

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y  
DEL MEDIO AMBIENTE

ARTÍCULO CIENTÍFICO

"ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS  
COBERTURAS VEGETALES DEL VOLCÁN  
ILALÓ, EN TRES PERIODOS 1983, 1996 Y 2010"

AUTORA

LÓPEZ ESTÉVEZ MARÍA CRISTINA

ING. PABLO PÉREZ S.

DIRECTOR

ING. MARIO CRUZ

CODIRECTOR

MAYO - 2014

## **ESTUDIO COMPARATIVO DE LA COBERTURA VEGETAL DEL VOLCÁN ILALO, EN TRES PERIODOS 1983, 1996 Y 2010.**

**PABLO R. PÉREZ SALAZAR <sup>(1)</sup>; MARIO A. CRUZ D'HOWITT <sup>(1)</sup>; MA. CRISTINA LÓPEZ ESTÉVEZ <sup>(2)</sup>.**

<sup>(1)(2)</sup>CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE. DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE; email: prperez@espe.edu.ec; mcruz@espe.edu.ec; makrisle@hotmail.com;

### **RESUMEN**

En Quito y el Distrito Metropolitano han generado grandes cambios a lo largo de los años, por ende se han generado cambios territoriales que de una u otra manera han provocado diferentes cambio y deterioro en las coberturas vegetales debido a las acciones antrópicas.

Es así, que el presente estudio determina los cambios de cobertura vegetal producidos en la zona del volcán Ilaló entre los años 1983, 1996 y 2010, mediante el uso de técnicas geoespaciales, para aplicar en las fotografías aéreas, que han sido la base fundamental en la elaboración de este proyecto. Además, se aplica una adaptación de la metodología de Corine Land Cover, que ha sido el complemento ideal para generar los mapas de coberturas vegetales con diferentes clases, categorías y niveles, empleadas exclusivamente para la zona del Volcán Ilaló.

Estos cambios de cobertura vegetal constituyen una importante información, ya que serán una herramienta de apoyo para toma de decisiones substanciales en los planes de Uso y Ocupación del suelo del distrito Metropolitano de Quito, a su vez proponiendo zonas de conservación natural, y su posible recuperación en lugares intervenidos, especialmente en la conservación de zonas ecológicas.

**Palabras claves:** Volcán Ilaló. Cobertura Vegetal. Fotografías Aéreas. Corine Land Cover

### **ABSTRACT**

In Quito Metropolitan District And Generated Large Changes Over The Years, Hence Territorial Changes Were Generated That One Way Or Another Have Caused Different Changes And Deterioration Of Vegetation Cover Due To Human Actions.

Thus, The Present Study Determined The Changes Of Vegetation Produced In The Vicinity Of Ilaló Volcano Between 1983, 1996 And 2010, Using Geospatial On The Development Of This Project. Furthermore, An Adaptation Of The Methodology Of Corine Land Cover, Which Has Been The Ideal To Generate Maps With Different Vegetation Cover Classes, Categories And Levels, Used Exclusively For The Volcano Area Ilaló Supplement Applies.

These changes in vegetation cover are important information, because they will be support tool for decision making substantial plans land use and occupancy of the Metropolitan District of Quito, in turn proposing natural conservation areas, and possible recovery operated in places, especially in the conservation of ecological zones.

**Ekey words:** Ilaló Volcano. Vegetation Cover. Aerial Photography. Methodology Corine. Land Cover.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

La Secretaria de Territorio, Hábitat y Vivienda del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ), se encuentran impulsando la ejecución de estudios a nivel de uso suelo dentro del DMQ. El Ilaló por encontrarse dentro del Distrito y ser una zona de especial interés por tener remanentes de áreas naturales, en medio de dos área de gran expansión urbana como son los valles de los Chillos y Tumbaco.

Según el Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial 2012-2022, el área del Ilaló es un área de intervención especial y recuperación de propiedad pública, que por sus condiciones biofísicas y socioeconómicas previenen desastres naturales, tienen connotaciones históricas culturales, disminuyen la presión hacia las áreas de conservación , posibilitan o permiten la funcionalidad, integridad y conectividad con la Red de Áreas Protegidas y la Red Verde Urbana (corredores verdes) y constituyen referentes para la ciudad. Por sus características deben ser objeto de un manejo especial.

### **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Se deben establecer las áreas utilizables para zonas protección natural, debido a que el crecimiento urbano ha disminuido las áreas naturales que existían antiguamente, actualmente la normativa del MDMQ delimitada por la zonificación realizada por la Dirección Metropolitana de Planeamiento y Políticas de Suelo y Espacio Público, y en vista de que no se ha realizado un estudio multitemporal para diagnosticar el decrecimiento del espacio natural y la comparación del estado actual y la normativa establecida en el Plan de Uso y ocupación del Suelo 2011( PUOS).

Con el propósito de ubicar estas áreas de conflicto, se utilizarán criterios técnicos geoespaciales que determinará las áreas naturales en épocas diferentes y las existentes en la actualidad, además de proponer un límite entre el espacio a ocuparse y a conservarse, que a su vez procuren un mejor ordenamiento territorial, y por ende se conserve a estética paisajística, procurando un desarrollo sustentable de la zona.

### **1.3. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio se encuentra ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), Corresponde a la zona del Volcán Ilaló y su área es de aproximadamente de 5500 ha, como se indica en la (Figura 1).

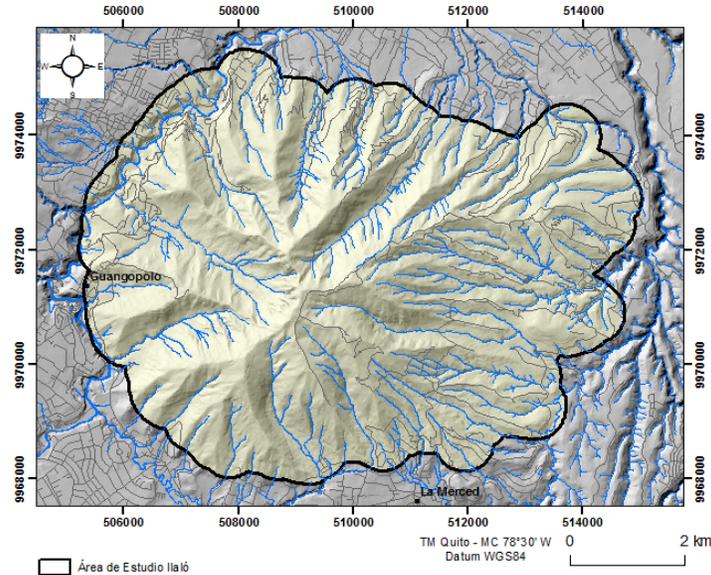


Figura 1: Delimitación del Área de Estudio

#### 1.4. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DEL VOLCÁN ILALÓ.

Es una pequeña elevación remanente de un antiguo volcán afectado por fuertes procesos erosivos. Estos procesos han modelado numerosas quebradas de sección transversal en “V” y apenas 2 con una sección en “U” (Cornejo, 1983), la mayoría de ellas dispuesta en forma radial.

Del estudio detallado del Ilaló (Cornejo, R., 1983) se desprende que el volcán se compone de brechas y lavas volcánicas, que han sido cubiertas en su mayoría por cangahua en forma periclinal, suavizando la topografía preexistente. Habiéndose anotado para las lavas, la presencia de diaclasas de origen tectónico y no tectónico como diaclasas debidas al enfriamiento de la lava. La morfología actual del Ilaló no ha sido claramente descifrada especialmente en dos puntos:

- .Las quebradas de sección transversal en “V”, son grandes respecto a los riachuelos que albergan, para que hayan sido producidas por la erosión fluvial de estos últimos.
- Las quebradas en “U” podrían indicar efectos erosivos de glaciares. Sin embargo, su escasez numérica frente a las quebradas en “V” y la ausencia de depósitos glaciares aflorantes contradicen esta posibilidad.

