

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ALMACENAMIENTO DE AGUA Y CUANTIFICACIÓN DE  
CARBONO EN EL ECOSISTEMA PÁRAMO DENTRO DE UN  
ESQUEMA GLOBAL ENVIRONMENT OUTLOOK (GEO), CASO DE  
ESTUDIO: PÁRAMO DE PÍNTAG-CUENCA ALTA DEL RÍO PITA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**AMALIA FRANCISCA ANDRADE VALDOSPINOS**

**ami2087@hotmail.com**

**HÉCTOR JAVIER YÉPEZ ENRÍQUEZ**

**jyyepez@hotmail.com**

**DIRECTOR: Ing. REMIGIO HERNÁN GALÁRRAGA SÁNCHEZ MSc, Ph.D.**

**remigio.galarraga@epn.edu.ec**

**Quito, Abril 2014**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Amalia Francisca Andrade Valdospinos y Héctor Javier Yépez Enríquez, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**AMALIA FRANCISCA  
ANDRADE VALDOSPINOS**

---

**HÉCTOR JAVIER YÉPEZ  
ENRÍQUEZ**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Amalia Francisca Andrade Valdospinos y Héctor Javier Yépez Enríquez, bajo mi supervisión.

---

**Prof. Ing. REMIGIO GALÁRRAGA, MSc, Ph.D.**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Marcia y Francisco por su infinita paciencia, amor y dedicación a todos sus hijos.

A las mujeres que me inspiraron a seguir adelante por su presencia siempre en cualquier circunstancia, por la paciencia, el apoyo, y por su ejemplo de mujeres luchadoras y trabajadoras: mi mami: Marcia, abuelita Fanny, mis ñañas: Mirian, Ceci y Paty. Dios les pague por todo.

A Javier, mi novio, un hombre que me inspira a seguir adelante, quien me brinda siempre todo su apoyo y cariño.

Un agradecimiento especial para una señora muy especial y querida: la Señora Lupita Enríquez, por abrirme las puertas de su casa, por el cariño, la amistad, y por brindarnos siempre todo su apoyo incondicional, y por haber traído al mundo a un hombre tan excepcional, Javier.

A Diana, Betsy, Graciela, Oscar y Edison, por su sincera amistad y ayuda tanto en los buenos como en los malos momentos.

A la Escuela Politécnica Nacional, la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental y los Ingenieros pertenecientes a la facultad por formarnos como seres humanos y profesionales.

En especial a los Ingenieros Remigio Galárraga, Oswaldo Proaño y Ana Lucía Balarezo por el apoyo brindado en el proceso de elaboración de la investigación.

Al Fondo para la Protección del Agua (FONAG) por auspiciar este proyecto de investigación, en especial a Malki Sáenz, los Ingenieros Pablo Lloret, Julio Rosero y Paola Fuentes, a Paty, Galito, Nancy y la Sra. Enmita por el apoyo brindado.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron con la elaboración de este proyecto.

*Amalia Andrade*

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS, muchísimas gracias por haberme dado la fortaleza, la paciencia, la valentía, la sabiduría, la felicidad y el amor para superar todas las adversidades que se han presentado en toda mi vida y en el desarrollo y realización de este trabajo, a la vida por colocarme aquellas adversidades que me han hecho aprender, madurar –aunque sea un poquito- y valorar que las pequeñas cosas de nuestra existencia son las que nos pueden llegar a hacer felices.

A mis padres, Lupita y Miguel, que me han dado su apoyo incondicional para el feliz término de este proyecto, por ser mi guía, mi ejemplo, por todo su amor, sus consejos, a quienes les debo muchísimo, UN DIOS LES PAGUE. A mis hermanos Adrián, Santy y Alex, por su apoyo, su comprensión, muchas gracias por ser mis hermanos.

A Amalia, mi compañera de tesis, mi amiga, mi novia, mi apoyo en todas las etapas buenas y malas de esta travesía que juntos decidimos realizarla, gracias por tu respaldo, por tus consejos, tus palabras, tu amor, MILES DE GRACIAS. Un agradecimiento a toda su familia, especialmente a sus padres, Marcita y Francisco, por abrirme las puertas de su hogar y por su valiosa ayuda en este largo proceso.

A mis amigos Edison, Kléver y Diana, por su amistad incondicional, por su sencillez, por su sinceridad, muchas gracias.

A la Escuela Politécnica Nacional y a la Facultad de ingeniería Civil y Ambiental, en cuyas aulas he vivido muchas experiencias, tanto buenas y malas en mi vida académica, a los todos profesores de la facultad, quienes por su exigencia, paciencia y voluntad para enseñar, les debo los conocimientos necesarios que he adquirido para salir adelante en la nueva vida profesional. A don Víctor y la señora Sonia, por demostrarme su buena predisposición y ayuda desinteresada.

Al doctor Remigio Galárraga, director de la presente tesis de grado y al ingeniero Oswaldo Proaño, un especial agradecimiento por su guía desde el inicio de este trabajo, a la doctora Ana Lucía Balarezo por colaborar como parte integrante del tribunal de defensa de tesis.

Al Fondo para la Protección del Agua (FONAG), a Malki Sáenz, Secretario Técnico actual, Pablo Lloret, ex-Secretario Técnico, y todos los que conforman FONAG por abrirnos las puertas de tan prestigiosa institución. Especial mención merecen Paty Garcés, Julito Rosero, Galo Coral, señora Enmita y Nancy por la amabilidad mostrada en el tiempo que allí permanecí; además una gratitud especial a Paola Fuentes, cuya investigación y su buena voluntad a colaborar fue un gran aporte para el desarrollo de esta tesis.

A todos quienes de una u otra forma han ayudado en el desarrollo de este trabajo y han colaborado con un granito de arena para la culminación del mismo, reciban un muy sincero y sentido agradecimiento.

*Javier Yépez*

## DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado a Dios, que nos permite estar en este mundo para cumplir con nuestros objetivos, a mis padres: Marcia y Francisco, a quienes les debo todo lo que he logrado en la vida, a dos angelitos que nos cuidan desde el cielo, mis abuelitos: Fanny y Cesar que guían siempre mis pasos, mis hermanos: Gaby, Belén, Emilio y Miguel, a quienes les deseo toda la felicidad del mundo, a mis ñañas: Mirian, Cecilia y Paty que siempre han estado y están mi lado cuidándome, a un pequeño ser que llevo a darnos felicidad, paz y mucha ternura: mi sobrino Martín.

A una persona muy especial, que ha sido mi soporte durante todo el proceso de elaboración de este proyecto y sin el cual no se hubiese culminado, mi compañero de vida, mi mejor amigo, mi novio: Javier. Gracias por estar siempre a mi lado.

A mis amigas, que más que amigas, hermanas: Mary, Nathy, y Adry que a pesar de la distancia y las dificultades siempre he contado con su incondicional amistad y apoyo para seguir adelante.

*Amalia Andrade*

## DEDICATORIA

Al padre de todos, Dios nuestro señor, por la vida, por mis queridos padres, por mi familia, por mi amada Amalia, mis amigos, por todo lo bello que me has dado en mi corto existir.

A mis amados padres, quienes con su buen ejemplo, sus muchos consejos y las interminables horas de paciencia, me han formado para ser quien soy.

A Amalia, quien me ha mostrado con todo su amor, la capacidad inagotable y sublime de ser mujer, delicada pero a la vez fuerte, tímida pero valerosa, emotiva pero decidida, en fin, por esas cualidades que te hacen única e invaluable.

*Javier Yépez*



## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
DEDICATORIA.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
CONTENIDO.....	IX
LISTA DE CUADROS .....	XIII
LISTA DE FIGURAS .....	XVII
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS.....	XXII
RESUMEN .....	XXIV
ABSTRACT .....	XXVI
PRESENTACIÓN .....	XXVIII
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1.2 JUSTIFICACIÓN .....	5
1.2 ANTECEDENTES.....	9
1.3 OBJETIVOS.....	12
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTO TEÓRICO .....	13
2.1 METODOLOGÍA EAI-GEO.....	13
2.1.1 OBJETIVO EAI - GEO.....	13
2.1.2 MARCO ANALITICO DEL PROCESO EAI-GEO .....	13
2.1.2.1 Fuerzas Motrices (Factores de inducción indirecta) .....	15
2.1.2.2 Presiones (Factores de inducción directa) .....	15
2.1.2.3 Estado .....	16
2.1.2.4 Paso 1: ¿qué le está pasando al ambiente y por qué? .....	16
2.1.3 INDICADORES BASICOS GEO.....	21
2.2 EL ECOSISTEMA PÁRAMO .....	25
2.2.1 IMPORTANCIA .....	25
2.2.2 CARACTERISTICAS ECOSISTEMICAS .....	25

2.2.2.1	Clima .....	26
2.2.2.2	Vegetación .....	27
2.2.2.3	Geomorfología.....	28
2.2.2.4	Suelos .....	29
2.2.3	DINÁMICA DEL AGUA EN EL SUELO .....	32
2.2.3.1	Contenido de humedad del suelo.....	32
2.2.3.1.1	Reflectometría de dominio temporal (TDR) .....	34
2.2.3.2	Propiedades que influyen en las características hidrodinámicas del suelo .....	35
2.2.3.2.1	Textura.....	35
2.2.3.2.2	Estructura .....	36
2.2.3.2.3	Densidad real y aparente .....	37
2.2.3.2.4	Conductividad hidráulica.....	38
2.2.3.2.5	Compactación .....	39
2.2.3.2.6	Porosidad.....	40
2.2.3.2.7	Materia Orgánica .....	40
2.2.3.3	Efectos de la cobertura vegetal en el suelo.....	42
2.2.4	CLASIFICACION DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS PÁRAMOS DEL ECUADOR.....	43
2.2.5	SERVICIOS AMBIENTALES DEL PÁRAMO .....	48
2.2.5.1	Regulación hídrica.....	49
2.2.5.2	Provisión de agua dulce .....	51
2.2.5.3	Secuestro de carbono .....	52
2.2.5.3.1	Estimación de biomasa y carbono mediante el método directo ...	56
2.2.6	EXPLOTACIÓN DEL PÁRAMO Y SUS EFECTOS.....	58
CAPÍTULO 3 DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....		59
3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	59
3.1.1	OROGRAFÍA.....	61
3.2	CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES .....	62
3.3	SUELO.....	64
3.4	COBERTURAS VEGETALES Y USO DE SUELO.....	64
3.4.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO .....	66
3.4.2	ÁREA A: COBERTURA PLANTACIÓN CON ESPECIES NATIVAS-PAJONAL .....	67
3.4.3	ÁREA B: COBERTURA PASTOS .....	69
3.5	PROPIEDADES HIDRODINÁMICAS DEL SUELO .....	70
3.5.1	HUMEDAD DEL SUELO .....	71
3.5.2	TEXTURA.....	71
3.5.3	DENSIDAD APARENTE.....	72
3.5.4	POROSIDAD .....	72
3.5.5	MATERIA ORGÁNICA .....	73

3.6 CARACTERIZACION SOCIO ECONÓMICA.....	73
3.6.1 DEMOGRAFÍA .....	73
3.6.2 ASPECTOS ECONÓMICOS .....	74
3.6.3 ASPECTOS SOCIALES .....	75
 CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE INDICADORES ECOSISTÉMICOS DE FUERZAS MOTRICES, PRESIONES Y ESTADO .....	 77
4.1 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICAS E INDICADORES .....	77
4.1.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PROBLEMÁTICAS.....	80
4.1.2 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE INDICADORES .....	82
4.2 FUERZAS MOTRICES .....	86
4.2.1 DENSIDAD DE POBLACIÓN ANUAL (D) Y TASA PROMEDIO DE CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO ANUAL (r).....	87
4.2.2 DEMANDA DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS (De) .....	90
4.2.3 ANALFABETISMO (ANALF) Y TASA NETA DE ESCOLARIZACIÓN (TNE).....	92
4.2.4 PORCENTAJE DE POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA (PEA) POR RAMA DE ACTIVIDAD.....	95
4.3 PRESIONES.....	96
4.3.1 OFERTA AGROPECUARIA .....	99
4.3.2 AVANCE DE LA FRONTERA AGROPECUARIA .....	100
4.3.3 CARGA ANIMAL (CA).....	101
4.4 ESTADO .....	104
4.4.1 RELACIÓN PRECIPITACIÓN – HUMEDAD DEL SUELO .....	105
4.4.1.1 Tabulación de datos .....	107
4.4.1.2 Análisis precipitación - humedad del suelo.....	108
4.4.2 CAPACIDAD DE SECUESTRO DE CARBONO EN LA CAPA VEGETAL Y EL SUELO .....	110
4.4.2.1 Selección de especies vegetales, diseño muestral y numero de individuos a muestrear. ....	111
4.4.2.2 Tabulación y procesamiento de datos para carbono en la capa vegetal.....	115
4.4.2.3 Carbono almacenado en los suelos .....	118
 CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	 120
5.1 FUERZAS MOTRICES .....	120
5.1.1 DENSIDAD DE POBLACIÓN ANUAL (D) Y TASA PROMEDIO DE CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO ANUAL (r).....	120
5.1.2 DEMANDA DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS (De) .....	126
5.1.3 ANALFABETISMO (ANALF) Y TASA NETA DE ESCOLARIZACIÓN (TNE).....	129

5.1.4 PORCENTAJE DE POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA (PEA) POR RAMA DE ACTIVIDAD.....	132
5.2 PRESIONES.....	136
5.2.1 OFERTA AGROPECUARIA.....	136
5.2.2 AVANCE DE LA FRONTERA AGROPECUARIA.....	141
5.2.3 CARGA ANIMAL (CA).....	146
5.3 ESTADO.....	149
5.3.1 RELACIÓN PRECIPITACIÓN – HUMEDAD DEL SUELO.....	149
5.3.1.1 Análisis de Precipitación.....	149
5.3.1.2 Análisis de la Humedad del suelo.....	154
5.3.1.3 Análisis del incremento de humedad en el suelo.....	155
5.3.1.4 Análisis de la pérdida de humedad en el suelo.....	161
5.3.2 CAPACIDAD DE SECUESTRO DE CARBONO EN LA CAPA VEGETAL Y EL SUELO.....	166
5.3.2.1 Determinación de biomasa, carbono y CO <sub>2</sub> en la capa vegetal.....	166
5.3.2.2 Carbono almacenado en los suelos.....	171
5.3.2.3 Carbono total almacenado en las áreas A y B.....	173
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	175
6.1 CONCLUSIONES.....	175
6.2 RECOMENDACIONES.....	179
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	182
ANEXOS.....	200
ANEXO NO 1 CALIBRACION DE SENSORES DE HUMEDAD TDR PARA SUELOS DE LA COBERTURA VEGETAL PASTOS.....	201
ANEXO NO 2 MAPAS.....	213
ANEXO NO 3 COBERTURAS VEGETALES Y USOS DE SUELO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.....	222
ANEXO NO 4 MODELO DE ENTREVISTA REALIZADA A LOS PROPIETARIOS DE LAS HACIENDAS MIRANDA Y PAZMIÑO.....	226
ANEXO NO 5 CUADROS Y GRAFICAS ADICIONALES – FUERZAS MOTRICES, PRESIONES Y ESTADO.....	230

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1	Ejemplos de problemáticas de Fuerzas Motrices, Presiones, Estado y sus alternativas de solución de los informes GEO Loja (2007) y Quito (2010) .....	18
Cuadro 2.2	Problemáticas de Fuerzas Motrices, Presiones, Estado y alternativas de solución del informes EAI-GEO ECUADOR 2008 .....	19
Cuadro 2.3	Matriz de indicadores básicos GEO .....	22
Cuadro 2.4	Ejemplos de aplicación de la metodología EAI-GEO en las zonas de Argentina, Cuba y Venezuela .....	23
Cuadro 2.5	Unidades fisiográficas de los páramos del Ecuador .....	44
Cuadro 2.6	Sistemas ecológicos de los páramos del Ecuador .....	46
Cuadro 3.1	Ubicación geográfica y codificación de las áreas de estudio .....	61
Cuadro 3.2	Coberturas vegetales y uso de suelo en la parroquia Píntag .....	66
Cuadro 3.3	Características de las áreas de estudio .....	67
Cuadro 4.1	Matriz de criterios del manual EAI-GEO del PNUMA para la selección de problemáticas en este estudio .....	81
Cuadro 4.2	Matriz de criterios para la selección de indicadores en este estudio .....	84
Cuadro 4.3	Consumo per cápita nacional anual de leche, papa y cebada, años 1999-2007 .....	91
Cuadro 4.4	Profundidades de colocación de los TDRs y su respectiva simbología .....	106
Cuadro 4.5	Cálculo de tamaño de muestra y error de estimación para <i>Gynoxys halli</i> de 6 años .....	113
Cuadro 4.6	Número de individuos a muestrear por área de estudio .....	114
Cuadro 4.7	Componentes aéreo y subterráneo de los especímenes vegetales .....	115
Cuadro 5.1	Información demográfica detallada (Población, Densidad Poblacional y Tasa de crecimiento demográfico) de Píntag y sus zonas de influencia .....	121
Cuadro 5.2	Consumo per cápita nacional de los principales productos que se dan en Píntag .....	126
Cuadro 5.3	Demanda en el DMQ de los principales productos que se dan en Píntag .....	127
Cuadro 5.4	Tasa de Analfabetismo en Píntag, el DMQ y nivel Nacional .....	130
Cuadro 5.5	Tasa de escolarización en Píntag y el DMQ .....	131
Cuadro 5.6	Porcentaje del PEA según ramas de actividad en Píntag y DMQ rural y urbano .....	134
Cuadro 5.7	Oferta de productos en la Hacienda Pazmiño .....	136

Cuadro 5.8	Oferta de productos en la Hacienda Miranda.....	136
Cuadro 5.9	Variación del uso de suelo de las haciendas Pazmiño y Miranda (ha y %).....	141
Cuadro 5.10	Variación del porcentaje de uso de suelo en Píntag .....	143
Cuadro 5.11	Unidades de ganado, Área destinada a ganadería y Carga Animal en la hacienda Pazmiño .....	146
Cuadro 5.12	Precipitación total mensual (períodos seco y lluvioso) de las Áreas A y B .....	151
Cuadro 5.13	Determinación del Incremento de humedad (mm) y Precipitación que ingreso en el suelo (%) en las áreas de estudio.....	156
Cuadro 5.14	Determinación del porcentaje de Pérdida de humedad (en mm y %) del Área A .....	161
Cuadro 5.15	Determinación del porcentaje de pérdida de humedad (en mm y %) del Área B .....	162
Cuadro 5.16	Determinación de biomasa, carbono, CO <sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente aéreo de la especie <i>Gynoxys halli</i> .....	168
Cuadro 5.17	Estimación de biomasa, carbono y CO <sub>2</sub> de los estratos vegetales analizados, por individuo y hectárea.....	169
Cuadro 5.18	Materia orgánica y carbono obtenido en las áreas A y B .....	171
Cuadro 5.19	Carbono almacenado (T/ha) en los suelos de las áreas A y B hasta los 30 cm. de profundidad .....	172
Cuadro 5.20	Carbono almacenado (T/ha) en las áreas A y B considerando el estrato vegetal y el suelo.....	173
Cuadro 5.21	Comparación de ecosistemas de páramo y selva tropical en términos de la cantidad de carbono acumulada en los componentes suelo y vegetación .....	174
Cuadro 8.1	Resultados de las ecuaciones de calibración de los sensores.....	210
Cuadro 8.2	Superficies de ocupación de las diferentes categorías, clases y subclases del mapa de cobertura vegetal del DMQ.....	223
Cuadro 8.3	Sistemas ecológicos del DMQ .....	225
Cuadro 8.4	Demanda nacional de los principales productos que se dan en Píntag.....	231
Cuadro 8.5	Demanda en Sangolquí de los principales productos que se dan en Píntag.....	232
Cuadro 8.6	Demanda local de los principales productos que se dan en Píntag.....	233
Cuadro 8.7	Demanda nacional de Productos Forestales.....	234
Cuadro 8.8	Origen de la energía y proteínas por nivel de ingreso en el Ecuador en comparación con otros países .....	234
Cuadro 8.9	Tasa de Escolarización nacional rural y urbano .....	234
Cuadro 8.10	Tasa de Escolarización en DMQ rural y urbano .....	235

Cuadro 8.11	Porcentaje de población económicamente activa según ramas de actividad en DMQ.....	236
Cuadro 8.12	Población económicamente activa según ramas de actividad en Píntag y DMQ rural y urbano.....	237
Cuadro 8.13	Producción nacional de los principales productos que se dan en Píntag.....	238
Cuadro 8.14	Volumen de madera autorizada y Superficie de Aprovechamiento Forestal a nivel nacional y de Pichincha.....	238
Cuadro 8.15	Oferta nacional per cápita de alimentos .....	239
Cuadro 8.16	Uso de Suelo en el Ecuador (ha) .....	239
Cuadro 8.17	Uso de Suelo en el Ecuador (%) .....	240
Cuadro 8.18	Cabezas de ganado existentes en Ecuador, región Sierra y Pichincha.....	241
Cuadro 8.19	Área destinada a ganadería (ha) y unidades de ganado (miles de unidades) en la provincia de Pichincha .....	242
Cuadro 8.20	Propiedades hidrofísicas del suelo de las áreas A y B para los tres horizontes.....	243
Cuadro 8.21	Cálculo de tamaño de muestra y error de estimación para: a) Calamagrostis Intermedia y b)Pastos.....	243
Cuadro 8.22	Valores de precipitación y humedad volumétrica en el Área A (Plantación con especies nativas - pajonal) .....	244
Cuadro 8.23	Valores de precipitación y humedad volumétrica en el Área B (Pastos).....	245
Cuadro 8.24	Datos de peso verde, peso seco y humedad en los componentes aéreo y subterráneo de la especie <i>Gynoxys halli</i> en el área A.....	245
Cuadro 8.25	Datos de peso verde, peso seco y humedad en los componentes aéreo y subterráneo de la especie <i>Calamagrostis Intermedia</i> en el área A .....	246
Cuadro 8.26	Datos de peso verde, peso seco y humedad en los componentes aéreo y subterráneo de la cubierta vegetal pastos en el área B.....	246
Cuadro 8.27	Determinación de biomasa, carbono, CO <sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente subterráneo de la especie <i>Gynoxys halli</i> .....	247
Cuadro 8.28	Determinación de biomasa, carbono, CO <sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente aéreo de la especie <i>Calamagrostis Intermedia</i> .....	247
Cuadro 8.29	Determinación de biomasa, carbono, CO <sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente subterráneo de la especie <i>Calamagrostis Intermedia</i> .....	248
Cuadro 8.30	Determinación de biomasa, carbono, CO <sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente aéreo de la cobertura pasto .....	248

Cuadro 8.31 Determinación de biomasa, carbono, CO <sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente subterráneo de la cobertura pasto .....	249
--	-----



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Marco Analítico simplificado para la EAI dentro de un esquema GEO.....	14
Figura 2.2	Áreas Temáticas para los Indicadores Básicos GEO .....	21
Figura 2.3	Tipos de páramo en el Ecuador.....	27
Figura 2.4	Tipos de suelo en los páramos del Ecuador .....	30
Figura 2.5	Reflectómetro que mide el contenido de agua.....	34
Figura 2.6	Triángulo textural según clasificación del USDA.....	36
Figura 2.7	Conductividad hidráulica de acuerdo al estado de conservación del páramo, según Carúa y otros (2008) .....	39
Figura 2.8	Mapa de unidades fisiográficas de los páramos del Ecuador .....	45
Figura 2.9	Mapa de sistemas ecológicos de los páramos del Ecuador .....	47
Figura 2.10	Categorías de servicios ecosistémicos que ofrece el páramo, según el marco conceptual de la EM .....	48
Figura 2.11	Componentes de un espécimen vegetal .....	56
Figura 2.12	Desarrollo del método directo .....	57
Figura 3.1	Mapa de los límites de la zona de estudio en la parroquia Píntag y ubicación de las áreas de estudio .....	60
Figura 3.2	Ubicación de las áreas de estudio dentro de la Microcuenca Cariacu .....	62
Figura 3.3	Precipitación media anual (mm), periodo 1990 - 2009.....	63
Figura 3.4	Vista panorámica del Área A.....	68
Figura 3.5	Especies: a) <i>Calamagrostis Intermedia</i> y b) <i>Gynoxys Halli</i> .....	68
Figura 3.6	Vista panorámica del área B .....	69
Figura 3.7	a) Cobertura vegetal pastos, especies: b) <i>Achicoria amarga</i> , c) <i>Azorella trifurcata</i> , d) <i>Holcus lanatus</i> , e) <i>Holcus lanatus</i> distribuido en el área de estudio .....	70
Figura 4.1	Marco Analítico EAI-GEO .....	78
Figura 4.2	Elementos del marco analítico EAI-GEO analizados en este estudio .....	78
Figura 4.3	Ámbito de estudio de los elementos FM-P-E .....	79
Figura 4.4	Problemáticas definidas para la zona de estudio.....	82
Figura 4.5	Problemáticas e indicadores de Fuerzas motrices, Presiones y Estado de la zona de estudio.....	85
Figura 4.6	Indicadores de Fuerzas motrices de la parroquia de Píntag y sus zonas de influencia .....	86
Figura 4.7	Población total y tasa de crecimiento en el Ecuador.....	88
Figura 4.8	Demanda de productos agrícolas en el Ecuador periodo 2010-2012.....	91
Figura 4.9	Tasa de analfabetismo en el Ecuador período 2003-2012 .....	93

