwares libres, desarrollados por el proyecto capital natural (Natural Capital Project), como herramienta para mejorar la información sobre el capital natural disponible y así tomar mejores decisiones para el manejo e inversión en los recursos naturales (Disponible en: <http://www.naturalcapitalproject.org/models/models.html>, visitado el 10/06/2014) . Entre los modelos disponibles se encuentra el modelo de retención de sedimentos cuyo objetivo es estimar la capacidad de un terreno para retener sedimentos, lo cual viene acompañado por datos sobre los costos de la remoción de suelo, transporte de sedimentos, diseño de embalses y la tasa de descuento para calcular los costos evitados por la remoción de suelo (Sharp et al., 2014).

Para estimar la pérdida potencial de suelo, el software se basa en la USLE (Wischmeier and Smith, 1978), que a su vez también fue usada por Thompson (2012) para generar un archivo raster para cada factor de la ecuación y después estimar las pérdidas de suelo por erosión de la cuenca Guapi-Macacu.

El factor R fue elaborado a partir de los datos pluviométricos diarios de estaciones meteorológicas de la Agencia Nacional de Aguas (ANA) y del Instituto Nacional de Meteorología (INMET), dentro y fuera de la cuenca Guapi-Macacu. Lastimosamente, ninguna de esas estaciones está ubicada dentro de la MB. Las estaciones al norte de la Serra dos Órgãos no fueron tomadas en cuenta ya que ésta actúa como barrera climática (Thompson, 2012).

La falta de datos pluviográficos en la mayoría de estaciones hizo que Thompson (2012), se basara en las ecuaciones de regresión obtenidas por Gonçalves et al. (2006). Dichas

ecuaciones de regresión correlacionan los valores de erosividad ( $EI_{30}$ ) con la precipitación media mensual y el coeficiente de lluvia ( $R_c$ , Ecuación 2).

Ecuación 2: Cálculo del coeficiente de lluvia (Lombardi Neto, 1977)

$$R_c = p^2 P^{-1}$$

Donde:  $R_c$  = Coeficiente de lluvia

$p$  = precipitación media mensual

$P$  = precipitación media anual

Las ecuaciones de las estaciones escogidas como referencia por Thompson (Thompson, 2012) se utilizaron para estimar los  $EI_{30}$  de las estaciones que sólo tienen datos pluviométricos. Para saber cuál ecuación era la más adecuada para cada estación de datos pluviométricos, ella evaluó cada una de éstas por separado con respecto a cada estación de referencia. Al comparar las respectivas series históricas de cada par, determinó cuál estación de referencia tenía un comportamiento más similar. Luego, usó su ecuación respectiva reemplazando su  $R_c$  por el de la estación pluviométrica.

Luego, Thompson (Thompson, 2012) sumó los  $EI_{30}$  de todos los meses para cada estación y obtuvo el factor  $R$  en ese punto. Para elaborar el raster de este factor, espacializó las estaciones junto con sus valores  $R$  usando el software ArcMap10.0. A continuación interpoló dichos valores usando el algoritmo del inverso ponderado de la distancia (Inverse Distance Weighted – IDW).

El raster del factor  $K$  fue hecho a partir del mapa de suelos 1:50000 del Dr. César da Silva Chagas, que todavía no ha sido publicado. Los valores de erosionabilidad de la región fueron atribuidos a cada tipo de suelo (Thompson and Fidalgo 2013).

Los factores  $LS$  fueron calculados en conjunto con base en el modelo digital de elevación (MDE) elaborado por Fidalgo et al. (2009). A continuación, Thompson (2012) aplicó la ecuación del modelo N-SPECT (Nonpoint-Source Pollution and Erosion Comparison Tool, disponible en: <http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/tools/opennspect/detail>, visitado: 10/07/2014), el cual diferencia los límites de una misma longitud de pendiente al

encontrar cambios bruscos en el ángulo de la pendiente. Finalmente usa dos ecuaciones para calcular LS, según se trate de pendientes bajas (menores al 75%, Ecuación 3) o pendientes altas (mayores al 75%, Ecuación 4).

Ecuación 3: Cálculo de LS en pendientes bajas (Thompson, 2012)

$$LS = \left( \frac{flowacc \cdot cellsize}{22.13} \right)^{mz} \left( \left( \frac{\sin(slope \cdot 0.01745)}{0.09} \right)^{1.4} \right) + 1.6$$

$$mz = \begin{cases} 0.5, & slope \geq 5\% \\ 0.4, & 3.5 < slope < 5\% \\ 0.3, & 1 < slope \leq 3.5\% \\ 0.2, & slope \leq 1\% \end{cases}$$

Donde: *flowacc* = acumulación

*Cellsize* = tamaño del pixel

Ecuación 4: Cálculo de LS en pendientes altas (Thompson, 2012)

$$LS = 0.08 \lambda^{0.35} prct\_slope^{0.6}$$

$$\lambda = \begin{cases} cellsize, & flowdir = 1, 4, 16, \text{ or } 64 \\ 1.4 \cdot cellsize, & other\ flowdir \end{cases}$$

Donde: *prct\_slope* = porcentaje de pendiente por píxel

*Flowdir*: Dirección del flujo por píxel

El factor C fue elaborado por la autora a partir del mapa de uso y cobertura de suelo con base en imágenes TM-Landsat 5 de 02/08/2007 de Pedreira et al. (2009). A continuación, Thompson (2012) le asignó a cada categoría de uso o cobertura de suelo su respectivo valor C (Tabla 3). Ella utilizó los mismos factores C que Costa et al. (2005) utilizaron en su estudio. Aparentemente, el factor P fue considerado constante y se le dio un valor igual a uno en toda la extensión de la CGM (Thompson, 2012).

Para obtener el mapa de erosión exclusivamente de la MB se cortó el mapa de Thompson (2012) mediante el software ArcMap10.0. El polígono de la MB utilizado para ello, fue obtenido a partir del MDE de la base de datos DinarioRBIS. Para corregir las inexactitudes originadas por las zonas planas del MDE hacia la desembocadura de la MB, se hizo una corrección manual del polígono a través de las curvas del nivel obtenidas a partir del MDE y las imágenes de GoogleMaps.

**Tabla 3.** Valores del factor C según tipo de uso de suelo, utilizados por Thompson (2012)

Uso de suelo	Factor C
Afloramiento rocoso	0,01
Agua	0
Área agrícola	0,2558821
Área urbanizada	0,0075
Área urbanizada de Baja Densidad	0,01
Campo de altitud	0,0194
Manglar	0,005
Pastizal	0,0288
Suelo expuesto	1
Vegetación en estadio inicial de regeneración	0,0007
Vegetación en estadio medio de regeneración	0,0001
Vegetación en estadio avanzado de regeneración	0,0001

Para fines del presente trabajo, las cinco clases de pérdida de suelo que originalmente posee el mapa USLE de Thompson (2012) fueron reducidas a tres. Esto se hizo con el fin de comparar las tasas de erosión por terreno con los resultados de la siguiente fase del estudio, como se explicará más adelante. Para establecer el criterio de categorización, se revisó la literatura disponible sobre los valores de tolerancia de pérdida de suelo según los tipos de suelo principal sobre el cual se encontraban los terrenos evaluados y se compararon con la clasificación que algunos autores han hecho de los valores de la USLE en el territorio brasileño.

### **Selección de indicadores visuales de la erosión**

Inicialmente se seleccionaron 33 indicadores de erosión (Anexo 1) basándose en los trabajos previos de indicadores o de percepción de la erosión en distintas zonas del planeta (Altieri and Nicholls, 2002, Okoba and Sterk, 2006, Yusuf and Ray, 2011, Zegeye, 2009). Luego, estos indicadores fueron analizados en compañía del personal de EMBRAPA



solos, especialmente la doctora Elaine Cardoso Fidalgo y el doctor Guilherme Kangussu Donagemma, quienes tienen una amplia experiencia de trabajo con los suelos y los productores en la zona de estudio. Después de este análisis se hizo un cuestionario con 17 indicadores visuales (IV) que se ajustan mejor a la realidad de la zona de estudio y podrían presentarse en la misma. Luego, cada uno de los 17 indicadores fue dividido en tres o dos opciones: A, B, C o A, B; donde A representa la mejor condición del terreno acorde con el IV seleccionado, B representa un grado medio del IV y C representa su grado más elevado o de mayor perturbación (Anexos 2 y 3, Tabla 4).

**Tabla 4.** Cuestionario con los indicadores visuales de erosión

Indicador	Parámetros de observación	Medición (punto GPS)	Anotaciones
1. Forma del terreno	Plano – cóncavo – convexo Sentido horizontal: Sentido vertical:	GPS:	
2. Cobertura de hojarasca	A) Más del 50% del suelo cubierto por la hojarasca. B) Menos del 50% del suelo cubierto por la hojarasca. C) Suelo sin hojarasca.	Estimación: 1.__ GPS: 2.__ GPS: 3.__ GPS: 4.__ GPS: 5.__ GPS:	
3. Cantidad de hojarasca	A) La superficie del suelo presenta una capa gruesa de hojarasca. B) La superficie del suelo presenta una capa delgada de hojarasca.	Estimación: 1.__ GPS: 2.__ GPS: 3.__ GPS: 4.__ GPS: 5.__ GPS:	
4. Sombreado del suelo por las plantas vivas	A) Más del 50% del suelo está sombreado por las plantas vivas. B) Menos del 50% del suelo está sombreado por las plantas vivas. C) Suelo expuesto.	Estimación: 1.__ GPS: 2.__ GPS: 3.__ GPS: 4.__ GPS: 5.__ GPS:	

<p>5. Sedimentación</p>	<p>A) Acumulación de pocas o ninguna partícula fina en el suelo.                  B) Las partículas finas del suelo se acumulan en la superficie formando un patrón.                  C) Varios lugares del terreno están cubiertos únicamente por partículas finas de suelo.</p>	<p>GPS:</p>	
<p>6. Acumulación de sedimentos al lado de las plantas</p>	<p>A) Pocos o ningún sedimento se acumulan a un lado de la planta formando un escalón.                  B) Hay acumulación de sedimentos a un lado de la planta formando un escalón.</p>	<p>GPS:                  Altura del escalón:</p>	
<p>7. Presencia de terrones</p>	<p>A) La superficie del suelo no presenta agregados gruesos.                  B) La superficie del suelo presenta agregados gruesos.</p>	<p>Estimación:                  1.__ GPS:                  2.__ GPS:                  3.__ GPS:                  4.__ GPS:                  5.__ GPS:</p>	
<p>8. Exposición de raíces</p>	<p>A) Ninguna raíz se encuentra expuesta.                  B) Una pequeña parte de la raíz está expuesta (ocasional).                  C) Gran parte de la(s) raíz (raíces) está expuesta (frecuente).</p>	<p>GPS:</p>	
<p>9. Pedestales</p>	<p>A) No es posible ver una diferencia de nivel entre la base de una roca y el terreno circundante a ella.                  B) Alguna(s) roca(s) sobresalen del terreno formando un pedestal.</p>	<p>GPS:</p>	
<p>10. Canalillos</p>	<p>A) No existen canalillos ni surcos.</p>	<p>GPS:</p>	

o surcos	<p>B) Existen canalillos (hasta 10 cm de anchura y profundidad).</p> <p>C) Existen surcos (entre 10 cm y 50 cm de anchura y profundidad)</p>	<p>Ancho:</p> <p>Profundidad:</p>	
11. Frecuencia de canalillos o surcos	<p>A) Ocasionales, los canalillos o surcos se presentan solos o a una distancia mayor que 30 m entre ellos.</p> <p>B) Frecuentes o muy frecuentes, los canalillos o surcos se presentan a una distancia igual o menor a 30m.</p>	<p>GPS:</p> <p>Nº de canalillos o surcos:</p>	
12. Las cercas se inclinan o caen	<p>A) La cerca continua en su posición original.</p> <p>B) La cerca está inclinada por efecto del movimiento del suelo.</p> <p>C) La cerca se cayó o se destruyó por efecto del movimiento del suelo.</p>	<p>GPS:</p>	
13. Cárcavas	<p>A) No hay</p> <p>B) Estabilizadas</p> <p>C) Activas</p>	<p>GPS:</p>	
14. Cambio de actividades de producción	<p>A) En este terreno la producción se mantiene.</p> <p>B) La producción cayó.</p> <p>C) No produce más.</p>	<p>GPS:</p>	
15. Anormalidades en la vegetación	<p>A) La vegetación crece normalmente.</p> <p>B) En algunos lugares, por efecto de la pérdida de suelo, la vegetación no crece normalmente</p> <p>C) En muchos lugares, por efecto de la pérdida de suelo, la</p>	<p>GPS:</p>	

	vegetación ya no crece normalmente.		
16. Daños en casas, caminos o vías	A) Casas, caminos o vías sin grietas o daños. B) Casas, caminos o vías con pequeñas grietas o daños. C) Casas, caminos o vías con grietas o daños considerables.	GPS:	
17. Caminos de ganado	A) No son visibles B) Caminos de ganado visibles y con pasto. C) Caminos de ganado profundos y sin pasto.	GPS:	

Con el apoyo del personal de EMBRAPA solos se realizó una primera salida de campo a la zona de estudio. Allí se determinaron los usos de suelo o terrenos a evaluar durante las entrevistas: cultivos de banana, yuca y palmito, junto con zonas de pastizal y mata atlántica. En este estudio se utiliza la palabra terreno para designar los tipos de estos usos de suelo escogidos.

Durante esa misma salida, también se tomaron fotografías de algunos terrenos. Esto con el fin de usarlas como ayuda para ilustrar cada uno de los indicadores y sus respectivas opciones (A, B o C según el caso) a los productores. Finalmente se elaboró un álbum de fotos propias y de otras personas, junto con algunas imágenes extraídas de internet (ver Anexo 3). Dicho álbum fue presentado durante la entrevista para ilustrar mejor los indicadores visuales a cada productor.

### **Selección de informantes clave (IC)**

Los IC fueron seleccionados por una muestra intencional }{

}zzzzzzzz, es decir, fueron seleccionados por los intereses particulares del estudio y las circunstancias de la investigación. Esta selección se hizo a través del personal de

EMBRAPA solos, cuya opinión como expertos está avalada por su amplia experiencia de trabajo con las comunidades de la MB y de otras zonas de RJ.

Durante la primera salida de campo se contactaron personalmente los IC con ayuda del personal de EMBRAPA solos. Los IC son productores dentro de la MB que llevan suficiente tiempo trabajando en ella. Por ello su percepción y sus prácticas de manejo pueden ser tomadas como referencia de lo que sucede en la MB. Estos productores también han mostrado más disposición para colaborar en trabajos previos, de acuerdo a la opinión de los expertos consultados.

### **Entrevistas**

Para la realización de las entrevistas se visitó nuevamente la zona de estudio y se acordaron citas con los IC. Las entrevistas consistieron en preguntar a cada IC qué cultivos tenía en ese momento y cuál de los grados (A, B ó C, según el caso) de cada IV había visto en cada uno de sus terrenos.

Durante la entrevista se dejaba a cada IC interpretar lo más libremente posible las fotos y los IV, sin insinuarle si alguna opción era mejor o peor. Tampoco se habló directamente de la erosión ni de la forma en que se manejaban los terrenos, ya que el objetivo era observar que tanto se asociaban los indicadores a un mismo tipo de fenómeno, explicaciones o causas.

Todas las observaciones adicionales dadas por los IC fueron anotadas. También se le preguntó a cada uno de ellos qué opinión tenían de los indicadores visuales presentados y si consideraban que algún indicador fuera más importante que otro, así como si ellos hacían algo específico al ver esos fenómenos. Los detalles que el informante dio indirectamente sobre la erosión o el manejo del terreno también se anotaron.

### **Seguimiento de los indicadores en los cultivos**

Después de cada entrevista se solicitó permiso al IC para acceder a sus diferentes terrenos y evaluarlos personalmente a través de los IV. Esto se hizo con el objetivo de contrastar los resultados de las entrevistas con la evidencia en campo y la correlación de la posición GPS

de los IV. De este modo, se buscó emular la perspectiva de un técnico que fuera a evaluar el estado de conservación del suelo en el mismo terreno con los mismos IV. De aquí en adelante se llamara evaluación técnica a las observaciones directas de los IV en campo.

En cada terreno visitado, se hicieron cinco cuadrantes de 1 m x 1 m distribuidos en el área ocupada por el mismo. Se obtuvo la posición geográfica de cada cuadrante mediante un GPS y allí se evaluaron los puntos: 2, 3, 4 y 7 del cuestionario (Tabla 3). Para evaluar el punto 3 se llevaba consigo un balde de 8 L de capacidad, al cual se vertía toda la hojarasca presente en la superficie del cuadrante (Figura 4). Finalmente, la cantidad de baldes llenados y la proporción a la cual era llenado el último balde eran anotados en forma de porcentaje. Por ejemplo, si la hojarasca ocupaba cinco baldes y medio se anotaba 550.



**Figura 4.** Secuencia de llenado de balde(s) en cada cuadrante.

Los cuadrantes fueron seleccionados no probabilísticamente por opinión del investigador. Con la intención de obtener una muestra, lo más representativa posible para cada terreno, se escogieron cuadrantes distantes entre sí, distribuidos en toda la extensión del terreno y que correspondieran con el patrón general percibido por el evaluador técnico.