Por otra parte, el volcán Ilaló, luego de haber sido afectado por una fuerte erosión y también por hundimientos que se produjeron en el Valle Interandino, donde este Volcán está localizado, posee actualmente un cota máxima de 3, 185 m.s.n.m.

De tal manera, que el Ilaló también debió haber sido erosionado durante los periodos glaciales pleistocénicos, pero sus productos de erosión no afloran actualmente, puesto que ellos deben

escondese en los alrededores del Ilaló, bajo la cobertura de cangahua o sedimentos Chichi u otros depósitos que cubrieron el Valle.

Cabe señalar también que este volcán presenta una fuerte escarpa en las proximidades de su cima en el flanco occidental, que debe corresponder al viento principal del Ilaló, puesto que se le ha señalado como un pequeño cráter abierto hacia el W (Olade, s.f) y como una caldera de molida hacia el W por la acción erosiva de las glaciaciones pleistocenas (Sauer, 1965). También se le ha relacionado con una profunda falla NNE- SSW reportada por W. Sauer en su mapa geológico del Ecuador (1957) y apoyado por R. vera (1983, P. 12), habiéndosela señalando como la zona de debilidad, que sirvió de canal para el ascenso del magma que dio lugar a la formación de los dos volcanes Ilaló y Pasochoa.

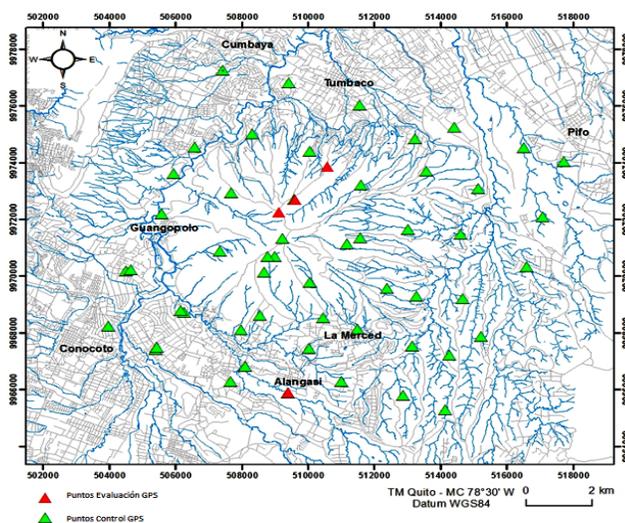
La morfología del Ilaló es un claro documento de la fuerte erosión sufrida por este volcán, dándoles el aspecto de una estructura volcánica vieja.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología para generar una serie histórica de coberturas vegetales, se tomaron como base una serie de insumos tales como: imágenes de satélite, o como para este proyecto se emplearon fotografías aéreas, insumo principal para la elaboración de este proyecto, las cuales, después de procesarlas se generan ortofotomosaicos, y a través del uso de una leyenda temática y procesos de digitalización, permitieron generar mapas de cobertura y generar monitoreo de cambio de cobertura en la zona de estudio, posteriormente para estos cambios se realizó un análisis estadístico básico, entre los cambios de cobertura reportados.

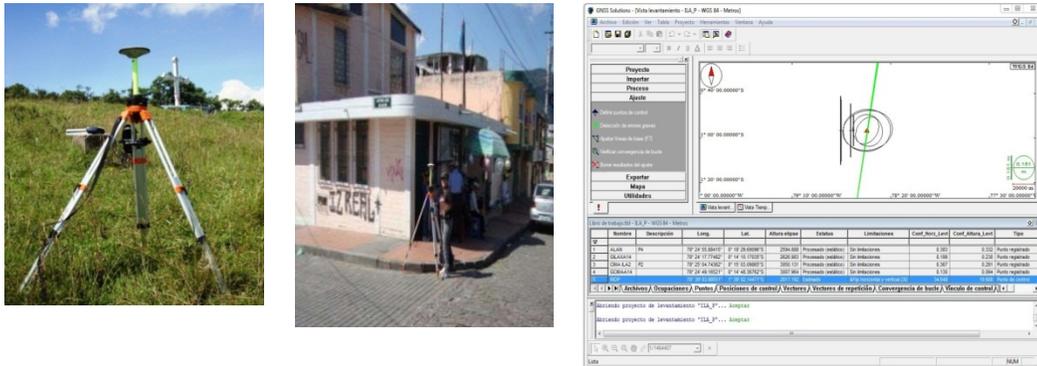
### 2.1 Toma de puntos de control horizontal

Para generar las ortofotos se emplearon la toma de puntos, de los cuales 53 fueron obtenidos directamente del ortofotomosaico del año 2010 como puntos de control o Ground Control Points (GCP) y 4 puntos de evaluación, como se puede observar en la siguiente (Figura 2).



**Figura 2:** Densificación de los puntos de Control y Evaluación para elaboración de las ortofotos.

Estos fueron rastreados con receptores GPS (Global Position System) y se empleó receptor doble frecuencia Astech ProMark 200. Con método diferencial con tiempo de rastreo de 10 minutos y el posprocesamiento se realizó en el software GNSS Solutions, (Figura 4).



**Figura 3:** Receptor GPS Astech ProMark 200 y Posproceso en el GNSS de los puntos de control

## 2.2 Ortofotomosaicos

En la elaboración de los ortofotomosaicos de 1983 y 1996, se empleó el software Erdas Imagine 2013 con el módulo Photogrammetry el cual permite elaborar ortofotos y generar los mosaicos.

Para el estudio se generaron ortofotomosaicos para el año 1983, 1996 y 2010. (Figura 5). Los correspondientes a los años 1983 y 1996 fueron elaborados y para el año 2010 se empleó el ortofotomosaico obtenido del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ). Según la consulta realizada en el MDMQ, el ortofotomosaico 2010 fue generado bajo contrato realizado a la empresa Stereocarto. La evaluación y fiscalización de contrato la realizó el Instituto Geográfico Militar.



FUENTE : MDMQ-STHYV

**Figura 4:** Ortofotomosaico años 1983, 1996 y 2010

### 2.3 Determinación de las Coberturas Naturales y de Intervención mediante fotointerpretación visual basada en la metodología Corine Land Cover

La metodología empleada para la generación de los mapas de cobertura, se tomó como base la metodología Corine Land Cover, desarrollada por la Agencia Ambiental Europea (European Environmet Agency) en el año 2000 y que ha sido empleada en Colombia bajo la coordinación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en la elaboración del mapa de Cobertura de la Tierra a escala 1:100000 Nacional de Colombia.

Para el caso de estudio, se realizó una adaptación de la metodología considerando que la escala es a 1:5000 de tipo local, para la zona del Volcán Ilaló, en este sentido, previo a la generación de los mapas de cobertura naturales y de intervención se deben realizar consideraciones metodológicas y conceptuales iniciales como son: la leyenda temática y procedimientos de calibración/validación de campo.

### 2.4 Leyenda Temática

La leyenda temática permite realizar una clasificación de una manera ordenada y lógica de las clases de uso y cobertura obtenidas de una imagen satelital. (Peralvo, 2010).