Figura 4.10 Porcentaje de nivel de instrucción educativa en el sector agropecuario del Ecuador en el 2001 .....	94
Figura 4.11 PEA por rama de actividad en el Ecuador, años 1990-2001-2010 ....	96
Figura 4.12 Indicadores de Presión en la zona de estudio .....	97
Figura 4.13 Oferta de productos agrícolas en el Ecuador periodo 2010-2012.....	99
Figura 4.14 Cabezas de ganado bovino existentes en el Ecuador años 2004-2011 .....	103
Figura 4.15 Indicadores de Estado actual de las áreas A y B.....	104
Figura 4.16 Estaciones meteorológicas: a) Miranda-Plantación especies nativas y b) Pazmiño-Pastos.....	106
Figura 4.17 Equipo de medición: a) Pluviógrafo y b) TDRs dispuestos en el perfil del suelo a 30, 60 y 90cm .....	107
Figura 4.18 Distribución muestral a) aleatoria y b) sistemática.....	112
Figura 4.19 Código de identificación de los individuos .....	114
Figura 4.20 Cuadrante aplicado para el muestreo de la especie <i>Calamagrostis Intermedia</i> .....	115
Figura 4.21 Muestras vegetales diseccionadas a) para ser introducidas en la estufa para ser sometidas al proceso de secado y b) pesadas en una balanza de precisión .....	116
Figura 4.22 Proceso de barrenación para extracción del suelo y pesaje de 1kg .....	118
Figura 5.1 Comparación entre Población y Densidad Poblacional de Píntag y zonas de influencia .....	122
Figura 5.2 Comparación entre Población y Tasa de Crecimiento de Píntag y zonas de influencia .....	123
Figura 5.3 Distribución Poblacional de Píntag y sus zonas de influencia, años 1974 y 2001 .....	124
Figura 5.4 Mapa de densidad poblacional en el DMQ y Píntag, años 2001 y 2010 .....	125
Figura 5.5 Demanda de productos para el DMQ (miles de t/año).....	128
Figura 5.6 Comparación de la Tasa de Analfabetismo en Píntag y zonas urbanas y rurales del DMQ .....	130
Figura 5.7 Tasa de crecimiento poblacional en Píntag y DMQ (rural-urbano) en relación con el analfabetismo .....	131
Figura 5.8 Comparación de la Tasa de Escolarización en Píntag y el DMQ.....	132
Figura 5.9 Porcentaje de Población Económicamente Activa según ramas de actividad en Píntag Año 2010 .....	133
Figura 5.10 Porcentaje del PEA según ramas de actividad años 1990-2001-2010. a) Píntag, b) DMQ rural, c) DMQ urbano .....	135
Figura 5.11 Variación de la oferta de productos: a) Hacienda Pazmiño, b) Hacienda Miranda.....	138
Figura 5.12 Tendencias en la producción nacional de varios productos agropecuarios .....	139

Figura 5.13 Variación de la oferta nacional per cápita de productos agropecuarios .....	140
Figura 5.14 Variación del porcentaje de Uso de suelo: a) Hacienda Pazmiño, b) Hacienda Miranda.....	142
Figura 5.15 Variación de superficie (ha) de Uso de suelo: a) Hacienda Pazmiño, b) Hacienda Miranda.....	143
Figura 5.16 Variación del porcentaje de Uso de suelo en Píntag: a) 1990, b) 2000, c) 2008 .....	144
Figura 5.17 Mapa de uso de suelo de Píntag, años 1990-2000-2008 .....	145
Figura 5.18 Incremento del número de unidades de ganado en la hacienda Pazmiño .....	146
Figura 5.19 Área destinada a ganadería (ha) y unidades de ganado (UA) en la hacienda Pazmiño.....	147
Figura 5.20 Variación de la carga animal en la hacienda Pazmiño.....	147
Figura 5.21 Variación de la carga animal periodo 2004-2012: a) Nacional y b)Pichincha .....	148
Figura 5.22 Comparación gráfica de los valores de precipitación de las estaciones de las áreas A y B con los de la estación IASA .....	150
Figura 5.23 Comparación de la Precipitación (mm) registrada por los pluviógrafos en las áreas A y B.....	153
Figura 5.24 Variación de la Humedad Volumétrica promedio (%) de los suelos de las áreas A y B.....	154
Figura 5.25 Precipitación e Incremento de Humedad (mm) de los horizontes S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> y S <sub>3</sub> por períodos (seco -lluvioso) en el área A y B .....	157
Figura 5.26 Perfil radicular de la vegetación existente en las áreas A y B.....	158
Figura 5.27 Comparación del Incremento de Humedad (mm) entre los horizontes S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> y S <sub>3</sub> de los suelos de las Áreas A y B .....	160
Figura 5.28 Incremento y Pérdida de Humedad (mm) de los horizontes S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> y S <sub>3</sub> por períodos (seco -lluvioso) en las áreas A y B.....	163
Figura 5.29 Comparación de la Pérdida de Humedad (mm) entre los horizontes S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> y S <sub>3</sub> de los suelos de las áreas A y B.....	165
Figura 5.30 Contenido de humedad en las especies vegetales analizadas.....	166
Figura 5.31 Biomasa almacenada en las especies <i>Gynoxys halli</i> , <i>Calamagrostis intermedia</i> y cobertura pastos: a) por individuo (kg/ind), y b) por hectárea (T/ha) .....	167
Figura 5.32 Estimación de biomasa, carbono y CO <sub>2</sub> de los estratos vegetales analizados: a) por individuo y, b) por hectárea .....	170
Figura 5.33 Carbono almacenado (T/ha) en las áreas A y B considerando el estrato vegetal y el suelo .....	173
Figura 6.1 Esquema final Fuerzas Motrices – Presiones – Estado en los páramos de Píntag.....	178
Figura 8.1 Extracción del a) datalogger, panel solar y b) Sensores de Humedad o TDRs .....	204

Figura 8.2	Extracción de muestras en campo y traslado al laboratorio para realizar la calibración .....	204
Figura 8.3	Vista de: a) cilindros, b) extracción de submuestras de suelo, c) secado de submuestras, y d) pesaje de submuestra seca. ....	206
Figura 8.4	Distribución de los datos de humedad volumétrica calculada y lectura de sensores de los diferentes horizontes .....	208
Figura 8.5	Curvas de calibración para los diferentes horizontes.....	209
Figura 8.6	Comparación de datos entre humedad real y humedad de los sensores en función de la señal de los TDRs .....	210
Figura 8.7	Mapa de Isotermas de la Parroquia de Píntag.....	214
Figura 8.8	Mapa de Isoyetas de la Parroquia de Píntag .....	215
Figura 8.9	Mapa Taxonómico de Píntag .....	216
Figura 8.10	Mapa de Pendientes de Píntag.....	217
Figura 8.11	Mapa de Textura del suelo de Píntag .....	218
Figura 8.12	Mapa de Conflicto de uso de suelo de Píntag.....	219
Figura 8.13	Mapa de Aptitudes agrícolas de Píntag .....	220
Figura 8.14	Mapa de Distribución Poblacional de Píntag y sus zonas de influencia, años: 1982 y 1990 .....	221
Figura 8.15	Demanda en Miles de T/año a nivel Nacional.....	231
Figura 8.16	Demanda en miles de T/año de Sangolquí.....	232
Figura 8.17	Demanda en miles de T/año de Píntag.....	233
Figura 8.18	Comparación de la tasa de escolarización nacional rural y urbano.....	235
Figura 8.19	Comparación de la tasa de escolarización en el DMQ rural y urbano.....	236
Figura 8.20	Porcentaje de población económicamente activa según ramas de actividad en DMQ .....	236
Figura 8.21	Población económicamente activa según ramas de actividad años 1990, 2001 y 2010 en a)DMQ rural y b) DMQ urbano .....	237
Figura 8.22	Población económicamente activa según ramas de actividad años 1990, 2001 y 2010 en Píntag .....	238
Figura 8.23	Volumen de madera autorizada y Superficie de Aprovechamiento Forestal a) Nacional y de b) Pichincha.....	239
Figura 8.24	Variación del porcentaje de uso de suelo en el Ecuador .....	240
Figura 8.25	Variación del porcentaje de uso de suelo en el Ecuador : a) Sector Ganadero, b) Sector agrícola, c) Páramos y Bosques, d) Otros usos.....	240
Figura 8.26	Variación del porcentaje de uso de suelo en el año 2012: a) Nacional, b) Pichincha .....	241
Figura 8.27	Cabezas de ganado (en miles) existentes en a) Ecuador, b) región Sierra y c) Pichincha .....	242
Figura 8.28	Área destinada a ganadería (ha) y unidades de ganado (miles de unidades) en la provincia de Pichincha.....	243

Figura 8.29 Informe de laboratorio de carbono en suelos del área A. ....	250
Figura 8.30 Informe de laboratorio de materia orgánica y carbono en suelos del área B.....	251

## SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAESPA	Centro de Análisis estratégico para la Agricultura
CH	Contenido de Humedad
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CYTED	Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
EAI	Evaluación Ambiental Integral
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FMPEIR	Fuerzas motrices, presiones, estado, impacto y respuesta
FONAG	Fondo para la Protección del Agua
GADPP	Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia de Píntag
GEI	Gases de efecto invernadero
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GEO	Global Environment Outlook
Hv	Humedad volumétrica
Hg	Humedad gravimétrica
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
LABFIGEMPA	Laboratorio de la Facultad de Geología, Minas, Petróleos y Ambiental
MAE	Ministerio del Ambiente

MAGAP	Ministerio de Agricultura, ganadería, acuacultura y pesca
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MO	Materia Orgánica
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PEA	Población económicamente activa
PK	Protocolo de Kioto
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PPA	Programa Páramo Andino
PROFAFOR	Programa Face de Forestación para el Ecuador
RED	Mecanismo de reducción de emisiones producto de la deforestación y la degradación ambiental
RELASE	Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador
SIGAGRO	Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria
SIISE	Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador
SNI	Sistema Nacional de Información
TDR	Time Domain Reflectometry

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en una zona de páramo de la parroquia de Píntag ubicada en el cantón Quito, provincia de Pichincha, la cual se desarrolló con el apoyo del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), con la colaboración de la Unidad de Ciencias del Agua del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la EPN y el Fondo para la Protección del Agua (FONAG), proporcionando información que determine el nivel de degradación del ecosistema páramo de la zona en estudio.

El propósito consistió en el análisis de indicadores de los componentes fuerzas motrices, presiones y estado, dentro de la metodología GEO para el ecosistema páramo, mediante la determinación de la capacidad de secuestro de carbono en el suelo y la capa vegetal en dos áreas de estudio A y B, con cobertura plantación con especies nativas-pajonal y pastos respectivamente; además del análisis y cuantificación de la retención hídrica de sus suelos a partir de la relación precipitación-humedad del suelo, como indicadores de estado.

Este estudio se sustentó en la metodología mencionada anteriormente, mediante la identificación de las problemáticas asociadas a las zonas de estudio, lo cual permitió definir los indicadores de fuerzas motrices para la parroquia de Píntag, el DMQ, y Sangolquí, de presión para las haciendas Miranda y Pazmiño, y de estado de conservación para las áreas A y B, ubicadas en estas haciendas, respectivamente.

Por la importancia de conservación del recurso hídrico, así como también de los ecosistemas que lo almacenan, es decir los páramos, persiste el interés general en promover investigaciones que permitan determinar su estado de conservación, por lo que se justifica el desarrollo de este estudio por cuanto posee relevancia científica, ya que en el país no existe una investigación que involucre el potencial de captura de carbono en el páramo y la retención de agua en los suelos de estos ecosistemas, que se enmarquen dentro del esquema Fuerzas motrices, Presiones y Estado.



La información obtenida permitió determinar que las zonas pobladas de Píntag, así como la ciudad de Sangolquí y el DMQ son los sectores que en su mayoría, demandan de los recursos provenientes de Píntag. En lo referente a fuerzas motrices la población del DMQ, que es la más extensa, creció alrededor de un 21% entre el 2001 y el 2010, lo cual generó un incremento en la demanda de los principales productos provenientes de Píntag por un valor de 16% para el mismo periodo. Esto promovió el aumento de áreas destinadas a producción agropecuaria en las haciendas de estudio, con prioridad al sector ganadero, con un aumento de 4 al 12% en la hacienda Pazmiño (desde el inicio de sus actividades, período 1977-2012), y del 52 al 74% en la hacienda Miranda (período 2006-2012), así como en la producción lechera, por ejemplo, que aumentó aproximadamente el triple de su producción en las dos haciendas en los años 2006-2012.

Esto se ha visto reflejado en las condiciones de almacenamiento de agua y secuestro de carbono en las áreas de estudio, donde el área A captó el 17% de la precipitación a una profundidad de 30 cm en el periodo seco (mayo-agosto 2011) en comparación al área B que registró apenas 10%. Mientras que el potencial de fijación de carbono del suelo y capa vegetal muestra que al área A capta 179,6 T/ha en comparación al área B que registró 114,9 T/ha., concluyéndose que el deterioro o alteración de la cobertura vegetal de los páramos, producto de las actividades antrópicas que allí se realizan, influyen negativamente, tanto en la capacidad de retención de agua en el suelo, como en el potencial de secuestro de carbono en los componentes suelo y vegetación.

## ABSTRACT

This research was carried out in an area of the Pintag paramo located in Quito canton, Pichincha province, with the support of the Ibero-American Programme For Science, Technology And Development (CYTED Program), with the collaboration of the Water Science Unit of the Department of Civil and Environmental Engineering of the EPN and the Fund for the Protection of Water (FONAG), providing information that determines the degradation level of the paramo ecosystem study area.

The purpose consisted in the analysis of indicators of the components driving forces, pressures and state, within the GEO methodology for the paramo ecosystem, through the determination of carbon sequestration capacity in soil and vegetation in two areas of study, A and B, with coverage plantation with native species-pajonal and pastures respectively; In addition to the analysis and quantification of water retention of soils from the relationship precipitation – soil moisture, as state indicators. This study was based on the methodology mentioned above, through the identification of the problems associated with the areas of study, allowing you to define the indicators of driving forces for Píntag parish, the DMQ, and Sangolquí, pressure indicators for Miranda and Pazmiño ranches, and state indicators of conservation for areas A and B.

Because of the importance of conservation of water resources, as well as the ecosystems that store it, the Moors, persists the general interest in promoting research that allow to determine its conservation state, so that the development of this study is justified inasmuch as it has scientific significance, since in the country there isn't an investigation involving the carbon sequestration potential in the moor and the retention of water in soils of these ecosystems, which are framed within the driving forces, pressures and state scheme.

The information obtained allowed to determine that populated areas of Píntag, as well as the town of Sangolquí and the Quito Metropolitan District (DMQ) are the sectors that most demanding of resources coming from Pintag. In relation to

driving forces population of the DMQ, which is the largest, grew up around a 21% between 2001 and 2010, which generated an increase in the demand for the major products from Píntag amounting to 16% for the same period. This promoted the increase of areas destined to agricultural production in the ranches of study, with priority to the livestock sector, with an increase of 4 to 12% at the Pazmiño ranch (since the beginning of its activities, 1977-2012 period), and 52 to 74% at the Miranda ranch (period 2006-2012), as well as in milk production, for example, which increased approximately three times its production in two ranches in the years 2006-2012.

This has been reflected in the conditions of storage of water and carbon sequestration in the study areas, where the area A captured 17% of the precipitation at a depth of 30 cm in the dry season (May-August 2011) in comparison to area B, which accounted for just 10%. While the potential of carbon from the soil and topsoil fixation showed that the area A captures 179,6 T/has in comparison to area B which recorded 114,9 T/ha, concluding that the deterioration or alteration of the moor vegetation, product of human activities occurring there, influence negatively, both in the soil water holding capacity, as the potential for carbon sequestration in the components in soil and vegetation.

## PRESENTACIÓN

El ecosistema predominante en la zona de estudio es el páramo, el cual cumple importantes funciones como la de proveer de agua dulce a grandes poblaciones y permitir la regulación de la hidrología regional.

Estos ecosistemas son muy frágiles ante presiones causadas por actividades antrópicas (principal factor de degradación de páramos), como el cambio en el uso del suelo, realizado con el fin de extraer recursos para satisfacer las crecientes necesidades y estilo de vida moderno, denominado comúnmente “desarrollo”. Este afán por buscar el desarrollo, en muchos casos exagerado, de las ciudades ha desencadenado problemas como erosión, deslizamientos de tierra, escasez de agua y degradación del régimen hidrológico.

Es así que este estudio analiza los posibles causales de degradación del ecosistema paramo, además de las presiones actuales que se están ejerciendo en la actualidad sobre este ecosistema, que derivan en la situación de estado actual tomando en cuenta la relación precipitación-humedad del suelo y el potencial de secuestro de carbono de la capa vegetal y suelo de páramo de Píntag.

El presente proyecto de titulación, como estudio piloto del análisis de la relación sociedad-economía-ambiente, es una premisa para otros que se puedan ejecutar en el futuro. Su aplicación está dada en que, mediante el apoyo y cooperación mutua entre instituciones de estado, privadas y ciudadanía en general, se implementen más proyectos e investigaciones que permitan una mayor concientización del impacto de la actividad del hombre en la naturaleza, y que éstas desemboquen en múltiples acciones (políticas y sociales) coordinadas de protección de los páramos y por ende, del recurso hídrico.

Este estudio está estructurado en 6 capítulos detallados a continuación:

**Capítulo 1. Introducción, antecedentes y objetivos:** en el cual se detalla el planteamiento del problema, la justificación, los antecedentes y objetivos, general y específicos para esta investigación.

**Capítulo 2. Fundamento teórico:** en este capítulo se consideran la metodología EAI-GEO, el objetivo de su aplicación, el marco analítico (Fuerzas Motrices, Presiones y Estado) y los indicadores básicos EAI-GEO; así como el análisis del ecosistema páramo, su importancia, características, clasificación de la cobertura vegetal en los páramos del Ecuador y los servicios ambientales que este ofrece.

**Capítulo 3. Definición y caracterización de la zona de estudio:** se presentan aspectos generales de la zona de estudio, desde los puntos de vista ambiental, físico y socioeconómico que influyen en el estado de conservación de la misma.

**Capítulo 4. Metodología para la determinación de indicadores ecosistémicos de fuerzas motrices, presiones y estado:** se detalla la metodología empleada durante todo el proceso de desarrollo de la investigación, identificando las problemáticas relacionadas a la zona de estudio y definiendo los indicadores de fuerzas motrices, presiones y estado del ecosistema páramo.

**Capítulo 5. Resultados y discusión:** en este capítulo se presentan los resultados de los indicadores determinados en el capítulo 4, obtenidos en base a la metodología GEO, de los elementos, Fuerzas Motrices, Presiones y Estado.

**Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones:** se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó después de la elaboración del presente estudio.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

#### **1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La zona de estudio se ubica en la provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia Píntag, localizada al Sur Oriente del Distrito Metropolitano de Quito, con altitudes que varían de norte a sur desde los 2700 msnm hasta los 4800 msnm (Orozco y Granja, 2006).

El ecosistema predominante en la zona de estudio es el páramo, el cual es fundamental para proveer de agua dulce a grandes poblaciones y permite la regulación de la hidrología regional (Tobón, 2009; Tobón y Arroyave, 2007; Buytaert y otros, 2006; Brujinzeel, 2001; Hofstede, 1999; Veneklaas y otros, 1990; Dohrenwend, 1979). La importancia de los ecosistemas de páramo en la provisión de agua radica en que son grandes áreas alimentadas continuamente por lluvias constantes a lo largo del año y deshielos glaciares (Vega y Martínez, 2000). Sin embargo, la limitada oferta de agua en calidad y cantidad se enfrenta a una demanda cada vez más grande del recurso hídrico; por lo que la preocupación por el páramo como ecosistema que almacena y regula los flujos de agua será creciente (Vega y Martínez, 2000).

La intervención antrópica es el principal factor de degradación del páramo, donde el cambio en el uso del suelo como una de las principales actividades antrópicas, puede desencadenar en problemas como erosión, deslizamientos de tierra, escasez de agua y modificación del régimen hidrológico (Tobón, 2009), además de generar cambios profundos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Se pueden definir tres tipos mayores de causas para la modificación del régimen hidrológico de las zonas de páramo: fuego, sobrepastoreo y cultivos; aunque hay

otros factores (introducción de especies exóticas, construcción de carreteras, y canales de riego) que si bien son localizados, producen efectos importantes, como el incremento de la erosión natural del suelo, el escurrimiento del agua lluvia y el deterioro de la función del páramo como regulador del flujo de agua, así como su capacidad de retención hídrica (Podwojewski y Poulénard, 2000).

La capacidad de retención hídrica de los páramos de Píntag se está viendo amenazada por la destrucción de bosques naturales, la ampliación de la frontera agrícola y el sobre pastoreo de ganado, pues, son la agricultura y ganadería las principales actividades antrópicas que se desarrollan en esta zona. (Beltrán, 2007).

Otra de las principales actividades antrópicas que afectan a estos ecosistemas, es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (gases que se encuentran presentes en la atmósfera terrestre y que dan lugar al fenómeno denominado efecto invernadero), producido por toda clase de industrias, por la deforestación, utilización de combustibles fósiles (Hofstede, 1999), entre otras causas. En el Ecuador, las emisiones de los tres GEI directos (dióxido de carbono  $\text{CO}_2$ , metano  $\text{CH}_4$  y óxido nitroso  $\text{N}_2\text{O}$ ) pasaron de 265139,7 kT en el año 1990, a 410010,75 kT en el año 2006; es decir, significó un aumento del 54,6% en 16 años (GEF/PNUD/MAE, 2011).

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el principal gas de efecto invernadero (Aguirre y Aguirre, 2004), dado que, sus altas y crecientes concentraciones causan un calentamiento general del planeta, lo que está provocando un cambio climático con graves efectos (Hofstede, 1999), que a su vez representa un verdadero problema global. Como consecuencia de la elevación en la temperatura del planeta, el ciclo hidrológico se está desestabilizando, lo que conduce a una mayor variabilidad en la precipitación, en los caudales de los ríos y a una mayor intensidad de eventos hidrológicos extremos (Tobón, 2009). Una de las formas de mitigar el calentamiento global es mediante la restauración de ecosistemas degradados, que propicien la captura y secuestro de carbono.

La captura de  $\text{CO}_2$  es una propuesta técnica para retirar dióxido de carbono de la atmósfera, a través de la restauración de ecosistemas degradados, como los

páramos. Las plantas, a través de procesos de fotosíntesis y respiración, toman el dióxido de carbono de la atmósfera, lo convierten en biomasa y liberan oxígeno. Si se restaura y conserva el páramo, la cantidad de carbono acumulada se mantiene, caso contrario existe liberación de CO<sub>2</sub>; por lo que se hace fundamental promover la conservación de este ecosistema (Hofstede, 1999).

Ante la problemática citada, a nivel nacional, se han ejecutado proyectos de interés científico como la restauración de ecosistemas alto andinos, considerada una medida de mitigación al cambio climático (Hofstede, 1999). Este es el caso del programa de Recuperación de la Cobertura Vegetal, llevado a cabo en la cuenca alta del río Guayllabamba por el Fondo para la Protección del Agua (FONAG), donde se han venido implementando técnicas de restauración para preservar la calidad de los recursos naturales y especialmente del hídrico (FONAG, 2012).

Además de ayudar en la reducción de los GEI, mediante el secuestro de dióxido de carbono, el ecosistema páramo incide directamente en la protección y mejoramiento del ambiente, ofreciendo otros servicios ambientales como: el mantenimiento de caudales en época seca, captación, infiltración y provisión de agua de calidad y en cantidad suficiente, mantenimiento de biodiversidad (albergue de una gran variedad de especies de fauna y flora), y además, proporciona belleza escénica natural para fines de recreación y turísticos, etc. (Quintero, 2010). Por lo tanto, es esencial conservar y proteger al ecosistema páramo, y si este ya se encuentra degradado, emplear medidas para mitigar los daños provocados en ellos. Pero, como primer paso para la implementación de medidas, se debe conocer el grado de degradación que tiene el ecosistema, por lo que se hace imprescindible la definición de indicadores que permitan cuantificar, clarificar y definir su estado de conservación (Mondragón, 2002).