Mientras se recorría el terreno se observaba atentamente la aparición de algún grado B ó C, según el caso, de cualquier IV afuera o dentro de los cuadrantes. Al ver alguno de estos se tomaba inmediatamente su localización geográfica y se describían los parámetros

adicionales requeridos u observaciones según el indicador. Algunos de estos indicadores requerían de información adicional, por ejemplo al observarse canalillos o surcos, se anotaba también su anchura y profundidad; y al observarse escalones formados por la acumulación de sedimentos a un lado de la planta formando un escalón, se anotaba la altura del escalón (Tabla 4).

### **Análisis de los datos**

Al final de la fase de campo se obtuvieron 17 valores cualitativos por cada terreno de cada IC y una lista de IV georeferenciados como resultado de la evaluación técnica. Para comparar estas series de valores categóricos (de cada terreno) entre ellas y con los valores de erosión de la USLE en la MB, se resolvió dar a cada una de las aproximaciones (IC, técnico y USLE) un solo valor categórico por terreno.

Primero, toda la información recopilada en las entrevistas y en los recorridos por los terrenos fue transcrita en tablas de Excel. Por otra parte, los puntos GPS fueron descargados usando los softwares Mapsource y BaseCamp para poder visualizarlos en ArcMap 10.0. A continuación, se trasladó a cada punto GPS la tasa de erosión del pixel del mapa USLE de la MB en que se encontraba, y estos valores fueron incluidos a sus puntos correspondientes en la tabla de Excel. Así, se obtuvo una tabla unificada con todos los valores de pérdida de suelo y los resultados de los indicadores evaluados en campo por terreno.

Las tasas de erosión de la tabla de Excel correspondientes a un mismo terreno, se promediaron para obtener los valores de pérdida de suelo anual de la USLE por terreno. Estos promedios de pérdida de suelo también se clasificaron en tres categorías (A, B ó C), tomando en cuenta la reclasificación de las clases de pérdida de suelo elaborada durante el estudio, basándose en los datos de Thompson (2012) y la literatura.

Para analizar y unificar los resultados de cada entrevista y de cada evaluación técnica sobre cada terreno, se dividieron los 17 IV en seis grupos (Tabla 5). El grupo 1 sirve para analizar si las propiedades de la superficie del suelo tienen alguna relación con la erosión en el sitio. El grupo 2 muestra si hay procesos de erosión en las zonas cercanas y a mayor altitud. Mientras que los grupos 3 a 6 se utilizaron para determinar la calificación final de cada terreno.

**Tabla 5.** Clasificación de los indicadores visuales en grupos

<p><b>Grupo 1 - Factores condicionantes o explicativos</b></p> <p>1. Forma del terreno</p> <p>2. Cobertura de hojarasca</p> <p>3. Cantidad de hojarasca</p> <p>4. Sombreado del suelo por las plantas vivas</p>
<p><b>Grupo 2 - Señales de los sedimentos</b></p> <p>5. Sedimentación (fina)</p> <p>6. Acumulación de sedimentos al lado de las plantas</p> <p>7. Presencia de terrones</p>
<p><b>Grupo 3 - Evidencias de erosión laminar</b></p> <p>9. Pedestales</p> <p>8. Exposición de raíces</p>
<p><b>Grupo 4 - Evidencias de erosión avanzada</b></p> <p>10. Canalillos o surcos</p> <p>11. Frecuencia de canalillos o surcos</p> <p>13. Cárcavas</p>
<p><b>Grupo 5 - Evidencias e la condición de los sistemas agrícolas, pecuarios y forestales</b></p> <p>14. Cambio de actividades de producción</p> <p>15. Anormalidades en la vegetación</p> <p>17. Caminos de ganado</p>
<p><b>Grupo 6 - Evidencias de deterioro en la finca o en sus cercanías</b></p> <p>12. Las cercas se inclinan o caen</p> <p>16. Daños en casas, caminos o vías</p>

La manera de determinar la clasificación final se formuló a partir del supuesto de que es muy poco probable que en un mismo terreno se presenten simultáneamente todos los indicadores visuales. Entonces, la clasificación se definió en función de los siguientes criterios:

- Si todos los IV de un terreno tienen un grado “A”, su valor final es “A”



- Si uno o más de los IV de un terreno tienen un grado “B”, su valor final es “B”, independientemente de cualquier otro IV que presente un grado “A”
- Si uno o más de los IV de un terreno tienen un grado “C”, su valor final es “C”, independientemente de cualquier otro IV que presente un grado “A” o “B”

En el caso de la evaluación técnica, se debió unificar primero los IV de los grupos 3 a 6 según las observaciones hechas en el terreno. Esto se hizo indicador por indicador, de manera similar a la forma de dar una categoría final a cada terreno. En otras palabras, allí también se dejaba el grado más alto registrado en el terreno como resultado final de cada IV.

Los IV de los grupos 1 y 2 fueron unificados por terreno con base en las categorías más frecuentes en cada uno de los IV en cada terreno, es decir, no la categoría que indicase mayor grado de erosión en cada caso sino la que más veces se presentó en el terreno, ya que en este caso se necesitaba describir la situación y no evaluarla. La excepción a ello fue la evaluación de los IV 3 y 6, los cuales se basaron en el promedio de los resultados de los cinco cuadrantes; en el caso del IV 3, el valor de porcentaje calculado previamente fue convertido a litros.

La información adicional dada por los IC fue tomada en cuenta para entender su percepción sobre los IC y sobre el manejo del suelo. Esta información se utilizó para entender mejor los resultados de las entrevistas y si los IV fueron entendidos correctamente. La información de tipo cultural o socioeconómico proporcionada por los IC se discutirán más adelante.

Para comparar la calificación obtenida para cada terreno según la fuente (entrevista, evaluación técnica y USLE) se elaboraron tablas de confusión o matrices de error. Éstas se hicieron por pares de fuentes, una en las columnas y la otra en las filas. En las celdas se colocó la frecuencia relativa ( $p_{ij}$  - Ecuación 5) de cada combinación de categorías.

Ecuación 5:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{N}$$

Donde,  $p_{ij}$  = Frecuencia relativa de la combinación de calificaciones del grado de erosión de un terreno por el par de fuentes referido.

$x_{ij}$  = Número de veces en que las categorías de la fila  $i$  y la columna  $j$  fueron el resultado de un mismo terreno

$N$  = Número total de terrenos evaluados

De allí se obtiene la proporción global de categorías que fueron iguales para el mismo terreno (aciertos) entre las dos fuentes comparadas (exactitud global,  $P_c$ ), la proporción de aciertos para cada categoría en una misma fila (exactitud de la fuente  $i$ ,  $P_{U_i}$ ) y la proporción de aciertos para cada categoría en una misma columna (exactitud de la fuente  $j$ ,  $P_{A_j}$ ), de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

Ecuación 6: (Stehman, 1997)

$$P_c = \sum_{k=1}^q p_{kk}$$

Donde,  $P_c$  = exactitud global

$p_{kk} = p_{ij}$  en el cual la categoría de la fila y de la columna son la misma (diagonal de la matriz)

$q$  = número de categorías

Ecuación 7: (Stehman, 1997)

$$P_{U_i} = p_{ii} / p_{i+}$$

Donde,  $P_{U_i}$  = Exactitud de la fuente  $i$

$p_{i+}$  = Suma de todas las proporciones en una misma fila

$p_{ii} = p_{ij}$  en el cual la categoría de la fila y de la columna son la misma

Ecuación 8: (Stehman, 1997)

$$P_{A_j} = p_{jj} / p_{+j}$$

Donde,  $P_{A_j}$  = Exactitud de la fuente  $j$

$p_{+j}$  = Suma de todas las proporciones en la columna  $j$

$p_{jj} = p_{ij}$  en el cual la categoría de la fila y de la columna son la misma

Estos parámetros se usan frecuentemente para validar clasificaciones supervisadas y no supervisadas de imágenes de sensores remotos (Stehman, 1997, Congalton and Green, 1999) y por ello fue considerado apropiado usarlo en este estudio, ya que aquí también se están comparando diferentes tipos de aproximación o clasificación de un terreno. El parámetro kappa también ha sido propuesto para sintetizar los resultados de las matrices de error, este parámetro es el resultado del ajuste de  $P_c$  al quitarle el efecto de la coincidencia hipotética debida al azar, teniendo en cuenta las proporciones marginales de la matriz. Sin embargo, kappa puede encubrir algunas características de los datos, mientras que analizar conjuntamente los valores de " $P_c$ ", " $P_{U_i}$ " y " $P_{A_j}$ " resulta más eficaz para sacar mejores conclusiones de las relaciones entre las dos clasificaciones involucradas de acuerdo con los objetivos del estudio (Stehman, 1997). Por lo tanto, los valores " $P_c$ ", " $P_{U_i}$ " y " $P_{A_j}$ " fueron usados en este trabajo para establecer qué tanto coincidieron los distintos tipos de evaluación entre ellos.

Finalmente, se entrevistaron 7 IC y se visitaron todos los tipos de terreno planteados (Anexo 4): mata atlántica (selva), bananal (*Musa sp.*), cassava (*Manihot esculenta*), pastizal y palmito (*Bactris gasipaes*), lo que sumó un total de 20 terrenos. Para cada terreno se obtuvieron tres calificaciones, una por cada una de las aproximaciones de este estudio a la evaluación de la erosión del lugar (USLE, entrevista y evaluación técnica).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Mapa de pérdidas de suelo reclasificado para la Microcuenca Batatal

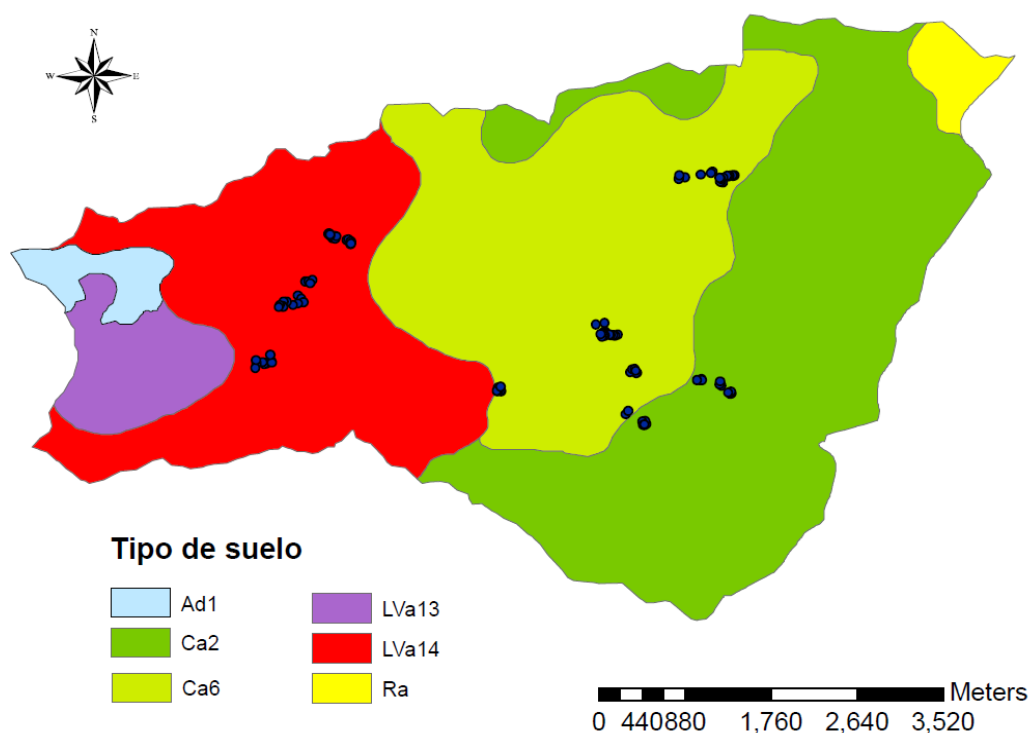
La pérdida de suelo estimada para la MB, de acuerdo a los datos de Thompson (2012), se puede observar en la Figura 6. La tolerancia de pérdida de suelo para cada tipo de suelo principal sobre los que se encuentran los terrenos evaluados en el presente estudio (Figura 5) se encuentran en la Tabla 6, y su promedio es de  $11.1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Costa et al. (2005) dividieron también los valores de pérdida de suelo ( $\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) en cinco categorías, donde la categoría más baja se definió como de 0 – 10, al igual que en Thompson (2012). Sin embargo, Costa et al. (2005) tomaron un rango de 10 - 50 para la categoría “erosión baja” para todo el estado de RJ, mientras que Thompson tomó un rango de 10 - 20 para esa misma categoría.

Nuevamente, en el presente trabajo se decidió maximizar la sensibilidad de los datos de erosión de la USLE, al igual que como se hizo con los datos de las otras aproximaciones. Por ello, se tomaron los valores por debajo del promedio de la tolerancia de pérdida de suelo en los suelos de interés (Tabla 6) y ubicados en la categoría: “muy baja” de Costa (2005) y Thompson (2012), como los valores de la categoría A. Es decir, estos serían suelos que bajo su actual uso o cobertura de suelo, no necesitan ninguna consideración especial en términos de conservación de suelo.

La categoría B se definió bajo el mismo rango que la categoría “baja” de Thompson (2012), es decir de 10 a 20. Su límite superior se ubica debajo del doble del promedio de la tolerancia de pérdida de suelo en los suelos de interés (Tabla 6), lo cual se consideró conveniente para ajustar esta categoría. Estos serían los lugares que necesitarían implementar prácticas de conservación de suelo para evitar los costos de la erosión a largo plazo. En tanto que la categoría C quedó definida para los valores de pérdida de suelo mayores a las  $20 \text{ t. ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , los cuales serían los terrenos donde se debería urgentemente replantear el tipo de uso de suelo e implementar prácticas de conservación de suelo.

**Tabla 6.** Valores de tolerancia de pérdida de suelo de los principales tipos de suelos en los terrenos visitados.

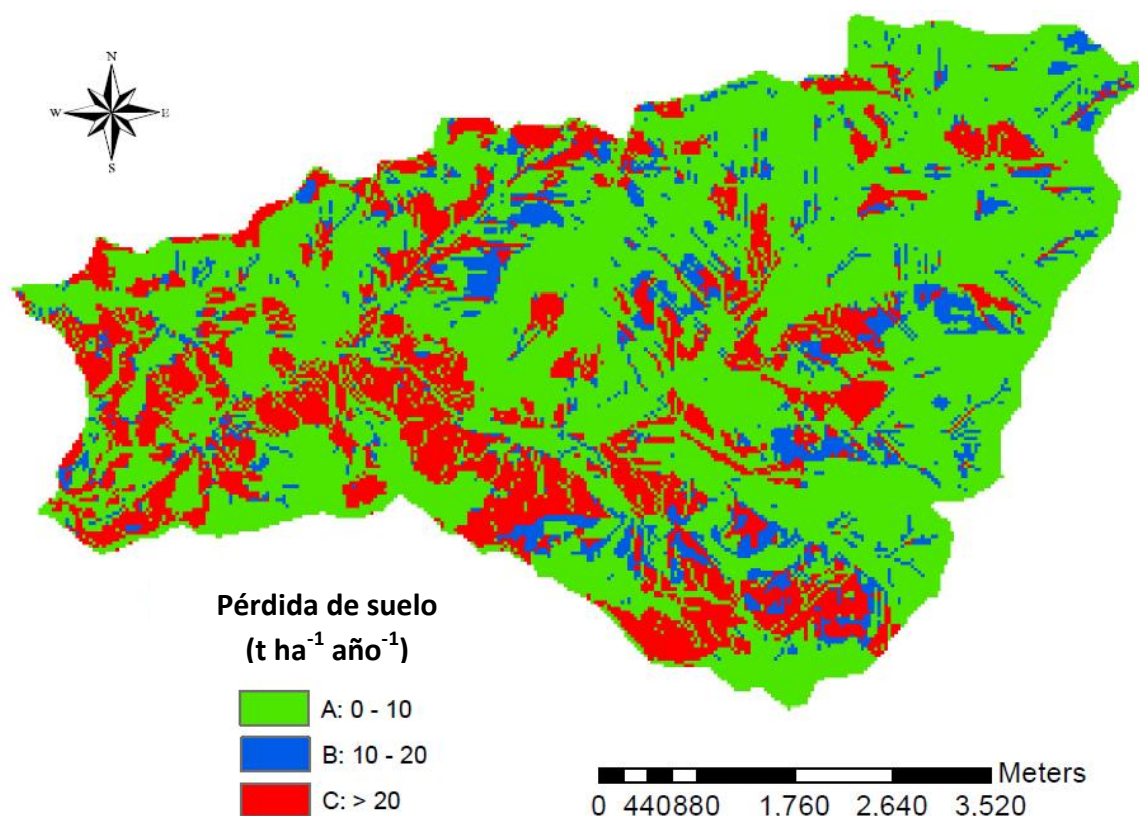
Tipo de suelo	Tolerancia de pérdida de suelo	Fuente
Ca2	10.31	(de Oliveira et al., 2008)
Ca6	10.31	(de Oliveira et al., 2008)
LVa14	12.60	(Bertoni and Lombardi Neto, 1985)
Promedio	11.1	



**Figura 5.** Tipos de suelos encontrados en la microcuenca Batatal, junto con la ubicación de los puntos GPS tomados en los terrenos evaluados (Modificado del mapa de suelos de la cuenca Guapi-Macacu de la base de datos DinarioRBIS).