La leyenda temática empleada considera tanto a las coberturas naturales y de intervención estructuradas en clases temáticas organizadas jerárquicamente y que para este estudio fueron reorganizadas en tres niveles a partir de la Leyenda de Colombia publicada en el 2010 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) que tiene 6 niveles, en la (Tabla1). Se presenta la leyenda adaptada para el estudio.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III
<b>1. Territorios artificializados</b>	1.1 Zonas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo
	1.2 Zonas industriales y redes de comunicación	1.2.1 Zonas industriales
		1.2.2 Red vial
	1.3 Zonas verdes artificializadas	1.3.1 Instalaciones recreativas
	<b>2. Territorios agrícolas</b>	2.1 Cultivos transitorios
2.2 Cultivos permanentes		2.2.1 Cultivos permanentes arbóreos
2.3 Pastos		2.3.1. Pastos limpios
		2.3.2 Pastos enmalezados
2.4 Agrícola heterogénea		2.4.1 Mosaicos de cultivos
		2.4.2 Mosaicos de pastos y cultivos
<b>3. Bosques y áreas seminaturales</b>	3.1 Bosques	3.1.1 Plantación forestal
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1 Herbazal
		3.2.2 Arbustal

Continúa 

		3.2.3. Arbustal/Herbazal
	3.3 Áreas sin o con poca cobertura vegetal	3.3.1 Tierras desnudas y degradadas
<b>4. Superficies de agua</b>	4.1 Aguas continentales	4.1.1 Río
		4.1.2 Laguna

**Tabla 1:** Leyenda temática adaptada en tres niveles jerárquicos.

Las clases o categorías empleadas para zona de Ilaló son menores a la leyenda original de (IDEAM, 2010) por cuanto se conservan categorías que exclusivamente se ocupan localmente en la zona del Ilaló y la leyenda original mantiene clases a nivel país. A continuación se presentan las definiciones de las clases empleadas.

**Territorios artificializados:** comprenden las zonas totalmente intervenidas de manera antrópica y contienen a su vez un segundo nivel estas son: zonas urbanas (Figura 5) redes de comunicación y zonas verdes artificializadas. Además se incluyen zonas industriales que principalmente, se tratan de los invernaderos que se encuentran en la zona del Ilaló e instalaciones recreativas correspondientes especialmente a piscinas de uso recreativo.



TEJIDO URBANO DISCONTÍNUO  
AÑO 2010

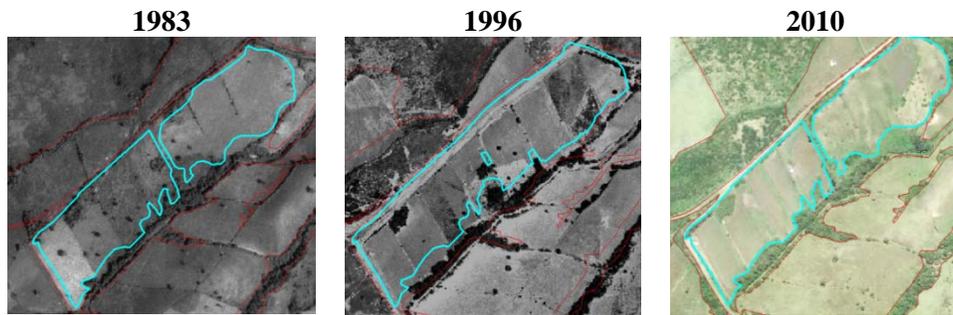


TEJIDO URBANO CONTÍNUO  
AÑO 2010

**Figura 5:** Ejemplo de Zonas urbanas

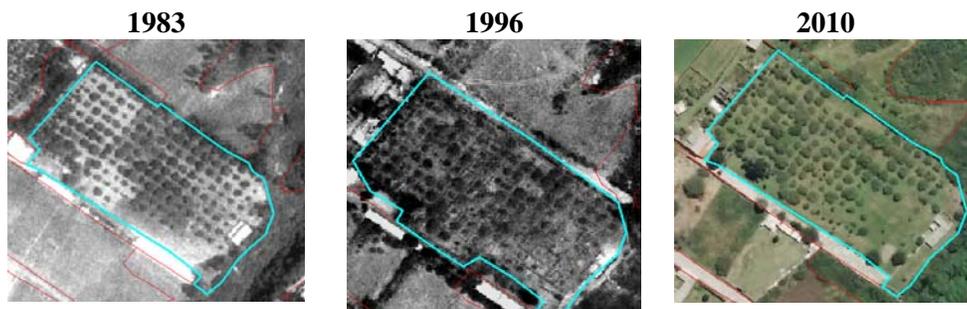
**Territorios agrícolas:** esta clase agrupa a las coberturas de tipo agrícolas como son los cultivos y pastos, en un segundo nivel se encuentran las categorías de: cultivos transitorios, cultivos permanentes, pastos y áreas agrícolas heterogéneas.

- Las categorías de cultivos transitorios (Figura 6) se refiere a los cultivos conocidos como de ciclo corto en cuyo caso las plantaciones deben volver a plantarse luego de su cosecha y su ciclo de desarrollo es de pocos meses hasta máximo un año. Para el caso de Ilaló, correspondería a cultivos de maíz, papas, habas, arveja, frejol u hortalizas.



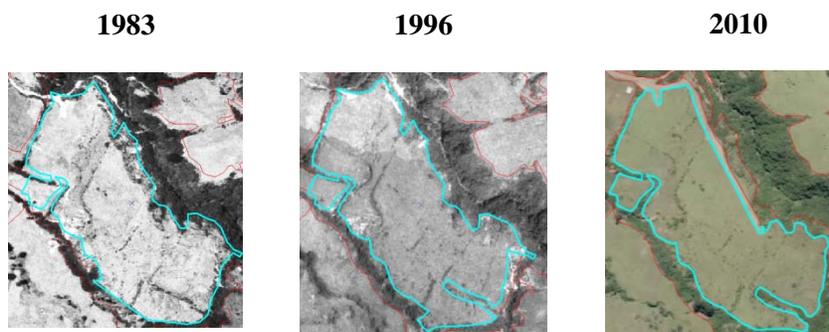
**Figura 6:** Ejemplo de cultivos transitorios

- Los cultivos permanentes arbóreos corresponden a las categorías donde el ciclo vegetativo es mayor al año y donde no es necesario volver a sembrar una nueva semilla. Para la zona de estudio, corresponden a zonas donde existen principalmente plantaciones árboles frutales como: aguacate, mandarina, limón, guaba, chirimoya, etc. (Figura 7).



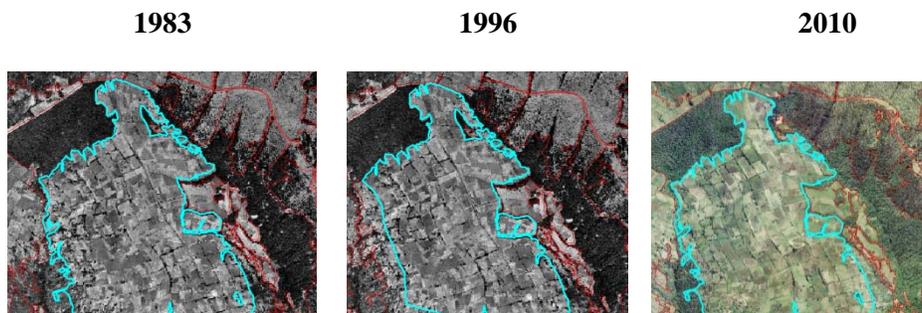
**Figura 7:** Ejemplo de cultivos permanentes arbóreos

- Las áreas de pastos son específicas para las zonas ganaderas, aunque en los recorridos realizados, se comprobó que no existe cría de ganado extensiva sino de tipo doméstico. En esta categoría se encuentran los pastos limpios es decir aquellas áreas donde los pastos ocupan áreas completas (Figura 8) y donde existe la presencia de categorías mixtas que se detalla en las áreas agrícolas heterogéneas. También existe la presencia de pastos enmalezados.