El presente trabajo se enfoca en evaluar las condiciones ambientales de los ecosistemas páramo de la zona de Píntag, en función de una serie de indicadores que proporcionen una referencia científica para los tomadores de decisiones dentro de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), y que asegure el apoyo a políticas coherentes, con un enfoque participativo de las diferentes



organizaciones, personas naturales y jurídicas cuyo interés sea el agua y sus diferentes usos y beneficios. De esta forma se busca administrar en forma eficiente el recurso hídrico y así garantizar su uso sostenible a largo plazo para las generaciones futuras (CAP-NET, 2008).

Previo a la determinación de los indicadores se analizaron las problemáticas referentes a presiones y fuerzas motrices a los que el ecosistema páramo se ha visto sujeto en los últimos años; esto como un paso preliminar en la realización de una Evaluación Ambiental Integral (EAI), con el fin de garantizar la objetividad de las evaluaciones de los ecosistemas, realizar estudios comparativos y evaluar la efectividad de medidas que se pueden implementar en el futuro. Por lo tanto, este proyecto se constituye en una fase inicial dentro de una EAI donde se responde a las preguntas de ¿Qué está pasando con el ecosistema?, y por qué, tomando como base la esencia del enfoque GEO.

El origen del enfoque de EAI-GEO se desarrolló a partir del principio de causalidad, donde se analiza el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER). A medida que el GEO fue evolucionando pasando por varios cambios, se desarrolló el modelo Presión-Estado-Impacto-Respuesta (PEIR), como evolución del PER. Después, se tiene el modelo PEIR-Proceso Nacional, el mismo que cambió a: PEIR-Escenarios, y finalmente hasta tener un modelo: Fuerzas Motrices- Presión-Estado- Impacto- Respuesta- Escenarios- Interrelaciones- Bienestar Humano (FMPEIR) (PNUMA e IIDS, 2009). El presente trabajo se limita a determinar indicadores de fuerzas motrices, las presiones y el estado de la zona de estudio.

Adicionalmente, este trabajo de investigación cuenta con la colaboración de la Unidad de Ciencias del Agua del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y del Fondo para la Protección del Agua (FONAG), mediante un convenio interinstitucional, firmado en el año 2011. Además, forma parte del proyecto: *“Desarrollo de metodologías, indicadores ambientales y programas para la evaluación ambiental integral y la restauración de ecosistemas degradados”*, dentro del Área Temática 4: *“Desarrollo Sostenible, Cambio Global y Ecosistemas”*, en la Línea de Investigación 4.1 - Restauración de ecosistemas en Iberoamérica, que se viene desarrollando con el apoyo

económico parcial del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), desde su aprobación en el año 2011, el cual tiene como objetivos, proponer herramientas metodológicas novedosas, experiencias innovadoras de gestión ambiental y conocimientos científicos relevantes para la evaluación integral, además de diseñar un sistema de monitoreo basado en el empleo de indicadores de Fuerzas motrices, presiones, estado, impacto y respuesta. Este programa cuenta con grupos de representantes de las unidades de investigación en: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, Guatemala, Panamá, Portugal, Uruguay y Venezuela.

### **1.1.2 JUSTIFICACIÓN**

En la Constitución de 1998, el agua era considerada como un bien nacional de uso público, sin embargo, la opción de modelo económico imperante en ese entonces (social de mercado) como la supremacía del mercado y el interés individual, en la práctica lo que hicieron fue erosionar esta condición de bien nacional. Es así como en la nueva Constitución del 2008, el agua y su gestión se enmarcan dentro del nuevo modelo de desarrollo y de economía, esta vez una economía social y solidaria. La Constitución del 2008, es una de las pocas del mundo que establece que el agua es un derecho humano fundamental e irrenunciable; incluye una definición novedosa y visionaria al declararla como un patrimonio nacional estratégico de uso público (García, 2010).

Adicionalmente, en veintiún artículos de la Constitución se menciona explícitamente el tema del agua y en más de cincuenta se mencionan aspectos relacionados con ella (García, 2010). Específicamente, en dos artículos en especial (406: el estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable de ecosistemas frágiles; y 411: el estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos), se habla de la importancia de la conservación de cuencas y ecosistemas importantes para el ciclo del agua, como los bosques y páramos. Esto es fundamental para recuperar ecosistemas degradados por el avance incontenible de la frontera agrícola (García, 2010).

El páramo, aunque es una zona bastante remota y con relativamente poca actividad humana, proporciona una importante función socio-económica como

principal fuente de agua para abastecimiento humano y otros usos (hidroelectricidad, riego, uso industrial, etc.) (Buytaert y otros, 2007), y un gran proveedor de servicios ambientales.

Es conocido que los suelos del páramo poseen una estructura porosa que facilita la infiltración y una extraordinaria capacidad de retener agua (Quintero, 2010), que los hace muy importantes en el rendimiento hídrico caudal/precipitación total. Según Tobón (2009) y Arroyave (2007), los ecosistemas páramo presentan un valor promedio aproximado de rendimiento hídrico del 63%, superando los valores de los bosques secos y húmedos tropicales, que de acuerdo a Martínez y otros (2005) alcanzan valores de 19% y 42%, respectivamente.

De lo anteriormente expresado, se puede notar la importancia de la conservación del recurso hídrico, así como también de los ecosistemas que lo almacenan, es decir los páramos. Los efectos de actividades tanto antrópicas como naturales se hacen sentir en estos ecosistemas; y en la medida en que se produzcan cambios globales se provocarán alteraciones en el ciclo del agua (Tobón, 2009; Grubb y otros, 1996), sobre todo en los bosques de alta montaña que constituyen ecosistemas sensibles que pueden ser afectados seriamente (Tobón, 2009; Brujinzeel, 2006; Christopher y otros, 1999; Hamilton y otros, 1994).

La principal amenaza al páramo es el sobrepastoreo, que viene acompañado de la quema (práctica que se realiza para la regeneración de la vegetación que alimenta el ganado). Según Díaz y Paz (2002), estas actividades producen una fuerte reducción en la conductividad hidráulica del suelo, registrando valores entre 1,5 y 1,78 cm/h, en comparación a los valores entre 6,1 y 7,33 cm/h en páramos en buen estado de conservación. Esto genera cambios en el suelo y la vegetación que pueden afectar la regulación hidrológica de las cuencas (Echavarría, 1999).

Un manejo inadecuado del páramo ha ocasionado que se deje la tierra expuesta al aire, debido a cambios en el uso del suelo o la erosión, lo que ha generado una desecación del suelo superficial, dando lugar a la oxidación de la materia orgánica y una consecuente emisión de carbono a la atmósfera (Hofstede, 1999). Afortunadamente existen alternativas que permiten tener un ecosistema páramo saludable, entre las que se tienen:

- El mecanismo de la reducción de emisiones producto de la deforestación y la degradación ambiental (REDD), que incluye actividades que disminuyen el incremento de carbono en la atmósfera; mediante el aumento de reservas de carbono, que genere el secuestro o extracción de CO<sub>2</sub> de la atmósfera (REDD+) (Parker y otros, 2009).
- El programa Socio Bosque en el Ecuador (que es una implementación práctica de algunos principios del mecanismo REDD), el cual se enmarca dentro de la Estrategia de Gobernanza Forestal que impulsa el Ministerio del Ambiente (MAE) en ámbito de incentivos por conservación, contando con actividades como, la reforestación, mitigación al cambio climático, entre otras, con el fin de recuperar y mantener los ecosistemas vivos y la vegetación en el Ecuador. Cabe mencionar que, en junio de 2009, el MAE estableció el Capítulo Páramo del Programa Socio Bosque, con el objetivo de conservar los remanentes de bosques, páramos y vegetación nativa (CI - Ecuador, 2012).
- Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), definido como uno de los mecanismos de flexibilidad acordados dentro del Protocolo de Kioto (PK), firmado en 1997 (Salinas y otros, 2008), los cuales tienen como principio: permitir a los países industrializados reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> (CDM Watch, 2010). Los proyectos forestales, como parte de los MDL, tienen impactos positivos como: conservación de suelos, restablecimiento de conectividad entre zonas boscosas, creación de zonas de amortiguamiento, establecimiento y diversificación de hábitat forestales en el paisaje, reducción de presión sobre el bosque natural por la provisión de servicios forestales, etc. (Salinas y Hernández, 2008).

El ecosistema páramo, si se incluye al suelo, puede almacenar más carbono que la selva tropical. En este último, el suelo casi no contiene materia orgánica (carbono), y el suelo orgánico no es más profundo que 10 cm, por lo que el contenido de carbono es máximo 5%. Así, se obtiene una cantidad de carbono en el suelo de 50 toneladas por hectárea (Hofstede, 1999). Por otro lado, en el páramo, los suelos típicamente son muy negros y húmedos, y al estar formados

por cenizas volcánicas recientes, la descomposición de materia orgánica es muy lenta. Por esto existe una gran cantidad de carbono almacenado en una capa gruesa de suelo de hasta 2 metros de profundidad, como es el caso de los páramos de El Ángel. Si se considera este caso extremo, donde estos 2 metros tienen una concentración de 17% de carbono en el suelo, se puede calcular que en estos suelos se almacenan 1700 toneladas de carbono por hectárea (Hofstede, 1999).

En el Ecuador, proyectos como El Programa Face de Forestación para el Ecuador (PROFAFOR) (Jara y Martínez, 1999), han tenido como primordial objetivo fijar CO<sub>2</sub> mediante plantaciones forestales, optando por la plantación de especies exóticas como pino, eucalipto, etc. Sin embargo, estas especies no son elementos de los Andes por naturaleza, de tal forma que existe preocupación de que por su crecimiento rápido, estas especies necesitan mucha agua y por esto el suelo pierda humedad; desapareciendo la materia orgánica en su superficie. Así, se está fijando carbono encima del suelo, por los árboles, pero perdiendo carbono en el suelo (Hofstede y Aguirre, 1999). Más aún, en estudios de zonas de páramo reforestadas con pino en el Ecuador, se ha encontrado una tendencia general de suelos más secos, menos orgánicos y más ácidos y con una vegetación más pobre en el páramo natural circundante (Hofstede y Aguirre, 1999).

En el país no existe una investigación que involucre el potencial de captura de carbono en el páramo y la retención de agua en los suelos de estos ecosistemas, que se enmarquen dentro del esquema Fuerzas motrices, Presiones y Estado, basados en la metodología GEO.

Por lo expuesto anteriormente, y ya que los páramos de Píntag son una zona de interés para Quito, por su biodiversidad, sus servicios ambientales y porque parte del agua que consume esta ciudad proviene de estos páramos, se realizó el presente trabajo de investigación en la zona de Píntag, ubicada en el cantón Quito. Además, en este sitio se encuentran dos estaciones pluviográficas, que han permitido un registro continuo de datos. Por otro lado, se tomaron en cuenta estudios realizados aisladamente sobre contenido de carbono en especies vegetales alto andinas e impacto de la cobertura vegetal sobre la disponibilidad

del recurso hídrico, los cuales complementaron esta investigación, que tomó en cuenta el estado actual de dos áreas con diferente cobertura vegetal.

El interés general para la elaboración y ejecución de este proyecto de investigación es complementar la información ya existente sobre el páramo, a fin de contribuir a la protección y conservación de estos ecosistemas y sus unidades hidrográficas, involucrando así a la fijación y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en la cobertura vegetal y el suelo, que conllevaría a una adecuada regulación hidrológica del páramo, asegurando la provisión hídrica y de mejor calidad para los usuarios del Distrito Metropolitano de Quito – DMQ – y sus valles aledaños.

## 1.2 ANTECEDENTES

En la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable del Ecuador, así como, en la Ley de Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad se ha definido al páramo como el *“Ecosistema tropical altoandino que se extiende en los Andes septentrionales, entre el actual o potencial límite superior de bosque andino cerrado y la línea de nieve perpetua, caracterizado por una vegetación dominante no arbórea, alta irradiación ultravioleta, bajas temperaturas y alta humedad”* (Medina y Mena, 2001a).

El páramo, como ecosistema tropical de alta montaña, es una zona de gran importancia para la regulación de la hidrología a nivel regional y constituyen la única fuente de agua para la mayoría de poblaciones ubicadas en las faldas de los Andes (Tobón, 2009). Sin embargo, es necesario aclarar que los páramos no son “fábricas de agua”, como comúnmente se cree, sino que retienen y regulan los volúmenes de precipitación que reciben y que se caracterizan no por ser abundantes sino constantes durante todo el año (Medina, 2000).

La presencia de una capa de vegetación constantemente húmeda influye en la retención de agua durante las épocas secas, lo cual explicaría la menor capacidad de retención de agua en áreas que han sufrido la alteración de estas coberturas vegetales (Medina, 2000).

De acuerdo a un estudio realizado por Fuentes y Tapia (2011) acerca del impacto de la cobertura vegetal sobre la disponibilidad del recurso hídrico en los suelos de un área de páramo, en la zona de Píntag, cuyo análisis se realizó en base a una tendencia de la humedad en el perfil del suelo durante un año, se concluyó que las coberturas vegetales con especies nativas son las que generan más efectos positivos al régimen hidrológico y ecológico.

No obstante, la disminución de la vegetación natural existente en el ecosistema páramo, además de alterar la función reguladora del agua disminuyendo el contenido de humedad, provoca una reducción en la biomasa de la capa vegetal y, por consiguiente, disminuye la cantidad de carbono secuestrado por ésta y por el suelo.

Manteniendo una cobertura vegetal con especies nativas como principal alternativa de restauración, que permita al mismo tiempo mantener las condiciones naturales del suelo como agente de retención de materia orgánica, se podría concluir que el ecosistema páramo es un gran sumidero de carbono y al conservarlo se evita más emisión de este elemento a la atmósfera. Cuando una planta crece, asimila CO<sub>2</sub> y lo convierte en biomasa. Si esta biomasa esta almacenada en una forma más o menos estable, se retira esta cantidad de carbono de la atmósfera durante mucho tiempo (Hofstede, 1999).

Por la importancia que representa el páramo al ofrecer este servicio ambiental, se han propuesto iniciativas novedosas, como el Grupo de Trabajo de Páramos en el Ecuador (Hofstede, 1999) y el Proyecto Páramo Andino (GEF, UNEP y CONDESAN, 2010), entre otras, para el desarrollo de investigaciones que permitan cuantificar la cantidad de carbono que este puede almacenar, según las especies y coberturas vegetales existentes en él.

Un ejemplo de estos estudios de investigación es el desarrollado por Calderón y Lozada (2010), en los páramos del Ecuador, incluida la parroquia de Píntag, donde se cuantificó la cantidad de biomasa y carbono fijado en siete plantaciones forestales y a diferentes edades, a través de modelos alométricos para dos especies diferentes y propias de páramo, *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata*. Con la información obtenida, desarrollaron una ecuación alométrica para cada

especie y pudieron estimar la biomasa total de los individuos, así como también se definieron relaciones biomasa aérea/biomasa subterránea y la cantidad de carbono y CO<sub>2</sub> almacenado.

En la zona de Píntag, desde los tiempos de la colonización española, las actividades agrícolas mantuvieron una gran cantidad de personas devastando bosques nativos con el afán de incorporar grandes campos al cultivo (cebada, trigo, papas, maíz). Paralelamente, el pastoreo intensivo mantuvo grupos de hasta 50000 ovejas y caballos (Beltrán, 2007). Actualmente existen parcelas donde se cultiva una gran variedad de productos: maíz, mellocos, trigo, cebada, frejol, arveja, leguminosas, hortalizas y habas. Esto hace muy notorio que la región de Píntag y sus páramos circundantes sean zonas de alta productividad agrícola y ganadera (Beltrán, 2007).

Dado el uso para la producción agrícola y ganadera que se le ha dado a los páramos de Píntag, no se tiene una total certeza de la magnitud del impacto producido por estas actividades antrópicas, lo que requiere la realización de investigaciones que puedan dar indicios del estado actual en que se encuentran estos ecosistemas.

Por este motivo, y a manera de una experiencia piloto para ser replicada en otras zonas alto andinas, se ha previsto realizar este proyecto de investigación que involucra aspectos relativos a la capacidad de retención de agua relacionados con el potencial de secuestro de carbono en dos áreas de estudio (A) y (B), cuyas coberturas vegetales son Plantación con especies nativas-pajonal y Pastos, respectivamente, pertenecientes a dos haciendas ubicadas en la zona de Píntag, estudio que a su vez incluya indicadores basados en el esquema de la metodología GEO; cuya información contribuya a la ejecución de futuros programas y proyectos de conservación del ecosistema páramo.



## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar la capacidad de secuestro de carbono y retención de agua de los suelos de los páramos, como parte del esquema Global Environment Outlook (GEO), sobre dos tipos de cobertura vegetal en la cuenca alta del río Pita.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i. Definir y desarrollar un análisis comparativo entre los indicadores de los componentes Fuerzas Motrices, Presiones y Estado, de la metodología Global Environment Outlook (GEO) para el ecosistema páramo en la zona de Píntag.
- ii. Analizar y cuantificar la retención hídrica del suelo de dos áreas de estudio A y B, a partir de la relación precipitación – humedad del suelo.
- iii. Determinar la capacidad de secuestro de carbono en el suelo y la capa vegetal en las áreas de estudio A y B, con cobertura: Plantación con especies nativas-pajonal y Pastos, respectivamente.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1 METODOLOGÍA EAI-GEO

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) conduce desde 1995 un proyecto de evaluaciones ambientales integrales denominado GEO (Global Environment Outlook), que significa Perspectivas del Medio Ambiente Mundial por sus siglas en inglés (SADSN, 2013).

La evaluación ambiental integral (EAI) es una forma de analizar y comunicar las interacciones entre el ambiente y la sociedad, desde un punto de vista participativo y estructurado para vincular el conocimiento con la acción (Pinter y otros, 2000). Esta perspectiva de evaluación ambiental integral basado en GEO ha fortalecido la accesibilidad de información y datos ambientales confiables para mejorar la formulación de políticas en diversos niveles (PNUMA e IIDS, 2009).

##### 2.1.1 OBJETIVO EAI - GEO

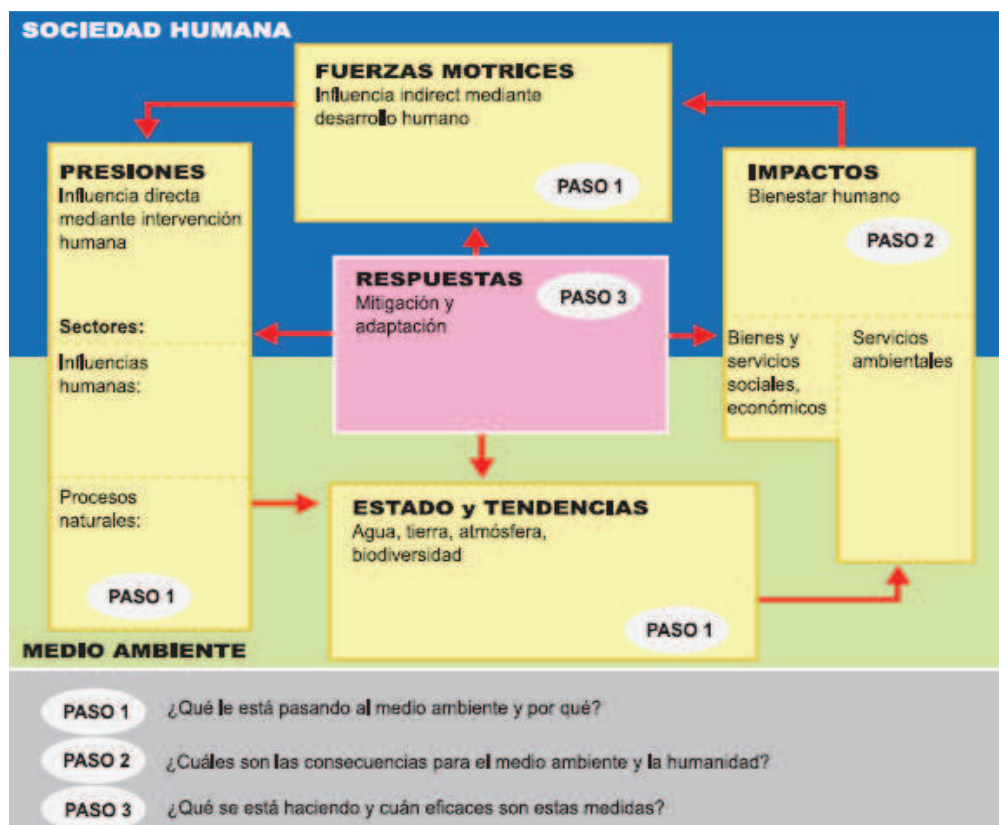
El principal objetivo del proceso GEO es asegurarse de que los problemas ambientales existentes en el mundo reciban la atención pertinente y adecuada de los gobiernos y las partes interesadas. Además, se propone como objetivos, el brindar acceso al mejor conocimiento científico, facilitar la interacción entre la ciencia y la política pública, y desarrollar alianzas geográficas con equidad de género (PNUMA e IIDS, 2009).

##### 2.1.2 MARCO ANALITICO DEL PROCESO EAI-GEO

La metodología EAI-GEO considera cinco elementos básicos: **fuerzas motrices, presiones, estado y tendencias, impactos y respuestas (FMPEIR)**, y reconoce dos esferas clave para el sistema del planeta tierra: la sociedad humana y el medio ambiente (PNUMA e IIDS,2009), mostrados en la Figura 2.1.

Las flechas del diagrama indican relaciones generales de causa-efecto entre los elementos que conforman el marco analítico. Por ejemplo, una fuerza motriz (crecimiento poblacional en una cuenca hidrográfica boscosa) puede producir múltiples presiones ambientales, como la creciente tala y la descarga de aguas residuales en ríos. Del mismo modo, determinada presión puede afectar varios estados del ambiente (por ejemplo, la tala afecta el estado de la cubierta forestal, la calidad del suelo y, en consecuencia, la calidad del agua) (PNUMA e IIDS, 2009).

**Figura 2.1 Marco Analítico simplificado para la EAI dentro de un esquema GEO**



Fuente: (PNUMA e IIDS, 2009).

El análisis del marco analítico EAI-GEO plantea las siguientes preguntas:

- **PASO 1:** ¿Qué está pasando con el ambiente? – ESTADO  
¿Por qué sucede esto? – FUERZA MOTRIZ Y PRESIÓN

- **PASO 2:** ¿Cuáles son las consecuencias para el ambiente y la humanidad? – IMPACTO
- **PASO 3:** ¿Qué se está haciendo y cuan eficaces son estas medidas? – RESPUESTA

La presente investigación se limitó a desarrollar el Paso 1 del marco analítico, esto es **Fuerzas Motrices, Presiones y Estado**. De esta forma, se recopiló y analizó información cuantitativa y cualitativa relacionada con las fuerzas motrices y presiones que han dado lugar al estado actual del ambiente en la zona de estudio.

Para entender y analizar efectivamente las preguntas del Paso 1, es necesario la comprensión y reconocimiento de los términos fuerzas motrices, presiones y estado, como elementos individuales pero muy relacionados entre sí dentro del marco analítico EAI-GEO.

#### **2.1.2.1 Fuerzas Motrices (Factores de inducción indirecta)**

A veces se les llama fuerzas indirectas o subyacentes. Las fuerzas motrices se refieren a procesos fundamentales de la sociedad humana que impulsan actividades con impacto indirecto en el ambiente, se refieren a profundos cambios estructurales, como las tendencias demográficas, patrones de consumo y producción, procesos económicos y sociales, marco institucional y socio político, patrones de distribución de recursos, entre otros, que ejercen una influencia fundamental en las actividades humanas (PNUMA e IIDS, 2009).

#### **2.1.2.2 Presiones (Factores de inducción directa)**

En la terminología FMPEIR, la presión se refiere a las actividades humanas que ejercen una influencia directa en el ambiente (PNUMA y FLACSO – Ecuador, 2011), Las presiones provocan cambios en el estado del ambiente que se suman a aquellos que son consecuencia de procesos naturales (PNUMA e IIDS, 2009).