De acuerdo a la clasificación de la erosión planteada en este trabajo, 66,8% de la MB se encuentra en la categoría A, 10,0% en la categoría B y 23,2% en la categoría C. Esto muestra que dos terceras partes, aproximadamente, de la MB tienen un uso o cobertura adecuados del suelo. Es importante, tener en cuenta que Thompson (2012) señala que principalmente los valores bajos de factores LS fueron los más influyentes para que los valores de pérdida de erosión quedaran entre 0 - 10 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (categoría A del presente estudio). Esto coincide con las características de la clase 1 de la clasificación de capacidad

de uso de suelo para Brasil. Pues en esta clase están las tierras que tienen una baja pendiente y que pueden ser cultivadas sin prácticas de prevención de la erosión (Bertoni and Lombardi Neto, 1985, Marques, 1958). La categoría B, por su parte, aparece muy poco en la MB.



**Figura 6.** Pérdida de suelo en la microcuenca Batatal de acuerdo a la USLE (Basado en el mapa de Thompson, 2012)

Es muy importante observar que el resultado de la categoría C abarca poco menos de un cuarto de la MB, indicando zonas donde tiene que reevaluarse el uso de suelo. Sin embargo, hay que tener en cuenta dos cosas señaladas por Thompson (2012) sobre sus resultados: primero, la mayoría de zonas con pérdida de suelo mayor a 20 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (categoría C del presente estudio) en su zona de estudio (cuenca Guapi-Macacu) corresponden a pastizales; y segundo, es difícil encontrar valores adecuados de los factores C y P para este territorio. Adicionalmente, las pendientes altas usualmente dan valores bastante elevados a la ecuación, ya que ésta toma como referencia parcelas con 9% de inclinación en un terreno uniforme (Kirkby et al., 1980, Morgan, 1995); además, la USLE subestima las pérdidas de suelo en laderas convexas, mientras que las sobrestima en pendientes cóncavas (Bertoni and Lombardi Neto, 1985). Este tipo de pendientes altas y con superficies no uniformes es

lo usual en la MB dado su origen geomorfológico (Serra do Mar, ver descripción de la zona de estudio); por lo tanto, es necesario ser cuidadoso al concluir sobre las zonas de categoría C en la MB (Figura 6), ya que se pueden deber a una combinación de pendientes altas, junto con factores C y P que no reflejan las condiciones reales del lugar. Por ellos es importante corroborar la situación de erosión en campo, lo cual está implícito en el objetivo del presente estudio. Además, es importante considerar que la clasificación desarrollada en este estudio busca maximizar la sensibilidad a la pérdida de suelo para cada una de las diferentes aproximaciones usadas.

### **Sistemas de producción y manejo de los recursos naturales**

Para entender mejor los resultados de las entrevistas se hará primero una síntesis de la percepción que los IC dieron a entender sobre su ambiente, prácticas de manejo y la erosión, durante la entrevista. Todas las percepciones se presentarán de manera general, así que no son atribuibles a solamente uno o a todos los IC. Es necesario recordar que los IC son productores locales y con una experiencia mayor a 40 años de trabajo en la MB en diferentes tipos de cultivos. Adicionalmente, sus limitaciones se dan por falta de recursos económicos, y escasez de empleados o de fuerza laboral (Cardozo-Fidalgo, com. pers.). En la zona de estudio es difícil encontrar gente joven interesada en trabajar en el campo, varios de los hijos y descendientes de los IC ya viven en ciudades cercanas como Cachoeiras de Macacu. De hecho, apenas 4% de 66 jóvenes entrevistados en la comunidad por Cavalin y Monteiro (2012) trabajaban en la propiedad de su familia.

El ambiente que rodea a los IC comprende las dimensiones ecológicas, sociales, políticas y económicas. Estas se mezclan e interactúan constantemente en su vida diaria. Más o menos hace 30 o 40 años, según lo revelado en las entrevistas, gran parte de la MB estaba cubierta de cultivos de banana, maíz, frijol y yuca. Incluso se encontraba allí un molino para hacer harina de yuca (figura 7). Asimismo, la vegetación de la Mata Atlántica era usada para hacer carbón vegetal. Unos años después, se abandonaron las plantaciones y la Mata Atlántica volvió a expandirse en forma de bosque secundario. Tal vez se trate del mismo fenómeno, o alguno similar y anterior al mencionado por Rodríguez Osuna (2014), quien reporta que una baja de precio de la banana hace unos 15 años, provocó el descenso de su cultivo en la MB. Estas descripciones coinciden con lo encontrado en la literatura

sobre la historia de uso de suelo en Cachoeiras de Macacu ya descrita anteriormente (Cabral and Fizon, 2004, Posdena et al., Proyecto DINARIO).



**Figura 7.** Fotos de los remanentes del molino para producir harina de la Microcuenca Batatal.

Debido al clima y las condiciones topográficas del lugar, los IC han presenciado fuertes lluvias durante toda su vida y conocen los diferentes impactos que éstas pueden generar. Asimismo, han visto mata atlántica bien desarrollada en las partes más altas y alejadas de la cuenca, donde también mencionaron la existencia de cárcavas (lo cual es probablemente debido a la combinación del tipo de suelo, la fuerte pendiente y las lluvias). Las cárcavas en medio de la mata atlántica usualmente son rápidamente cubiertas por las especies propias de esos ambientes perturbados; igualmente ocurre una rápida sucesión secundaria en las zonas de plantaciones abandonadas, como se menciona en el párrafo anterior.

Por lo tanto, la preocupación por evitar la erosión, no dañar la flora y fauna natural, o adoptar cierto tipo de prácticas no parece estar dentro de sus asuntos apremiantes. Esta información más bien ha llegado a las comunidades de la MB con las regulaciones ambientales gubernamentales. En ese territorio hay bastante control por parte de IBAMA sobre asuntos ambientales, estando prohibidas las quemas y la deforestación tanto del bosque secundario como del bosque avanzado. Incluso, se cuentan historias de personas penalizadas por cortar árboles o matar algún animal, incluso alguna serpiente venenosa.



Por ello, las personas de la zona tratan de ocultar cualquier comentario que los pueda relacionar con el rompimiento de alguna de estas leyes.

En el momento de la fase de campo del presente estudio, algunos de los productores de la MB se estaban beneficiando del programa de apoyo a la agricultura orgánica por parte de RR. Este programa dio dinero para plántulas e insumos destinados a este tipo de producción así como algunas especificaciones respecto a la forma de plantación de acuerdo al tipo de pendiente y otras condiciones del terreno, todo ello en favor de la conservación de suelo y de la protección del ecosistema.

La comunidad también recibe capacitaciones y programas de apoyo. Según los IC, EMATER hace capacitaciones desde hace unos 30 años, mientras que EMBRAPA hace lo propio desde hace 6 años, aproximadamente. Sin embargo, durante las entrevistas se comentó que no toda la comunidad participa en estos eventos.

Otro aspecto importante a considerar en el análisis de la información es que fue evidente, durante las entrevistas, que la realidad de los terrenos no se presenta para los IC como una imagen instantánea actual sino como un proceso continuo espacio-temporal, ya que los terrenos varían mucho en su estructura interna, de acuerdo a la etapa del cultivo y a la temporada del año.

A continuación se describen brevemente los diferentes tipos de terreno evaluados y las prácticas agropecuarias realizadas en ellos. Se comenzará con la mata atlántica, que fue evaluada como control. Las áreas de este bioma referidas durante las entrevistas mezclan las zonas de bosque secundario y las de bosque en estado avanzado. Estas áreas en general no tienen ningún tipo de manejo especial y allí se encuentran animales como el armadillo (tatú en portugués), que cava sus madrigueras en el suelo, así como diversas serpientes.

Los bananales tienen usualmente una amplia extensión y se encuentran en la parte plana o en las laderas. Las variedades cultivadas son la “pionera” y la “prata”. La poda y remoción de residuos vegetales, que en conjunto ellos llaman limpia (limpa en portugués), se realiza de diferente manera y con diferente intensidad de acuerdo a cada productor, se encontró que algunos realizan la limpia una vez al año, cada seis meses, o cada vez que hay mucha hojarasca/maleza alta. Esto también está ligado a la época del año, ya que ellos dicen que la banana crece más cuando las temperaturas son más altas, y por tanto, en esa época

realizan una limpia. Ellos revelan que si no realizan esta actividad, la producción cae y las plantas mueren. También indican que una vez realizada aumenta la productividad.

Por otro lado, también es común que dentro del bananal dejen algunas plantas nativas, o frutales que algunas veces son plantados por ellos mismos (ej. naranja, mango), o que planten maíz o coco. El maíz se cultiva con fines de subsistencia, ya que solo se intercalan algunas plantas cuando la banana está en etapa de crecimiento.

En el caso de la yuca, se trata de un cultivo anual cuya cosecha implica arrancar la planta completamente. Por ello, después de su cultivo se deja usualmente un descanso de tres o cuatro años. Todos los cultivos de esta planta se encontraron en las partes bajas y planas. Y recomendaron jamás plantarla en las laderas. A diferencia del banano, estos cultivos rara vez se combinan con el cultivo de otras plantas. Algunos productores hacen dos limpias al mes en estos terrenos.

El palmito es un cultivo que se promueve en otros estados de Brasil como una alternativa sustentable para aprovechar áreas de agricultura abandonadas por el dominio de la Mata Atlántica (EMBRAPA florestas, 2007); posiblemente esto se refiere a que debido a la prohibición de cortar este bioma sin autorización, se entiende que la selva "limita" la expansión agrícola, y por ello se está incentivando el cultivo del palmito debajo de la floresta. De cualquier modo, todos los IC conocían este cultivo, y el terreno que fue evaluado se encontró en una fuerte pendiente con cultivo en contorno. En una de sus secciones, el terreno estaba rodeado de árboles más grandes, a semejanza de un sistema agroforestal.

Los pastizales difieren mucho de acuerdo a los animales que pasten en ellos. En el presente trabajo se entrevistaron a algunos IC sobre dos distintos tipos de animales: vacas y burros. Respecto a los pastizales para burros, estos requieren usualmente menos cuidados ya que no se tienen muchos de estos animales en un terreno, y su peso tampoco es comparable con el de una vaca. Para los pastizales de ganado bovino se planta pasto del género *Brachiaria*. En este caso, el número de cabezas por terreno parece estar ligado a alguna noción sobre el concepto de carga máxima, puesto que muchas veces, los IC comentaron que un terreno no podía tener demasiadas vacas. Uno de ellos dijo que si una hacienda tiene 80% de ganado, va a tener caminos de ganado profundos y sin pasto (aunque no aclaro exactamente en base a que se sacaba ese porcentaje). Por su parte, otro

IC dijo que para evitar los caminos de ganado y el cansancio del terreno, él cambiaba su ganado a un nuevo potrero cuando veía que el pasto tenía una altura mínima.

Los IC también hablaron de algunas combinaciones de diferentes especies que ellos hacen en secciones de sus terrenos. Esto viene a ser una forma de experimentación espontánea de sistemas agroforestales o de cultivos imbricados. Las combinaciones mencionadas fueron: banana – Mata Atlántica; Palmito– Mata Atlántica; y banana-palmito–algunos árboles nativos- frutales.

En invierno usualmente hay poca producción, mientras que en verano se da la mayor producción. Algunas plagas que afectan sus cultivos son el mal de panamá en banana, lagartos y saltamontes (gafanhoto en portugués) que devoran toda o parcialmente el follaje.

Los abonos usados normalmente en los cultivos evaluados son: estiércol de gallina, estiércol de granja, harina de hueso y cal. Como se puede notar, es rara la adición de fertilizantes químicos, alguno de los IC mencionó que éstos destruyen la tierra y que luego queda dura, pero que a veces los usan.

La importancia de las descripciones anteriores no radica en su frecuencia o exactitud, sino en que todos esos datos derivaron de los IV que se les iban preguntando y mostrando en las fotos. Es decir, ellos relacionaron los IV con su trabajo en el campo, sus observaciones personales y la forma en que interactúan con con el ecosistema, la economía y la legislación.

### **Percepción local de la erosión**

En general los IV fueron percibidos por los IC como eventos naturales, normales y no relacionados entre ellos, algunas veces dijeron que representan problemas a resolver y que atenderlos podría servir para mejorar. Para entender la forma en que los IC interpretaron los IV, se presenta una recopilación de los comentarios expresados ante cada IV que se les presentó (Tabla 4).

El IV 1 (Forma del terreno) fue muy difícil de hacer entender a los IC, porque muchos terrenos ubicados en ladera, cambian mucho su forma superficial incluso en pocos metros, un terreno puede pasar de ser cóncavo-cóncavo a ser convexo-convexo (Tabla 4, Anexo

3), o cualquier otra forma. Por ello este IV debe ser complementado con otras formas de clasificar el relieve que se puede aplicar a escala del terreno y complementar la información de la forma del terreno en la MB, éstas son: plano, suave ondulado, ondulado y montañoso (de Lemos and dos Santos, 1982).

Los IV 2 y 3 (cobertura y cantidad de hojarasca, respectivamente) mostraron la conciencia que tiene la comunidad sobre la función de la hojarasca para evitar el impacto de la lluvia en el suelo. Algunos IC manifestaron que deliberadamente la dejan en el suelo para evitar que la escorrentía lo afecte. También algunos expresaron que hay mayor cantidad de hojarasca en la Mata atlántica primaria, en comparación a la hojarasca en zonas de sucesión secundaria en terrenos abandonados.

También es importante anotar que ellos denominan como “lixo” (basura) a la hojarasca y cobertura vegetal muerta en sus cultivos y que les resultó difícil entender la palabra técnica para definir la hojarasca en portugués (serapilhera, Anexo 2). Esto tal vez se debe a que como se mencionó anteriormente, la limpia sirve para mejorar la producción del cultivo y ellos solo ven los residuos vegetales como desechos (basura). Sin embargo, reconocen la funcionalidad de los mismos para detener el impacto de la lluvia.

Todos los indicadores del grupo 2 (Señales de los sedimentos, IV 5-7, Tabla 5) fueron relacionados inmediatamente como algo natural, propio de la temporada lluviosa. Lo mismo ocurrió con los IV 10 y 11 (Presencia de canalillos o surcos y su frecuencia, respectivamente, Tabla 4), los cuales fueron relacionados exclusivamente con la lluvia.

El IV 8 (Exposición de raíces) fue relacionado también con fenómenos diferentes al movimiento de las partículas del suelo. Por ejemplo, para algunos esto ocurría por el crecimiento normal de la planta y de allí la necesidad de aporcar los cultivos. Para otros, la exposición de raíces puede ser un síntoma de enfermedad, por ejemplo por el mal de panamá en banana, o bien por el daño hecho por la fauna, como el lagarto que come las raíces de la yuca. También, fue explicado como algo que ocurre en algunos árboles grandes y viejos, pues tienden a mostrar sus raíces, especialmente dentro de la Mata atlántica.

La descripción y explicación del IV 9 (Pedestales) fue muy difícil; es posible que haya sido asociado simplemente a la presencia de rocas sobre el terreno. Por una parte se trata de un fenómeno muy específico y por el otro lado es difícil dar una explicación del mismo

con un lenguaje sencillo. Así ocurrió, en menor grado, con otros IV del cuestionario, cuya descripción fue mejorando entrevista tras entrevista.

El IV 12 (Las cercas se inclinan o se caen por movimiento del suelo) siempre fue evaluado por los IC en grado A, y muchos de ellos añadían que no tenían cercas en sus terrenos, aunque eso no era del todo cierto. Algún IC asoció el fenómeno con la calidad de la madera utilizada en la cerca.

Como ya se refirió, nunca se les mencionó a los IC la palabra erosión; por ello es interesante destacar que ellos recordaron ese término únicamente al ver el IV 13 (presencia de cárcavas). Por lo tanto la erosión para ellos únicamente se refiere al momento en que hay cárcavas. Los IC eran muy cuidadosos en el momento de hablar de las cárcavas o de otros aspectos fuertemente vinculados con la de erosión puesto que al parecer pueden ser sancionados si tienen cárcavas en sus terrenos. Por ello insistieron recurrentemente en la apreciación de que solo hay cárcavas en la montaña. En relación con lo anterior, la legislación no muestra algún apartado que involucre específicamente a las cárcavas. Sin embargo, el artículo 225 de la ley federal de Brasil de 1998, donde se ratifica el derecho a un ambiente ecológicamente equilibrado, la Mata Atlántica como patrimonio nacional y la posibilidad de sanción de conductas que afecten al medio ambiente; junto con el Código forestal brasileño (Ley 4771 de 1965) y la ley de crímenes ambientales (Ley 9605 de 1998), podrían ser usados para sancionar al propietario de un terreno en caso de haber provocado la formación de cárcavas.

El IV 14 (Cambio de actividades de producción) siempre fue identificado como categoría A para todos los terrenos y por todos los IC (Tabla 7). Para banana, algunos dijeron que hace muchos años se mandaban muchos más camiones desde la MB. Sin embargo, en esa época la banana se vendía por volúmenes, sin separar los racimos y sin clasificar. Entonces, hay una percepción de que antes se producía más, porque se llenaban más camiones, pero en realidad los camiones se llenaban también con muchos residuos no comestibles que hacen parte de la estructura frutal de la planta de banana. Más aún, al observar la productividad de la banana en todo el municipio de Cachoeiras de Macacu, hay un aumento general de la productividad (t/ha) en comparación con el año 2001 (Cavalin and Monteiro, 2012).