**Figura 8:** Ejemplo de pastos limpios

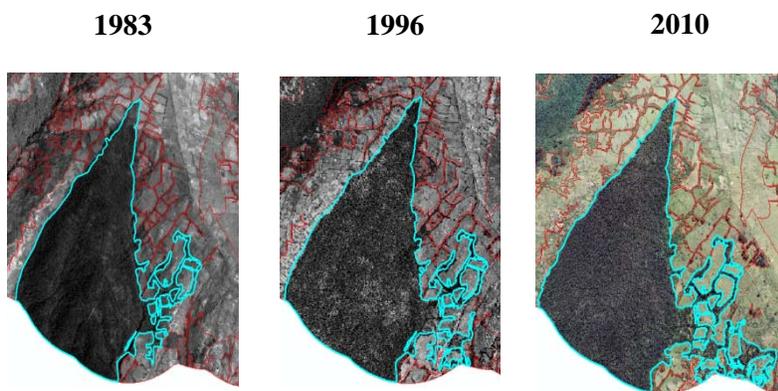
- Las áreas agrícolas heterogéneas, corresponden a las categorías mixtas donde se encuentran las mezclas de categorías de cultivos y pastos principalmente. Para el Ilaló, se evidenció que se encuentran: mosaicos de cultivos (mezcla de cultivos transitorios y permanentes) y mosaicos de pastos con cultivos (mezcla de pastos con cultivos transitorios y/o permanentes). (Figura 9).



**Figura 9:** Ejemplo de Mosaicos de pastos y cultivos

**Bosques y áreas seminaturales:** en esta clase se agrupan coberturas vegetales de bosque, arbusto, herbáceo y áreas sin o con poca cobertura vegetal.

En el área del Ilaló se encontraron plantaciones forestales que corresponden a bosques plantados con fines comerciales o de protección. (Figura 10)

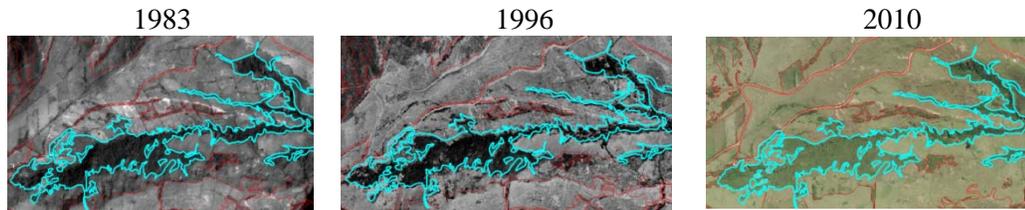


**Figura 10:** Ejemplo de Plantación forestal

- Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, corresponde a las categorías donde existe la presencia de coberturas vegetales naturales con poca o ninguna intervención humana. En el área del Ilaló se presentan principalmente a tres subcategorías: herbazal, arbustal y arbustal/herbazal. Los herbazales se constituyen por el conjunto de hierbas que son plantas no leñosas de consistencia blanda en todos sus órganos. (Fon Quer, 1982). La clase arbustal se compone de vegetación arbustiva desarrollada en forma natural. La característica de un arbusto radica en poseer el tallo leñoso y permanente con varias ramificaciones y sin copa definida (FAO, 2001). Para el caso del Ilaló esta clase se

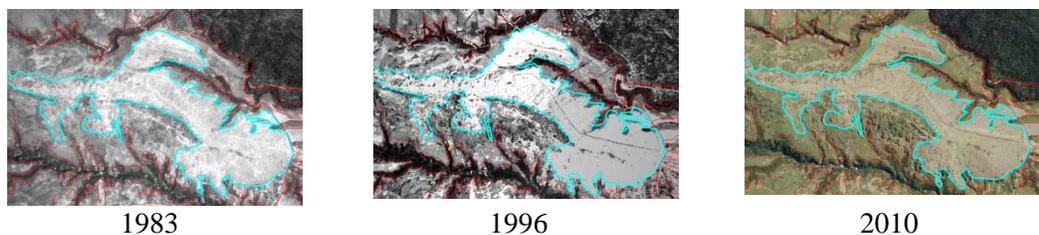
encuentran bastante densificada por lo que correspondería a la categoría de arbustal denso de la leyenda CORINE LAND COVER. (Figura11)

El arbustal/herbazal constituye una clase mixta que posee una mezcla entre arbustos y herbazales.



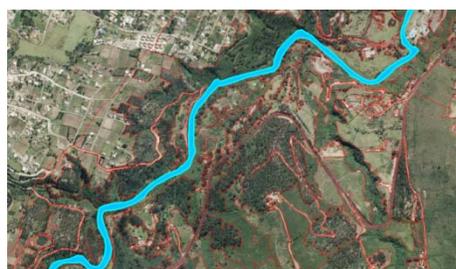
**Figura 11:** Ejemplo de arbustal

- Áreas sin o con poca vegetación, en esta clase se agrupan las áreas donde no existe o es muy escasa la presencia de vegetación, como son zonas erosionadas, zonas arenosas o afloramientos rocosos. En la zona de Ilaló se evidenciaron que existen varias áreas de tierras desnudas y degradadas. (Figura12)



**Figura 12:** Ejemplo Tierra desnuda y degradada

- Superficies de agua: en esta categoría se incluye los cuerpos de agua. Para el caso de Ilaló, el principal cuerpo de agua corresponde al río San Pedro que atraviesa la zona de estudio en sentido sur – norte. (Figura13)



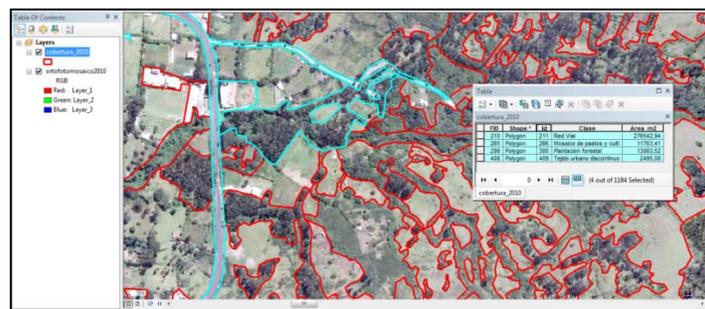
**Figura 13:** Río San Pedro

## 2.5 Digitalización

Para iniciar con el proceso de digitalización se definió que la unidad mínima de mapeo (UMM) = UMD (unidad mínima distinguible) x E (escala) sería de 70 m<sup>2</sup> considerando que los mapas de cobertura serían a escala 1:5000 y la unidad mínima a distinguirse en la carta en papel es de 1/3 mm.

La digitalización se realizó empleando el software ArcGis para lo cual se graficó manualmente sobre los ortofotomosaicos correspondiente, se inició con el mapa de cobertura del año 2010 que es más actualizado y se tiene mayor congruencia con las clases visitadas en campo.

Posteriormente, cada polígono digitalizado fue atribuido con su correspondiente clase o categoría temática acorde a la leyenda establecida (Tabla 1), la categoría asignada inicialmente corresponde al nivel III que cuenta con mayor detalle que establece la leyenda. (Figura 14).



**Figura 14:** Interfaz de digitalización y atribución temática del mapa de cobertura 2010.

## 2.6 Procesos de Edición

Para finalizar la generación de los mapas de cobertura se realizaron procesos de edición final, que consistieron en corregir errores de geometría resultantes del proceso de digitalización.

En la edición de la topología se consideraron dos reglas básicas: sobreposición de polígonos “must not overlap” y vacíos “must no have gaps” el valor de tolerancia empleado fue de 0,3 m considerando que la escala de trabajo fue de 1:5000.