### 2.1.2.3 Estado

Es la condición y la calidad del ambiente, que podrían ser inducidas por mecanismos naturales o antropogénicos (PNUMA e IIDS, 2009). El estado del ambiente resulta de las presiones del proceso de desarrollo urbano, sobre los recursos y sobre los ecosistemas; de tal modo que su análisis implica la identificación de problemáticas prioritarias del estado del ambiente y el análisis de los cambios en retrospectiva a través del espacio y el tiempo. Estos cambios afectan los servicios ecológicos que el ambiente proporciona a la humanidad (PNUMA y FLACSO – Ecuador 2011).

### 2.1.2.4 Paso 1: ¿qué le está pasando al ambiente y por qué?

Este paso sirve para recabar y analizar información cuantitativa y cualitativa relacionada con el estado del ambiente, cuya respuesta a la pregunta ¿qué le está pasando al ambiente y por qué? puede desarrollarse mediante la consideración de otras preguntas más detalladas a partir del FMPEIR como marco analítico (PNUMA e IIDS, 2009):

- ✓ ¿Cuáles son las problemáticas ambientales prioritarias (por ejemplo, calidad/cantidad de agua, contaminación del aire, biodiversidad)?
- ✓ ¿Cuáles son las preocupaciones concretas vinculadas al ESTADO del ambiente para cada problemática?
- ✓ ¿Qué FUERZAS MOTRICES y PRESIONES están causando el cambio ambiental?
- ✓ ¿Qué INDICADORES son pertinentes y necesarios para caracterizar fuerzas motrices, presiones y estados?

En respuesta a la primera pregunta que se genera del paso 1 (¿Cuáles son las problemáticas ambientales prioritarias?), es fundamental identificar una lista de las principales problemáticas ambientales y después clasificarlas conforme a un número manejable de temas para realizar una EAI. Al mismo tiempo, es necesario priorizar tanto los temas como las problemáticas concretas sobre el estado del

ambiente, ya que la lista derivada de este proceso podría ser demasiado extensa y superar las limitaciones de tiempo, recursos humanos y financieros del propio proceso de elaboración de un informe EAI (PNUMA e IIDS, 2009).

Para identificar y elaborar una lista de las problemáticas más importantes en cualquier análisis del estado y tendencias del ambiente, es posible la aplicación de una combinación de métodos, Algunos de estos métodos pueden ser:

- Lluvias de ideas en un grupo multidisciplinario y en pequeños grupos de trabajo; el intercambio o discusión de ideas entre los participantes casi siempre produce una buena lista. Cuanto más diverso sea el grupo de participantes, más exhaustiva será la lista de problemáticas.
- Consultas con múltiples expertos y actores (grupos aún más pequeños que los anteriores); mediante encuestas o entrevistas vía correo-e, teléfono o correo postal. Revisión de bibliografía pertinente relacionada a determinada problemática del lugar de la investigación.

Conforme se avance en el proceso, es importante dotar a cada problemática ambiental prioritaria de un carácter más específico facilitando la tarea de determinar lo que le está pasando al ambiente y por qué, respondiendo a la segunda pregunta generada del Paso 1 (¿Cuáles son las preocupaciones concretas vinculadas al ESTADO del ambiente para cada problemática?). Para responder la siguiente pregunta: “¿Qué FUERZAS MOTRICES y PRESIONES están causando el cambio ambiental?”, se debe identificar las fuerzas motrices y presiones para contar con un informe integral de las probables causas de los cambios observados en el estado del ambiente, (PNUMA e IIDS, 2009).

El Cuadro 2.1 y Cuadro 2.2 muestra ejemplos de problemáticas de fuerzas motrices, presiones, estado y alternativas de solución tomados de los informes GEO Loja, GEO DMQ y GEO Ecuador:

**Cuadro 2.1 Ejemplos de problemáticas de Fuerzas Motrices, Presiones, Estado y sus alternativas de solución de los informes GEO Loja (2007) y Quito (2010)**

PROBLEMÁTICAS						
UBICACIÓN	FUERZAS MOTRICES	DESCRIPCIÓN	PRESIONES	ESTADO	RESPUESTA / DESCRIPCIÓN	
LOJA	CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO	El crecimiento o decrecimiento demográfico que tendrá Loja en el futuro, va a ser sin duda, uno de los factores más importantes que condicionará el desarrollo de la ciudad.	ACELERADO INCREMENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR	CALIDAD DEL AIRE (CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA)	IMPLEMENTACIÓN DE ORDENANZA MUNICIPAL	Se ha implementado la ordenanza que regula la medición de la opacidad de los gases que emanan de automotores en la ciudad.
	PROCESO DE URBANIZACIÓN (USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO)	Al observar el proceso de crecimiento de la ciudad, se constata que existió un período de incremento muy significativo de la urbanización 1950-1982. En éste, la población urbana prácticamente se triplicó, pasando de representar el 22 % al 59 % de la población cantonal.	OCUPACIÓN DE ÁREAS AGRÍCOLAS PARA PROYECTOS URBANÍSTICOS	DEFICIENCIA EN CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA	PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD	Quando se concluya el Plan Maestro de Agua Potable de la ciudad, entrará en funcionamiento la planta de tratamiento Carigán, con una capacidad inicial de 500 litros por segundo.
QUITO	DEMANDA DE MOVILIDAD PARA UNA MAYOR CANTIDAD DE PERSONAS EN EL DISTRITO	Problemas de movilidad generados por los flujos de personas que diariamente viajan de la periferia a las zonas centrales, a fin de desarrollar diversas actividades laborales, educativas y de servicios.	INCREMENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR	INCREMENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE GEI EN LA ATMÓSFERA Y AUMENTO DE TEMPERATURA	IMPLEMENTACIÓN DE PLANES DE DESARROLLO URBANO	Se espera, a través de este Plan, contar con un ordenamiento territorial que permita un crecimiento ordenado de la ciudad
	DINÁMICA DEMOGRÁFICA	La ciudad de Quito ha tenido un crecimiento demográfico de casi 7 veces entre los años 1950 y 2010, pasando de 319000 a 2231705 habitantes aproximadamente, esto es el 16% de la población nacional	DEMANDA DE RECURSOS RENOVABLES Y NO RENOVABLES	-Producción agrícola para riego poco tecnificada y de baja eficiencia -Uso de agroquímicos, contaminación, afecta calidad del agua y suelos. -Sistema de agua potable saneamiento y deficiente	INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN AMBIENTAL DEL DMQ Y LA GESTIÓN DEL TRANSPORTE ESTRATEGIA QUITENA AL CAMBIO CLIMÁTICO Y ORDENANZA METROPOLITANA No 213	El Capítulo III de la Ordenanza Metropolitana, trata sobre la contaminación vehicular e incluye disposiciones para la revisión técnica vehicular, control de la contaminación dentro de los límites máximos permisibles, el control del ruido, los centros de revisión vehicular. Este capítulo se delega a la CORPAIRE - en proceso de extinción- como entidad ejecutora de las disposiciones.
					CODIGO MUNICIPAL PARA EL DISTRITO DE METROPOLITANO DE QUITO	El Título I, Del Régimen de Suelo, Capítulo I, se refiere a los derechos de los propietarios del suelo urbanizable o de expansión urbana, destacando que: "En las tierras pertenecientes a las comunas y cooperativas agrícolas, definir, limitar y regular los usos de suelo, de mutuo acuerdo entre el Municipio, MAGAP y cabildos comunales, sobre la base de los estudios realizados por la Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda".

Fuente: (PNUMA y GAD-Loja, 2007; PNUMA y FLACSO-Ecuador 2011).

**Cuadro 2.2 Problemáticas de Fuerzas Motrices, Presiones, Estado y alternativas de solución del informe EAI-GEO ECUADOR 2008**

<u>TEMÁTICAS DE LAS PROBLEMÁTICAS GEO</u>	<u>PRESIONES</u>	<u>ESTADO</u>	<u>IMPACTOS</u>	<u>RESPUESTAS</u>
<u>AIRE</u>	-Crecimiento Demográfico -Aumento del número de vehículos -Mala calidad de combustible -Dependencia de electricidad termoeléctrica -Falta de planificación territorial	-Sector transporte es la mayor fuente de contaminación atmosférica	-Efectos de la contaminación atmosférica en la salud.	-Desarrollo e implementación de una normativa para la gestión de calidad del aire. -Fortalecimiento del rol de instituciones nacionales.
<u>AGUA</u>	-Producción agrícola -Infraestructura para riego poco tecnificada y de baja eficiencia -Uso de agroquímicos, contaminación, afecta calidad del agua y suelos. -Sistema de saneamiento y de agua potable deficiente.	-Distribución de recursos hídricos desigual -Escasez en la vertiente del pacífico	-Enfermedades * Respiratorias * Gastrointestinales * Dérmicas	-El consejo nacional de Recursos Hídricos ejerce funciones específicas y otras compartidas con las corporaciones regionales de desarrollo.
<u>SUELOS</u>	PRESIONES NATURALES: -Calentamiento Global que intensifica los procesos erosivos del suelo.  PRESIONES ANTRÓPICAS: -Ampliación de la frontera agrícola	-Problemas de desertificación -Suelos vulnerables a la erosión, debido a pendientes fuertes en la región andina. -Degradación potencial.	-Sobre uso de los suelos aptos para actividades agrícolas -Reducción de superficie de páramos y afectación al recurso hídrico -Cambio de uso de suelo. -Desgaste en fertilidad de suelos -Fragmentación de parcelas por presión demográfica -Impactos a la salud (exposición a agentes tóxicos)	-Reforma agraria de 1960-1970. -Moratoria para controlar la extracción de la madera, en 2007. -Iniciativas no gubernamentales (CAMAREN) para incidir sobre las políticas de ocupación de los suelos.
<u>BIODIVERSIDAD</u>	-Deforestación	-Desastres naturales múltiples * Inundaciones * Sequías * Terremotos * Sismos * Marejadas * Tormentas * Heladas * Erupciones volcánicas	-Fragmentación de ecosistemas. -Declinación de abundancia de especies silvestres. -Los principales impactos de los desastres naturales son: *Cambios paisajísticos, alteraciones a los ciclos hídricos y dinámicas de evolución de los suelos. *En la salud: enfermedades en general. *Pérdidas de viviendas e infraestructuras, producción y desplazamiento de poblaciones.	-Creación del Sistema Nacional de áreas protegidas. -Creación de la estrategia nacional de biodiversidad. -Sistema nacional de Planificación. -Secretaría técnica de gestión de Riesgos -Redes de monitoreo de riesgos: volcánica, sismógrafos y estaciones hidrometeorológicas.

Fuente: (FLACSO-Ecuador, PNUMA, MAE, BID, ECORAE y PMRC, 2008).



Una vez identificadas las fuerzas motrices, las presiones y los estados ambientales para cada problemática, se requiere de un procesamiento adicional de información a manera de indicadores tanto cuantitativos como cualitativos en referencia el desarrollo de la pregunta ¿Qué INDICADORES son pertinentes y necesarios para caracterizar fuerzas motrices, presiones y estados?

Un indicador es un valor observado representativo de un fenómeno. Los indicadores señalan, brindan información y describen el estado del ambiente con relevancia superior a lo directamente asociado a la mera observación. Los indicadores sirven para ilustrar y corroborar el contenido de una investigación científica. La elección de indicadores determina los tipos de datos necesarios que servirán para llevar a cabo una EAI, pues ayudará a estructurar y orientar la recolección de datos (PNUMA e IIDS, 2009).

Existen dos tipos de datos: cuantitativos y cualitativos. Los datos cuantitativos son datos presentados numéricamente en cuadros, gráficas y mapas, los cuales sirven como base fundamental de la evaluación ambiental y consecuente toma de decisiones, ya que estos aportan la “materia prima” para el desarrollo de indicadores. En cuanto a los datos cualitativos, éstos se refieren a información de tipo social y basada en la experiencia, que si bien pueden transformarse en datos cuantitativos y analizarse científicamente, su recolección suele implicar métodos cualitativos como observaciones de campo, entrevistas, relatos escritos y orales. Posteriormente, al conjugarse los diferentes tipos de datos e información pueden ofrecer un campo visual más amplio que el que aporta cada uno de éstos por sí solo (PNUMA e IIDS, 2009).

Al elegir un indicador es necesario contar con conocimientos básicos acerca de la recolección de datos, es decir, saber seleccionar los tipos y las fuentes de datos más pertinentes y confiables, y poder recolectar, almacenar y analizar los datos. Al igual que la identificación y selección de problemáticas clave, el proceso de obtener y analizar datos, y desarrollar indicadores significa tomar decisiones acerca de qué incluir y qué medir (PNUMA e IIDS, 2009).

### 2.1.3 INDICADORES BASICOS GEO

Una vez identificados los indicadores, es posible dividirlos en conjuntos de indicadores básicos e indicadores secundarios. A veces se agrupa a los indicadores básicos por temas o parámetros para facilitar la comprensión de situaciones complejas (PNUMA e IIDS, 2009) (Ver Figura 2.2).

**Figura 2.2 Áreas Temáticas para los Indicadores Básicos GEO**



Fuente: (PNUMA e IIDS, 2009).

El conjunto de indicadores básicos GEO se basa en una serie de áreas temáticas que reflejan cuestiones y tendencias mundiales respecto a determinadas problemáticas ambientales. El Cuadro 2.3 describe algunos ejemplos de temas generales y sus problemáticas, además de aportar información detallada acerca de los indicadores de tendencia. Estos indicadores se desprenden del Manual de Capacitación para Evaluaciones Ambientales Integrales y elaboración de informes, en el Modulo 4 y el resto en el Apéndice A de dicho Manual (PNUMA e IIDS, 2009).

Cabe mencionar que, si bien la metodología EAI-GEO se concentra en la evaluación del estado ambiental en escala nacional, regional y global, ésta es aplicable a escala local (PNUMA e IIDS, 2009), por lo que es válida su aplicación para el presente estudio realizado en la de zona de Píntag.

**Cuadro 2.3 Matriz de indicadores básicos GEO.**

TEMA	PROBLEMÁTICA	POSIBLES VARIABLES DE DATOS	Propuesta de indicadores clave y tendencia
<b>Tierra</b>	Desertificación	* Área afectada por la desertificación (000 y %) de tierras de secano, tierras de riesgo, zonas boscosas y forestales. * Niveles de ganado por km <sup>2</sup> en tierras áridas.	* Total de tierra afectada por la desertificación. * Población que vive por debajo de la línea de pobreza en zonas de referencia.
<b>Bosques</b>	Degradación de la calidad de los bosques	* Parte de bosques alterados deteriorados en el total del área forestal	* Parte de bosques afectados
<b>Biodiversidad</b>	Pérdida de especies	* No. De especies conocidas (cifra) y especies amenazadas (%) de plantas, mamíferos, aves, anfibios, reptiles y peces de agua dulce.	* Número de especies amenazadas, animales y vegetales.
<b>Agua dulce</b>	Recursos de agua dulce	* Recursos hídricos internos renovables anuales. * Flujo fluvial anual de y hacia otros países, por cuenca. * Uso anual de agua dulce por sector (doméstico, industrial, agrícola, siguiendo la clasificación ISIC). * Recarga anual de agua subterránea. * Extracción anual de agua subterránea por sector.	* Recursos hídricos internos renovables anuales per cápita. * Consumo anual de agua dulce per cápita. * Población bajo tensión hídrica.
	Calidad del agua	* pH en ríos, concentraciones de oxígeno (DO, DOB, coliformes, particulados, TSS, TSD), nitratos (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , NP), fósforo (PO <sub>4</sub> ), metales (MP), pesticidas. * Biodiversidad piscícola (reservas, número de especies). * pH en agua subterránea, concentraciones de nitratos, TSD (salinidad), hierro, cloruros, sulfatos. * Tratamiento de aguas residuales: % servidas, gasto público.	* Nivel de DOB en los ríos más importantes. * Nivel de nitratos en los ríos más importantes. * Conteo de coliformes por 100 ml. Concentraciones de pesticidas en los ríos más importantes.
<b>Atmósfera</b>	Cambio climático	* Repliegue de glaciares. * Cambio anual en temperatura, precipitación * Oferta de combustibles fósiles (% e intensidad) * Gastos para mitigar y controlar la contaminación atmosférica.	* Media de incremento anual en la temperatura mundial. * % de consumo de combustibles fósiles. * Índice de suministro de energías renovables.

Fuente: (PNUMA e IIDS, 2009).

Los ejemplos a mostrarse en el Cuadro 2.4 descrito a continuación, muestran la aplicación de los pasos del marco analítico EAI-GEO, aplicados en diversas localidades de Latinoamérica (Argentina, Cuba y Venezuela), tomados de la publicación “Experiencias en la Aplicación del enfoque GEO en la Evaluación de Ecosistemas Degradados de Iberoamérica” presentado en el año 2011, los cual brindarán una mejor comprensión de la aplicación de la metodología EAI-GEO.

Cuadro 2.4 Ejemplos de aplicación de la metodología EAI-GEO en zonas de Argentina, Cuba y Venezuela

UBICACIÓN	AUTORES	NOMBRE DEL PROYECTO	INDICADORES				RESPUESTA
			FUERZAS MOTRICES	PRESIONES	ESTADO		
ARGENTINA	Alejandra Volpedo y Alicia Fernández	APLICACIÓN DEL MODELO GEO (FMPEIR) A LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS PAMPEANOS	Asociadas al aumento de población a nivel mundial	Avance de la frontera agropecuaria (ha/año)  Aumento de población sin acceso a la red de saneamiento pública  Elevadas concentraciones de As y F (ug/L)	Relación molar N/P Presencia de compuestos orgánicos y metales en concentraciones mayores a los niveles guía de protección a la biota acuática sugeridos por las autoridades nacionales competentes  Relación molar N/P (determina el estado trófico del cuerpo de agua)  Presencia de As y F (ug/L) en concentraciones mayores a los niveles guía de protección a la biota acuática sugeridos por las autoridades nacionales competentes y entidades internacionales (OMS)	Conservación del pastizal nativo en las áreas perimetrales de las lagunas pampásicas.  Aplicación de manuales de buenas prácticas agropecuarias.  Manejo de efluentes, manejo de alimento y de fármacos de uso veterinario en los sistemas de cría intensiva.  Control riguroso del cumplimiento de la normativa respecto a la aplicación de agroquímicos según el tipo de cultivo.	
CUBA	Lucas Fernández, Miriam Labrada, Grisel Barranco, Oblivry, Ada Roque, Hilda Alfonso, Liz Marrero y Laura Azor.	RESULTADOS PRELIMINARES DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL INTEGRAL DE LOS PRINCIPALES HUMEDALES DE CUBA	Demanda de agua y alimentos, productos madereros e ingresos en divisa por turismo	Disminución de los aportes de agua al humedal  Caudal y concentración de aguas contaminadas con N, F, agroquímicos que llega al humedal desde zonas agrícolas  Cambios de uso Abundancia de cada especie invasora	Déficit Hídrico  Densidad de plantas acuáticas por ha.  Cambio de cobertura vegetal Número de especies con comportamiento de invasoras	La estrategia Ambiental Municipal proyecta alcanzar un estadio superior en la protección del medio ambiente y uso racional de los recursos naturales , haciendo un uso eficaz de los recursos financieros y materiales de que dispone el territorio, en aras de alcanzar las metas de un desarrollo económico y social sostenible.	

Cuadro 2.4 CONTINUACIÓN

UBICACIÓN	AUTORES	NOMBRE DEL PROYECTO	INDICADORES			
			FUERZAS MOTRICES	PRESIONES	ESTADO	RESPUESTA
VENEZUELA	Giuseppe Colonnello y Oscar Lasso-Alcalá	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO	<p>Necesidad de generar recursos económicos para el desarrollo nacional</p> <p>Carencia de ordenamiento territorial o su puesta en práctica</p> <p>Extensos latifundios. Carencia de Legislación ambiental para áreas no protegidas</p> <p>Incremento de la población</p> <p>Demanda de nuevas tierras de cultivo</p>	<p>Deforestaciones e incendios forestales</p> <p>Actividades de la industria petrolera en áreas interiores y lacustres</p> <p>Dragados, canalizaciones y embalses</p> <p>Malas prácticas agrícolas</p> <p>Uso indiscriminado de biocidas y fertilizantes</p> <p>Incremento poblacional e inadecuada disposición de desechos sólidos y líquidos</p>	<p>Cuerpos de agua eutrofizados (contaminación por desechos sólidos y líquidos, fertilizantes y biocidas)</p> <p>Pesquerías artesanales menguadas</p> <p>Baja biodiversidad en áreas extensas muy intervenidas, para uso agropecuario e industrias extractivas</p> <p>Alta diversidad en áreas restringidas y endemismos</p> <p>Alta fragmentación de ecosistemas y especies amenazadas</p> <p>Amenaza a refugios de fauna y flora</p> <p>Alto potencial ecoturístico</p>	<p>Implementar educación ambiental</p> <p>Formación guardabosques voluntarios</p> <p>Reforestaciones de especies nativas</p> <p>Reforzar la legislación ambiental para áreas no protegidas.</p> <p>Elaboración de SIG's de guardería ambiental</p> <p>Incremento de vigilancia y penalización</p> <p>Intensificar la investigación y monitoreo</p>

Fuente: (Vanina y otros, 2011).

## **2.2 EL ECOSISTEMA PÁRAMO**

El páramo es un ecosistema de alta montaña situado sobre la línea de bosques andinos hasta donde la vegetación existe por debajo las nieves eternas, caracterizados por su elevado nivel de endemismo. Este ecosistema tropical de clima generalmente frío y húmedo se encuentra comúnmente entre los 3200 y 4200 msnm (Beltrán y otros, 2009; Mena y otros, 2001). En el Ecuador este ecosistema tropical se encuentra comúnmente a una altitud promedio de 3300 msnm, valor que varía debido a condiciones geológicas, climáticas y antrópicas, haciendo que lleguen a encontrarse incluso desde los 2800 msnm, principalmente al sur del país (Beltrán y otros, 2009; Smith y Cleef, 1988).

### **2.2.1 IMPORTANCIA**

El páramo ha sido reconocido por sus importantes funciones ecológicas y por los servicios ambientales que brinda. La regulación del ciclo hidrológico, el almacenamiento de carbono atmosférico, y su posición como corredor biológico para diversas especies de flora y fauna, lo convierten en un ecosistema vital para la región andina (GEF, UNEP y CONDESAN. 2010).

En este ecosistema se pueden encontrar pantanos, lagunas y ríos, por lo que los páramos son considerados como humedales de altura. Ello les da una importancia fundamental en el ciclo hídrico de la tierra, porque reciben el agua de los glaciares, lluvias y neblina; y la almacenan formando grandes o pequeños reservorios. Además, son las fuentes de evaporación hacia el aire y de infiltración hacia la tierra, llevan el agua desde las alturas hacia las tierras bajas, asegurando la provisión de agua para importantes ciudades del país como Quito o Cuenca, las cuales se abastecen de las zonas de Papallacta y el Parque Nacional Cajas respectivamente (FLACSO-Ecuador, PNUMA, MAE, BID, ECORAE y PMRC, 2008).

### **2.2.2 CARACTERÍSTICAS ECOSISTEMICAS**

Entre las características ecosistémicas más importantes del páramo están: el clima, vegetación, geomorfología y suelos.

### 2.2.2.1 Clima

Según Beltrán y otros (2009), el páramo presenta un clima típico tropical de alta montaña, cuya variabilidad de temperatura depende de la gradiente altitudinal y humedad del aire (Castaño, 2002). Debido a su ubicación cerca del ecuador, la radiación solar diaria es casi constante a lo largo del año (Beltrán y otros, 2009), con valores de entre 500 a 1200 W/m<sup>2</sup>, este último cercano al máximo teórico del planeta (1367 W/m<sup>2</sup>)(Llambí y otros, 2012).

#### ➤ *Precipitación*

Una consideración básica en cualquier ecosistema es la precipitación, es decir, la cantidad y el patrón de lluvias. La precipitación en los páramos es generalmente continua a lo largo del año, aunque, se puede distinguir periodos más o menos lluviosos. Las estaciones climáticas en los páramos no se refieren a los cambios de temperatura a lo largo del año sino a los cambios de precipitación. En otras palabras, hay meses más lluviosos (invierno) que otros (verano) (Hofstede y otros, 2003). Así se pueden encontrar desde páramos con precipitaciones anuales sobre los 3000 mm, por ejemplo en la cordillera occidental de Colombia, hasta páramos relativamente secos con precipitaciones anuales de menos de 800 mm, como en Venezuela y en la cordillera occidental en el centro del Ecuador (Llambí y otros, 2012).