Respecto al cambio de actividad en los terrenos, ningún IC había cambiado sus actividades recientemente. En el caso de tener necesidad hacerlo, no sería a causa de la pérdida de

fertilidad del terreno, sino de sus decisiones sobre la especie a cultivar que sea más conveniente de acuerdo los factores socioeconómicos.

El IV 15 (anormalidades en la vegetación) fue el más difícil de explicar. Sin embargo, esto también se debe a que, después de cualquier tipo de disturbio, la vegetación se regenera muy rápidamente, debido a las condiciones climáticas. Por lo tanto, para los IC no tenía sentido pensar en alguna anormalidad y este IV en sus terrenos como perteneciente a la categoría A (Tabla 7). Por estos motivos, no se recomienda usar este IV para futuros estudios en el área.

**Tabla 7.** Resultados de los cuestionarios para cada indicador visual y categoría final del terreno.

1	Indicadores visuales*																Final
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
pl-cvx, pl-ccv	A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A
pl-pl	C	C	A	B	A	A	B	A	A	-	A	A	A	A	B	A	B
pl-ccv	A	A	A	C	A	A	A	B	A	-	A	A	A	A	A	A	B
pl-pl, pl-ccv, cvx-cvx, ccv-ccv	A	A	A	C	A	B	C	B	A	-	A	B	A	A	B	A	C
-	A	A	A	B	A	B	A	B	C	A	A	B	A	A	B	A	C
-	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	B
pl-cvx, pl-ccv	A	B	B	B	B	B	A	B	B	A	A	A	A	A	B	A	B
pl-pl	C	-	A	B	A	A	B	A	A	-	A	A	A	A	B	A	B
pl-ccv	A	B	A	C	A	A	A	B	A	-	A	A	A	A	A	A	B
pl-pl, pl-ccv, cvx-cvx, ccv-ccv	A	A	A	C	A	B	B	B	A	-	A	B	A	A	B	A	B
-	A	A	A	B	A	B	C	B	C	A	A	A	A	A	B	A	C
pl-pl	B	B	A	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A
pl-cvx, pl-ccv	C	-	B	B	B	B	A	B	B	A	A	A	A	A	B	A	B
pl-pl	C	-	A	B	A	A	B	A	A	-	A	A	A	A	B	A	B
-	C	-	B	B	A	B	A	A	A	-	A	A	A	A	B	A	B
pl-pl	B	B	A	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A
pl-pl, pl-ccv, cvx-cvx, ccv-ccv	A	A	B	C	A	B	B	B	A	-	A	B	A	A	B	A	B
pl-pl	B	B	A	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	B	B
-	A	A	-	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	B	B
pl-ccv	A	B	A	C	B	A	A	A	B	-	A	A	A	A	A	A	B

El símbolo “-” representa falta de respuesta o de pertinencia. Para el indicador visual 1 se coloca primero la forma del terreno en la base y después su forma en el perfil, donde: pl: plano, cvx: convexo, ccv: cóncavo.

El IV 16 (daños en casas, caminos o vías) fue varias veces reconocido por los IC únicamente para el caso de daños en caminos y vías, principalmente en época de lluvias. También añadieron en algunas ocasiones que en los caminos y las vías también era posible encontrar sedimentación (IV 5). Una de las causas atribuidas a este fenómeno por un IC

fue el hecho de que no se hacían trabajos para evitar la obstrucción de los canales de desagüe de los caminos y vías. Otro IC afirmó que el sol intenso genera grietas en las vías.

El IV 17 (caminos de ganado) fue entendido fácilmente y asociado a la cantidad de vacas en el terreno, como se mencionó anteriormente. Un IC indicó que una vez tuvo un terreno muy inclinado donde se hicieron caminos de ganado rápidamente. Por lo tanto, los IC asociaron directamente este IV a la carga máxima de un terreno y a su inclinación.

Es importante resaltar la utilidad que tuvieron las fotos para ilustrar los IV y las limitaciones de este medio. Es preciso decir que las fotos fueron un éxito en términos de captar la atención de los IC y centrarlos en la entrevista. Lo que más les agradaba era que las fotos les eran familiares de algún modo, pues la mayoría fueron tomadas en la MB o en sus alrededores (Anexo 3). Sin embargo, algunas veces se dejaban llevar demasiado por los detalles de las fotos. El caso más repetitivo fue el de las fotos utilizadas para ilustrar el IV 8, puesto que las plantas que mostraban los diferentes grados del IV 8, en la foto, eran plantas de palmito que ellos reconocían inmediatamente, por lo tanto, los IC pensaban que se trataba de una característica exclusiva del palmito y era preciso explicarles que se aplicaba para todos los terrenos.

### **Evaluación técnica de la erosión**

De manera similar a la sección anterior, se comenzará describiendo brevemente los terrenos, de acuerdo con lo observado directamente en campo por el autor de este trabajo en calidad de evaluador técnico, y luego se discutirá cada uno de los IV de ésta aproximación (Tabla 9).

Los terrenos de Mata Atlántica visitados fueron en su mayoría bosque secundario, de acuerdo a lo explicado por sus propietarios (IC). Los terrenos muy inclinados hacia la cima de la montaña, y la cima de las montañas más altas, normalmente son Mata Atlántica consolidada desde hace mucho tiempo (posiblemente bosque primario) y fueron muy rocosos en algunos casos.

Por su parte, los terrenos de banana visitados eran muy heterogéneos en su interior. En pocos metros podía cambiar radicalmente la forma del terreno, la cobertura de hojarasca, la presencia de arboles distintos al banano y la cobertura rocosa. En los terrenos de la parte

baja esta heterogeneidad se presenta con menor intensidad y contraste. El manejo, especialmente los diferentes periodos de limpia, también influenciaba bastante la apariencia del cultivo: en los cultivos donde todavía no se había hecho la limpia, la hojarasca estaba distribuida por todo el suelo; en los que recientemente habían podado las hojas y tallos viejos, había una mayor cantidad de hojarasca en el suelo; y en otros terrenos con más tiempo transcurrido después de la poda, la hojarasca ya se encontraba arrumada en varios montones, para su posterior extracción.

Todos los terrenos de yuca visitados, se encontraron en la parte baja de la MB y eran planos. La mayoría tenían muy poca hojarasca. Aunque ya todos los cultivos se encontraban maduros, hubo pequeñas diferencias en el periodo de crecimiento en el cual estaban, incluso uno de los terrenos ya estaba en periodo de cosecha. Para cosechar este producto, se arranca toda la planta. Los tallos se recogen y se ponen a un lado del terreno, mientras que las raíces son diseccionadas para extraer los tubérculos de yuca y los residuos de raíces y tubérculos demasiado pequeños son dejados en el suelo.

El único terreno con palmito que se visitó tenía una parte muy inclinada, y estaba sembrado a curva de nivel según su propietario. En las partes más inclinadas el suelo tenía muy poca hojarasca, la cual al ir deslizándose se quedaba enredada en los palmitos ladera abajo, formando escalones. Esto evidenció que la siembra a curva de nivel no había sido efectuada correctamente. En una de sus secciones el cultivo estaba combinado con especies de árboles altos, como un sistema agroforestal, y fue interesante apreciar que allí la cobertura de hojarasca aumentaba.

Los pastizales visitados se encontraron en ladera. El pastizal de burros era muy diferente en cuanto a su estructura, pues era mucho más alto (Anexo 4) y también presentaba algunos arbustos. En ese terreno, de aproximadamente 1 ha en total, solo comían 2 o 3 burros, lo cual es una presión muy baja para la vegetación y tal vez eso es una de las causas por las cuales crecía allí abundantemente.

El IV 1 (forma de terreno) fue difícil de identificar adecuadamente en campo, sobre todo en áreas relativamente planas y en la parte baja de la MB donde fue necesario decidir arbitrariamente cual lado del cuadrante era la base y cual el perfil (anexo 3). El propósito de este IV es observar si las zonas con algún tipo de forma coincidían con valores altos de la clasificación final de esta aproximación. Sin embargo para una escala de  $1\text{m}^2$  no se pudo observar esa tendencia, se necesitan más muestras en una mayor cantidad de terrenos



para poder establecer una relación consistente. Además, es necesario añadir a este IV la pendiente del cuadrante y la forma general para todo el terreno. La pendiente puede ser clasificada de acuerdo a Bertoni y Lombardi Neto (1985), quienes establecieron diferentes categorías para Brasil. Mientras que la forma general del terreno puede ser de acuerdo a de Lemos y dos Santos (1982), como se explicó anteriormente.

Los IV 2 y 3 (cobertura y cantidad de hojarasca) variaron bastante entre las categorías A y B, mientras que pocos fueron categoría C. Es interesante que en los terrenos cultivados cerca a la Mata Atlántica, las partes de los terrenos que se encuentran más cercanas a este ecosistema cuentan siempre con mayor cobertura y cantidad de hojarasca, lo que probablemente ayuda a abastecer de más nutrientes y agua a las plantas del lugar. Esto mismo sucedió en las zonas de los cultivos que estaban mezcladas con varios árboles nativos, ya que allí la cobertura y cantidad de hojarasca aumentaban notoriamente.

Con los datos de los cuadrantes de cada tipo de uso de suelo del IV 3, se puede ver una tendencia según el uso de suelo que será explicada a continuación. Es necesario tener en cuenta que el objetivo principal de este estudio no es comparar los terrenos a través de cada IV individualmente, lo cual también podría ser muy interesante, sino comparar los resultados de las distintas aproximaciones para evaluar la pérdida de suelo. En general, no se pudieron establecer relaciones concisas entre los IV individuales y los tipos de uso de suelo, debido a que la alta variabilidad hace necesario un mayor número de muestras en cada uno de los tipos. Además, el número de terrenos evaluados en cada tipo de uso de suelo no fue igual, lo que dificultó la comparación.

La cantidad de hojarasca en general fue más alta en la Mata Atlántica llegando hasta 64 L en 1 m<sup>2</sup> (Tabla 8). En las partes más inclinadas la hojarasca disminuye su volumen, pero aun así el cuadrante con menos hojarasca de la Mata Atlántica tenía 12.8 L. En banana también hay usualmente mucha hojarasca, pero el máximo encontrado no alcanza a compararse con el máximo de la Mata Atlántica. En los terrenos de banana el amontonamiento de hojarasca en diferentes partes del cultivo deja secciones descubiertas y es allí donde se registraron los volúmenes más bajos de hojarasca. Siguiendo en orden descendente, el palmito y la yuca tuvieron mucha menos hojarasca que los anteriores. El palmito tenía la hojarasca heterogéneamente distribuida, por efecto de la gravedad y la inclinación, puesto que había secciones con mucha hojarasca, al lado de las plantas, y secciones con poca hojarasca, entre las líneas plantadas. La yuca tuvo menos hojarasca

básicamente porque a estos cultivos se les hacen las limpiezas más frecuentemente. Por último el pastizal, como era de esperarse, fue la cubierta vegetal con menos hojarasca sobre el suelo. El pastizal de burros tuvo las mayores cantidades de hojarasca, sin ello, el promedio del volumen para este uso de suelo hubiera sido incluso menor. Por esto es necesario que en futuras evaluaciones del volumen de hojarasca se haga una diferencia de acuerdo con el tipo de uso de suelo y se establezcan sus relaciones con la erosión.

**Tabla 8.** Volúmenes promedio, máximo (Máx) y mínimo (Mín) de hojarasca encontrados en la Microcuenca Batatal, según los diferentes usos de suelo o cobertura de los terrenos.

Uso de suelo o cobertura	Promedio (L/m <sup>2</sup> )	Máx (L/m <sup>2</sup> )	Mín (L/m <sup>2</sup> )
Mata Atlántica	29.8	64.0	12.8
Banana	18.1	48.0	0.8
Palmito	15.0	28.8	4.0
Yuca	5.9	24.0	0
Pastizal	1.3	4.0	0

En general los terrenos presentaron una buena cobertura (o sombreado) de plantas vivas (IV 4); sólo en 6 casos hubo varios cuadrantes con menos del 50% sombreado en sus respectivos terrenos. En el caso de pastizales, se tomaron las plantas de pasto como plantas vivas que producen sombra, puesto que ofrecen una protección del suelo.

El IV 5 (sedimentación) no se presentó dentro de ningún terreno evaluado, sin embargo sí se encontró en los caminos y vías, por lo que será vuelto a tener en cuenta más adelante junto con el IV 16. Este IV más que relacionado con la erosión *in situ*, está relacionado con el material que es transportado desde más arriba en la misma ladera. No se puede saber exactamente de qué parte vienen los sedimentos, y es difícil separar que tantos provienen de la pérdida natural de suelo y cuántos son ocasionados por las prácticas agrícolas. Si se mantienen en observación junto con las condiciones de uso del suelo ladera arriba, podría usarse como una evidencia de la necesidad de mejorar las prácticas de conservación de suelo en la zona de remoción.

En la mayoría de los terrenos no hubo acumulación de sedimentos alrededor de las plantas (IV 6). Esto sólo se presentó en la mata atlántica en partes muy inclinadas y también en palmito, donde el transporte de hojarasca por acción de la gravedad era demasiado evidente, ya que formaba escalones de hasta 40cm de altura.

Los agregados en forma de terrones (IV 7) fueron escogidos como indicadores porque se pueden ver en grandes cantidades sobre el suelo cuando las partículas finas se han ido por acción de agentes erosivos (Anexo 3). Estos se presentaron en la mayoría de los terrenos evaluados (Tabla 9), incluso en la Mata atlántica, lo que hace pensar que tal vez se puedan deber a otras características de los suelos de la región y que sea preciso estudiar el comportamiento de este IV más detalladamente para poder usarlo como un indicador de erosión.

Las plantas con raíces expuestas (IV 8) se presentaron, sobre todo, en pendientes inclinadas y en árboles viejos, lo que siempre le otorgó un grado B a este IV. La evidencia de raíces en árboles viejos coincidió con lo sugerido por los IC durante las entrevistas. En algunos casos, la planta con exposición de raíces era de una especie diferente a la del cultivo (por ejemplo, una planta de coco dentro de un cultivo de banano); sin embargo se registró como categoría B o C, según el caso, por estar dentro de la zona de cultivo. Para evitar posibles sesgos debido a la presencia de algunos árboles viejos con raíces expuestas, es necesario que la calificación de este IV se pondere con otras evidencias posibles de erosión en el terreno.

Los IV 9, y 13 -16 (Tabla 5) no se encontraron en categoría B o C en ninguno de los terrenos (Tabla 9), lo cual es una señal buena en el sentido que la pérdida de suelo no ha llegado a causar impactos muy fuertes *in situ*. El IV14 (cambio de actividades de producción) no se puede evidenciar con una sola visita al terreno y se haría necesario seguir la historia de los terrenos por más tiempo.

Es interesante observar que tanto en las vías como en los caminos fuera de los terrenos visitados, varias veces se encontraran surcos (IV 10 y 11), deterioro (IV 16) y sedimentación (IV 5), e incluso una cárcava reciente en uno de los caminos (IV 13). Todo esto muestra que se debe tener una mejor planeación y mantenimiento de las vías y caminos en esta zona.

La presencia de surcos y sedimentación en las vías y caminos varía mucho de acuerdo con el estado del tiempo. Durante las visitas a los terrenos hubo días de mucha lluvia seguidos por días de mucho sol. Como muchas veces se tuvo que pasar por los mismos caminos, se pudo observar como los surcos y la sedimentación que se hicieron evidentes por efecto de las lluvias, iban desapareciendo con el transcurso de los días soleados. Esto puede explicar por qué, para los IC, estos fenómenos son naturales y sin relación directa entre ellos, pues

en la continuidad del tiempo los IV aparecen y se “borran” aparentemente. Más aún, si se compara con las cárcavas que pueden ocurrir incluso en zonas de Mata Atlántica, estos otros tipos de erosión fluvial parecen despreciables a simple vista. Es por esto que es necesario concienciar más a la comunidad para que pueda percibir mejor los fenómenos de pérdida de suelo y entender por qué la conservación del mismo los puede beneficiar más allá de evitar una posible penalización.

Los IV 10 y 11 (canalillos o surcos y su frecuencia) fueron vistos pocas veces en los terrenos, y cuando se presentaron no pareció haber alguna tendencia por terrenos más inclinados o por uso de suelo. Los surcos vistos (IV 10 categoría C) fueron máximo solo uno por terreno, mientras que varios canalillos fueron vistos en un mismo terreno (IV 11 categoría B) que estaba en una parte plana y baja.