## 3. RESULTADOS

Entre los objetivos más importantes alcanzados, se menciona:

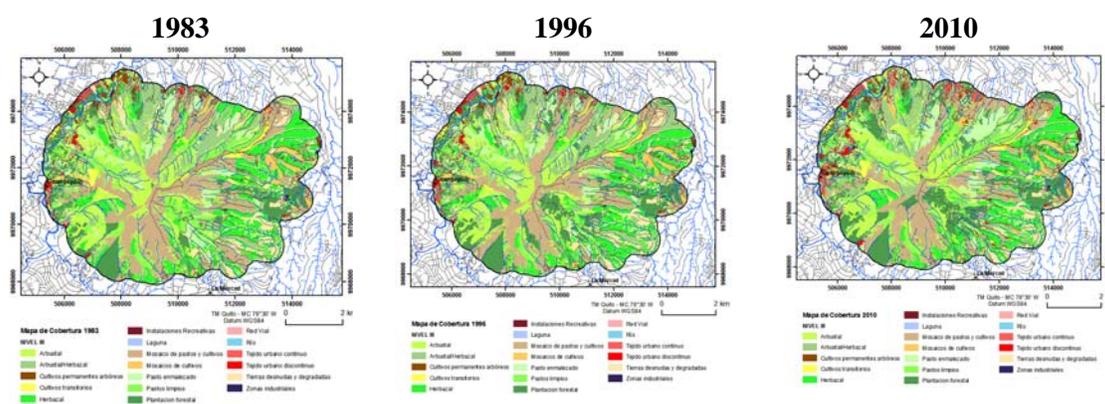
### ➤ El cambio de cobertura por periodos 1983, 1996 y 2010

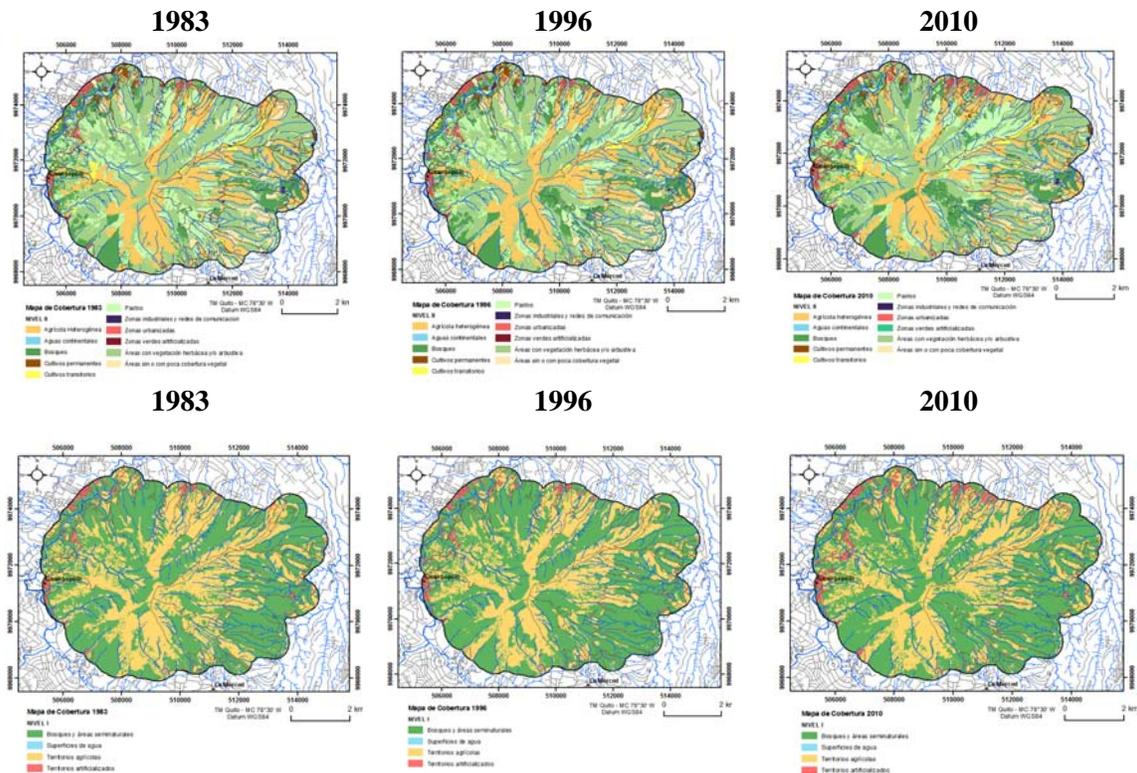
El resultado de la serie histórica 1983 – 2010 se detalla en Tabla 2 y (Figura 16), que estas están representadas al nivel III, nivel II y nivel I. En la cual se puede identificar que las áreas naturales tienen a las clases de mayor tamaño, es así que durante la serie histórica juntas sobrepasan el 50% del área total, las clases naturales de mayor tamaño fueron: Arbustal (>21%), Plantación forestal (>10%), Herbazal (>12%) y Arbustal/Herbazal (>8%).

Las clases representativas en áreas de intervención en función del área corresponden a: Mosaicos de pastos y cultivos (>16%), Pastos limpios (>7%), Pastos enmalezados (>4%) y Mosaicos de cultivos (>2%). El resto de clases ocupan áreas menores a las anteriores y no alcanzan al 2%.

CÓDIGO	CLASE	Área	%	Área	%	Área	%
		(ha) 1983		(ha) 1996		(ha) 2010	
111	Tejido urbano continuo	37,99	0,69	41,91	0,76	71,85	1,3
112	Tejido urbano discontinuo	53,76	0,98	54,72	0,99	84,61	1,54
121	Zonas industriales	3,47	0,06	1,41	0,03	3,73	0,07
122	Red Vial	88,43	1,61	90,53	1,64	106,22	1,93
131	Instalaciones Recreativas	4,01	0,07	3,86	0,07	7,01	0,13
211	Cultivos transitorios	88,7	1,61	72,85	1,32	107,95	1,96
221	Cultivos permanentes arbóreos	35,7	0,65	34,78	0,63	28,72	0,52
231	Pastos limpios	471,8	8,57	398,69	7,24	398,5	7,24
232	Pasto enmalezado	283,85	5,15	261,45	4,75	320,83	5,83
241	Mosaicos de cultivos	110,06	2	109,69	1,99	130,43	2,37
242	Mosaico de pastos y cultivos	1048,63	19,04	1026,72	18,64	902,13	16,38
311	Plantación forestal	578,02	10,5	733,39	13,32	853,86	15,51
321	Herbazal	697,67	12,67	666,81	12,11	657,76	11,94
322	Arbustal	1213,18	22,03	1205,87	21,9	1200,25	21,8
323	Arbustal/Herbazal	515,55	9,36	528,24	9,59	444,94	8,08
331	Tierras desnudas y degradadas	262,22	4,76	262,11	4,76	174,24	3,16
411	Río	13,8	0,25	13,8	0,25	13,8	0,25
412	Laguna	0,1	0	0,1	0	0,1	0
<b>TOTAL</b>		<b>5506,92</b>	<b>100</b>	<b>5506,92</b>	<b>100</b>	<b>5506,92</b>	<b>100</b>

**Tabla 2:** Serie histórica 1983, 1996 y 2010 de Coberturas en el área de estudio





**Figura 15:** Mapa de Cobertura de los años 1983-1996-2010 del área de estudio.

NIVEL III – NIVEL II – NIVEL I Corine Land Cover

### ➤ Tasa de cambio de las coberturas naturales por períodos

Para analizar los resultados se realizó el cálculo de tasas de cambio, que tiene la intención de identificar la cantidad de ha/año que aumenta o disminuye de la clase analizada para lo cual se empleó la Ecuación 2 (Basado en la ecuación de la tasa de deforestación empleada por el Ministerio del Ambiente. Enero 2010).

$$Tasa = \frac{Cob. Nat. t_1 - Cob. Nat. t_0}{t_1 - t_0}$$

Ecuación 2:

Dónde:

Cob. Nat. = cobertura natural analizada;

$t_1$  = año final

$t_0$  = año inicial

$t_1 - t_0$  = período de análisis;

Las tasas de cambio obtenidas para el Ilaló se detallan en la Tabla 3, se determinó que la clase Arbustal es estable apenas disminuye 1 ha/año en el período 1983-1996.