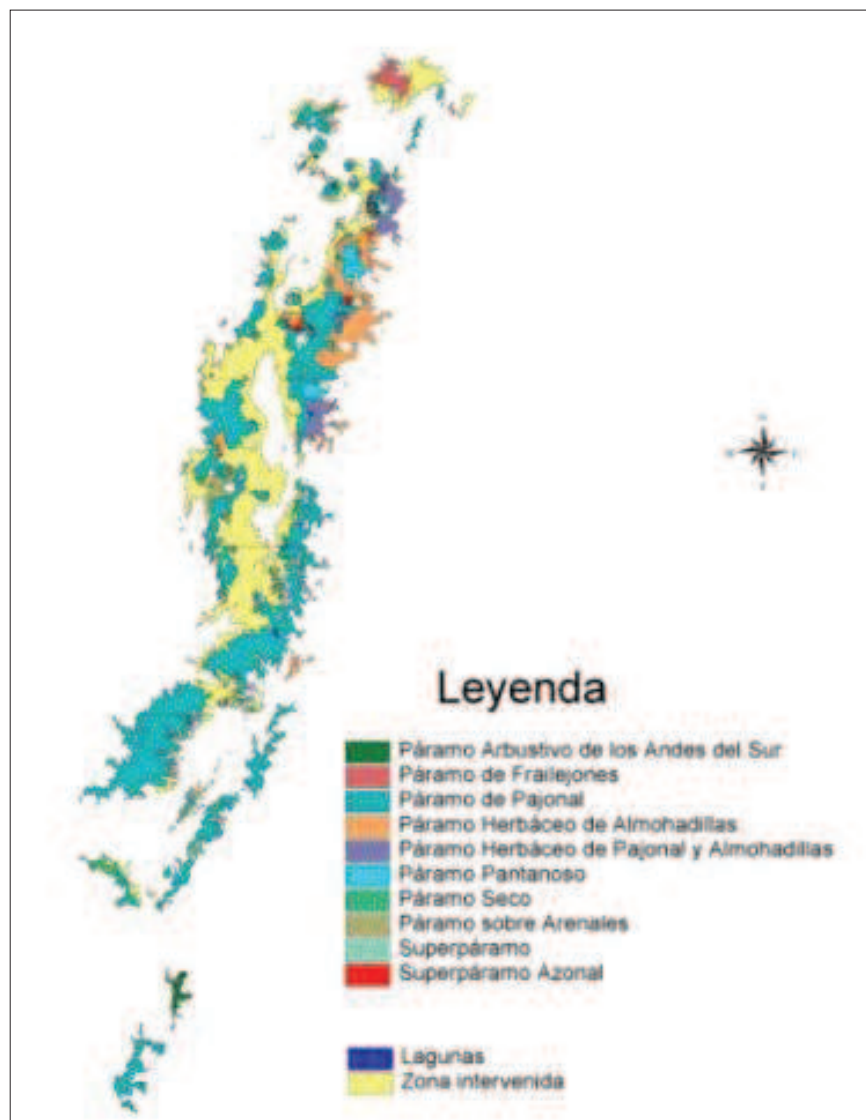
#### ➤ *Temperatura*

El promedio de temperatura en toda la extensión del páramo andino varía entre 2 y 10° centígrados, con cambios notables a lo largo de cada día: en un mismo día puede haber variación entre 0°C (y menos 6°C inclusive) y más de 20°C, cuyos valores se han registrado en los páramos de Machángara, al sur del Ecuador a 3510 msnm (Buytaert y otros, 2005). La razón de este frío está en que, al ser ecosistemas altos, la capa de atmósfera que tiene sobre ellos es notablemente menos gruesa que la que tienen los ecosistemas bajos. En los ecosistemas altos, la capa delgada de aire que existe no funciona como invernadero natural y mucha de la energía solar que entró vuelve a salir (Hofstede y otros, 2003).

### 2.2.2.2 Vegetación

El alto grado de endemismo a nivel de especies y géneros (Beltrán y otros, 2009; Sklenár y Ramsay, 2001) convierte al páramo en el ecosistema que alberga la flora tropical de alta montaña más diversa en el mundo (Beltrán y otros, 2009; Smith y Cleef 1988).

**Figura 2.3 Tipos de páramo en el Ecuador**



Fuente: (Mena y otros, 2001).

En términos de flora, la vegetación de los páramos se ha clasificado en tres grandes unidades de acuerdo con su fisonomía y estructura: subpáramo arbustivo, páramo de pajonal y superpáramo (Ver Figura 2.3). A esto se suma la



presencia de parches de bosques a veces monotípicos de *Polylepis*, *Gynoxys* y *Buddleja* –aparentemente remanentes de una extensión histórica mucho mayor de los bosques altoandinos – que caracteriza en términos generales los hábitats de los páramos (Beltrán y otros, 2009; Fjeldså 1992; Lægaard 1992).

El subpáramo arbustivo cubre la zona de transición entre el bosque alto andino y el páramo de pajonal. En muchos casos se encuentra dominado por arbustos erectos y esclerófilos de los géneros *Valeriana*, *Gynoxys*, *Diplostephium*, *Pentacalia*, *Monticalia*, *Chuquiragua*, *Berberis*, *Hypericum*, *Gnaphalium*, *Lupinus*, *Loricaria*, *Calceolaria* y *Hesperomeles*. Lastimosamente, este tipo de vegetación en extensas regiones ya no existe debido al avance de la frontera agrícola (Beltrán y otros, 2009).

El páramo de pajonal aparece de manera gradual conforme la elevación aumenta, la vegetación se reduce a formas de vida arbustivas como penachos (principalmente de los géneros *Festuca* y *Stipa*), junto con rosetas gigantes (*Espeletia* y *Puya*), manchas de arbustos xerofíticos de los géneros *Diplostephium*, *Hypericum* y *Pentacalia* y parches de bosques monotípicos de *Polylepis*, *Gynoxys* o *Buddleja* (Beltrán y otros, 2009).

El superpáramo se encuentra en el centro y norte del país, en las faldas de las montañas y cumbres más altas entre los 4100 y 4800 m de elevación. Se divide en superpáramo inferior y superpáramo superior. El superpáramo inferior se caracteriza por una vegetación cerrada de arbustos, cojines o almohadillas, rosetas y hierbas amacolladas o en penacho (*Calamagrostis*, *Festuca*); mientras que el superpáramo superior carece de arbustos, hierbas y presenta una cobertura vegetal muy localizada (Beltrán y otros, 2009).

### 2.2.2.3 Geomorfología

Gracias a ciertos procesos geológicos (erupciones, glaciaciones, deslaves naturales, etc.), el paisaje montañoso obtuvo su forma actual con pendientes fuertes, pendientes suaves, planicies con pantanos, cañones de ríos, peñas, etc. Solo algunos tipos de plantas son capaces de permanecer en pendientes muy fuertes, donde se pueden observar parches de bosque bastante tupidos,

rodeados de pajonal o de almohadillas en algunos páramos. Estas fuertes pendientes han limitado el acceso tanto para la gente como para el ganado y el fuego, lo cual ha permitido mantener mejor conservadas estas áreas (Hofstede y otros, 2003).

Un fenómeno típico resultado de la geomorfología es la presencia de vientos que suben o bajan por la pendiente. Por naturaleza, el aire se mueve de un área caliente a una fría. Además, si la topografía es más ondulada, los vientos tienden a ser más fuertes y se presentan más heladas. Con una topografía más fuerte, los valles son más aislados y los vientos menos fuertes y más fríos, provenientes generalmente de los nevados. Si la base de un valle es plana y ancha (valle de U), existe un efecto de inversión en la noche, lo que hace que la base de estos valles esté relativamente muy fría (Hofstede y otros, 2003).

#### **2.2.2.4 Suelos**

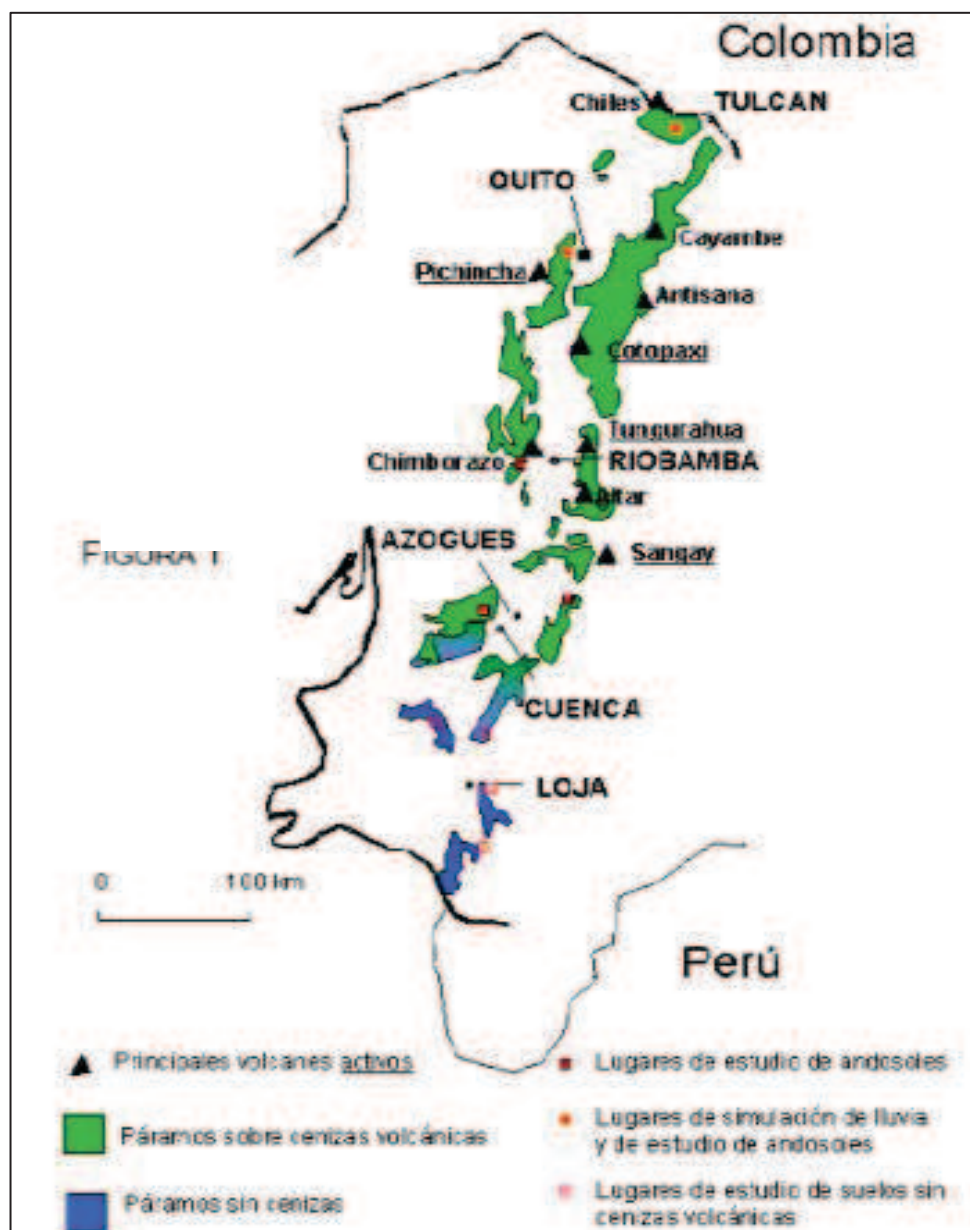
La mayoría de los suelos del páramo son de origen volcánico y se desarrollan en función de los efectos convergentes de las bajas temperaturas, alto contenido de humedad del suelo y la disponibilidad de aluminio (Buytaert y otros, 2006).

El clima frío y húmedo, y la baja presión atmosférica favorecen la acumulación de la materia orgánica en el suelo. Esta acumulación además es reforzada por la formación de complejos organometálicos (compuesto en el que las moléculas contienen al menos un enlace carbono-metal) fuertemente resistentes a la destrucción microbiana que los convierten en suelos oscuros, húmicos y de estructura abierta y porosa (Beltrán y otros, 2009), sumado a la presencia de una intrincada red de raíces y rizomas que hacen parte de la cubierta vegetal de los páramos (Podwojewski y Poulénard, 2000), permiten una gran capacidad de retención de agua de los suelos (Beltrán y otros, 2009).

Los suelos más comunes en el páramo son los Andisoles, Entisoles, Inceptisoles y los Histosoles según la clasificación de la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2010), o los Andosoles, Regosoles, Umbrisoles y los Histosoles de acuerdo con la World Reference Base for Soil Resources de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (FAO WRB, 2006).

Las condiciones de formación de los suelos dependen de tres factores principales que son el clima, la roca madre y la edad de los suelos. No obstante, en el Ecuador, la diferenciación de los suelos de páramos se debe principalmente a la diferencia de roca madre entre el norte y el sur del país (Figura 2.4). Esta diferencia determina dos grupos de suelos distintos: suelos sobre depósitos volcánicos y suelos que no están sobre depósitos volcánicos (Podwojewski y Poulenard, 2000).

**Figura 2.4 Tipos de suelo en los páramos del Ecuador**



Fuente: (Podwojewski y Poulenard, 2000).

➤ *Suelos sobre depósitos volcánicos*

Las cenizas volcánicas cubren toda la parte norte del Ecuador hasta el sur de Cuenca. El tipo general de suelo que se forma sobre las cenizas volcánicas es un ANDOSOL (Soil Survey Staff, 2010). Morfológicamente, presentan un color negro debido a la alta tasa de materia orgánica, tienen una estructura estable y alta porosidad, además de ser suelos resistentes a la erosión, con una buena tasa de humedad y gran permeabilidad, que permite el buen desarrollo de las raíces (Podwojewski y Poulénard, 2000).

Entre sus parámetros físicos, los andosoles poseen una densidad aparente baja (<0,9 a 0,3), conjuntamente con tasas de retención de agua muy elevadas, del orden de 70% a 200%, debido a su alta porosidad. De esta manera, al secarse el suelo, el tamaño de los poros disminuye, lo que genera en una disminución de la capacidad de retención de agua (Nanzyo y otros, 1993).

➤ *Suelos que no están sobre depósitos volcánicos*

Estos suelos predominan en la parte sur del país. La ausencia de cobertura piroclástica se traduce en variaciones de los substratos que se tornan visibles. Morfológicamente, los depósitos volcánicos de estos suelos son muy delgados (menos de 50 cm de espesor), la capa oscura rica en materia orgánica no supera los 20 cm de espesor, mientras que los horizontes profundos poseen colores fuertes, típicos de una hidromorfía (Transformaciones en el suelo provocadas por la presencia de una capa de agua permanente) con exceso de agua. Entre sus parámetros físicos, la tasa de retención de agua es muy elevada en su parte superior (puede superar el 100%), la densidad aparente del horizonte orgánico es muy débil (<0,9 g/cm<sup>3</sup>). Por otro lado, la parte inferior contiene arcillas mineralógicas en gran cantidad que dificultan el drenaje interno, la densidad aparente es más alta que en la parte superior (1,5 g/cm<sup>3</sup>), y la capacidad de retención de agua no supera el 50% (Podwojewski y Poulénard, 2000).

### **2.2.3 DINÁMICA DEL AGUA EN EL SUELO**

Para conocer los procesos hidrodinámicos de los suelos es importante la determinación de las propiedades de carácter físico-químico, ya que presentan una estrecha relación con las propiedades hidrodinámicas. Algunas de las propiedades que mayor incidencia presentan en el movimiento del agua en el suelo son: textura (Henninger y otros, 1976), densidad aparente (Moutonnet y otros, 1985), y/o los aportes orgánicos del suelo (Brady, 1984; Rubio, 2005).

Desde mediados del siglo XIX, comenzó un interés creciente por el estudio del medio poroso del suelo y su relación con las plantas, al existir una dependencia entre la densidad y tipo de cubierta vegetal con el contenido hídrico del suelo (Reynolds, 1970; Rubio, 2005). Esto ha llevado a una mejora en los métodos y técnicas de medida directa de las propiedades hidrodinámicas (Gee y Ward, 1999), con avances técnicos en la determinación del contenido hídrico a partir de la reflectometría de dominio temporal (TDR) (Topp y otros, 1980), métodos tensiométricos, medición de conductividad hidráulica, entre otros, que han permitido obtener valores muy cercanos a la saturación (Rubio, 2005).

#### **2.2.3.1 Contenido de humedad del suelo**

El contenido de humedad o de agua en el suelo se refiere a la cantidad de agua que halla en el suelo en un momento determinado (Micucci y otros, 2003), es decir, mide el contenido en agua de un volumen de tierra (MAGRAMA, 2008).

La alta capacidad de retención de humedad y almacenamiento de agua es una de las características que diferencia a los Andosoles de otros suelos, lo cual a su vez determina la dinámica del agua tanto a nivel superficial como dentro del perfil del suelo (Tobón y otros, 2010). La dinámica del agua en el suelo, juega un papel fundamental como parte del ciclo hidrológico; entre los que se destaca el flujo de agua, crecimiento vegetal, gobierna la transpiración, afecta la recarga de acuíferos subterráneos, controla la escorrentía superficial y posee otras muchas influencias sobre aspectos del entorno natural (Hincapié, 2011).

La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, consistencia, succión total de agua y color del suelo (Flores y Alcalá, 2010). El contenido hídrico en el suelo es muy dinámico y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, materia orgánica (FAO, 2013a), y de las características y condiciones físicas del perfil (Flores y Alcalá, 2010).

El agua almacenada en el suelo puede considerarse agrupada en tres tipos, en función del grado de cohesión con distintas partículas (Martínez, 2008; Tarjuelo, 1995):

- *Agua higroscópica*: es el agua fuertemente fijada por las partículas de suelo y que no está disponible por las plantas.
- *Agua capilar*: es el agua retenida en los poros del suelo venciendo la acción de la gravedad, siendo una parte móvil y aprovechable para la planta, y otra parte más unida a las partículas del suelo y por tanto no aprovechable.
- *Agua libre o agua de gravedad*: es la que inicialmente llena los poros del suelo y que luego es arrastrada por la acción de la gravedad.

La humedad del suelo se puede expresar en términos de masa (humedad gravimétrica) (Ver ecuación (2.1) o volumen (Micucci y otros, 2003):

$$\text{Humedad en peso } Hg \frac{g}{g} = \frac{\text{masa de agua } g}{\text{masa de suelo seco } g} \quad (2.1)$$

En donde la masa de agua surge de la diferencia entre la masa total de suelo húmedo y la masa de suelo seco en estufa durante 24hs (Solsona y otros, 2001) a 105°C (FAO WRB, 2006).

También se puede expresar en relación a su volumen, llamado humedad volumétrica ( $H_v$ ), presente en la ecuación (2.2):

$$\text{Humedad volumétrica } H_v \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3} = \frac{\text{volumen de agua (cm}^3\text{)}}{\text{volumen de suelo seco (cm}^3\text{)}} \quad (2.2)$$

En donde el volumen de agua corresponde a la masa de agua de la ecuación (2.1) y el volumen de suelo correspondiente al cilindro de la muestra.

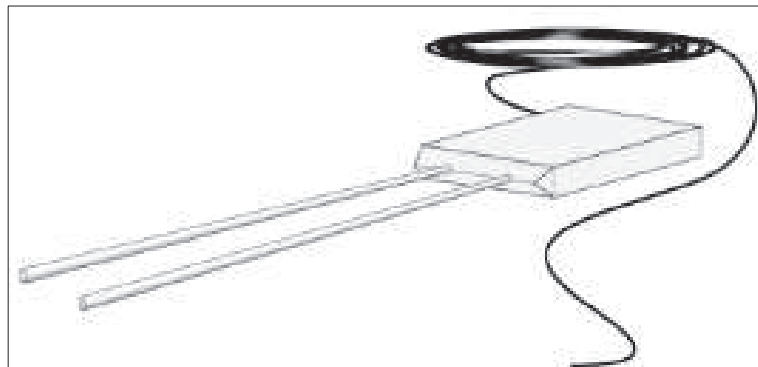
Es posible relacionar ambas ecuaciones (2.1) y (2.2) mediante el valor de densidad aparente del suelo ( $D_{ap}$  g/cm<sup>3</sup>) de acuerdo con la ecuación (2.3) (Forsythe, 1975; Pavez, 2004):

$$H_v \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3} = H_g (\frac{\text{g}}{\text{g}}) \times D_{ap} (\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}) \quad (2.3)$$

Básicamente se dispone de tres los métodos para determinar la humedad del suelo: gravimétrico, sonda de neutrones y sondas TDR (Time Domain Reflectometry, por sus siglas en inglés) (Zamora y Cristancho, 2008).

#### 2.2.3.1.1 Reflectometría de dominio temporal (TDR)

**Figura 2.5** Reflectómetro que mide el contenido de agua



Fuente: (CAMPBELL SCI., 2006).

La técnica de la reflectometría en el tiempo, utilizada en la presente investigación, es un método que mide la constante dieléctrica ( $E_c$  = constante física adimensional que describe como un campo eléctrico afecta un material) del suelo por medio del tiempo de recorrido de un pulso electromagnético que se introduce en el suelo a través de dos varillas de acero inoxidable (Moreno, 2012), como se observa en la Figura 2.5. El agua tiene una constante dieléctrica mucho más alta

que la del suelo, por lo que la constante dieléctrica del suelo húmedo dependerá principalmente de su contenido de humedad (SAP, 2008).

La transmisión del pulso electromagnético a través del suelo mediante la técnica del TDR permite determinar su contenido en humedad volumétrica ( $\theta$  en  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ), a través de la ecuación universal de Topp (Regalado y otros, 2001), mostrado en la ecuación (2.4):

$$\theta = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2}Ec - 5.5 \times 10^{-4}Ec^2 + 4.3 \times 10^{-6}Ec^3 \quad (2.4)$$

Sin embargo, hay ciertas clases de suelos que no siguen la ecuación de Topp, tales como los suelos orgánicos (Roth y otros, 1992; Topp y otros, 1980), aquellos de origen volcánico (Tommer y otros, 1999; Weitz y otros, 1997) y con alto contenido de sales (CITRA, 2009). Tales desviaciones de la ecuación de Topp, se han atribuido a la baja densidad aparente, (Tommer y otros, 1999; Paterson, 1977), mayor contenido en materia orgánica (Weitz y otros, 1997) y contenido de agua entre el 70% y 90%, parámetros que son característicos de los andosoles.

Los suelos de los páramos del norte y centro del Ecuador al pertenecer a la clasificación como andosoles (Soil Survey Staff, 2010), no cumplen con esta ecuación, por lo tanto se requiere una calibración específica (Florentino, 2006) generando una función con mejor ajuste que la obtenida con la ecuación universal (Bravo y otros, 2009), de acuerdo a las características del suelo y cobertura vegetal del sitio de estudio (Ver ANEXO No 1, Calibración de sensores de humedad TDR para suelos de la cobertura vegetal Pastos).

### **2.2.3.2 Propiedades que influyen en las características hidrodinámicas del suelo**

Existen determinadas propiedades básicas que influyen en la hidrodinámica de los suelos. Estas son: textura, estructura, densidad real y aparente, conductividad hidráulica, compactación, materia orgánica y porosidad.

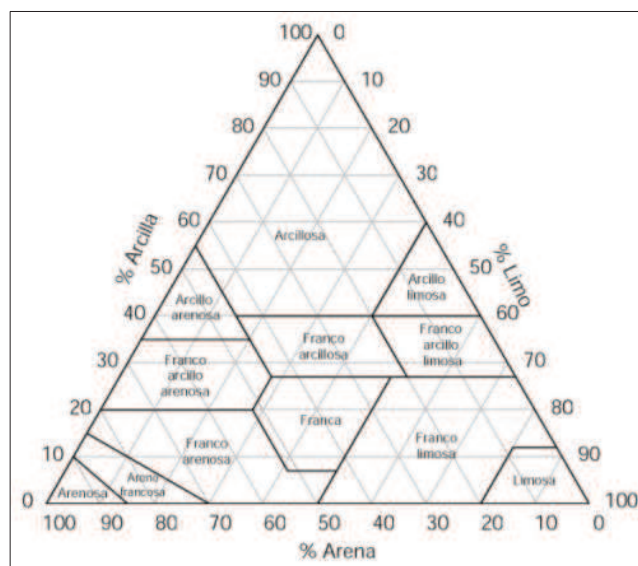
#### **2.2.3.2.1 Textura**

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, refiriéndose ésta a la mayor o menor finura del suelo, como la arena, el limo y la



arcilla, cuyos porcentajes se pueden determinar mediante un gráfico denominado triángulo de texturas, según clasificación del USDA (United States Department of Agriculture) (Llambí y otros, 2012), como se observa en la Figura 2.6. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. Se trata de una de las cualidades más estables del suelo, pudiendo ser modificada con adecuadas prácticas de manejo del mismo (Martínez, 2008).

**Figura 2.6 Triángulo textural según clasificación del USDA**



Fuente: (Llambí y otros, 2012).