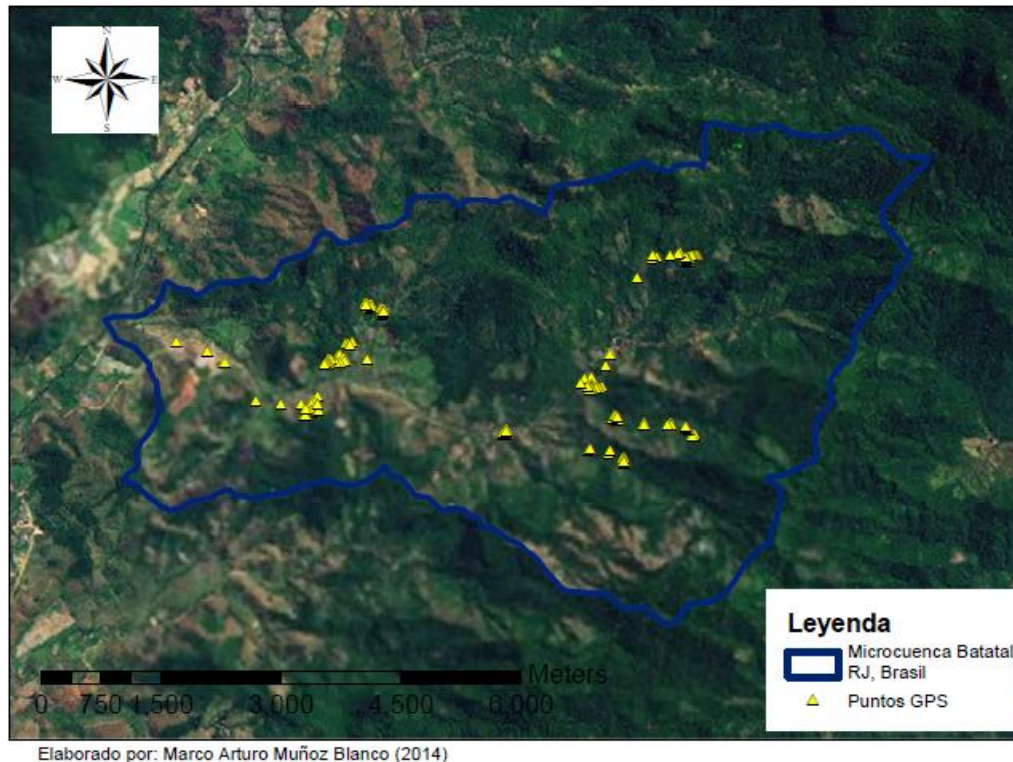
**Tabla 9.** Resultados de los cuestionarios según uso de suelo, indicador y categoría final del terreno.

Indicadores visuales*																	Final
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
pl-pl, pl-cvx, pl-ccv	A	29.8	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-	A	A	-	A
pl-pl, pl-ccv, cvx-cvx, ccv-ccv	A	25.1	A	A	0	A	A	A	A	-	-	-	-	A	A	-	A
pl-pl, pl-cvx, pl-ccv	A	22.6	A	A	0	A	A	A	A	-	-	A	-	A	A	-	A
pl-pl, cvx-cvx	A	21	A	A	6.6	B	C	A	A	-	-	A	-	A	A	-	C
pl-pl, pl-ccv, ccv-ccv	A	37.3	A	A	0	B	B	A	A	-	-	A	-	A	A	-	B
pl-pl, pl-cvx, cvx-cvx	A	42.9	A	A	0	A	B	A	C	A	-	A	-	A	A	-	C
pl-pl, pl-cvx, pl-ccv, cvx-cvx	A	18.9	A	A	0	A	B	A	C	A	A	A	-	A	A	-	C
pl-pl	A	6.24	B	A	0	B	C	A	A	-	-	A	-	A	A	-	C
pl-cvx, cvx-cvx	B	14.4	B	A	0	B	B	A	A	-	A	A	-	A	A	-	B
pl-pl, cvx-cvx, ccv-pl, ccv-ccv	A	22.9	A	A	0	B	B	A	A	-	-	A	-	A	A	-	B
pl-pl, pl-cvx, pl-ccv	B	23.2	B	A	0	B	B	A	A	-	A	A	-	A	A	-	B
pl-pl	B	22.7	B	A	0	B	C	A	A	-	A	A	-	A	A	-	C
pl-pl	B	1.92	B	A	0	A	A	A	A	-	A	A	-	A	A	-	A
pl-ccv	B	7.28	A	A	0	A	A	A	A	-	-	A	-	A	A	-	A
pl-cvx, pl-ccv	B	5.84	A	A	0	B	A	A	B	B	A	A	-	A	A	-	B
pl-pl, pl-cvx, pl-ccv	A	8.48	A	A	0	B	A	A	A	-	A	A	-	A	A	-	A
pl-pl, pl-cvx	B	2.4	A	A	0	A	A	A	A	-	A	A	-	A	A	A	A
pl-pl, pl-cvx, pl-ccv, ccv-ccv	C	0.48	A	A	0	B	A	A	A	-	A	A	-	A	A	B	B
pl-pl, pl-cvx, pl-ccv, ccv-pl	C	1.04	A	A	0	B	A	A	A	-	A	A	-	A	A	B	B
pl-pl, pl-ccv	B	15	B	A	22.8	B	C	A	A	-	A	A	-	A	A	-	C

\* El símbolo “-” representa falta de respuesta o de pertinencia. Para el indicador visual 1 se coloca primero la forma del terreno en la base y después su forma en el perfil, donde: pl: plano, cvx: convexo, ccv: cóncavo.

El IV 17 (caminos de ganado) sólo se evaluó en los pastizales y normalmente había caminos de ganado con pasto (categoría B), exceptuando el pastizal de burros que carecía

de este tipo de caminos. La categoría C (caminos de ganado profundos sin pasto) solo se hacía evidente en las zonas donde abrevan los animales y en las zonas cercanas a puertas y falsetes por donde pasan los animales al cambiar de potrero.



**Figura 8.** Localización geográfica de todos los indicadores visuales de erosión observados en campo.

### Comparación entre la cartografía y las evaluaciones locales

Para comparar las aproximaciones se deben establecer sus ventajas y desventajas (Tabla 10) para luego analizar las semejanzas y diferencias de sus resultados. A continuación se establecerá cuál de ellas tiene una aproximación más confiable y con menos incertidumbre sobre la pérdida de suelo en los terrenos y luego se hará un análisis por pares de los resultados para cada aproximación.

La USLE tiene la ventaja de haber sido usada muchas veces en el mundo y de haber sido desarrollada después de medir físicamente la pérdida de suelo en parcelas estandarizadas. Sin embargo, estas parcelas fueron ubicadas en Estados Unidos bajo condiciones climáticas y topográficas específicas (Kirkby et al., 1980, Morgan, 1995). Esto dista mucho de las condiciones tropicales y las geformas de la MB. Asimismo, como se

mencionó anteriormente, la limitada información disponible para calcular correctamente los factores de la USLE, le dan una gran incertidumbre a los resultados de esta ecuación.

En cuanto a los factores C y P, durante las entrevistas se evidenció que los agricultores tienen variadas formas de manejo de un mismo cultivo, que adoptan ciertas precauciones al hacerlo (ej. ensayos de sistemas agroforestales, tiempos de descanso de los terrenos de yuca y su cultivo en áreas planas), y que algunos de ellos toman en cuenta el papel de la hojarasca de banana para amortiguar los efectos de la escorrentía. Muchas de estas y otras variaciones en los terrenos fueron evidenciadas durante la evaluación técnica. Por lo tanto, es necesario estudiar los factores C y P bajo todas estas distintas formas de manejo, por un periodo de tiempo mayor a un solo ciclo productivo, y tener en cuenta diferentes inclinaciones y formas del terreno, para que los resultados de la USLE sean más precisos.

La USLE en todo caso permite tener una idea general de lo que sucede en la erosión de una región y dar una estimación cuantitativa de la misma. Al disponer de una ecuación diferente para cada factor, se pueden variar algunos de los componentes de los factores para evaluar lo que sucedería en otros escenarios. Gracias a los valores cuantitativos arrojados por la USLE se pueden obtener estimaciones del costo de la erosión *in situ*. Todo esto hace que la USLE sea una herramienta muy valiosa para la planeación urbana y rural, sin embargo, se deben tener en cuenta las limitaciones actuales y la falta de información en la mayoría de los casos.

La entrevista tiene componentes muy satisfactorios en su ejecución, puesto que permite ver qué elementos externos tienen en cuenta los propietarios de los terrenos para determinar su uso (por ejemplo, la posibilidad de ganar dinero y las posibles sanciones). También el solo hecho de hacer que los productores se pongan a pensar en las imágenes que están viendo (Anexo 3), logra que se sensibilicen y puedan identificar los IV más adelante durante su labor en el campo. Sin embargo, el efecto y los resultados de esta aproximación son difíciles de generalizar para toda la región, y no se pueden hacer comparaciones con lo que podría pasar en otros escenarios.

Lo más difícil es establecer lazos de confianza con los productores para que respondan libremente sin temor a recibir alguna penalización. En el presente estudio, a pesar de que el investigador tenía un interés exclusivamente académico, los IC lo identificaron en algunos casos como alguien que trabaja para alguna entidad oficial brasileña. Entonces, los resultados obtenidos pudieron depender de las ideas e intereses que los IC tuviesen en

el momento de la entrevista. Por ello se hace necesario una relación comunidad-gobierno-academia más estrecha y continua que permita un mejor dialogo entre todos. Pero esto mismo se debe incentivar el interés científico u oficial por saber la percepción sobre la erosión que tiene la comunidad, con el fin de establecer programas de sensibilización y ayuda en la toma de decisiones sobre las prácticas involucradas en el uso de suelo.

**Tabla 10.** Ventajas y desventajas de cada una de las aproximaciones para clasificar la pérdida de suelo.

Aproximación	Ventajas	Desventajas
USLE	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Evaluación a nivel regional de la pérdida de suelo</li> <li>▪ Se pueden evaluar diferentes escenarios</li> <li>▪ Se puede relacionar con pérdidas económicas in situ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Difícil de aplicar a nivel local</li> <li>▪ Depende de datos muy precisos y muy actualizados</li> <li>▪ Enfoque de arriba abajo</li> </ul>
Entrevista	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Toma en cuenta la experiencia y opinión de la comunidad</li> <li>▪ Permite a la academia/gobierno acercarse a la comunidad</li> <li>▪ Puede encontrar relaciones directas entre la toma de decisiones de uso del suelo y factores externos</li> <li>▪ Permite la concienciación y sensibilización de la comunidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Depende de la subjetividad e intereses del entrevistado</li> <li>▪ Depende de la confianza entre el entrevistado y el entrevistador</li> <li>▪ Sus resultados no se pueden generalizar para una región</li> </ul>
Evaluación Técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verifica las manifestaciones y posibles causas de la erosión puntualmente en el terreno</li> <li>▪ Genera poca incertidumbre sobre los resultados</li> <li>▪ Permite crear una base de datos y hacer un seguimiento de la erosión en los terrenos geoposicionados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Deja a un lado la experiencia y opinión del productor</li> <li>▪ No puede explicar los factores que conllevan a cierto manejo del terreno por parte de su dueño</li> <li>▪ No se pueden generalizar sus resultados para una región</li> </ul>

La evaluación técnica puede observar directamente las características puntuales en el terreno que influyen en la erosión y verificar *in situ* los IV de erosión a escala local. Por lo tanto, su incertidumbre es muy poca y es válido tener en cuenta esta aproximación como la que va a indicar la categoría de pérdida de suelo más apropiada para cada terreno y que se usará más adelante como referencia de las otras dos aproximaciones. Adicionalmente, esta aproximación puede dar cuenta de formas de erosión hídricas no contempladas en la USLE, como son la presencia de cárcavas recientes o estabilizadas y procesos de sedimentación (Lal, 1990).

También es apropiado, en este caso, que todas las visitas a los terrenos fueron hechas por la misma persona, lo que redujo la variabilidad; esta se podría dar en el caso de que la evaluación técnica fuese hecha por diferentes personas. Por desgracia, la evaluación técnica deja a un lado la visión del productor y su experiencia en el manejo del suelo de su terreno y tampoco permite establecer una imagen en la comunidad distinta a la de auditor. De esta forma se corta cualquier vínculo con las causas externas que influyen en la toma de decisiones sobre el uso del suelo.

Tanto la entrevista como la evaluación técnica permiten que después de analizar los resultados, el cuestionario se pueda ajustar mejor a las características de la población y del manejo del suelo en el lugar. Esto es una ventaja para el trabajo persistente en un mismo sitio, pero es una limitación para poder implementar el mismo sistema en otros lugares. En otras palabras, se necesitaría volver a evaluar una extensa lista de IV de la erosión por parte de expertos para cada nueva región objetivo y someterla a prueba por medio de entrevistas y visitas de los terrenos en la comunidad respectiva.

La USLE y la entrevista coincidieron muy poco en sus resultados, puesto que la USLE tuvo una exactitud global del 20% respecto a la entrevista ( $P_c$  – Tabla 11). Las dos clasificaciones nunca otorgaron la categoría C a un mismo terreno (con su respectivo  $P_{Ui}$  y  $P_{Aj}$  iguales a cero). Por lo tanto la categoría C fue discriminada de manera completamente distinta entre las dos aproximaciones. Solo es destacable que la categoría B tuvo una exactitud de la fuente  $i$  ( $P_{Ui}$ ) del 100%, es decir que en ningún caso la USLE dio a un terreno la categoría B cuando no era así en la entrevista. Sin embargo, varios terrenos clasificados como B en la entrevista, no fueron clasificados igual por la USLE, teniendo una exactitud de la fuente  $j$  de apenas 14.3%.



Estas diferencias pueden deberse a que ambas aproximaciones toman en cuenta variables distintas para evaluar la erosión, y a que la USLE usa una escala menos detallada respecto a la entrevista. Mientras que la USLE usa una escala regional, con píxeles que representan 900 m<sup>2</sup>, la entrevista tiene como base una escala local bajo la percepción del propietario del terreno; por lo tanto, allí se incluyen la observación continua durante muchos años de cada propietario sobre sus terrenos y su interpretación propia de cada IV. Es interesante apreciar que la aproximación por entrevista clasificó bajo la categoría B al 70% de los terrenos ( $p_{+j}$ ), mientras que la USLE clasificó como A al 55% de los terrenos y como C al 35% ( $p_{i+}$ ). Es decir, la entrevista con el productor genera frecuentemente una categoría intermedia en la apreciación de la erosión, misma que fue minimizada por la USLE. Esta discrepancia explica por qué la exactitud global fue tan baja.

**Tabla 11.** Matriz de confusión basada en los resultados de la USLE y la entrevista.

		Entrevista			$p_{i+}$	$P_{Ui}$
		A	B	C		
USLE	A	0.10	0.3	0.15	0.55	18.2%
	B	0.00	0.10	0.00	0.10	100%
	C	0.05	0.30	0.00	0.35	0%
$p_{+j}$		0.15	0.70	0.15		
$P_{Aj}$		66.7%	14.3%	0%	$P_c = 20%$	

**Tabla 12.** Matriz de confusión basada en los resultados de la USLE y la Evaluación Técnica.

		Evaluación Técnica			$p_{i+}$	$P_{Ui}$
		A	B	C		
USLE	A	0.20	0.20	0.15	0.55	36.4%
	B	0.10	0.00	0.00	0.10	0%
	C	0.05	0.15	0.15	0.35	42.9%
$p_{+j}$		0.35	0.35	0.30		
$P_{Aj}$		57.1%	0%	50%	$P_c = 35%$	

Ahora bien, al comparar la USLE con la evaluación técnica (Tabla 12) se obtuvo una exactitud global del 35% ( $P_c$ ). Ninguna exactitud de la fuente,  $i$  o  $j$ , fue relevante en este caso. A diferencia de la tabla de confusión anterior, las dos aproximaciones nunca coincidieron en la categoría B, pero lograron coincidir en la categoría A en 20% de los terrenos, y en la categoría C en el 15%. Por otra parte, hay que destacar que la evaluación técnica no clasificó la mayoría de los terrenos en una sola categoría, estando más o menos

igualmente distribuidos los terrenos (35% A, 35% B y 30% C). Esto último puede explicar el hecho que las dos aproximaciones tuvieran más coincidencias en las categorías A y C. Nuevamente, la escala menos detallada de la USLE puede influir en estas diferencias.

Por último, la matriz de confusión entre la evaluación técnica y la entrevista (Tabla 13) es la que mayor exactitud global tiene ( $P_c = 40\%$ ). Esta mayor exactitud respecto a las otras matrices era de esperarse, ya que ambas aproximaciones usan los mismos IV a una misma escala para determinar la categoría de pérdida de suelo. A diferencia de las otras matrices, en este caso siempre hubo coincidencias entre algunos terrenos para todas las categorías (es decir, ningún elemento de la diagonal –  $p_{kk}$  – fue igual a cero). A pesar de ello, la categoría C fue la que menos coincidió en ambos casos (exactitud de la fuente  $i$  del 33.3% y de la fuente  $j$  16.7%). De hecho, al visitar los terrenos hubo diferencias en la aparición de grados B o C de cada IV respecto a lo mencionado en las entrevistas por los IC (Tablas 7 y 9).

**Tabla 13.** Matriz de confusión basada en los resultados de la Evaluación Técnica y la entrevista.

		Evaluación Técnica			$p_{i+}$	$P_{Ui}$
		A	B	C		
Entrevista	A	0.1	0.00	0.05	0.15	66.7%
	B	0.25	0.25	0.20	0.70	35.7%
	C	0.00	0.10	0.05	0.15	33.3%
	$p_{+j}$	0.35	0.35	0.30		
$P_{Aj}$		28.6%	71.4%	16.7%	$P_c = 40\%$	

Se puede resaltar el hecho que la USLE haya sido más sensible para las categorías A y C, mientras la entrevista fue más sensible a la B, y la evaluación técnica igual de sensible a todas las categorías. Esto último hace que la evaluación técnica sea la aproximación con más semejanzas en sus resultados con las otras aproximaciones.