Código	Clase	1983 – 1996 ha/año	1996 – 2010 ha/año
311	Plantación forestal	12	8
321	Herbazal	-2	-1
322	Arbustal	-1	0
323	Arbustal/Herbazal	1	-6

Y no varía significativamente entre 1996-2010, las plantaciones forestales mantiene un progresivo incremento de 12 ha/año entre 1983-1996 y 8ha/año entre 1996-2010, los herbazales mantienen disminución

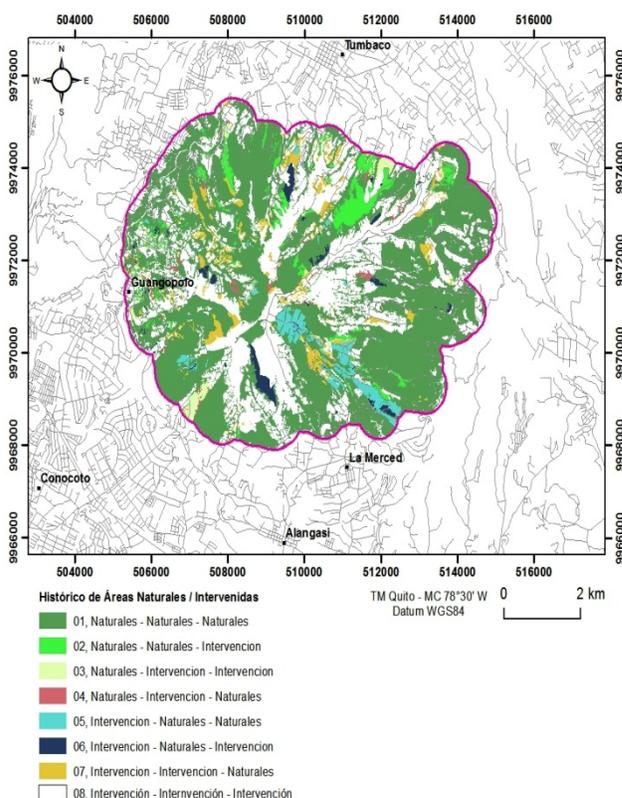
durante los dos períodos y la clase Arbustal/herbazal aumenta levemente y luego disminuye.

**Tabla 3:** Tasas de cambio de las coberturas naturales en los períodos 1983-1996 y 1996-2010.

### ➤ Cambios de las coberturas naturales por períodos

Empleando como insumos los mapas de cobertura vegetal generados en este estudio, se realizó el análisis de cambios de cobertura natural en comparación con las coberturas intervenidas; para lo cual se realizó un cruce sistemático de los tres mapas generados de este cruce se obtuvieron 8 casos que combinan el comportamiento de las coberturas naturales e intervenidas durante la serie histórica (Figura 42) las combinaciones se presentaron de la siguiente manera:

**Figura 16:** Mapa de la Serie Histórica 1983 a 2010 de áreas naturales/intervenidas.



El primer caso, corresponde a áreas permanentes de coberturas naturales, es decir que la cobertura natural se ha mantenido durante toda la serie histórica 1986 a 2010, este caso el 56,84% del área de estudio del Ilaló y es la mayor de todas respecto al área de estudio.

En el segundo caso se reportan las coberturas naturales que se mantuvieron en 1983 y 1996, ocupa un área de 4,30% del área de estudio.

Los casos tres y cuatro son los que ocuparon el 0,94% y 0,66% del área respectivamente. El caso 3, representa a las áreas naturales de 1986 que mantuvieron intervenciones hasta 1996 y 2010. El caso 4, concierne a las coberturas naturales que sufrieron intervenciones en 1996 y nuevamente pasa a cobertura naturales hasta el 2010.

Los casos 5, 6 y 7 corresponden a las áreas que mantenían intervención en 1983 y que posteriormente y de manera alternada pasaron a ser áreas naturales en 1996 y/o 2010; estos casos ocuparon: 2,53%, 1,56% y 3,94% respectivamente.

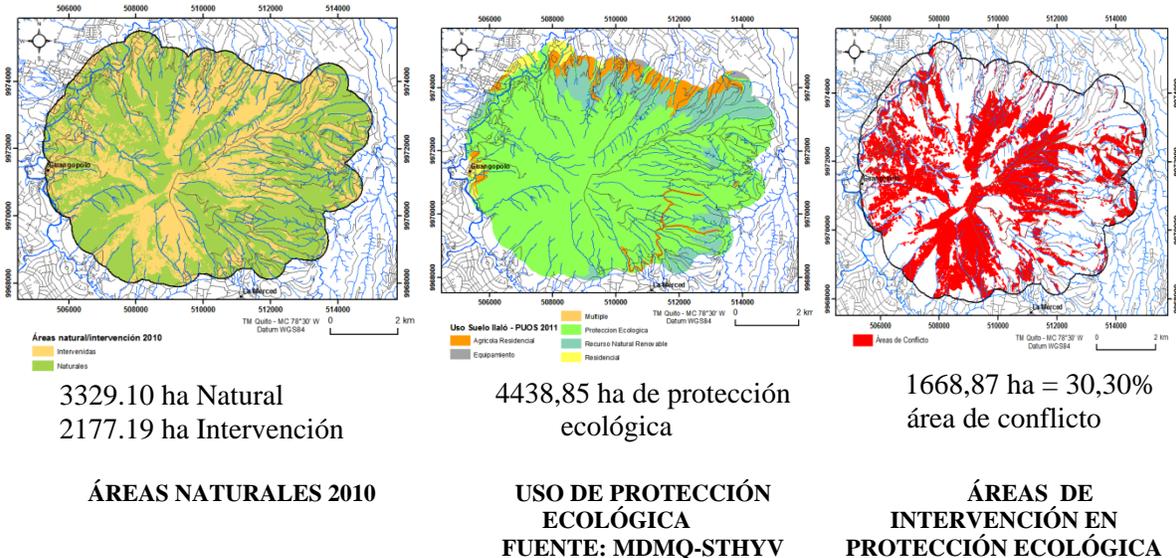
El último caso es el 8 y corresponde a las áreas de intervención permanente durante la serie histórica 1986 a 2010 y ocupa el 29,23% del área.

➤ **Resultado de la comparación de las áreas naturales 2010 del Ilaló con la Normativa establecida en el MDMQ, al año 2011 y determinación de áreas de conflicto PUOS (Plan de Uso y Ocupación del Suelo).**

El modelo de comparación toma como insumos básicos las áreas naturales e intervenidas determinadas mediante el Mapa de Cobertura de 2010 y de la normativa del Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS) 2011 se extrae el Uso de Protección Ecológica. Las áreas de conflicto de uso se determinaron al localizar las áreas intervenidas que existieron hasta el 2010 y que no tienen compatibilidad con el uso de Protección Ecológica del PUOS 2011. (Diagrama 1).



**Diagrama 1:** Modelo para comparar las áreas naturales 2010 del Cerro Ilaló con la normativa del PUOS 2011.



➤ **Resultados del Proceso Multitemporal**

Como resultado del proceso multitemporal se detectó que la clase que siempre mantuvo un crecimiento fue la plantación forestal, de esta clase se registró que las tasas de crecimiento fueron de 12 ha/año y 8 ha/año. Además se registró tasas de cambio negativas en las categorías agropecuarias, especialmente en los mosaicos de pastos y cultivos que presentaron tasas de cambio de: -2 ha/año entre 1983-1996 y -8 ha/año entre 1996-2010 (Tabla 4).