La textura del suelo tiene un considerable efecto sobre la capacidad de retención de agua, ya que el agua es retenida en forma de película sobre las superficies de las partículas y en los pequeños poros entre ellas. Los suelos con textura fina tienen una elevada capacidad de retención de agua disponible, debido a sus numerosas partículas pequeñas con una gran superficie total y a su elevado volumen de pequeños poros distribuido entre las partículas. En consecuencia, los suelos con textura fina retienen más agua que los dotados de textura gruesa (Thompson y Troeh, 1988).

#### 2.2.3.2.2 Estructura

Es una característica física de los suelos que se manifiesta por la forma, tamaño y desarrollo en que se asocian los constituyentes minerales y orgánicos. Es decir, la

estructura es el ordenamiento de los granos individuales, y el espacio de poros que llevan asociados, en partículas secundarias o agregados, todo ello como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica (FCEyN, 2013b). Se trata de una de las características físicas del suelo con una mayor importancia agrícola; no obstante, es una de las menos entendidas, ya que por efecto de la labranza, se destruyen los agregados provocando el empobrecimiento del suelo (Martínez, 2008).

La estructura modifica la influencia de la textura respecto a las relaciones de humedad y aireación, velocidad de infiltración del agua, conductividad, hidráulica, resistencia a la penetración de raíces, densidad aparente, porosidad, retención de agua, temperatura del suelo y configuración de los poros (Foth, 1986). Una buena estructura evita el sellado del suelo y la posterior formación de costra superficial al secarse la superficie, facilitando el nacimiento de las plantas y la infiltración del agua. El aumento de la infiltración disminuye la escorrentía y con ello el riesgo de degradación por erosión, al tiempo que aumenta las reservas en agua del suelo (FCEyN, 2013b).

El estudio realizado por Carúa y otros, 2008, en el que se evaluó la cantidad de agua retenida por los suelos de los páramos de la subcuenca del río San Pedro, en la provincia de Pichincha, bajo distintos estados de vegetación, donde fueron clasificados según su estado de conservación en: páramo no intervenido (herbáceos), páramo intervenido (cambiada por pasto para ganado), páramo alterado (plantación de pinos) y páramo muy alterado (cultivos de papas), se caracterizó la estructura de los suelos en todos los casos como de tipo granular; sin que esto generalice que la estructura del suelo de todos los páramos ecuatorianos sean granulares.

#### ***2.2.3.2.3 Densidad real y aparente***

La densidad real o de partículas se refiere a la relación de peso por unidad de volumen de los sólidos del suelo sin tener en cuenta el espacio poroso (Amézquita y Navas, 1993). La composición mineral es más o menos constante en la mayoría de los suelos, por tanto se estima que la densidad real varía entre 2,6 a 2,7 g/cm<sup>3</sup> para todos los suelos (Sánchez, 2007).

Por otro lado, la densidad aparente conocida también como densidad de volumen, se refiere a la relación entre el peso y la unidad de volumen de una masa de suelos, incluyendo su espacio poroso, por lo tanto, depende de la porosidad del suelo. La densidad aparente es un valor variable (debido a la inestabilidad de la soltura de los suelos) que depende además de la textura, del contenido de materia orgánica y la estructura. Además, mide el grado de compactación de un determinado suelo, de tal manera que un suelo recién preparado para la siembra tendrá valores de densidad aparente más bajos, en tanto que el mismo suelo después de la cosecha, mostrará altos valores de densidad aparente, sobre todo si ha sido sometido a procesos de cultivo con maquinaria pesada (Sánchez, 2007).

En los suelos de páramo en buenas condiciones los rangos de densidad aparente están entre 0,4 y 0,8 g/cm<sup>3</sup> (Llambí y otros, 2012). No obstante, se pueden encontrar valores de 0,65 hasta 1,4 g/cm<sup>3</sup> en los páramos de Colombia (Rangel, 2000), así como valores promedios de densidad de 0,48 g/cm<sup>3</sup> en los páramos al sur del Ecuador (Borja, 2008; Llambí y otros, 2012).

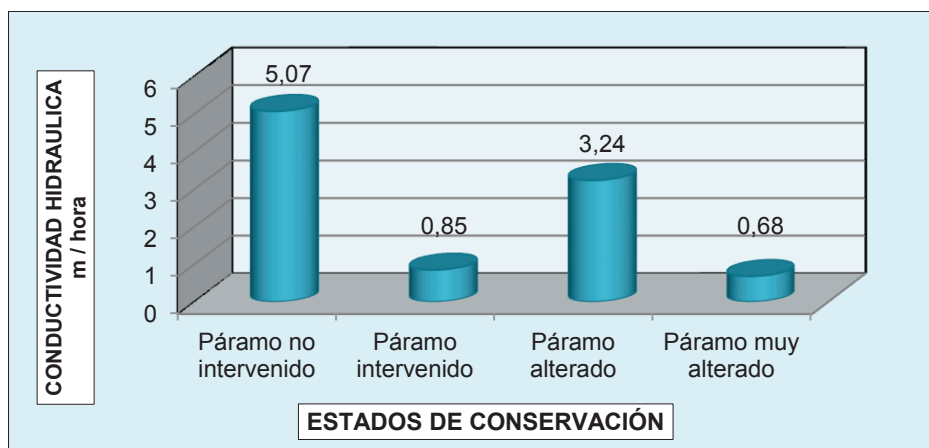
#### *2.2.3.2.4 Conductividad hidráulica*

La conductividad hidráulica indica la movilidad del agua dentro del suelo, además, se puede definir como la velocidad de movimiento de agua en el suelo cuando el agua es sometida a una fuerza neta igual a la gravedad. La conductividad hidráulica del suelo no es un valor constante sino que depende de la distribución de tamaño de poros del suelo y del contenido de agua del mismo. Cuando todos los poros del suelo están saturados de agua hablamos de conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ) o permeabilidad del suelo. Si los poros del suelo están parcialmente saturados con agua, hablamos de la conductividad hidráulica no saturada o conductividad capilar del suelo (Lugo y Snyder, 2006).

Para Buytaert y otros (2007), los páramos cuyos suelos son porosos y con baja densidad aparente tienen una conductividad hidráulica alta y una capacidad de retención de agua muy alta. En los resultados obtenidos por Carúa y otros (2008), donde analiza la conductividad hidráulica en cuatro zonas con distinto estado de conservación, se concluyó que la mayor filtración de agua se encontró en el

páramo no intervenido (5,07 m/hora), mientras que el de menor valor (0,68 m/hora) se presentó en la zona de páramo muy alterado (Ver Figura 2.7), debido a la significativa compactación causada por pisoteo de ganado y paso de maquinaria.

**Figura 2.7 Conductividad hidráulica de acuerdo al estado de conservación del páramo, según Carúa y otros (2008)**



Fuente: (Carúa y otros, 2008).

#### 2.2.3.2.5 Compactación

La compactación es el fenómeno que se produce cuando se ejerce presión en el suelo, alterando propiedades del suelo como la porosidad y la permeabilidad. Los poros pierden conectividad y se reduce el flujo de gases y agua en el suelo, lo que disminuye los niveles de agua y oxígeno, restringiendo el crecimiento y desarrollo de las raíces (SOCO, 2009).

La compactación causada por intervención antrópica, está dada por el peso de los animales, o la utilización inadecuada de maquinaria en el cultivo, ya que el suelo del páramo, por su alto contenido de materia orgánica está suelto y suave, y se deja compactar fácilmente. En un suelo más compacto, hay menos espacio para agua, pero también pierde su capacidad de infiltración, como lo demostró el estudio de Carúa y otros (2008). Así, el ganado tiene un efecto indirecto sobre la hidrología: en áreas pastoreadas existe algo menos capacidad de retención de agua, mientras que durante aguaceros, hay una posibilidad más alta de escorrentía superficial (Hofstede y otros, 2003).

#### **2.2.3.2.6 Porosidad**

La porosidad es el volumen de suelo ocupado por aire y/o agua, es decir, se refiere a los espacios que dejan las partículas sólidas entre sí, y juega un papel importante en el desarrollo de las plantas (Rubio, 2005). Una porosidad del 50% (25% agua y 25% aire) es ideal para el desarrollo de la vida vegetal (Barrios, 2012).

El término porosidad total, incluye tanto los suelos con macro porosidad como suelos con micro porosidad (Rubio, 2005). Los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares (Barrios, 2012).

Los suelos de los páramos del norte y centro del Ecuador (andosoles) gracias a su estructura granular estable, tienen alta porosidad, lo que produce una buena permeabilidad (Mena y otros, 2000), favoreciendo a una alta tasa de capacidad de retención de agua (Podwojewski y Poulénard, 2000).

El estudio de Carúa y otros (2008), determinó que la porosidad en el páramo no intervenido es del 61% a los 0,10m, disminuyendo hasta llegar al 54% a los 0,30m de profundidad. En el Páramo Alterado o con pino se dio una tendencia opuesta, el 55% a los 0,10m y 62% a los 0,30m, debido a que en su parte superficial no existe cobertura vegetal sino la presencia de hojas de pino. En el páramo intervenido y en el páramo muy alterado se dieron valores que van del 48% al 54% debido a que estos lugares han estado sometidos al paso de maquinaria agrícola para el primero y pisoteo para el segundo, acelerando la compactación de sus suelos.

#### **2.2.3.2.7 Materia Orgánica**

La materia orgánica (MO) es uno de los constituyentes más importantes de los suelos. Se conoce como materia orgánica del suelo a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, que están en diferentes etapas de

descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell, 1999). Su identificación y cuantificación permite clasificar suelos, evaluar su fertilidad y estimar el peligro de erosión, entre otras cualidades (FCEyN, 2013a).

Existen numerosos efectos benéficos de la materia orgánica sobre distintas características físicas y químicas del suelo como, estabilidad estructural de las partículas (FCEyN, 2013a), incremento en la capacidad de retención hídrica, disminución de la compactación del suelo (Brechelt, 2004), disponibilidad de nitrógeno y azufre, y protege al suelo de la erosión y contaminación. (FCEyN, 2013a).

Según Hofstede (1997), uno de los indicadores que determinan un alto valor del ecosistema es la cantidad de materia orgánica. Los suelos de los páramos derivados de cenizas volcánicas tienen propiedades muy particulares, una de ellas es la alta presencia de materia orgánica (Chacón, 1997). El páramo tiene un valor ecológico muy alto, especialmente por su función hidrológica; esta función es garantizada cuando el suelo es poroso, con buena cobertura vegetal y alto contenido de materia orgánica, de modo que puede retener grandes cantidades de agua (Estupiñan, 2002).

En ciertos lugares de páramo no intervenidos, la materia orgánica es mayor, lo que influye en una mayor capacidad de retención de humedad, al contrario de lo que sucede en zonas de páramo intervenidas. En el caso de los páramos del Ángel en el Ecuador a 3400 msnm, se presentan valores de materia orgánica del 42% en páramo no alterado, y de 28% dentro de las áreas intervenidas (Estupiñan, 2002).

Por otro lado, según los resultados de Carúa y otros (2008), en los análisis físico-químicos del suelo se observó que el páramo no intervenido contiene el 8,58 % de materia orgánica y en el páramo muy alterado se encontró un 4,45 % de materia orgánica, debido a la producción de papas y al uso excesivo de maquinaria agrícola.

### 2.2.3.3 Efectos de la cobertura vegetal en el suelo

El agua de lluvia al chocar con el suelo desprovisto de una capa vegetal facilita la compactación de su superficie disminuyendo la capacidad de infiltración y aumentando la escorrentía. El agua de escorrentía transporta materiales finos que tienden a disminuir la porosidad de la superficie del suelo, humedeciéndola y saturando los horizontes más próximos a la misma, lo que aumenta la resistencia a la penetración del agua, reduciendo la dimensión de los espacios intergranulares. El efecto de la lluvia sobre el suelo varía con la granulometría de los suelos, y la presencia de vegetación la atenúa o elimina (Chaico, 2010).

Una cobertura vegetal absorbe la mayoría de la energía de las gotas de agua de lluvia que caen sobre ella y con el tiempo esta agua de lluvia alcanza el suelo; en estas condiciones, su capacidad para desintegrar los agregados del suelo y desprender las partículas finas es enormemente reducida. Por consiguiente, hay poco o ningún sellado de los poros de la superficie del suelo por las partículas desprendidas y poca degradación de las partículas del suelo que pueden formar una costra en la superficie (FAO, 2013a).

Un aspecto muy importante a mencionar es el caso en que el suelo se encuentra cubierto por vegetación exótica, ya que hay diversos estudios que demuestran que al transformar una zona que ha sido cubierta por vegetación natural a una plantación no nativa, disminuye el caudal de dicha zona (Hofstede, 2000). En la investigación de Bosch y Hewlett (1982), quienes resumieron los resultados de 94 estudios de cuencas comparativas, concluyeron que plantaciones de *Pinus* y *Eucalyptus* causan en promedio una reducción de 40 mm en escorrentía anual respecto a pastos. Una observación importante es que no solamente las especies exóticas causaron una disminución, sin embargo, la reducción causada por las especies nativas era menor, 25 mm en promedio.

En el caso del ecosistema páramo, Carúa y otros (2008) determinaron que la zona de estudio correspondiente a páramo muy alterado (suelo descubierto totalmente) se registró una capacidad de retención hídrica de 1140 m<sup>3</sup>/ha en el mes de junio (superior a los 1080 m<sup>3</sup>/ha de páramo no intervenido), debido a la ausencia de cobertura vegetal, que hace que la lluvia caiga directamente al suelo

y ésta sea almacenada rápidamente, y que el suelo desprotegido se encuentre expuesto a una alta erosión. Al mismo tiempo, en la zona de páramo alterado (con plantaciones de pino) se registró un valor de 630 m<sup>3</sup>/ha de agua retenida en el mismo mes, lo que evidencia el gran consumo de agua de estas plantaciones.

En tanto que, ocurrió el efecto contrario en los meses secos, donde, en la zona de páramo no intervenido (cubierto con pajonales) se tuvo una retención de 600 m<sup>3</sup>/ha en el mes de octubre, superando al obtenido en la zona de páramo muy alterado, que presentó un valor de 450 m<sup>3</sup>/ha, altamente afectado por la ausencia de cobertura vegetal, la compactación y erosión del suelo; mientras que en el páramo alterado con pino alcanzó una cifra de 270 m<sup>3</sup>/ha, concluyendo así que el tipo y la presencia de vegetación (sobre todo si es nativa) influye en la retención de agua en el suelo (Carúa y otros, 2008), garantizando la función reguladora de agua sobre todo en épocas secas (Medina, 2000).

#### **2.2.4 CLASIFICACION DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS PÁRAMOS DEL ECUADOR**

El estudio desarrollado por Beltrán y otros (2009) en el Ecuador, realizado mediante imágenes de satélite de alta resolución espacial, establece que los páramos cubren una superficie de 1337119 ha, cuyo valor incluye: pajonales, bofedales, vegetación geliturbada y subnival paramuna (superpáramo), lo que indica que el 5% del territorio nacional está ocupado por este ecosistema.

Tomando en cuenta los Bosques Altimontanos Norte-Andinos Siempreverdes, Bosques Altimontanos Norte-Andinos de *Polylepis* y Bosques Montanos Pluviales de los Andes del Norte, cuyo límite fue mapeado a partir de los 2800 msnm para los páramos del centro y norte, y 2600 msnm para los páramos del sur del país, el área alcanza un total de 2293732 ha, llegando a representar entonces el 9% del territorio nacional. Del área total de páramos en el país, aproximadamente un 40% (908775 ha) se encuentra protegido, lo que muestra que hay una importante área (60% que equivale a 1 384957 ha) de este ecosistema expuesta a un alto nivel de riesgo y degradación (Beltrán y otros, 2009).



El estudio mencionado anteriormente se basó en la propuesta de clasificación de los diferentes tipos de vegetación de los páramos en “unidades fisiográficas”, elaborada como parte de la iniciativa regional “Mecanismo de Información de Páramos” del Programa Páramo Andino (PPA) y CONDESAN (Beltrán y otros, 2009).

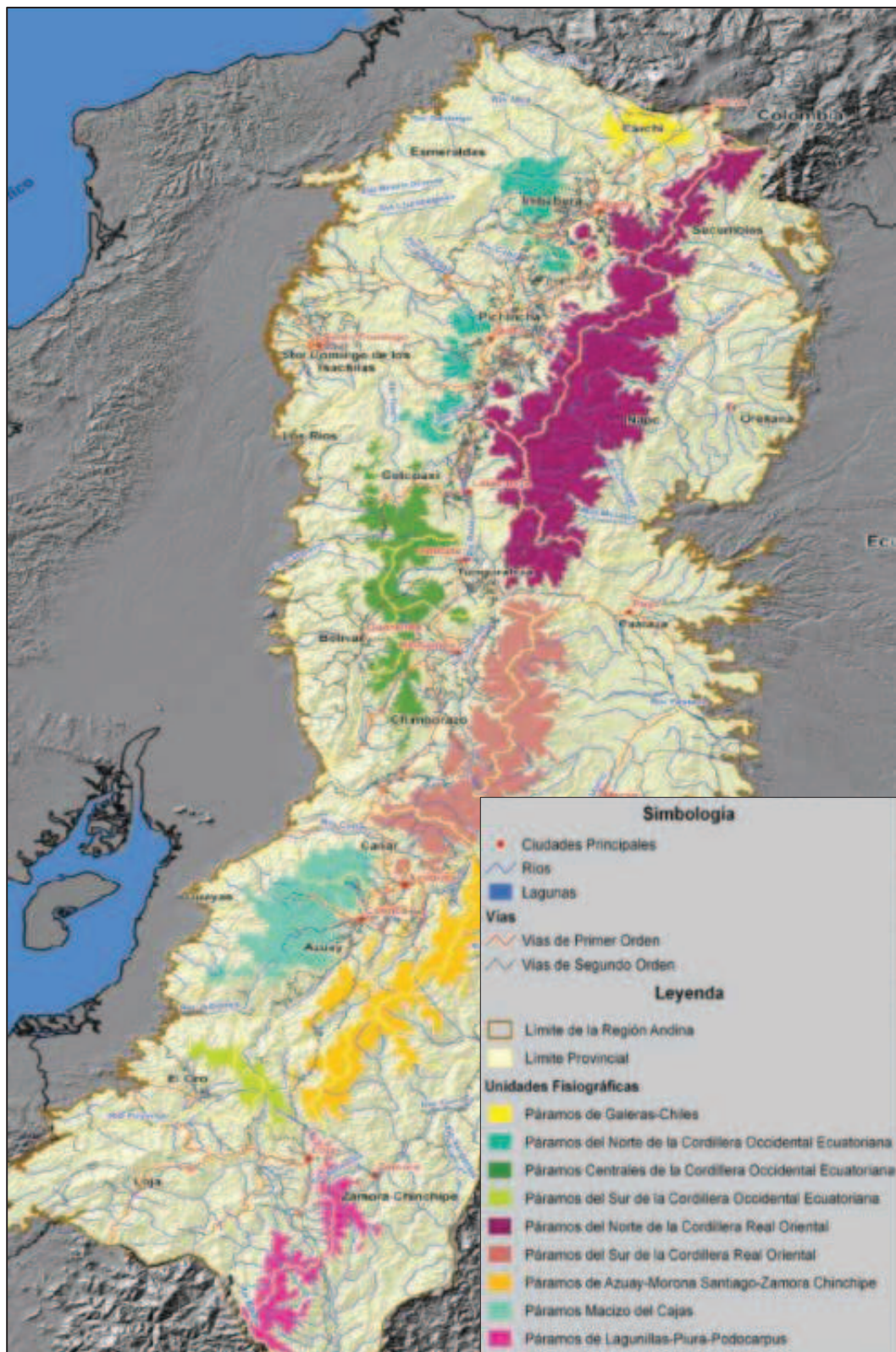
Las unidades fisiográficas son los distintos parches de páramo existentes en el país, los cuales presentan un alto grado de singularidad de flora, debido a factores históricos (ciclos glaciares) y biofísicos como el aislamiento geográfico, regímenes de humedad, diversidad de hábitat de cada parche e incluso la influencia antrópica (Beltrán y otros, 2009). De acuerdo con la propuesta de unidades fisiográficas de Cuesta y otros (En prep.), se encuentran nueve unidades fisiográficas en los páramos ecuatorianos, ubicadas de norte a sur, mostradas en el Cuadro 2.5 y su representación gráfica en la Figura 2.8:

**Cuadro 2.5 Unidades fisiográficas de los páramos del Ecuador**

<b>Unidades fisiográficas de los páramos del Ecuador</b>
Páramos de Galeras-Chiles
Páramos del Norte de la Cordillera Occidental Ecuatoriana
Páramos Centrales de la Cordillera Occidental Ecuatoriana
Páramos del Sur de la Cordillera Occidental Ecuatoriana
Páramos del Norte de la Cordillera Real Oriental
Páramos del Sur de la Cordillera Real Oriental
Páramos de Azuay-Morona Santiago-Zamora Chinchipe
Páramos del Macizo del Cajas
Páramos de Lagunillas-Piura-Podocarpus

Fuente: (Beltrán y otros, 2009; Cuesta y otros, En prep.).

Figura 2.8 Mapa de unidades fisiográficas de los páramos del Ecuador



Fuente: Mapa de unidades fisiográficas de los páramos del Ecuador (Beltrán y otros, 2009).

En otro estudio realizado por Josse y otros (2009), se concluye que dentro de cada una de las unidades fisiográficas se encuentran los siguientes macrogrupos: Bosques Altimontanos y Altoandinos Húmedos de los Andes del Norte, Páramo Húmedo de los Andes del Norte, Humedal Altoandino y Altimontano de los Andes del Norte y Vegetación Subnival de los Andes del Norte.

Ante la necesidad de contar con unidades ecológicas de mediana escala denominadas “sistemas ecológicos”, el estudio de Beltrán y otros (2009) se basó en la propuesta de “Clasificación de Sistemas Ecológicos de América Latina y el Caribe” desarrollada por la NatureServe (2009). La propuesta considera al sistema ecológico como un grupo de comunidades vegetales que tienden a concurrir en paisajes donde comparten procesos ecológicos (como regímenes de fuego e inundaciones fluviales), sustratos similares (como suelos superficiales y material parental alcalino) y/o gradientes ambientales (como microclima, elevación y patrones hidrológicos) (Josse y otros, 2003).

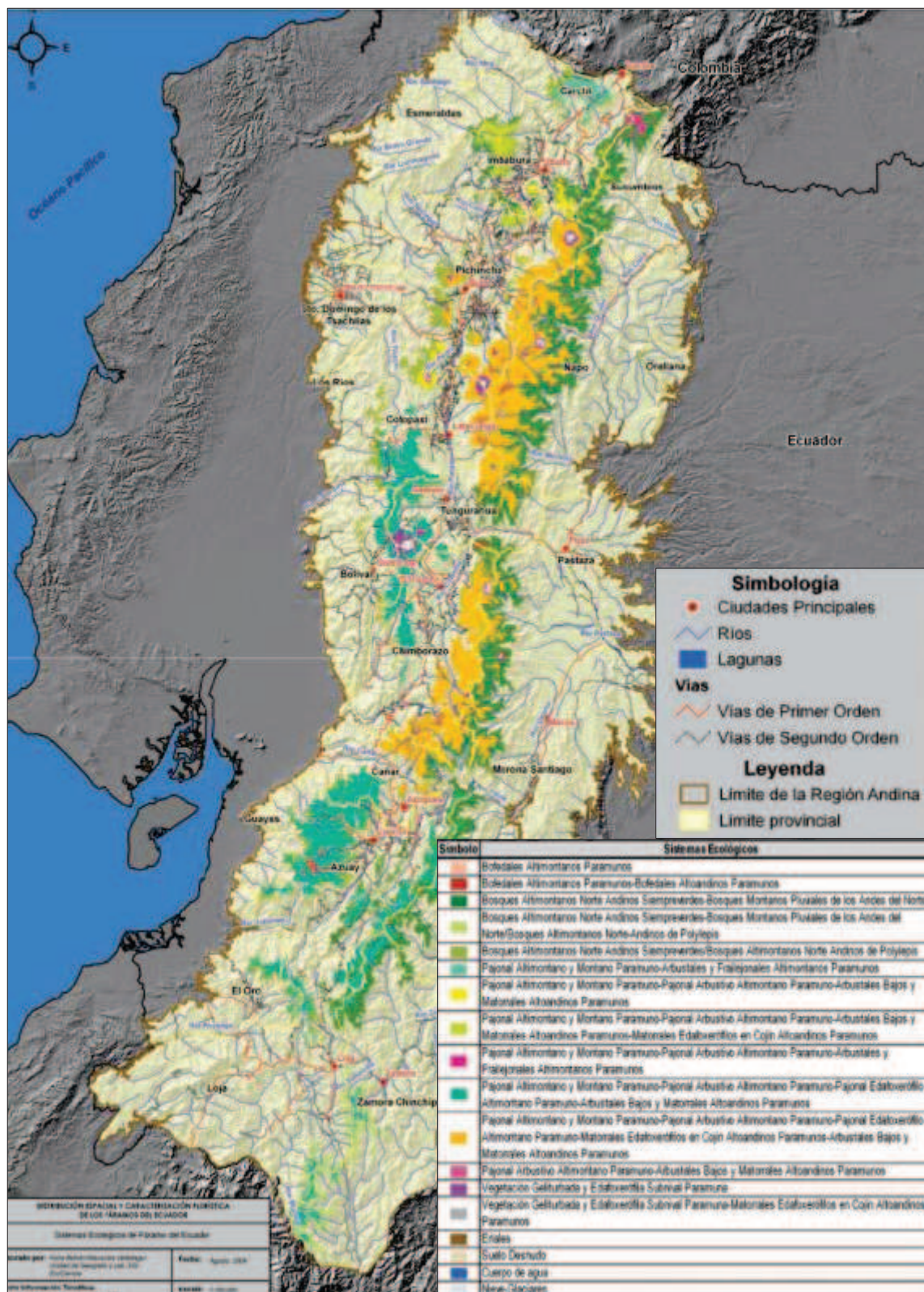
A nivel de sistemas ecológicos, en los páramos del Ecuador se encuentran presentes los siguientes sistemas (Ver Cuadro 2.6 y Figura 2.9), donde se evidencia el hecho de que los ecosistemas páramo son predominantemente mixtos, por lo cual se hace difícil identificarlos por separado (Beltrán y otros, 2009).