Al comparar las diferentes aproximaciones por pares usando las matrices de confusión (Tablas 11, 12 y 13), se pudo observar que las exactitudes globales ( $P_c$ ) de cada tabla de confusión son bajas. Esto quiere decir que las diferentes aproximaciones coincidieron poco entre ellas y difícilmente dieron la misma clasificación de pérdida de suelo a un mismo terreno. Por lo tanto, la USLE no pudo ser validada con ninguna de las dos aproximaciones usadas a escala local.

Las causas de las diferencias entre la USLE y las otras aproximaciones son: a) la escala usada, puesto que se trata de píxeles de 30 m x 30 m comparados con las observaciones en campo hechas por los IC o durante la visita al terreno; b) la poca información disponible para establecer los valores de los factores R, C y P de la USLE; y c) la diferencia temporal en la cobertura y uso de suelo en la MB del mapa utilizado por Thompson (2012), basado en imágenes del año 2007, frente a la realización del presente estudio a principios del año 2014.

Si se tiene en cuenta que los resultados de la entrevista clasificaron al 70% de los terrenos como categoría B y solo al 15% como categoría A, se puede inferir que los IC son mucho más sensibles a identificar y retener en su memoria los IV que fueron percibidos en el terreno en algún momento pasado. Pues en 25% de los terrenos que tuvieron una categoría B de acuerdo al IC, no se encontró ningún IV de los grupos 3 – 6 al visitarlos. Es posible que los IV que ellos identificaron en categoría B por alguna razón no estuvieran presentes al momento de realizar la visita al terreno, ya sea por efecto de la lluvia, de la hojarasca que los cubre o porque usualmente ocurren en otra época del año.

### **Manejo local de los recursos naturales y la erosión**

Durante el análisis de los datos de pérdida de suelo a escala local de la MB se hizo evidente que la comunidad tiene una gran sensibilidad a los IV, a pesar de que no los relaciona con la erosión. A continuación se darán algunos ejemplos de cómo los IC tienen en cuenta indirectamente a la erosión en sus prácticas productivas.

Un IC mencionó que cuando él cultiva yuca cerca de la Mata Atlántica, la mejor yuca se cosecha de las plantas que están más cerca de los árboles del bosque. Lo cual explicó de la siguiente manera “el jugo que desciende de las hojas de la mata Atlántica permite que esas plantas den mejor fruto”. Esto es interesante porque coincide con las observaciones de los ejidatarios de la comunidad Buenavista en Tamasopo, México, quienes ubican sus cultivos en el punto medio de la ladera para beneficiarse de la hojarasca que cae de los bosques de la parte alta (Pineda Manzano, 2013). Por lo tanto, la conservación de la Mata Atlántica en las partes altas de la cuenca ha estado beneficiando a los productores de esta manera, a pesar de que esta acción parece estar más guiada por las altas pendientes y por las posibles sanciones ambientales.

Otra explicación interesante fue dada por otro IC respecto a la disponibilidad del agua. Él dijo que si se quita el bosque se puede obtener más agua. Esto es importante porque en realidad se está evidenciando empíricamente que el retirar la cobertura vegetal natural aumenta la escorrentía (Kirkby et al., 1980, Morgan, 1995). Pero si se sigue esa lógica, algunos habitantes de la MB podrían proceder a deforestar con el ánimo de tener más agua, en detrimento de la conservación del suelo, puesto que al retirar la cobertura vegetal se reduce la infiltración y aumenta la escorrentía. Sin embargo, ésta misma observación puede utilizarse con fines de sensibilización, ya que la escorrentía va a aumentar el flujo de agua en época de lluvia lo que puede causar daños más severos, y además va a disminuir la permanencia del recurso durante la época seca. Por otra parte, esta mayor escorrentía va a suministrar agua con una mayor cantidad de sedimentos, lo cual disminuiría la calidad del recurso hídrico disponible en la región. Lo descrito en este párrafo y el anterior muestra que a través de las observaciones de los habitantes de un lugar, se pueden tejer estrategias de sensibilización de la importancia de la cobertura vegetal natural y de sus servicios ambientales, como el ciclado de nutrientes y la infiltración del agua.

También se encontraron formas de “experimentación” o ensayos espontáneos de sistemas agroforestales o de cultivos imbricados, y no es claro cuánto tiempo llevan estableciéndose en la MB. Las combinaciones involucran Mata Atlántica y otras especies de interés probablemente para el autoconsumo, como frutales o maíz, y no es clara su relación con prácticas deliberadas de conservación de suelos.

Actualmente existen varias publicaciones enfocadas en las prácticas de conservación de suelo y la planeación conservacionista en Brasil. No obstante, la mayoría se basan en la revisión de Bertoni y Lombardi Neto (1985), la cual es muy completa y se usará a continuación para enumerar dichas prácticas. Se hará énfasis en aquellas que fueron mencionadas por los IC directa o indirectamente.

- Forestación y reforestación.
- En pastizales: capacidad de carga, resiembra periódica de pasto o leguminosas, pastoreo mixto, y surcos y resaltes en contorno.

Tanto la capacidad de carga como la resiembra de pasto fueron tenidas en cuenta por los IC para su ganado. Por ello, sería importante incentivar la resiembra con leguminosas también y el cultivo en surcos y resaltes a contorno en las zonas más inclinadas.

- Plantas de cobertura.
- Siembra en contorno – curvas de nivel.

Este método era conocido por casi todos los IC y algunos dijeron conocerlo desde hace 10 años. Sin embargo, sólo uno de los terrenos fue sembrado de ésta manera según su propietario, pero no parecía suficiente para controlar el efecto de la pendiente. Al parecer la comunidad de la MB conoce esta técnica pero tiene muy poca experiencia aplicándola y, por ello, necesita más asistencia técnica.

- Cordones de vegetación permanente.
- Desmalezamiento en fajas alternadas en el tiempo (desmalezar en franjas alternas, posteriormente desmalezar solo las franjas que no se habían desmalezado antes, y reanudar el ciclo).
- Especialmente en cultivos perennes, dejar las hierbas cortas o al menos su sistema radical para conservar la estructura del suelo y que de esa manera sea más resistente a las lluvias.
- Cobertura muerta.

Este es una de las prácticas más utilizadas en la MB, especialmente para el cultivo de banana, los IC explicaron que se debe mantener el terreno “forrado” con cobertura vegetal muerta para mermar el efecto de la lluvia y la escorrentía.

- Evitar quemas.
- Abonos verdes (especialmente leguminosas).
- Abonos orgánicos.

Como se comentó anteriormente, en la MB se usan varios abonos de origen animal para banana y yuca, tanto por razones culturales como por la existencia de un subsidio recibido específicamente para la agricultura orgánica.

- Adición de cal.

Ésta también es una práctica que acostumbran efectuar los productores de la MB para disminuir la acidez y favorecer así el crecimiento de las plantas.

- Realizar los caminos en contorno.
- Construir terrazas, terrazas individuales o terrazas destinadas a desviar la escorrentía para que no se vuelva más fuerte.

- Canales de desagüe.

Respecto a esta práctica un IC señaló que para evitar el daño de los caminos durante la época de lluvias, se deben construir y mantener sus canales de desagüe través del trabajo comunitario.

- Controlar las cárcavas ya formadas para que se mantengan estabilizadas.
- Implementar estructuras mecánicas para controlar erosión en caso de ser necesario.
- Sistemas de manejo del suelo alternativos como la rotación de cultivos y siembra directa.

Los IC también dieron cuenta de algunas soluciones para evitar erosión que no están contempladas por Bertoni y Lombardi Neto (1985), éstas son: para cerrar los surcos formados por la escorrentía, se debe sembrar pasto tipo napier (*Pennisetum purpureum* Schumach) en ellos y así y así se recuperan poco a poco; se debe cambiar actividad al observar casos extremos de los IV referidos en la entrevista; y para evitar que el río lleve mucho material cuando está crecido y hay lluvia fuerte, se debe sembrar bambú en las márgenes del río donde hay mayor remoción de material, tal como lo hicieron hace unos 30- 50 años los moradores de la MB en una zona del río.

Se debe resaltar que todas estas observaciones fueron vertidas espontáneamente por los IC al momento de ver las fotos y decidir sobre la categoría que le darían a cada IV de sus terrenos. Entonces, se puede suponer que los IC perciben con claridad la relación entre los IV y los fenómenos de remoción de suelo por acción del agua.

## CONCLUSIONES

La USLE tiene serias limitaciones para su aplicación a escala local y no es consistente con los resultados de la evaluación técnica realizada en los terrenos visitados. Mientras tanto los resultados de las entrevistas revelaron que la comunidad es bastante observadora de la aparición de los IV, a pesar de no relacionarlos entre ellos ni con la erosión.

Los fenómenos erosivos son tenidos en cuenta indirectamente por la comunidad, pero no son la razón principal para tomar sus decisiones de uso de suelo. A pesar de esto, tradicionalmente se han logrado concebir una serie de prácticas y medidas precautorias para poder producir adecuadamente en este lugar. Esto se ha logrado a partir de la continua interacción de los productores con los procesos ecológicos, socioeconómicos y políticos de la MB.

Los resultados de la evaluación técnica no se pueden generalizar para todos los terrenos similares dentro de la MB, debido a la alta variación observada en las formas de los terrenos, formas de cultivo, combinación de especies y sus interacciones, y variaciones en las prácticas de cultivo por cada uno de los propietarios. Lo anterior evidencia claramente el insuficiente número de terrenos evaluados para poder revelar tendencias en la pérdida de suelo de acuerdo a la cobertura o uso del suelo.

Las diferentes ventajas y desventajas de cada una de las aproximaciones a la pérdida de suelo permiten apreciar su complementariedad, por lo que pueden ser usadas en conjunto para analizar la erosión en diferentes dimensiones. Tomando en cuenta que las categorías B y C involucran el establecimiento de prácticas de conservación de suelo, para el caso de la MB es necesario poner especial atención porque varios de los terrenos quedaron en esas categorías en todas las aproximaciones.

Las actuales políticas de sanciones y subsidios han logrado generar cierto efecto positivo en la conservación del suelo y de la Mata Atlántica, así como la adopción de la producción orgánica en algunos casos. Sin embargo, esto no está mejorando otras situaciones que limitan la libertad de decisión de los productores, como son el poco interés de los jóvenes

en trabajar en el campo, la falta de mano de obra, y la limitación presupuestaria. Por lo tanto es necesario que se efectúen programas de sensibilización a la comunidad y asistencia técnica orientados a mejorar estas situaciones de manera sinérgica.

Los programas de sensibilización se pueden apoyar mucho en los conceptos e ideas de la comunidad, que incluso contemplan soluciones a algunos efectos de la erosión que se ajustan a la realidad del lugar y que no son mencionados en la literatura. La visión del productor se debe incluir en las formas de sensibilizar a la comunidad y así lograr un efecto sinérgico con los conocimientos técnicos de conservación de suelo.

### **Recomendaciones**

- El IV 1 (Forma del terreno) debe acompañarse de la medición de la pendiente del cuadrante y la clasificación del relieve del terreno de acuerdo a de Lemos y dos Santos (1982): plano, suave ondulado, ondulado y montañoso.
- Es necesario tener en cuenta que el IV 4 (Sombreado del suelo por las plantas vivas) debe ser trabajado cuidadosamente en conjunto con los IV 2 y 3 (cobertura y cantidad de hojarasca, respectivamente), porque la altura de los árboles también puede aumentar la energía de las gotas de agua que escurren del mismo al caer al suelo (Morgan, 1995).
- El IV 15 (Anormalidades en la vegetación) no debe volver a ser tenido en cuenta para próximos estudios ya que no aplica para las condiciones de la MB
- Es preciso identificar y caracterizar las diferentes variaciones en el uso y manejo de los cultivos, para poder definir mejor el número mínimo de parcelas a evaluar para poder generalizar los datos a nivel de microcuenca. Asimismo se deben realizar medidas físicas de la pérdida de suelo en estas condiciones de uso para establecer factores C y P más adecuados a los distintos tipos de terrenos, formas de manejo y prácticas de conservación de suelo.
- El trabajo con la comunidad debe ser continuo para que haya una confianza en el proceso por ambas partes.



### **Consideraciones finales**

De las observaciones aquí descritas se pueden derivar trabajos muy específicos como influencia de la vegetación nativa en el crecimiento del cultivo, diferencias en la susceptibilidad de los suelos a la erosión de acuerdo con la temporada de producción, y caracterización de las diferentes prácticas de manejo para un mismo tipo de cultivo, entre otras.

La erosión comprende muchas dimensiones sociales y espaciales que requieren de un continuo análisis. La importancia del suelo como recurso natural y proveedor de servicios ambientales no pasa inadvertida por la mayoría de las personas. Por ello se necesita encontrar los caminos adecuados para aprovechar el conocimiento empírico de las personas, especialmente de aquellas con una vasta experiencia, y canalizarlo hacia la generación de alternativas que permitan la inclusión de la conservación del suelo como pieza fundamental de la sostenibilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALTIERI, M. A. & NICHOLLS, C. I. 2002. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 64 17 - 24.
- BACCHI, O. O. S., REICHARD, K., SPAROVEK, G. & RANIERI, S. B. L. 2000. Soil erosion e valuation in a small watershed in Brazil through 137Cs fallout redistribution analysis and conventional models. *ACTA GEOLOGICA HISPANICA*, 35 251-259.
- BARREIRO, M., CHANG, P. & SARAVANAN, R. 2002. Variability of the South Atlantic Convergence Zone Simulated by and Atmospheric General Circulation Model. *Journal of Climate*, 15, 745 -763.
- BARTSCH, K. P., MIEGROET, H. V., BOETTINGER, I. & DOBROWOLSKI, J. P. 2002. Using empirical erosion models and GIS to determine erosion risk at Camp Williams Utah. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57, 29-37.
- BENNETT, H. H. 1933. The cost of soil erosion. *Ohio. J. Sci.*, 33, 271-279.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. 1985. *Conservação do solo*, Piracicaba, SP, Ícone.
- BESKOW, S., MELLO, C. R., NORTON, L. D., CURI, N., VIOLA, M. R. & AVANZI, J. C. 2009. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. *Catena*, 79, 49-59.
- CABRAL, D. D. C. & FISZON, J. T. 2004. Deforestation socio-spatial patterns and their implications to forest fragmentation: case study in Macacu River Basin, RJ. *Scientia Forestalis*, 66, 13-24.
- CAVALIN, M. O. & MONTEIRO, J. M. G. 2012. *Boas Práticas Agrícolas Recomendadas para o Cultivo de Banana na Comunidade do Faraó em Cachoeiras de Macacu, RJ*, Rio de Janeiro, EMBRAPA solos.
- CONGALTON, R. G. & GREEN, K. 1999. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, Boca Raton, FL, USA, Lewis Publishers.
- COSTA, T. C. E. C. D., LUMBRERAS, J. F., ZARONI, M. J., NAIME, U. J., GUIMARÃES, S. P. & UZEDA, M. C. 2005. Estimativas de perda de solo para microbacias hidrográficas no Estado do Rio de Janeiro. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- DA SILVA, J. S. s. f. *Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Macacu*. INEA - Instituto Estadual do Ambiente [Online]. [http://www.inea.antigo.rj.gov.br/apa/apa\\_bacia\\_rio\\_macacu.asp](http://www.inea.antigo.rj.gov.br/apa/apa_bacia_rio_macacu.asp). [Accessed visitado el: 27/07/2014].
- DANTAS, M. E. 2001. *Estudo geoambiental do Estado do Rio de Janeiro*, Brasília, DF, CPRM - Serviço Geológico do Brasil.
- DE LEMOS, R. C. & DOS SANTOS, R. D. 1982. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 2ª edição, Campinas, Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo e Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.
- DE OLIVEIRA, F. P., SANTOS, D., DA SILVA, I. D. F. & NAVES SILVA, M. L. 2008. Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 8 1519-5228.
- EMBRAPA-CERRADOS 2006. Avaliação participativa do manejo de agrossistemas e capacitação em agroecologia utilizando indicadores de sustentabilidade de determinação rápida e fácil. *Documentos*, 173, 40.