Código	Clase	1983 - 1996 ha/año	1996 – 2010 ha/año
211	Cultivos transitorios	-1	2
231	Pastos limpios	-6	0
232	Pasto enmalezado	-2	4
241	Mosaicos de cultivos	0	1
242	Mosaico de pastos y cultivos	-2	-8

**Tabla 4:** Tasas de cambio de las coberturas agrícolas en los períodos 1983-1996 y 1996-2010.

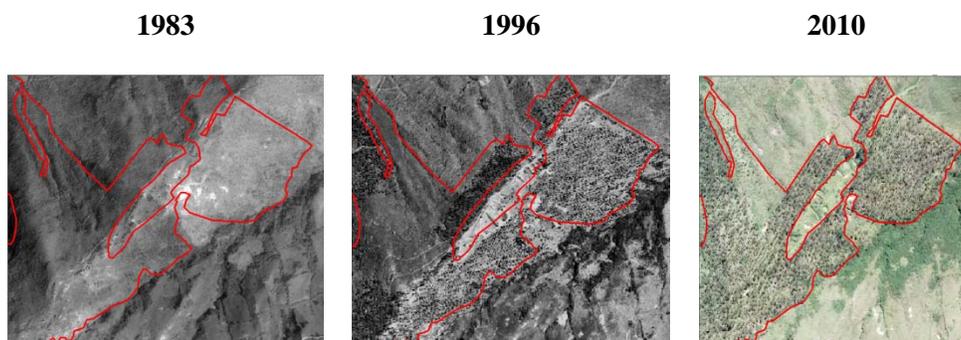
Para analizar el proceso multitemporal entre las clases se generaron matrices de transición, las cuales contrastan las clases que fueron en un inicio y en qué medida pasaron a otra clase, en la diagonal principal se registran los valores que se mantuvieron sin cambios en el período analizado, estas matrices cuadradas suelen usarse comúnmente en estadística y es conocida como matriz de probabilidades de transición P o matriz de la cadena. Para el estudio se elaboraron matrices por cada período de estudio, es decir para 1983-1996 y 1996-2010.

Se registró también la particularidad que las coberturas agrícolas presentan descenso en el período 1983-1996 y nuevamente se recuperan en el período 1996-2010, según lo analizado en las tasas de cambio. Por otra parte la matriz de transición 1983-1996 registraron que: pastos limpios, pastos enmalezados, mosaicos de pastos y cultivos, herbazales y arbustal/herbazal se convierten en plantaciones. Los pastos limpios y mosaicos de pastos y cultivos son los que en mayor área se transforman en plantaciones forestales en 63 y 47 ha/período. (Tabla 5)(Figura 17)

La matriz de transición 1983-1996 también evidenció, que las categorías agrícolas también sufren cambios hacia otras coberturas naturales como: herbazal, arbustal y arbustal/herbazal. Los herbazales se incrementaron especialmente en zonas que fueron mosaicos de pastos y cultivos en 39 ha/período. La clase arbustal/herbazal también se incrementa especialmente en áreas que originalmente fueron herbazales en 40 ha/período.

Clase		311	321	322	323
Cultivos transitorios	211		3		
Cultivos permanentes arbóreos	221				
Pastos limpios	231	63		2	10
Pasto enmalezado	232	27	1	3	4
Mosaicos de cultivos	241				
Mosaico de pastos y cultivos	242	47	39	1	6
Plantación forestal	311	-	8	2	1
Herbazal	321	14	-		40
Arbustal	322	4	3	-	11
Arbustal/Herbazal	323	18	1	19	-

**Tabla 5:** Matriz de transición 1983-1996 hacia áreas naturales (ha/período)



**Figura 17:** Muestra cercana a la cumbre el Ilaló de presencia de pasto limpio (1983) Plantación Forestal (1996 y 2010).

En el período 1996-2010, se registró una dinámica de cambio de clases agrícolas hacia clases naturales y también entre las mismas clases naturales, se mantiene la tendencia de crecimiento de plantación forestal a cambio de las áreas agrícolas, las transiciones más altas se registraron en los arbustales y pasto enmalezado con 53 y 39 ha/período respectivamente hacia plantaciones forestales. Los herbazales y arbustales también crecen principalmente por la transición de la clase arbustal/herbazal en 41 y 51 ha/período respectivamente. La clase arbustal/herbazal se incrementa especialmente en 54 ha/período a partir de los arbustales (Tabla 6).

Clase		311	321	322	323
Cultivos transitorios	211			2	
Cultivos permanentes arbóreos	221	1			1
Pastos limpios	231	27	9	23	11
Pasto enmalezado	232	39	1	24	12
Mosaicos de cultivos	241	9	3		
Mosaico de pastos y cultivos	242	26	12	16	16
Plantación forestal	311	-	1	7	12
Herbazal	321	33	-	7	21
Arbustal	322	53	1	-	54
Arbustal/Herbazal	323	19	41	51	-
Tierras desnudas y degradadas	331	4	19	7	7

**Tabla 6:** Matriz de transición 1996-2010 hacia áreas naturales (ha/período)

De la experiencia recogida en campo se pudo comprobar que la mayor parte de estas plantaciones corresponden a bosques de eucalipto, históricamente el eucalipto se introdujo al Ecuador en 1865, especialmente en la zona interandina como la del Ilaló. (FAO, 2012).

#### Bosque de eucalipto en la zona alta del Ilaló



### ➤ **Propuesta de Límite de Conservación Natural en el Volcán Ilaló**

La propuesta del límite, parte de tres principios fundamentales que son: las pendientes, áreas de protección de cuerpos de agua y áreas naturales, estos son criterios netamente biofísicos, basados en normas de regulación y conservación del MDMQ y la FAO.

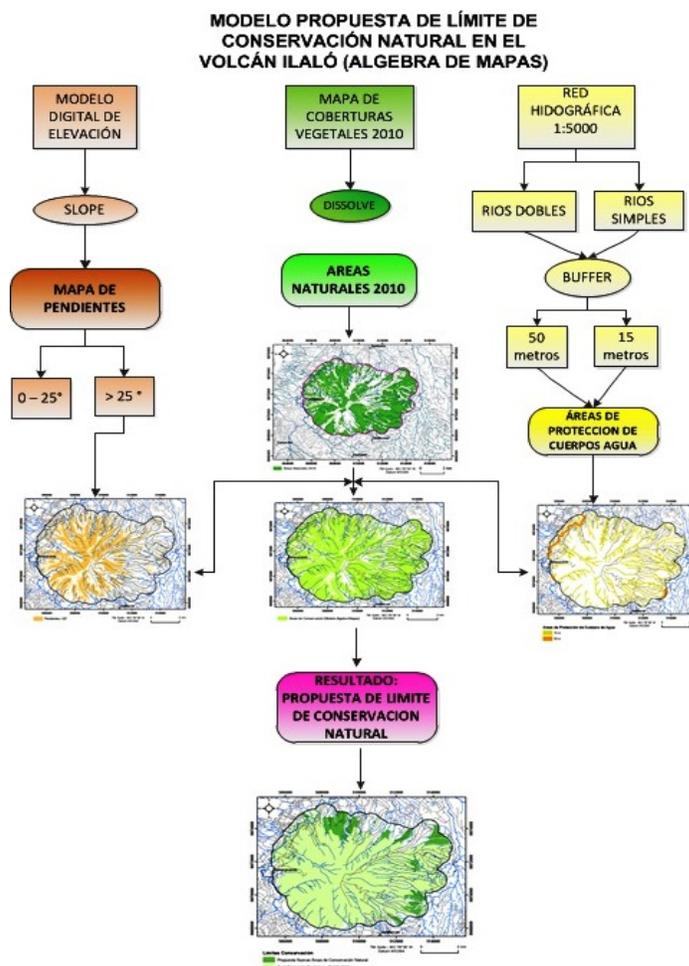
Para los componentes físicos se generó:

.El mapa de pendientes, partiendo del modelo digital de elevación, se utilizó la función “slope” de Spatial Analyst, esta es una extensión del ArcGis, y como resultado se obtuvo pendientes para la zona del Ilaló, el 61.13% se encuentra en el rango de los 0° - 25° y el restante 38.87% se encuentra en el rango > a 25°, de estas se deriva la importancia de la aptitud agrícola, como la importancia que tienen las pendientes para la determinación de la erosión del suelo, y la labranza del suelo para la agricultura.