#### **Cuadro 2.6 Sistemas ecológicos de los páramos del Ecuador**

<b>Sistema Ecológico</b>
Bosques altimontanos Norte-Andinos Siempreverdes
Bosques Altimontanos Norte-Andinos de Polylepis
Bosques Montanos Pluviales de los Andes del Norte
Pajonal Altimontano y Montano Paramuno
Pajonales Arbustivos Altimontanos Paramunos
Pajonal edafoxerófilo Altimontano Paramuno
Arbustales Bajos y Matorrales Altoandinos Paramunos
Arbustales y Frailejones Altimontanos Paramunos
Matorrales edafoxerófilos en Cojín Altoandinos Paramunos
Bofedales Altimontanos Paramunos
Bofedales Altoandinos Paramunos
Vegetación Geliturbada y Edafoxerófila Subnival Paramuna

Fuente: (Beltrán y otros, 2009).

Figura 2.9 Mapa de sistemas ecológicos de los páramos del Ecuador



Fuente: Mapa de sistemas ecológicos de los páramos del Ecuador (Beltrán y otros, 2009).

### 2.2.5 SERVICIOS AMBIENTALES DEL PÁRAMO

Los servicios ambientales o servicios ecosistémicos son los beneficios que los ecosistemas proveen a los seres humanos (Quintero, 2010). Los servicios ambientales generados por los ecosistemas influyen directamente en el mantenimiento de la vida, proporcionando beneficios y bienestar para la sociedad, a nivel local, regional o global (CONAFOR, 2011). Los páramos son ecosistemas tropicales de alta montaña que prestan servicios ecosistémicos directa e indirectamente a millones de personas (Velástegui y López, 2011), gracias a sus características ecológicas especiales, sin embargo, ciertas acciones humanas están limitando sus capacidades y las posibilidades de aprovecharlas sustentablemente (Hofstede, 2002).

Por lo tanto, se deben buscar formas para que la gente asegure el buen funcionamiento de estos ecosistemas. Además, se debe procurar la gestión adecuada de servicios ambientales mediante un buen manejo ambiental que promueva, a través de los servicios, un efecto positivo en el bienestar humano, y que éste, a su vez, brinde oportunidades positivas para el manejo ambiental asegurando la provisión de los servicios (Quintero, 2010).

**Figura 2.10 Categorías de servicios ecosistémicos que ofrece el páramo, según el marco conceptual de la EM**



Fuente: (Hofstede, 2008).

Un nuevo análisis de los servicios ambientales del páramo, definido desde la evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) (ejecutada entre 2001 y 2005, por la ONU y ONGs, con el objetivo de evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y la ejecución de acciones necesarias para su uso sostenible) pone énfasis en los servicios de este ecosistema, propone un marco para identificarlos y plantea formas de incluir los servicios ambientales en la gestión de estos ecosistemas (Hofstede, 2008). La EM describe una categorización más detallada y amplia de los servicios ecosistémicos que ofrece el páramo, como se aprecia en la Figura 2.10.

Entre los servicios ambientales fundamentales que el páramo presta a la población directa e indirectamente relacionada con él y a la sociedad en general, están: la regulación hídrica, la continua provisión de agua en cantidad y calidad, y el almacenamiento de carbono atmosférico, que ayuda a controlar el calentamiento global (Hofstede, 2002), además del mantenimiento de la biodiversidad, la provisión de belleza escénica, etc., (Hofstede, 2008). Sobre los tres primeros servicios ambientales se tratará más detalladamente a continuación.

#### **2.2.5.1 Regulación hídrica**

La regulación del ciclo hidrológico es el servicio ambiental más importante de los ecosistemas andinos (Céleri, 2009). Los páramos son fundamentales para la regulación de la hidrología al nivel regional y constituyen la única fuente de agua para la mayoría de las poblaciones localizadas en las faldas de los Andes (Medina, 2000). La importancia hidrológica de los páramos es bien reconocida y cada vez más valorada, dado su gran potencial de almacenamiento y regulación hídrica, por lo cual han sido considerados ecosistemas estratégicos (Hofstede, 2002).

El páramo es considerado como el ecosistema más sofisticado para el almacenamiento de agua, debido principalmente a la gran acumulación de materia orgánica (Medina, 2000). Sin embargo, los científicos confirman que el páramo no es una “fábrica de agua”, sino que se lo debe definir como regulador, ya que en sí el agua no se produce en el páramo, sino que se retiene y se libera continuamente (Hofstede, 2008).

La regulación del ciclo hidrológico se produce cuando el ecosistema almacena agua en los periodos lluviosos y la libera lentamente en los periodos secos o de estiaje. Es decir, el páramo bien conservado proporciona un balance natural entre caudales de época lluviosa con caudales de época seca (Quintero, 2010).

Si bien la vegetación juega un papel muy importante en el ciclo hidrológico, el suelo es el principal componente que proporciona este servicio de regulación (Célleri, 2009). Los servicios hidrológicos se pueden ver reducidos al existir una conversión de los ecosistemas naturales a ecosistemas intervenidos por el hombre, en especial debido a cambios de uso del suelo y otras prácticas (Quintero, 2010). Se sabe que la presencia de una capa de vegetación constantemente húmeda influye en la retención de agua durante las épocas secas, lo que explicaría de alguna manera la menor capacidad de retención de agua en áreas de páramo que han sufrido trastornos en su vegetación (Medina, 2000).

En un estudio mediante el uso de cuencas pareadas, comparando una cuenca inalterada y una cuenca con cultivos de papas y con drenaje artificial, Buytaert y otros (2005) encontraron que se observa un cambio significativo en el régimen hidrológico con un ligero incremento en flujos pico (promedio de 20%), y una reducción fuerte de los caudales base de hasta un 50%. De esta manera, la relación entre caudales pico y base aumentaba de 5 para la cuenca inalterada a 12 en la cuenca agrícola. Así mismo, se encontró que la curva de duración de caudales de la microcuenca cultivada mostraba una pendiente más pronunciada, indicando una reducción en la capacidad de regulación estimada en un 40% (Célleri, 2009).

Si bien el rendimiento hídrico (volumen anual de caudal en relación con el volumen anual de lluvia) aparentemente solo sufre una pequeña reducción al convertir pajonal en zona agrícola, el problema fundamental es que la capacidad de regulación de la cuenca se ve severamente afectada (Célleri, 2009), lo cual se traduce en la pérdida de la capacidad de esponja del páramo, que conlleva en último término la posibilidad de sequías (Medina, 2000).

### 2.2.5.2 Provisión de agua dulce

El propósito siete de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el año 2000, busca garantizar la sostenibilidad del ambiente, respondiendo a las necesidades humanas sin destruir la capacidad del ambiente. Este objetivo propone como metas: reducir la pérdida de biodiversidad, disminuir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable y servicios básicos, mejorando la calidad de vida de las personas en el mundo (PNUD, 2013).

De igual manera, el Programa 21 (Acuerdo Global para promover el Desarrollo Sostenible) de la ONU, en relación con la protección de la calidad y la provisión de los recursos de agua dulce señala dos objetivos generales: (i) mantener un suministro suficiente de agua de buena calidad para toda la población que contribuya a la protección de la calidad de vida; y (ii) preservar, al mismo tiempo, las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las actividades humanas a los límites de la capacidad de la naturaleza (Proaño y otros, 2008).

El páramo provee hasta el 80% de agua dulce a las grandes ciudades como Quito, Bogotá (Buytaert y otros, 2006) y Cuenca (De Bièvre y otros, 2006) y no existe otro servicio más valorado que éste (Hofstede, 2008). Por otro lado, casi la totalidad del riego en la sierra ecuatoriana (cuya práctica es muy antigua) se hace con agua del páramo, que ha llegado cubrir 362 255 has (42% del total nacional) en el año 2000, según datos del Plan Nacional de Riego y Drenaje (MAGAP, 2011). Adicionalmente, este ecosistema tiene muy buena aptitud para generar energía hidroeléctrica, debido a la topografía que provee excelentes sitios para la construcción de pequeñas presas, y los constantes flujos base que garantizan una generación de energía permanente. Ejemplos de centrales son: los 11 proyectos a realizarse en la prov. de Pichincha (Villadora, Manduriacu y Chontal, entre estas), con una capacidad total de 1670 MW (Diario HOY, 2008), además la central de Pisayambo en la provincia de Tungurahua, que posee una capacidad de 70 MW, Saucay y Saymirín (14,4 y 24 MW, respectivamente) cerca de Cuenca, y Paute



con 2600 MW, siendo esta última una de las más grandes plantas hidroeléctricas de la región Andina (De Bièvre y otros, 2006).

### **2.2.5.3 Secuestro de carbono**

La preocupación mundial por el calentamiento global ha hecho que se tomen medidas para reducir la emisión de gases de efecto invernadero que provocan este fenómeno (Vega y Martínez, 2000). Las concentraciones de CO<sub>2</sub> han aumentado en un 32% desde la revolución industrial y más de las tres cuartas partes de este aumento se deben a la quema de combustibles fósiles y a los incendios forestales (Aguirre y Aguirre, 2004).

La firma del Protocolo de Kioto (PK) en 1997, definido en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), estableció metas para la reducción de emisiones de GEI a las naciones industrializadas, cuyo objetivo fue lograr que el total de emisiones alcance un nivel inferior en no menos de 5,2% a las del año 1990 (Jiménez, 2010), en el período comprendido entre los años 2008 y 2012 (Salinas y Hernández, 2008).

La creación de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), establecidos en el Artículo 12 del PK, ha tenido como objetivo el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones asumidas por los países industrializados y promover el desarrollo sostenible de países en vías de desarrollo (Portilla, 2003), sobresaliendo en esta temática los proyectos MDL forestales, que toman en cuenta las actividades de forestación y reforestación (Salinas y Hernández, 2008), que propicien la captura y secuestro de carbono.

El Ecuador cuenta con un total de 43 proyectos MDL, hasta el 2011, los cuales se encuentran registrados por la Autoridad Nacional para el Mecanismo de Desarrollo Limpio (AN-MDL); entre estos sobresalen proyectos hidroeléctricos como, el Paute-Sopladora (en funcionamiento desde 2011) con una reducción de emisiones de 1 367829 T CO<sub>2</sub>/año; proyectos de uso y tratamiento de metano para energía, como el de Zámbriza (desde 2007) con una capacidad de reducción de emisiones de 77188 T CO<sub>2</sub>/año, así como proyectos eólicos como el de San

Cristóbal en las islas Galápagos (desde 2008) con una reducción de emisiones de cerca de 3000 T CO<sub>2</sub>/año (AN-MDL, 2013).

Alternativamente, se están llevando a cabo iniciativas similares y muy relacionadas a los MDL, como el mecanismo de reducción de emisiones producto de la deforestación y la degradación ambiental (REDD) mediante el aumento de reservas de carbono (REDD+) (Ortega y otros, 2010). La idea central de REDD+ se basa en el establecimiento de un mecanismo de transferencias económicas para incentivar actividades enfocadas a la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal, reconociendo el papel del manejo forestal y el mejoramiento del almacenaje de carbono mediante la plantación de árboles y rehabilitación de tierras degradadas (CONAFOR, 2011).

En el Ecuador se han realizado proyectos basados en la implementación práctica de algunos principios del mecanismo REDD, mediante iniciativas como Socio Bosque (lanzado en 2008) y Socio Páramo (en 2009), que son programas de incentivo (pagos) para la conservación de áreas protegidas (M.A.R.C.O., 2009). Estos programas tienen como objetivo principal la conservación de bosques y páramos en todo el país, mediante la entrega de incentivos económicos a campesinos y comunidades indígenas que se comprometen a la conservación y protección de sus bosques nativos, páramos u otra vegetación nativa (MAE, 2008), y su ejecución, hasta el 2012, ha permitido la conservación de 1 058828 has de bosques nativos y páramos de gran importancia para la protección, captura de carbono y regulación de recursos hídricos (MAE, 2013).

El suelo del páramo es un gran depósito estable de carbono que ha sido acumulado durante miles de años (Célleri, 2009). Los páramos pueden almacenar tanto carbono por unidad de superficie como muchas selvas tropicales de tierras bajas. La diferencia está en que, mientras que en los bosques tropicales la mayor parte del carbono se encuentra en la biomasa aérea de la vegetación, en los páramos está almacenada en los suelos (CONDESAN, 2009).

Según el reporte de Buytaert y otros (2006), en los suelos de páramo, sobre todo en los páramos húmedos, se pueden tener contenidos de carbono orgánico

superiores al 40%, mientras que, en páramos secos se han obtenido valores de entre 2 y 10% en sus suelos.

La implementación de actividades forestales permitiría al mismo tiempo combatir la degradación de los suelos (Hofstede, 1999; FACE-PROFAFOR, 2005), y actuar como un gran sumidero de carbono (Coppus y otros, 2001). Entre las técnicas forestales más empleadas están la reforestación, la forestación, sucesión natural, y la restauración de ecosistemas (Aguirre y Aguirre, 2004).

En los páramos ecuatorianos, la experiencia de forestación es a gran escala y está basada exclusivamente en el uso de especies exóticas (Medina y otros, 2000), como *Pinus patula*, *Pinus radiata* y *Eucaliptus grandis*, entre otras (Estupiñan, 2002). Según Torres y Recharte (2007) estas plantaciones tienen efectos positivos cuando se usan en programas de rehabilitación de páramos sumamente degradados, donde se observa que el suelo ha recuperado su capacidad de infiltración y retención de agua. Además, los beneficios están dados por la combinación de factores como variables climáticas, temperatura, precipitación y silviculturales como la densidad de siembra, podas y entresacas (Cavelier y Tobler, 1998; Estupiñan, 2002).

Sin embargo, hay cierta discusión en cuanto a los beneficios de forestar con especies exóticas, sobre todo porque autores como Cortés y otros (1990) y Hofstede (1997) coinciden en que el impacto de estas plantaciones es la pérdida de agua en sus suelos. Carrere (2005) determinó que, en zonas de plantaciones de pino, en las provincias de Bolívar y Cotopaxi, se registra una disminución de agua disponible, el suelo está más seco que antes y se evidencia un importante grado de erosión, modificando la textura y estructura del suelo. Por otro lado, sobre la captura de carbono, se estima que la mayoría de plantaciones de pino fija entre 50 y 80 T C/ha (2-3 T C/ha/año) (Hofstede y Aguirre, 1999), existiendo evidencia de que las plantaciones de pinos, si bien contribuyen a la acumulación de carbono en los árboles, reducen la cantidad de carbono almacenada en el suelo, redistribuyéndolo debajo a encima de la tierra (Farley y otros, 2004), lo cual genera un riesgo de pérdida de carbono almacenado, ya que, debido a la

exudación de sustancias resinosas, ésta los vuelve propensos al fuego (FACE-PROFAFOR, 2005).

En cuanto a la forestación con especies nativas, ésta no se ha dado a gran escala por la falta de experiencia forestal (Hofstede, 1999), a pesar de esto, según De Bièvre y otros (2006) puede ser importante en la medida que ayuda a proteger el suelo. En la investigación realizada por Calderón y Lozada (2010), determinaron que individuos de la especie nativa *Polylepis incana* llegan a captar 20,55 T/ha de carbono en plantaciones forestales de 17 años y los individuos de la especie *Polylepis reticulata* hasta 9,18 T/ha a los 8 años. Así mismo, Hofstede (1999) menciona en FACE-PROFAFOR (2005) que, en el pajonal de páramo se pueden tener hasta un máximo de 20 toneladas de carbono por hectárea almacenado, cuyo valor no incluye al suelo.

Por otro lado, Céleri (2009) concluye que no se puede generalizar que una especie exótica es siempre “mala”, sino que su utilización debe estar a la par con el sitio donde se la quiere utilizar. Alternativas como el establecimiento de plantaciones con especies exóticas y el subsiguiente enriquecimiento con especies nativas podría ser también una promisoriosa opción de reforestar zonas altamente degradadas y rehabilitar la biodiversidad (Aguirre y Weber, 2007). Sin embargo, según Farley y otros (2004) el riesgo de la pérdida de carbono en el suelo tiene un fuerte impacto en la capacidad de regulación del páramo, dada la estrecha relación entre el servicio hidrológico y el servicio de acumulación de carbono en los suelos del páramo.

Por esto, es clave enfocarse en investigaciones que permitan conocer las propiedades de los suelos con miras a entender su rol en el almacenamiento de carbono, analizar los impactos de actividades antrópicas (sobrepastoreo, por ejemplo) sobre su funcionalidad y monitorear su papel en la regulación hídrica (Beltrán y otros, 2009).

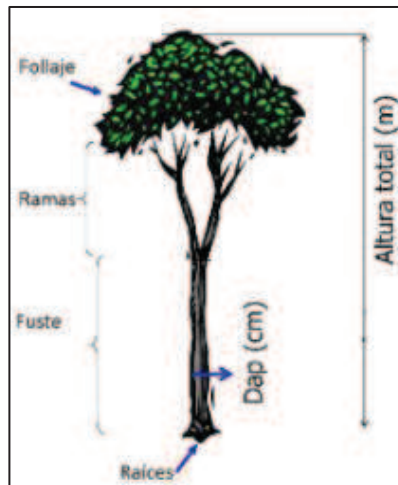
Uno de los mayores retos que se deben resolver es la manera como se cuantifica o estima el carbono almacenado por la capa vegetal existente (Gibbs y otros, 2007). Es difícil estimar el potencial de fijación de carbono en plantaciones de especies nativas (Hofstede y Aguirre, 1999), no obstante se han desarrollado

metodologías (directa e indirecta) desarrolladas por el IPCC (2003), que permiten cuantificar la biomasa (Jiménez, 2010), y por ende el carbono retenido en la vegetación.

#### *2.2.5.3.1 Estimación de biomasa y carbono mediante el método directo*

El método directo consiste en la extracción física de los árboles, además de la medición las variables dasométricas de éstos (ITMA, 2011), seguido de la disección en cada uno de sus componentes (tronco, ramas, hojas y raíces) (Ver Figura 2.11), para su posterior secado y pesado (MINAM, 2009).

**Figura 2.11 Componentes de un espécimen vegetal**



Fuente: (Cifuentes, 2011).

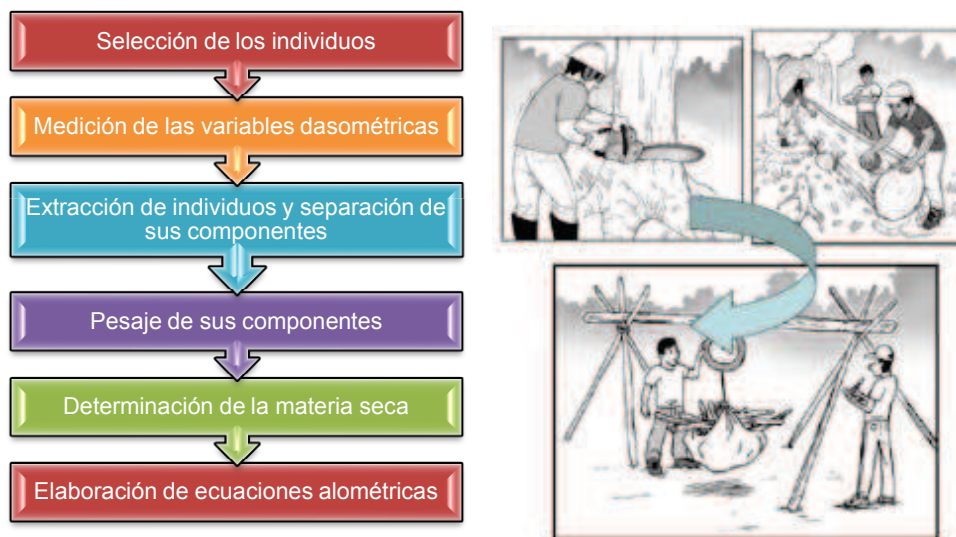
La biomasa total de cada individuo se obtiene mediante la suma de la biomasa de sus distintos componentes (González, 2008). Posteriormente, el valor obtenido de biomasa seca se convierte a carbono aplicando un factor de conversión de 0,5, debido a que se ha establecido que el contenido de carbono corresponde a cerca del 50% de la biomasa (IPCC, 2003).

Con los datos tanto de biomasa como dasométricos característicos de cada individuo, entre los que se encuentran el DAP (Diámetro a la altura del pecho), altura total y diámetro de copa principalmente (González, 2008), se realiza un análisis de regresión, donde se estudia las relaciones existentes entre las variables biomasa y dasométricas y con ello generar modelos o ecuaciones alométricas (Alvarez, 2008).

El término alometría estudia los patrones de crecimiento, cuya hipótesis sugiere que existe proporcionalidad entre las tasas de crecimiento relativas de dos variables de tamaño que pueden ser el peso de diferentes secciones o parte de un organismo o una de sus dimensiones (Álvarez, 2008). El resultado de esta teoría es la aplicación de herramientas o ecuaciones matemáticas que permiten conocer, de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de variables dasométricas (MINAM, 2009).

El método directo (y su desarrollo esquematizado en la Figura 2.12) es utilizado convencionalmente para proyectos locales pero, implica altas inversiones de tiempo, recursos y mano de obra (Gibbs y otros, 2007) por lo cual no es recomendado para niveles regionales o escalas nacionales (Snowdon y otros, 2002), debido a la extracción de una cantidad significativa de ejemplares para obtener mejores resultados (Álvarez, 2008). Sin embargo, es el más preciso para la estimación de la biomasa (Whittaker y Marks, 1975; Parde, 1980; Monroy y Navar, 2004; Álvarez, 2008).

**Figura 2.12 Desarrollo del método directo**



Fuente: (ITMA, 2011; Baker, 2009).

En general, la biomasa va a variar según la edad de la plantación y su densidad poblacional (Salas e Infante, 2006). Además, debido a la variabilidad de la forma de los árboles y densidad de la madera, son necesarias ecuaciones independientes para cada especie, debiendo ser desarrolladas para cada

proyecto forestal, considerando las variaciones de clima y suelo que influyen sobre las características de crecimiento de los árboles (Reynolds y otros, 2000).

### **2.2.6 EXPLOTACIÓN DEL PÁRAMO Y SUS EFECTOS**

A pesar de la importancia de los páramos, con el paso del tiempo, éstos se han visto afectados por el avance de la frontera agrícola, el pastoreo intensivo, procesos de contaminación relacionados con pesticidas, las quemadas frecuentes, la forestación inadecuada y la cacería (FLACSO-Ecuador, PNUMA, MAE, BID, ECORAE y PMRC, 2008).

Cuando los páramos son transformados a pasturas para ganadería, la densidad aparente del suelo se incrementa, mientras que la retención de agua en el suelo y su conductividad hidráulica disminuyen. Al emplear zonas de páramo para actividades agrícolas (especialmente para cultivos de papa), la cantidad de carbono orgánico del suelo se reduce (Podwojewski y otros, 2002), además el coeficiente de escorrentía se incrementa y la retención de agua disminuye, e incluso puede llegar hasta niveles irreversibles (Quintero, 2010).