- EMBRAPA FLORESTAS. 2007. *Projeto Palmito de pupunha (Bactris gasipaes Kunth. var. gasipaes Henderson): uma alternativa sustentável para o aproveitamento de áreas abandonadas pela agricultura no Domínio da Mata Atlântica* [Online]. Colombo, PR, Brasil. Available: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/pupunha/index.htm> [Accessed 28/07/2014].
- EMBRAPA SOLOS. 2005. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª Edição*, RJ.
- FAO 2012. Boletín de Agricultura Familiar de América Latina y el Caribe.
- FERNANDES, N. F., TUPINAMBÁ, M., MELLO, C. L. & NAÍSE DE O. PEIXOTO, M. 2010. Rio de Janeiro: A Metropolis Between Granite-Gneiss Massifs. In: MIGON, P. (ed.) *Geomorphological Landscapes of the World*. Poland: Springer Dordrecht.
- FERRARI, A. L. 2001. *Evolução tectônica do Graben da Guanabara*. Ph.D. Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FIDALGO, E. C. C., GOMES-PEDREIRA, B. D. C. C., BUENO-DE-ABREU, M., BARROSO-DE-MOURA, I. & PINTO-GODOY, M. D. 2008. Documentos 105 - Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Guapi-Macacu. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos.
- FIDALGO, E. C. C., W., C. J. & GODOY, M. D. P. 2009. Análise da qualidade do modelo digital de elevação para representação da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ. In: INPE (ed.) *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal Brasil.
- GAESE, H., ALBINO, J. C. T., ROEHRIG, J., NEHREN, U., PENEDO, S., KÜNNE, A., RODRIGUEZ, V., LANGE, W., KOCH, M., HEINRICH, J., WESSENBERG, J., SATTLER, D., KIRCHNER, A., ENGELMANN, R., THIER, O., NAEGELI, F., BABER, K., FLÜGEL, W.-A., KRALISCH, S. & ZANDER, F. 2012. Climate change, landscape dynamics, land use and natural resources in the Atlantic Forest of Rio de Janeiro. Cologne University of Applied Sciences, Institute of Technology and Resource Management in the Tropics and Subtropics (ITT) University of Leipzig, Institute of Geography, Department of Physical Geography and Geoecology/Institute of Biology I, Department of Systematic Botany Friedrich-Schiller-University of Jena Institute of Geography Department of Geo-informatics, Geohydrology and Modelling (DGHM).
- GÓMEZ, A., SWEETE, D., SYERS, J. & COUGLAN, K. 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Wisconsin: SSSA Special Pub. 49.
- GONÇALVES, F. A., SILVA, D. D., PRUSKI, F. F., CARVALHO, D. F. & CRUZ, E. S. 2006. Índice e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10, 269-276.
- KIRKBY, M. J., MORGAN, R. P. C. & BRITISH GEOMORPHOLOGICAL RESEARCH GROUP. 1980. *Soil erosion*, Cambridge [England] ; New York, Wiley.
- LAL, R. 1990. *Soil erosion in the tropics : principles and management*, New York, McGraw-Hill.
- LANDAU, E. C., DA CRUZ, R. K., HIRSCH, A., PIMENTA, F. M. & GUIMARÃES, D. P. 2012. *Variação Geográfica do Tamanho dos Módulos Fiscais no Brasil*, Sete Lagoas, MG, Embrapa Milho e Sorgo.
- LEITÃO, P. W. 2009. Methodology for monitoring the reduction of emissions for the increase in carbon sequestering applicable to the projects of the Atlantic Forest Conservation Fund Program. *FUNBIO*, 1-35.
- LOMBARDI NETO, F. 1977. *Rainfall erosivity - Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil*. M.Sc. Thesis, Purdue University.
- LU, D., LI, G., VALLADARES, G. S. & BATISTELLA, M. 2004. Mapping soil erosion risk in rondonia, brazilian amazonia: Using rusle, remote sensing and gis. *Land Degrad. Develop.*, 15, 499-512.
- MARQUES, J. Q. A. (ed.) 1958. *Manual Brasileiro para levantamentos conservacionistas. 2ª aproximação*, Rio de Janeiro: Escritório Técnico Brasil-Estados Unidos (ETA).
- MARQUES, J. Q. A., BERTONI, J. & BARRETO, G. B. 1961. Perdas por erosão no estado de São Paulo. *Bragantia*, 20, 1143-1182.

- MARTIN, N. B., MATSUNAGA, M., VEIGA FILHO, A. A., DONZELLI, P. L., SALVIO NETO, J., BERTOLLINI, D., LOMBARDI NETO, F., WEILL, M. A. M., PEDRO JÚNIOR, M. J., BERTON, R. S., OLIVEIRA, J. B., CARVALHO, Y. C., GATTI, E. V. & VIEIRA, J. L. T. M. 1991. Economia agrícola paulista: Características e potencialidades. *Infor. Econ.*, 21 1-201.
- MASERA, O., ASTIER, M. & LÓPEZ-RIDAURA, S. 1999 *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS*, Mexico.
- MIGUEL, P., SAMUEL-ROSA, A., DALMOLIN, R. S. D., PEDRON, F. D. A., BUENO, J. M. M. & BALBINOT, A. 2011. The USLE model for estimating soil erosion in complex topography areas. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*. Curitiba, PR, Brasil: INPE.
- MOOTE, M. A. & MCLARAN, M. P. 1997. Viewpoint: implications of participatory democracy for public land planning. *J. Range Manage*, 50, 473-481.
- MORGAN, R. P. C. 1995. *Soil erosion and conservation*, New York, NY, Longman Scientific & Technical; J. Wiley.
- NAEGELI, F. 2010. *Evaluation of Forest Fragmentation and Land Use Change Patterns using Remote Sensing Techniques and Field Methods*. Master Thesis, University of Applied Sciences Cologne (CUAS).
- OKOBA, B. O. & STERK, G. 2006. Farmers' identification of erosion indicators and related erosion damage in the Central Highlands of Kenya. *Catena*, 65, 292 - 301.
- PEDREIRA, B. D. C. C. G., CARDOSO-FIDALGO, E. C., PRADO, R. B., DO-AMARAL-FADUL, M. J., CONDE-BASTOS, E., DA-SILVA, S. A., GIANCOLI-ZAINER, N. & PELUZO, J. 2009. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 136 - Dinâmica de uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas de Guapi-Macacu e Caceribu - RJ. EMBRAPA.
- PENEDO, S., KÜNNE, A., PRADOC, R. B., SCHULERC, A., ROEHRIGA, J. & RIBBE, L. 2011. Implementation of a Hydro-climatic Monitoring Network in the Guapi-Macacu River Basin in Rio de Janeiro, Brazil. *XIVth IWRA World Water Congress*. Porto de Galinhas.
- PIMENTEL, D., HARVEY, C., RESOSUDARMO, P., SINCLAIR, K., KURZ, D., MCNAIR, M., CRIST, S., SHPRITZ, L., FITTON, L., SAFFOURI, R. & BLAIR, R. 1995. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science*, 267, 1117-1123.
- PINEDA MANZANO, U. 2013. *Participación Comunitaria en la Protección de los Recursos Forestales del Ejido San Nicolás de los Montes, Tamasopo, San Luis Potosí*. Tesis de maestría en Ciencias Ambientales, PMPCA, Universidad Autonoma de San Luis Potosí.
- POSDENA, D., JANSENS, M. & TORRICO, J. C. Proyecto DINARIO. Characterization of agricultural systems in the municipalities of Cachoeiras de Macacu, Bom Jardim and Nova Friburgo, the study area of the DINARIO project. Institute for Technology and Resource Management in the Tropics and Subtropics. Disponível em: <[http://dinario.fh-koeln.de/content/research\\_publications.html](http://dinario.fh-koeln.de/content/research_publications.html)>. Visitado el: 20/06/2013.
- PROJETO RIO RURAL BIRD. Plano Executivo da Microbacia Rio Batatal - Cachoeiras de Macacu. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento. Governo do Estado do Rio de Janeiro, RJ.
- RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., MCCOOL, D. K. & YODER., D. C. 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*, Washington, D.C., US Government Printing Office.
- RICCOMINI, C., SANT'ANA, L. G. & FERRARI, A. L. 2004. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: MANTESO-NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C. D. R. & BRITO NEVES, B. B. (eds.) *Geologia do continente sul-americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca.
- RIO RURAL. s. f. *Rio Rural – Programa de desarrollo sustentable en microcuencas hidrográficas de Rio de Janeiro* [Online]. Rio de Janeiro: Secretaria de Agricultura e Pecuaria. Available: <http://www.microbacias.rj.gov.br> [Accessed 10/04/2014].
- RODRIGUES LAGOS, A. & ALESSIO, B. 2007. Hot Spot Brasileiro-Mata Atlantica. *Saúde & Ambiente em revista, Duque de Caizas*, 2, 35-45.


- RODRÍGUEZ OSUNA, V. 2014. *Environmental and economic assessment of water-related ecosystem services for targeting watershed protection in the Guapi-Macacu region, Atlantic Forest Region-Brazil*. Doctoral Thesis currently under revision, Faculty of Physics and Geoscience. University of Leipzig, Germany.
- SANTOS TELLES, T., GUIMARÃES, M. D. F. & FALCI DECHEN, S. C. 2011. The Costs Of Soil Erosion. *R. Bras. Ci. Solo*, 35, 287-298.
- SHARP, R., TALLIS, H. T., RICKETTS, T., GUERRY, A. D., WOOD, S. A., CHAPLIN-KRAMER, R., NELSON, E., ENNAANAY, D., WOLNY, S., OLWERO, N., VIGERSTOL, K., PENNINGTON, D., MENDOZA, G., AUKEMA, J., FOSTER, J., FORREST, J., CAMERON, D., ARKEMA, K., LONSDORF, E., KENNEDY, C., VERUTES, G., KIM, C. K., GUANNEL, G., PAPPENFUS, M. TOFT, J., MARSIK, M., BERNHARDT, J., GRIFFIN, R., GLOWINSKI, K., CHAUMONT, N., PERELMAN, A., LACAYO, M., MANDLE, L., GRIFFIN, R. & HAMEL, P. 2014. *INVEST User's Guide*, Stanford, The Natural Capital Project.
- SILVA, A. M. D., ALVARES, C. A. & WATANABE, C. H. 2011. Natural Potential for Erosion for Brazilian Territory. In: GODONE, D. (ed.) *Soil Erosion Studies*. InTech.
- SILVA, R. M., SANTOS, C. A., SILVA, L. P. & SILVA, J. F. C. B. C. 2007. Soil loss prediction in Guaraira river experimental basin, Paraíba, Brazil based in two erosion simulation models. *Ambi-Agua*, Taubaté, 2, 19-33.
- STEHMAN, S. V. 1997. Selecting and Interpreting Measures of Thematic Classification Accuracy. *Remote Sens. Environ.*, 62, 77-89.
- TABARELLI, M., AGUIAR, A. V., RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P. & PERES, C. A. 2010. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. *Biological Conservation*, 143, 2328-2340.
- THIER, O. & WESENBERG, J. 2009. Chapter 15 Diversity, Floristic Composition and Similarity of Three Forest Fragments in the Mata Atlântica of Rio de Janeiro. In: GAESE, H., TORRICO, J. C., WESENBERG, J. & SCHLÜTER, S. (eds.) *Biodiversity and land use systems in the fragmented Mata Atlântica of Rio de Janeiro*. Göttingen: Cuvillier Verlag.
- THOMPSON, D. 2012. Vulnerabilidade dos solos à erosão: estimativa da perda de solos na bacia hidrográfica do rio guapi-macacu - RJ. Tese de graduação bachelerel, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.
- THOMPSON, D. & FIDALGO, E. C. C. 2013. Estimativa da perda de solos por meio da equação universal de perdas de solos (USLE) com uso do invest para a bacia hidrográfica do rio guapi-macacu – rj. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos: Água - desenvolvimento econômico e socioambiental. Bento Gonçalves, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- UDAYAKUMARA, E. P. N., SHRESTHA, R. P., SAMARAKOON, L. & SCHMIDT-VOGT, D. 2010. A case study of Samanalawewa watershed, Sri Lanka. *International Journal of Sediment Research*, 25, 323-339.
- VERSTRAETEN, G., POESEN, J., GOVERS, G., GILLIJNS, K., ROMPAEY, A. V. & OOST, K. V. 2003. Integrating science, policy and farmers to reduce soil loss and sediment delivery in Flanders, Belgium. *Environmental Science & Policy*, 6, 95-103.
- VRIELING, A. 2006. Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review. *Catena*, 65, 2 - 18.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office.
- YUSUF, M. B. & RAY, H. H. 2011. Farmers' Perception and Responses to Soil erosion in Zing Local Government Area of Taraba State, Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 4.
- ZEGEYE, A. D. 2009. *Assessment Of Upland Erosion Processes And Farmer's Perception Of Land Conservation In Debre-Mewi Watershed, Near Lake Tana, Ethiopia*. Masters of Professional Studies, Cornell University.

ZURAYK, R., EL-AWAR, F., HAMADEH, S., TALHOUK, S., SAYEGH, C., CHEHAB, A. & SHAB, K. 2001. Using indigenous knowledge in land use investigations: A participatory study in a semi-arid mountainous region of Lebanon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 86, 247-262.

Anexo1: Indicadores propuestos inicialmente

Indicador/impacto de la erosión	Fuente
Canalillos Remoción laminar Sedimentación Suelos rojos Exposición de raíces Pedregosidad Exposición de rocas Cárcavas Pedestales Suelo polvoso Colapso de estructuras de conservación del suelo	Okoba y Sterk, 2006
Cambio en el patrón de cultivo Cambio en la fertilidad del suelo Cambio en la productividad Cambio en la respuesta a fertilizantes Cambio en la cantidad de fertilizante necesaria	Zegeye, 2009
Raíces expuestas Zanjas Caída del rendimiento Cambio del color del suelo Reducción de la tierra arable Hundimientos Taponamiento de canales	Yusuf y Ray, 2011
Estado de residuos Cobertura del suelo Retención de humedad Rendimiento actual o potencial	Altieri y Nicholls, 2002
Caminos bloqueados por derrumbes Suelo expuesto La vegetación no vuelve a crecer en algunos lugares Derrumbes/deslizamientos Grietas en las casas Grietas en los caminos	Aportes personales

Anexo 2: Formato de entrevista



**INDICADORES DA SUPERFÍCIE DO TERRENO**

Entrevistador: Marco Arturo Muñoz Blanco. Estudante do mestrado. Microbacia Batatal, Bacia Guapi-Macaçu, RJ, Brasil

Data: \_\_\_\_\_ Nº Entrevista: \_\_\_\_\_ Nome do produtor: \_\_\_\_\_ Experiência em Batatal (anos): \_\_\_\_\_

Localização relativa dentro da bacia: \_\_\_\_\_ Altitude: \_\_\_\_\_ Cultura: \_\_\_\_\_ Tamanho: \_\_\_\_\_ GPS: \_\_\_\_\_

Indicador	Parâmetros de observação	Medição (ponto GPS)	Anotações
1. Forma do terreno	Planar – côncavo – convexo No plano (horizontal): No perfil (vertical):	GPS:	
2. Cobertura de serapilheira	A) Mais de 50% do solo coberto por serapilheira. B) Menos de 50% do solo coberto por serapilheira. C) Solo sem serapilheira.	Estimado: 1. __ GPS: 2. __ GPS: 3. __ GPS: 4. __ GPS: 5. __ GPS:	
3. Quantidade de serapilheira	A) Na superfície do solo tem camada grossa (espessa) de serapilheira. B) Na superfície do solo tem uma camada fina de serapilheira.	Estimado: 1. __ GPS: 2. __ GPS: 3. __ GPS: 4. __ GPS: 5. __ GPS:	
4. Sombreamento do solo pelas plantas vivas	A) Mais de 50% do solo tem sombra de plantas vivas B) Menos de 50% do solo tem sombra de plantas vivas C) Solo exposto.	Estimado: 1. __ GPS: 2. __ GPS: 3. __ GPS: 4. __ GPS: 5. __ GPS:	
5. Sedimentação	A) Acúmulo de <del>gouças</del> ou nenhuma partícula fina no solo. B) As partículas finas do solo se acumulam formando um padrão. C) Alguns lugares no terreno ficam cheios de partículas finas do solo.	GPS:	
6. Acúmulo de sedimentos aos lados das plantas	A) Poucos ou nenhuns sedimentos se acumulam aos lados da planta. B) Há acúmulo de sedimentos ao lado da planta.	GPS: Altura degrau:	

Marco Arturo Muñoz Blanco

7. Sedimentos grosseiros	A) A superfície do solo não apresenta sedimentos grosseiros. B) A superfície do solo apresenta sedimentos grosseiros.	Estimado: 1. __ GPS: 2. __ GPS: 3. __ GPS: 4. __ GPS: 5. __ GPS:	
8. Exposição Raiz	A) Nenhuma raiz encontra-se exposta. B) Uma pequena parte da raiz está exposta (ocasional). C) Grande parte da(s) raiz(es) encontra-se exposta (frequente).	GPS:	
9. Pedestais	A) Não é possível ver uma diferença de nível entre a base de uma rocha e o terreno circundante. B) Algumas(s) rocha(s) sobressaem do terreno formando um pedestal.	GPS:	
10. Sulcos ou ravinas	A) Não existem sulcos nem ravinas. B) Existem sulcos (até 10cm de largura e profundidade). C) Existem ravinas (entre 10cm e 50cm de largura e profundidade)	GPS: Largo: Profundidade:	
11. Frequência de sulcos ou ravinas	A) Ocasionalmente, os sulcos ou ravinas se apresentam sozinhos ou a uma distancia maior que 30m. B) Frequentes ou muito frequentes, os sulcos ou ravinas se apresentam a uma distancia igual ou menor a 30m.	GPS: Nº de ravinas ou sulcos:	
12. As cercas se inclinam ou tombam	A) A cerca continua em sua posição original. B) A cerca fica inclinada por efeito do movimento do solo. C) A cerca fica tombada ou destruída por efeito do movimento do solo.	GPS:	
13. Voçorocas	A) Não há B) Estabilizadas C) Ativas.	GPS:	
14. Divisão ou mudança de atividades de produção	A) Neste terreno a produção se mantém. B) A produção caiu. C) Não produz mais.	GPS:	
15. Falhas na vegetação	A) A vegetação cresce normalmente. B) Há alguns locais em que a vegetação não cresce normalmente C) Há muitos lugares em que a vegetação não cresce normalmente.	GPS:	
16. Rachaduras das casas, caminhos ou estradas	A) As casas, caminhos ou estradas não apresentam nenhuma rachadura ou fenda. B) As casas, caminhos ou estradas apresentam rachaduras ou fendas de pequeno tamanho.	GPS:	

Marco Arturo Muñoz Blanco

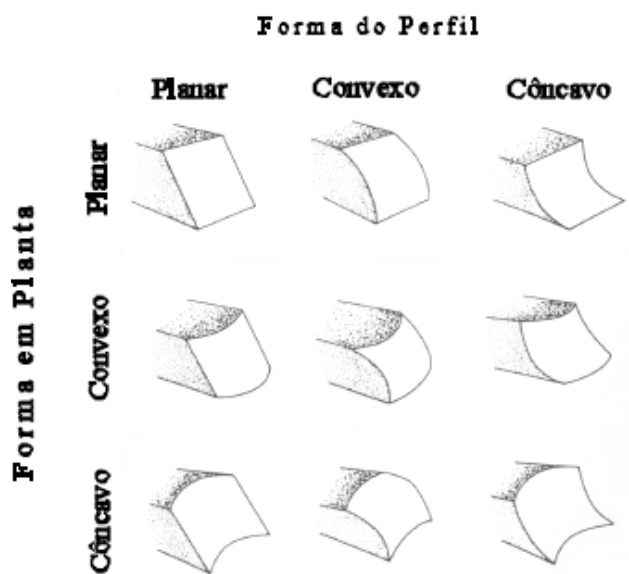


17. Caminhos de boi	C) Casas, caminhos ou estradas com grandes rachaduras. A) Não visíveis. B) Caminhos de boi ainda com pasto. C) Caminhos de boi profundos e sem pasto.	GPS:	
---------------------	--	------	--

Marco Arturo Muñoz Blanco

Anexo 3: fotografías

1. Forma del terreno Plano – cóncavo – convexo



(Ruhe, R.V. (1975); Tomado de: Morais, 2007)

2. Cobertura de hojarasca

A) Más del 50% del suelo cubierto por la hojarasca.