.El mapa de áreas naturales correspondiente al año 2010, se lo obtuvo de las coberturas vegetales del mismo año, estas comprenden las clases de plantación forestal, Arbustal, herbazal, Arbustal/herbazal, tierras desnudas y degradadas, río y laguna; esto representa un 60.46% que corresponde a un área bastante considerable.

.El mapa de cuerpos de agua, en el que la zona del Ilaló por encontrarse dentro del DMQ, debe cumplir ciertas normativas establecidas para la protección de cuerpos de agua, en este mapa se utilizó, la herramienta de ArcGis que es Analysis Tools y dentro de esta se encuentra la opción Proximity y Buffer. Para ello es fundamental el respetar la franja de protección de 15 metros para los ríos simples, medidos horizontalmente en los márgenes de cuerpos de agua. Para los ríos dobles la franja de protección es de 50 metros, desde la orilla del río.

De estos criterios biofísicos como topografía (pendiente), las fuentes de agua, y la presencia de vegetación, se determinó que el área a conservarse es de 4081,91 hectáreas, este resultado dio una geometría discontinua ya que se empleó álgebra de mapas que consiste en hacer operaciones matemáticas entre distintos mapas en este caso la operación que se realizó fue la unión de todos estos tres criterios, para generar la propuesta de nuevas áreas de conservación natural, se completó esta geometría discontinua con el apoyo del ortofotomosaico 2010, se complementó con las áreas que se encuentran protegidas dentro del PUOS 2011, para que no hayan corredores ecológicos discontinuos, zonas aisladas y sin protección, se sugiere agregar 391,71 hectáreas, adicionales que permitirán establecer un área netamente de conservación.



### ➤ Propuesta de recuperación de áreas intervenidas

Según las visitas realizadas en campo se pudo comprobar que en mayor medida las intervenciones corresponden a las actividades agrícolas en la parte media y alta del Volcán Ilaló, mientras que en la parte baja estas actividades agrícolas se están convirtiendo en tejido urbano discontinuo. De esta manera, las propuestas de recuperación se enfocan a estas zonas, por lo que es indispensable reconocer el tipo de intervenciones que han existido, para determinar un tratamiento adecuado para su recuperación, se priorizaron tres tipos de intervenciones que se pueden encontrar: quemadas, áreas erosionadas y pérdida de vegetación natural.

#### - La recuperación de zonas quemadas

Aunque en el estudio realizado no se detectaron extensiones de quemadas, cabe recordar que en los últimos años se reportaron varias quemadas en la época seca de la zona Andina del Ecuador, en el Ilaló también se han reportado incendios como sucedió en el año 2012 (LaHora, 2012).

## - Pérdida de vegetación natural y Zonas de erosión del suelo

Las zonas de erosión se producen por varios factores, principalmente por la fuerza de gravedad y la intervención de la naturaleza o actividades humanas, en el primer caso la exposición del suelo al agua y viento son los principales causantes y en el segundo caso las actividades que afectan de manera directa sobre la cobertura vegetal, es

estas actividades pueden ser provocadas por la agricultura o construcción, en su mayor parte por la eliminación de cubierta vegetal y fuertes pendientes del terreno (U. Nacional de Colombia, 2012). En la zona del Ilaló se reportaron 174 ha de áreas erosionadas (Tierras desnudas y degradadas) en el año 2010, la mayor parte de esta clase se encuentra ubicada en los flancos orientales del Ilaló (Figura 18).

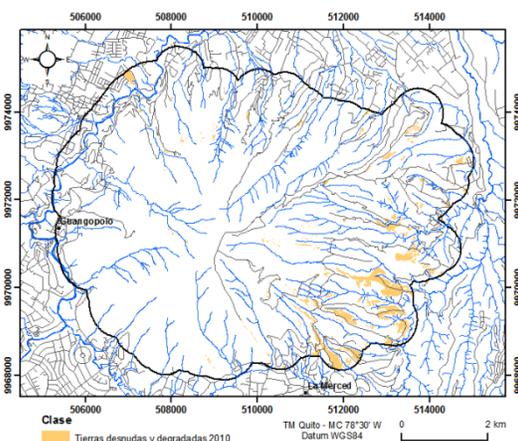
La recuperación de áreas intervenidas debe ser prioritaria en las zonas erosionadas, de esta manera con apoyo del mapa de cobertura de la tierra del 2010 se seleccionaron estas zonas que corresponden a la clase de Tierras desnudas y degradadas. Se proponen dos tratamientos de recuperación la forestación y la reforestación; en ambos casos se prioriza a las áreas de mayor tamaño (>2000 m<sup>2</sup>), las áreas asignadas para la forestación corresponden aquellas que se encuentran totalmente degradadas y reforestación para aquellas zonas con menos degradación.

Se determinaron que se deben forestar alrededor de 152,30 ha y reforestar 9,62 ha, estas áreas fueron verificadas con ayuda del orotofotomosaico y se confirmó que existen áreas muy degradadas por lo cual el porcentaje de forestación es muy alto llegando al 94,06% (Tabla 7 y Figura 19).

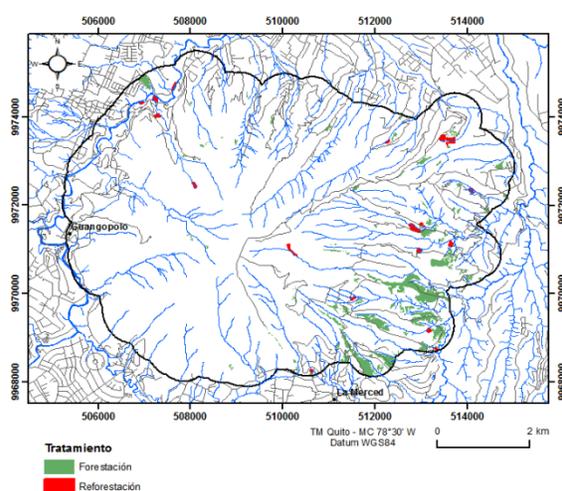
Código	Tratamiento	Área (ha)	%
1	Forestación	152,30	94,06
2	Reforestación	9,62	5,94
	TOTAL	161,92	100,0

**Tabla 7:** Áreas prioritarias para forestación y reforestación en el Ilaló.

**Figura 18:** Zonas erosionadas (Tierras desnudas y degradadas) dentro del área de estudio.



**Figura 19:** Mapa de áreas prioritarias para forestación y reforestación en el Ilaló.



#### 4. AGRADECIMIENTO

Al apoyo brindado a las siguientes instituciones y personas:

- MDMQ- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, representado por la STHYV Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda, y en especial al Sr. Arq. René Vallejo, quien puso a disposición insumos y equipos para realizar este proyecto.
- A mi esposo Santi por todo su apoyo incondicional, y a mis tiernos hijos Ismael y Mikaela, gracias de todo corazón por darme siempre el impulso para seguir adelante, los amo.
- A mi gran hermano y amigo Lenin, que a pesar de la distancia siempre estuvo guiándome.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Manual de Lombricultura. (2012). Recuperado el enero de 2014, de <http://www.manualdelombricultura.com/glosario/pal/192.html>
- FAO. (2012). Los eucaliptos como árboles en plantaciones. Recuperado el 2014, de <http://www.fao.org/docrep/004/ac459s/ac459s04.htm>
- FONAG. (2008). En Recuperación de cubierta vegetal, Fondo para la protección del Agua (págs. 5-9). Quito.
- Hofstede, R. (septiembre de 1997). Recuperado el diciembre de 2013, de <http://www.condesan.org/e-foros/cdpp/cdpp43.htm>
- LaHora. (agosto de 2012). La Hora. Recuperado el 28 de 01 de 2014, de [http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101373973#.UwzPI\\_I5OSo](http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101373973#.UwzPI_I5OSo)
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2008). Inventario de Tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación. Madrid.
- U. Nacional de Colombia. (2012). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el enero de 2014, de [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8\\_2.html](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_2.html)