B) Menos del 50% del suelo cubierto por la hojarasca.



C) Suelo sin hojarasca.



### 3. Cantidad de hojarasca

A) La superficie del suelo presenta una capa gruesa de hojarasca.

B) La superficie del suelo presenta una capa delgada de hojarasca.



4. Sombreado del suelo por las plantas vivas.

A) Más del 50% del suelo está sombreado por las plantas vivas.



B) Menos del 50% del suelo está sombreado por las plantas vivas.



C) Suelo expuesto



5. Sedimentación

A) Acumulación de pocas o ninguna partícula fina en el suelo.

(Misma fotografía que la del ítem 4 B)

B) Las partículas finas del solo se acumulan en la superficie formando un patrón.

(Misma fotografía que la del ítem 4 C)

C) Varios lugares del terreno están cubiertos únicamente por partículas finas de suelo.



(Tomado de: Ferreira y Santos, 2012)



6. Acumulación de sedimentos al lado de las plantas

A) Pocos o ningún sedimento se acumulan a un lado de la planta formando un escalón.



(Cortesía de Elaine Cardozo Fidalgo)

B) Hay acumulación de sedimentos a un lado de la planta formando un escalón.



(Cortesía de Elaine Cardozo Fidalgo)

7. Presencia de terrones

A) La superficie del suelo no presenta agregados gruesos.

(Misma fotografía que la del ítem 4 B)

B) La superficie del suelo presenta agregados gruesos.



8. Exposición de raíces

A) Ninguna raíz se encuentra expuesta.

(Misma fotografía que la del ítem 6 A)

B) Una pequeña parte de la(s) raíz (raíces) está expuesta (ocasional).



(Cortesía de Elaine Cardozo Fidalgo)



C) Gran parte de la(s) raíz(es) está expuesta (frecuente).



(Cortesía de Elaine Cardozo Fidalgo)

#### 9. Pedestales

A) No es posible ver una diferencia de nivel entre la base de una roca y el terreno circundante a ella.

- Sin fotografía

B) Alguna(s) roca(s) sobresalen del terreno formando un pedestal.





10. Canalillos o surcos

A) No existen canalillos ni surcos.

(Misma fotografía que la del ítem 4 B)

B) Existen canalillos (hasta 10 cm de anchura y profundidad).



Modificado de: [http://www.ehowenespanol.com/tres-tipos-erosion-suelo-info\\_209203/](http://www.ehowenespanol.com/tres-tipos-erosion-suelo-info_209203/) (visitado el: 30/03/2014)

C) Existen surcos (entre 10 cm y 50 cm de anchura y profundidad)



11. Frecuencia de canalillos o surcos

A) Ocasionales, los canalillos o surcos se presentan solos o a una distancia mayor que 30m entre ellos.

Sin fotografía.

B) Frecuentes o muy frecuentes, los canalillos o surcos se presentan a una distancia igual o menor a 30 m.

Sin fotografía.

12. Las cercas se inclinan o caen

A) La cerca continua en su posición original.

Sin fotografía.

B) La cerca está inclinada por efecto del movimiento del suelo.

Sin fotografía.

C) La cerca se cayó o se destruyó por efecto del movimiento del suelo.

Sin fotografía.

13. Cárcavas

A) No hay



(Tomado de: Nehren, 2008)

B) Estabilizadas



C) Activas



(Tomado de: Nehren, 2008)

14. Cambio de actividades de producción.

A) En este terreno la producción se mantiene.

Sin fotografía.

B) La producción cayó.

Sin fotografía.

C) No produce más.

Sin fotografía.

15. Anormalidades en la vegetación

A) La vegetación crece normalmente.

(Misma fotografía que la del ítem 13 A)

B) En algunos lugares, por efecto de la pérdida de suelo, la vegetación no crece normalmente



C) En muchos lugares, por efecto de la pérdida de suelo, la vegetación ya no crece normalmente.

(Misma fotografía que la del ítem 4 B)

16. Daños en casas, caminos o vías

A) Casas, caminos o vías sin grietas o daños.

Sin fotografía.

B) Casas, caminos o vías con pequeñas grietas o daños.



(Tomado de: Nehren, 2008)



C) Casas, caminos o vías con grietas o daños considerables.



(Tomado de: Nehren, 2008)

17. Caminos de ganado

A) No son visibles

(Misma fotografía que la del ítem 13 A)

B) Caminos de ganado visibles y con pasto.



C) Caminos de ganado profundos y sin pasto.



Bibliografía citada:

MORAIS, F. 2007. *Estudo dos fatores pedogeomorfológicos intervenientes na infiltração em zonas de recarga no complexo metamórfico Baçã-MG*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais.

FERREIRA, R. A. & SANTOS, P. L. 2012. Direct Sowing: An Alternative to the Restoration of Ecosystems of Tropical Forests. In: SUDARSHANA, P. (ed.) *Tropical Forests*. Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/tropical-forests/direct-sowing-an-alternative-to-the-restoration-of-ecosystems-of-tropical-forests> (visitado el: 29/03/2014).

NEHREN, U. 2008. *Quartäre Landschaftsgenese und historische degradation in der Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro*. Thesis Dr. rer. nat., Fakultät für Physik und Geowissenschaften. Universität Leipzig.

Anexo 4: Fotografías de los diferentes usos de suelo o cobertura evaluados en campo

Mata Atlántica (hacia la parte derecha al fondo)



Banana





Yuca



Palmito





Palmito (bajo la sombra de árboles más grandes como un arreglo agroforestal)



Pastizal de burros





Pastizal de ganado bovino



Anexo 5. Tabulación de los datos tomados en campo.

Ref GPS	Altitude	Land_Use	Type	Value of observed indicator													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	17
215	111 m	Aipim	Indicat	-	-	-	-	B	0	A	A	A	A	-	A	-	-
216	109 m	Aipim	Quadr	pl-pl	A	25	C	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
217	114 m	Aipim	Quadr	pl-pl	A	70	C	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
218	108 m	Aipim	Quadr	pl-pl	C	0	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
219	100 m	Aipim	Quadr	pl-pl	C	0	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
220	104 m	Aipim	Quadr	pl-pl	B	25	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
222	65 m	Banana	Quadr	pl-cvx	A	600	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
223	79 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	B	A	A	-	A	-	-
224	80 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	A	A	C	A	A	-	-
225	80 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	A	A	C	A	A	-	-
226	80 m	Banana	Quadr	pl-pl	B	80	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
227	87 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
228	85 m	Banana	Quadr	cvx-cvx	B	100	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
231	81 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	B	A	A	-	A	-	-
232	83 m	Banana	Quadr	pl-ccv	A	50	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
233	84 m	Banana	Quadr	pl-cvx	A	350	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
234	117 m	Atlantic Forest	Quadr	pl-ccv	A	450	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
235	107 m	Atlantic Forest	Quadr	pl-ccv	A	500	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
236	112 m	Atlantic Forest	Quadr	pl-pl	A	300	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
238	108 m	Atlantic Forest	Quadr	pl-cvx	A	330	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
239	108 m	Atlantic Forest	Quadr	pl-pl	A	280	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
240	115 m	Road	Ref	-	-	-	-	A	0	A	A	A	B	A	A	-	-
241	110 m	Road	Ref	-	-	-	-	A	0	A	A	A	B	A	A	-	-
244	129 m	Cassava	Quadr	pl-pl	B	90	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
245	130 m	Cassava	Quadr	pl-pl	B	75	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
246	130 m	Cassava	Quadr	pl-ccv	B	100	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
247	132 m	Cassava	Quadr	pl-pl	B	80	B	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
248	130 m	Cassava	Quadr	pl-pl	A	110	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
249	130 m	Banana	Quadr	pl-pl	A	110	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
250	133 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
251	155 m	Atlantic forest	Quadr	cvx-cvx	A	400	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
252	150 m	Atlantic forest	Quadr	pl-ccv	A	300	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
253	149 m	Atlantic forest	Quadr	pl-pl	A	310	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
254	145 m	Atlantic forest	Quadr	pl-ccv	A	250	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
255	145 m	Atlantic forest	Quadr	ccv-ccv	A	310	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
256	138 m	Banana	Quadr	pl-pl	B	40	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
257	142 m	Banana	Quadr	pl-pl	B	50	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
258	138 m	Banana	Quadr	pl-pl	A	60	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
259	136 m	Banana	Quadr	pl-pl	A	130	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
261	266 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	C	A	A	-	A	-	-
262	335 m	Atlantic forest	Quadr	pl-cvx	A	400	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-

263	333 m	Atlantic forest	Quadr	pl-cvx	A	320	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
264	329 m	Atlantic forest	Quadr	pl-ccv	A	160	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
265	327 m	Atlantic forest	Quadr	pl-ccv	B	280	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
266	320 m	Atlantic forest	Quadr	pl-pl	A	250	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
267	326 m	Banana	Quadr	pl-cvx	A	100	A	A	0	A	B	A	A	-	A	-	-
268	300 m	Banana	Quadr	pl-cvx	B	90	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
269	297 m	Banana	Quadr	cvx-cvx	B	120	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
270	305 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
271	259 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
272	258 m	Banana	Quadr	cvx-cvx	C	10	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
273	246 m	Banana	Quadr	pl-cvx	A	580	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
274	223 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	B	0	A	A	A	A	-	A	-	-
275	213 m	Road	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	A	A	A	-	A	B	-
276	353 m	Atlantic forest	Quadr	cvx-cvx	A	300	A	A	0	B	B	A	A	-	A	-	-
277	354 m	Atlantic forest	Quadr	cvx-cvx	A	320	A	A	0	B	B	A	A	-	A	-	-
278	358 m	Atlantic forest	Quadr	pl-pl	A	260	A	A	0	B	B	A	A	-	A	-	-
279	355 m	Atlantic forest	Quadr	pl-pl	A	250	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
280	344 m	Atlantic forest	Quadr	cvx-cvx	B	180	A	A	33cm	B	C	A	A	-	A	-	-
281	347 m	Banana	Quadr	pl-pl	B	100	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
282	346 m	Banana	Quadr	ccv-pl	A	480	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
283	331 m	Banana	Quadr	cvx-cvx	A	190	C	A	0	B	B	A	A	-	A	-	-
284	340 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	B	0	B	A	A	A	-	A	-	-
285	339 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	B	0	B	A	A	A	-	A	-	-
286	349 m	Grassland	Quadr	pl-pl	B	40	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	A
287	350 m	Grassland	Quadr	pl-pl	B	40	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	A
288	368 m	Grassland	Quadr	pl-pl	B	20	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	A
289	366 m	Grassland	Quadr	pl-cvx	B	20	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	A
290	365 m	Grassland	Quadr	pl-cvx	B	30	B	A	0	A	A	A	A	-	A	-	A
291	339 m	Banana	Quadr	cvx-cvx	A	550	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
292	341 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	B	A	A	-	A	-	-
293	346 m	Banana	Quadr	ccv-ccv	B	110	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
294	217 m	Pupunha	Indicat	-	-	-	-	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
295	222 m	Pupunha	Quadr	pl-ccv	B	100	B	A	15cm	B	A	A	A	-	A	-	-
296	222 m	Pupunha	Quadr	pl-ccv	B	150	A	A	30cm	B	C	A	A	-	A	-	-
297	225 m	Pupunha	Quadr	pl-ccv	B	50	C	A	20cm	B	B	A	A	-	A	-	-
298	211 m	Pupunha	Quadr	pl-pl	B	360	B	A	40cm	B	B	A	A	-	A	-	-
299	212 m	Pupunha	Quadr	pl-pl	A	280	A	A	9cm	A	B	A	A	-	A	-	-
300	216 m	Pupunha	Indicat	-	-	-	-	B	0	A	A	A	A	-	A	-	-
310	131 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
311	144 m	Atlantic forest	Quadr	pl-pl	A	380	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
313	142 m	Atlantic forest	Quadr	pl-pl	A	680	A	B	0	A	B	A	A	-	A	-	-
314	137 m	Atlantic forest	Quadr	pl-ccv	A	600	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
315	135 m	Atlantic forest	Quadr	ccv-ccv	A	360	A	B	0	B	B	A	A	-	A	-	-

316	140 m	Banana	Quadr	pl-pl	B	150	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
317	144 m	Atlantic forest	Quadr	pl-ccv	A	310	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
318	147 m	Banana	Quadr	pl-ccv	B	200	B	A	0	B	B	A	A	-	A	-	-
319	30 m	Cassava	Quadr	pl-ccv	C	0	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
320	92 m	Cassava	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	A	A	B	A	A	-	-
321	91 m	Cassava	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	A	A	B	A	A	-	-
322	91 m	Cassava	Quadr	pl-ccv	C	0	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
323	88 m	Cassava	Quadr	pl-ccv	B	25	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
324	88 m	Cassava	Quadr	pl-ccv	B	300	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
325	91 m	Cassava	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	A	A	B	B	A	-	-
326	88 m	Cassava	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	A	A	B	A	A	-	-
327	89 m	Cassava	Quadr	pl-cvx	B	40	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
329	46 m	Grassland	Quadr	pl-ccv	B	10	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	B
330	50 m	Grassland	Quadr	pl-cvx	B	10	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	B
331	50 m	Grassland	Quadr	pl-ccv	C	4	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	A
332	61 m	Grassland	Quadr	ccv-ccv	C	4	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	A
333	47 m	Grassland	Quadr	pl-pl	C	0	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	B
334	38 m	Banana	Quadr	pl-pl	B	180	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
335	38 m	Banana	Quadr	pl-pl	B	80	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
336	35 m	Banana	Quadr	pl-pl	A	600	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
337	35 m	Banana	Indicat	-	-	-	-	A	0	A	C	A	A	-	A	-	-
338	35 m	Banana	Quadr	pl-pl	B	80	C	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
339	35 m	Banana	Quadr	pl-pl	A	480	C	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
340	102 m	Atlantic forest	Quadr	pl-cvx	A	450	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
341	105 m	Atlantic forest	Quadr	cvx-cvx	A	400	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
342	110 m	Atlantic forest	Quadr	pl-cvx	A	580	A	A	0	A	B	A	C	A	A	-	-
343	101 m	Grassland	Quadr	ccv-pl	B	50	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	B
344	95 m	Grassland	Quadr	pl-cvx	C	0	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	A
345	118 m	Atlantic forest	Quadr	pl-pl	A	800	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
346	76 m	Grassland	Quadr	pl-ccv	C	0	B	A	0	B	A	A	A	-	A	-	B
347	108 m	Grassland	Quadr	pl-pl	B	15	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	A
348	115 m	Atlantic forest	Quadr	pl-cvx	A	450	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
349	75 m	Grassland	Quadr	pl-ccv	C	0	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	B
350	40 m	Cassava	Quadr	pl-pl	B	100	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
351	43 m	Cassava	Quadr	pl-pl	A	200	A	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-
352	48 m	Cassava	Quadr	pl-pl	B	150	A	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
353	47 m	Cassava	Quadr	pl-cvx	A	50	B	A	0	A	A	A	A	-	A	-	-
354	43 m	Cassava	Quadr	pl-ccv	A	30	C	A	0	B	A	A	A	-	A	-	-