Todos estos efectos pueden deteriorar la excelente capacidad de regulación hídrica que tienen los páramos, que les confiere una importancia estratégica como abastecedores de agua, al mantener las cauces de los ríos en niveles altos y regulares a través del tiempo (Buytaert y otros, 2007). Asimismo, estos cambios en las propiedades de los suelos pueden resultar en incrementos en la producción de sedimentos como de los caudales pico, ya que se aumenta la escorrentía (Quintero, 2010).

Al tener clara la vital importancia del páramo y que “éste es agua”, hay que hacer todo lo posible para asegurar este servicio durante mucho tiempo para la mayor cantidad de gente posible, por lo que se debería dejar el páramo tranquilo, visitarlo esporádicamente con fines científicos y turísticos y encontrar otras alternativas para la gente que se dedica a actividades que a fin de cuentas, poco bien le hacen a un ecosistema tan importante (Medina y Mena, 2001b).

## **CAPÍTULO 3**

### **DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

En este capítulo se presentan aspectos generales de la zona de estudio, desde los puntos de vista, ambiental, físico, y socioeconómicos que influyen en las condiciones (estado) allí presentes. En particular, se detalla la ubicación geográfica de la zona de Píntag y de las áreas estudiadas, se describe la orografía y características climatológicas como, el clima, la temperatura y la precipitación, y se realiza una breve caracterización de la cobertura vegetal y propiedades hidrodinámicas de los suelos correspondientes a las áreas de estudio A y B.

Posteriormente, se muestra información de tipo socioeconómica, referente a cambios demográficos, procesos sociales y actividades económicas en Píntag, cuyos valores fueron base fundamental para la definición de indicadores ecosistémicos de Fuerzas Motrices y Presiones, como parte esencial del marco analítico del proceso GEO.

#### **3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO**

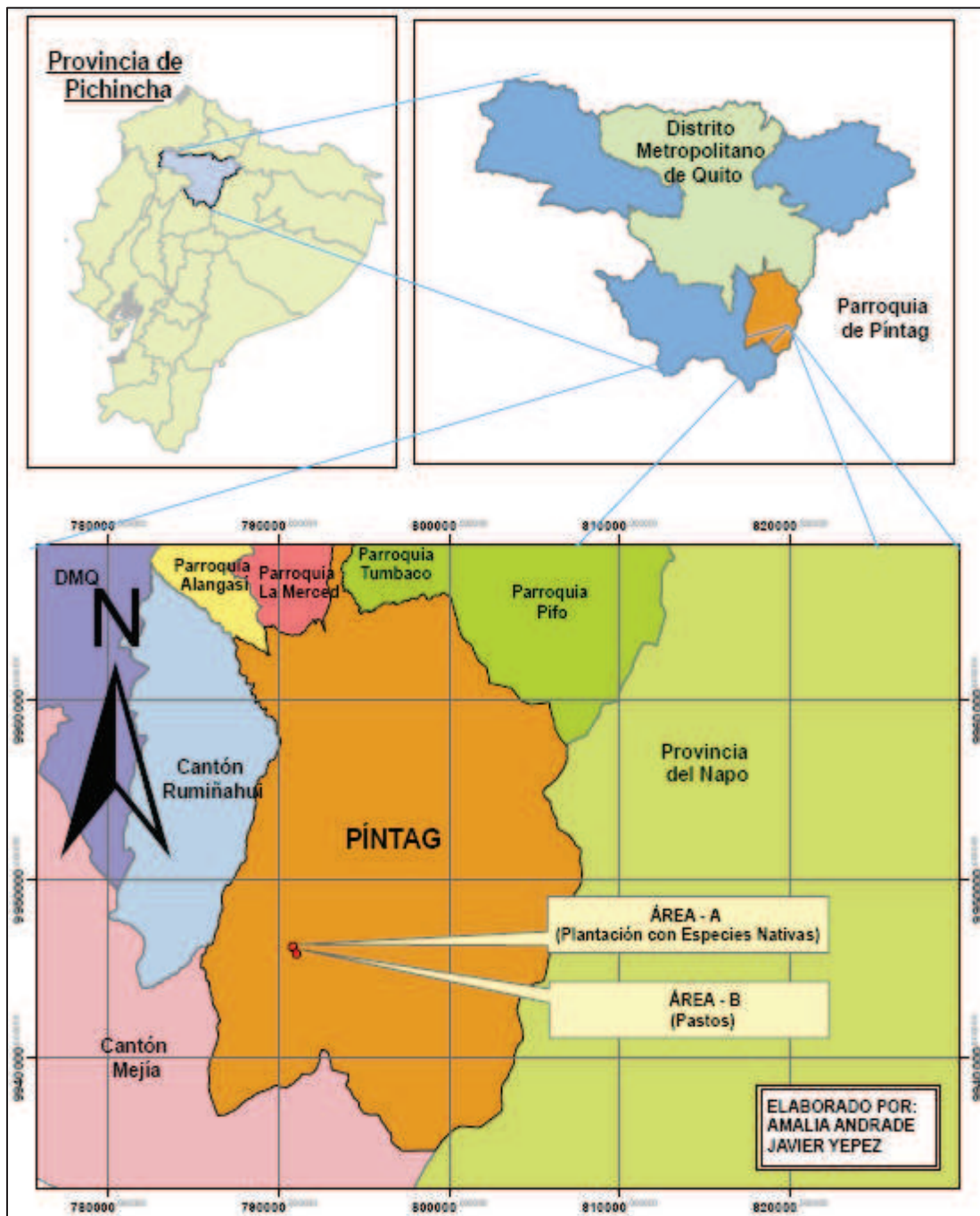
La zona de estudio se encuentra en las faldas del volcán Sincholagua en la parroquia Píntag, del cantón Quito, provincia de Pichincha. Esta parroquia se encuentra entre las coordenadas 78°15'0" de longitud occidental y 0°35'00" de latitud sur, a una altura aproximada de 2865 metros sobre el nivel del mar (Taco, 2009).

Píntag posee una superficie de 490,49 Km<sup>2</sup> (INEC, 2011), y sus límites son (Ver Figura 3.1):

NORTE: las parroquias de Pifo, Tumbaco, La Merced y Alangasí; SUR: con el cantón Mejía; ESTE: provincia de Napo; y al OESTE: los cantones Mejía y Rumiñahui



**Figura 3.1** Mapa de los límites de la zona de estudio en la parroquia Píntag y ubicación de las áreas de estudio



Fuente: (IGM, 2012).

Se analizaron específicamente dos áreas de estudio correspondientes a dos coberturas vegetales, Plantación con especies nativas-pajonal (A), y Pastos (B), (nombres dados de acuerdo a la investigación de Fuentes y Tapia (2011));

ubicadas en las haciendas cuyos propietarios son José Miranda y Cristina Pazmiño, respectivamente. La hacienda Miranda tiene un área aproximada de 278 ha., mientras que la hacienda Pazmiño cuenta con 1688 ha.

Las áreas de estudio se encuentran ubicadas en las coordenadas UTM, detalladas en el Cuadro 3.1, mostrado a continuación:

**Cuadro 3.1 Ubicación geográfica y codificación de las áreas de estudio**

HACIENDA	COBERTURAS VEGETALES	CÓDIGO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		ALTITUD (msnm)
			N	E	
Miranda	Plantación con especies nativas-pajonal	A	9946200	790788	3540
Pazmiño	Pastos	B	9945838	791036	3634

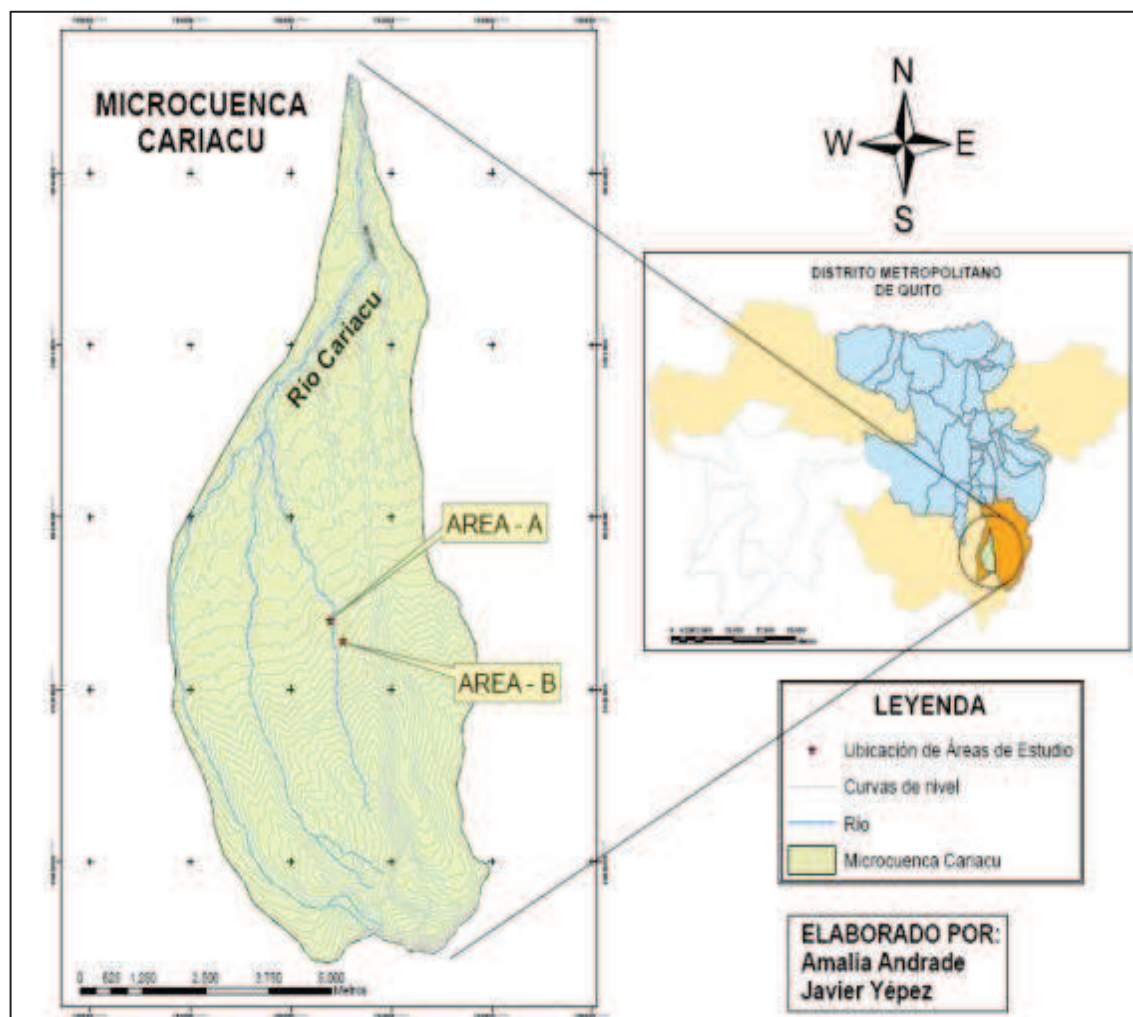
Fuente: (FONAG, 2012).

Adicionalmente, las áreas de estudio se encuentran dentro de la microcuenca Cariacu (Ver Figura 3.2), situada al norte de la parroquia Píntag, que forma parte de la microcuenca del río Pita. Esta pertenece a la cuenca del río Esmeraldas y a la subcuenca del río Guayllabamba. Su importancia radica en la diversidad de usos, sobre todo para abastecimiento urbano, riego, industrial, turístico, etc., (Orozco y Granja, 2006).

### 3.1.1 OROGRAFÍA

En el sector sur de la parroquia de Píntag se localizan los nevados Antisana y Sincholagua, por el oriente está la cordillera oriental de los Andes, cuyas principales elevaciones en la zona son: el Achupallas, el Quinto, Padre Corral, el Chulco, el Muradero entre otros (Beltrán, 2007). El Antisana, que está situado al sureste de Píntag, tiene una altura de 5758 m.s.n.m., mientras que el Sincholagua está situado a dos kilómetros en dirección noreste del Cotopaxi, con una altura de 4873 metros (IGM, 2012).

**Figura 3.2** Ubicación de las áreas de estudio dentro de la Microcuenca Cariacu



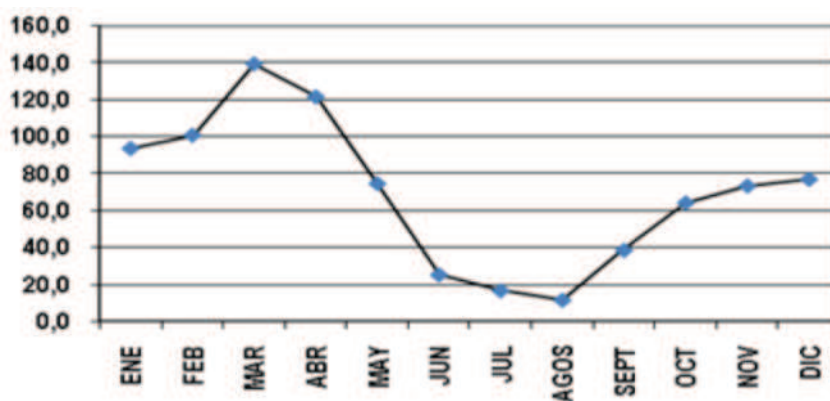
Fuente: (IGM, 2012).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES

El clima de Píntag es muy variable y se caracteriza por ser muy templado y frío, su temperatura varía entre 4 y 14°C (Véase mapa de isotermas en la Figura 8.7, ANEXO No 2 MAPAS) en todo el año. Según Beltrán (2007), el invierno aparece en el mes de octubre hasta el mes de mayo, donde se presentan altas precipitaciones, con valores superiores a los 60 mm, como se observa en la Figura 3.3. El verano empieza en el mes de junio hasta el mes de septiembre; con una temperatura promedio de 18 °C, debido a que la Cordillera de los Andes se ubica entre el nevado Antisana y la Parroquia al costado oriental, evitando el paso

de la corriente fría producida por los deshielos y la nieve; lo cual permite que el clima sea más templado. Los factores que modifican el clima de la zona de Píntag son: altura del lugar, ubicación con respecto a la Línea Equinoccial (a mayor cercanía con la línea ecuatorial, se tienen mayores temperaturas promedio (Querelle, 2013)), la Cordillera de los Andes y la Corriente Fría del nevado Antisana.

**Figura 3.3 Precipitación media anual en Píntag (mm), periodo 1990 - 2009**



Fuente: (INAMHI, 2010; GADPP, 2012).

En la zona de estudio, la investigación realizada por Fuentes y Tapia (2011) registró una serie de parámetros climáticos en la estación Miranda, correspondientes al año 2010. Esta estación forma parte de las 18 existentes en la Red Hidrometeorológica del FONAG, instaladas en el año 2009, manteniendo un registro de datos a partir del 2010.

Entre los parámetros climáticos monitoreados se encuentran la temperatura, cuyo rango fue de 3 a 21 °C, con valores promedio de 9°C. La humedad del ambiente registró un promedio de 74%, con valores mínimo y máximo de 12 y 99%, respectivamente. La velocidad del viento máxima alcanzó un valor de 35 m/s y un valor promedio de 1,2 m/s. En cuanto a la radiación solar, el valor máximo medido por la estación Miranda fue de 1,31 kW/m<sup>2</sup>, y un valor medio de 0,18 kW/m<sup>2</sup>.

Respecto a los datos de precipitación recolectados por la estación, la zona de estudio presentó una distribución bimodal, registrando valores de altas precipitaciones en los meses de abril (188 mm aprox.) y noviembre (181 mm

aprox.) del 2010; mientras que los valores más bajos se presentaron en los meses de marzo y agosto del mismo año con valores de 35,42 y 19,96 mm, respectivamente. La precipitación total anual fue de 1113,9 mm (Ver mapa de isoyetas de la Figura 8.8 en el ANEXO No 2 MAPAS).

### **3.3 SUELO**

El suelo de Píntag está compuesto por: entisoles, histosoles, inceptisoles y molisoles (Soil Survey Staff, 2010) característicos de la zona andina, además de afloramientos rocosos en la zona correspondiente al flujo lávico Antisanilla y nieve en el volcán Sincholagua (Ver mapa de la Figura 8.9 en ANEXO No 2 MAPAS). El entisol y el inceptisol son suelos jóvenes sometidos a fuertes pendientes sujetas a erosión, condición que no permite el desarrollo del suelo (GADPP, 2012).

El molisol es un suelo caracterizado por ser de zonas de pradera en climas templados; posee un horizonte superficial blando y presenta un color negro, el cual es un indicador de su alto contenido de materia orgánica. A este orden corresponde la mayor parte de los suelos de Píntag (GADPP, 2012).

### **3.4 COBERTURAS VEGETALES Y USO DE SUELO**

De acuerdo al Mapa de Cobertura Vegetal del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) (MDMQ, 2011), realizado a partir del enfoque ecosistémico de la NatureServe (2009) y basado en la investigación de Josse y otros (2003), se establecieron tres niveles jerárquicos acorde al entorno, que describen los tipos de cobertura vegetal y uso antropogénico del suelo, además de los sistemas ecológicos registrados en el DMQ (MDMQ, 2011) (Ver Cuadro 8.2, ANEXO No 3) y que corresponden a los siguientes:

- categorías (Nivel I),
- clases (Nivel II) y
- subclases (Nivel III).

A partir de los resultados obtenidos en este estudio y en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Píntag (GADPP, 2012), se detallaron las coberturas vegetales existentes y el uso de suelo de la parroquia Píntag descritos en el Cuadro 3.2.

Píntag posee la mayor área de vegetación natural después de la parroquia Lloa. Además, es importante mencionar que de los diecisiete sistemas ecológicos existentes en el DMQ (Ver ANEXO No 3), nueve se encuentran en Píntag. De estos sistemas, los bosques bajos y arbustales altoandinos paramunos se encuentran muy fragmentados cubriendo un área de 1948 ha.

También, la parroquia de Píntag posee la mayor extensión de arbustos húmedos y secos (con una superficie cubierta de 11481 ha.), con formaciones vegetales arbustivas, producto de la sucesión natural. Adicionalmente, se encuentran herbazales húmedos y secos (pajonales) por una cantidad considerable de 21255 ha (MDMQ, 2011).

Por otro lado, las áreas seminaturales de Píntag están determinadas por la presencia tanto de bosques secundarios como de matorral en regeneración; lo que ayudaría a la restauración y conectividad de ecosistemas fragmentados, mismos que, lamentablemente, se encuentran interrumpidos por procesos antrópicos como la agricultura y ganadería. Además, en esta parroquia se encuentran plantaciones de eucalipto, pino y ciprés en una cantidad de 1190 ha.

Actualmente el área de Píntag se encuentra cubierta en un 60% aproximadamente, por vegetación de páramo, predominando las formaciones vegetales de pajonales altimontanos y montanos paramunos, arbustales bajos y matorrales altoandinos paramunos. La superficie de páramo intervenido está cubierta en su mayoría por vegetación natural herbácea poco densa, sometida a actividad ganadera moderada e intensa (15,5% del área de Píntag), además de estar amenazada por la ampliación de la frontera agrícola, que llega a cubrir un porcentaje del 8,7% del área total de Píntag (Orozco y Granja, 2006; GADPP, 2012).

**Cuadro 3.2 Coberturas vegetales y uso de suelo en la parroquia Píntag**



NIVEL I CATEGORIAS	NIVEL II CLASES	NIVEL III SUBCLASE	AREA APROX. (Ha)	AREA APROX. (%)
1. Vegetación Natural	1. Bosques Húmedos	1. Bosque altimontano norte- andino siempreverde	35000	71,4%
		2. Bosque bajo y arbustal altoandino		
	3. Arbustos Húmedos	9. Arbustal bajo y matorral altoandino		
	4. Arbustos Secos	11. Arbustal seco interandino.		
	5. Herbazales Húmedos	12. Vegetación geliturbada y edafoixerófila subnival paramuna		
		13. Bofedal altoandino paramuno		
		14. Pajonal altimontano y montano paramuno		
6. Herbazales secos	15. Pajonal edafoixerófilo altimontano			
6. Herbazales secos	17. Herbazal montano			
2. Áreas seminaturales	7. Vegetación en regeneración natural	19. Matorral en regeneración	1190	2,4%
	8. Vegetación cultivada latifoliada	22. Eucalipto adulto		
		23. Eucalipto joven y en regeneración		
9. Vegetación cultivada conífera	24. Pino y ciprés			
3. Áreas Cultivadas	10. Cultivos	25. Cultivos de ciclo corto	3200	6,5%
	11. Pastos	29. Pasto cultivado		
4. Espacios Abiertos	12. Suelos desnudos de origen natural	31. Roca	958	2,0%
	13. Suelos desnudos por procesos antropogénicos	34. Cantera	--	
5. Áreas artificiales	14. Infraestructura	36. Edificaciones	100	0,2%
		39. Invernadero		
6. Cuerpos de agua	15. Agua en cauces naturales	41. Laguna	208	0,4%
Otros	Flujo lávico antisnilla, entre otros		8393	17,1%
<b>TOTAL</b>			<b>49049</b>	<b>100%</b>

Fuente: (GADPP, 2012, MDMQ, 2011).

### 3.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

Las características de las áreas de estudio A y B correspondientes a las coberturas vegetales “Plantación con especies nativas-pajonal” y “Pastos”, respectivamente, se detallan en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3 Características de las áreas de estudio

a)IdIdI	ÁREA-A Plantación con especies nativas-pajonal	ÁREA-B Pastos
Pendiente (%)	9 -14 (Ver Figura 8.10)	12 – 17 (Ver Figura 8.10)
Altitud (m.s.n.m)	3560 – 3600	3600 - 3640
Área (Ha)	13,6	26,26
Uso antecedente del suelo	Pastoreo moderado	Pastoreo moderado
Uso actual del suelo	Pastoreo de ganado vacuno de baja intensidad *	Pastoreo de ganado vacuno intenso
Estado del páramo	Intervenido	Muy Intervenido
Registro Fotográfico		

\* El área A también es destinada a conservación, según Miranda (2013).

Fuente: (Fuentes y Tapia, 2011; Miranda, 2013; Pazmiño, 2013).

### 3.4.2 ÁREA A: COBERTURA PLANTACIÓN CON ESPECIES NATIVAS-PAJONAL

Según Fuentes, y Tapia (2011), en la plantación de especies nativas-pajonal domina el estrato herbáceo (52%) con especies como el *Calamagrostis spp.* y *Agrostis* de la familia *Poaceae*. La primera es la especie más común en los páramos, forma una vegetación cerrada con alturas de hasta 1 m. En el estrato terrestre (27%) se identificaron especies como el orejuelo (*Lachemilla orbiculata*) de la familia de las *Rosáceas* y la *Azorrella trifurcata* de la familia de las *Apiaceas*. El estrato arbustivo (7%) presente en esta área indica signos de regeneración natural, donde predominan las especies de las familias *Asteraceae* y *Melastomataceae* (Ver Figura 3.4).



**Figura 3.4 Vista panorámica del Área A**



Fuente: Hacienda Miranda - Plantación con especies nativas pajonal.

Así mismo, especies de la familia de las Rosáceas (*Polylepis Reticulata* y *Polylepis incana*) y de las Asteráceas y Budlejaceas (*Gynoxys* y *Buddleja incana*, respectivamente) conforman el estrato arbóreo con un 14% del total de estratos vegetales en esta área.

El sistema radicular de esta cobertura lo constituyen raicillas, que sobrepasan los 30 cm de profundidad, las cuales se reducen a medida que aumenta la profundidad, esto ofrece una distribución uniforme en el perfil del suelo, manteniendo una adecuada porosidad y bajo nivel de compactación.

**Figura 3.5 Especies: a) *Calamagrostis Intermedia* y b) *Gynoxys Halli***



a) *Calamagrostis Intermedia*



b) *Gynoxys halli*

Fuente: Hacienda Miranda - Plantación con especies nativas pajonal.

Para el presente estudio, las especies que se estudiaron en esta cobertura vegetal fueron: la *Calamagrostis Intermedia* (Ver Figura 3.5a) como especie representativa del estrato herbáceo y la especie *Gynoxys halli* (Ver Figura 3.5b), por parte del estrato arbóreo.

La especie *Calamagrostis Intermedia* fue seleccionada por ser el grupo de mayor dominancia en el área de estudio (52%); en tanto que, la *Gynoxys halli* fue escogida debido a su uso en los procesos de reforestación y restauración en zonas degradadas con el objetivo de recuperar la cobertura vegetal nativa de los ecosistemas alto-andinos; esto como parte del proyecto que viene llevando a cabo el FONAG mediante su Programa de Recuperación de la Cobertura Vegetal.

### 3.4.3 ÁREA B: COBERTURA PASTOS

En esta área se evidencia un predominio del estrato terrestre con un 83%, seguido del estrato herbáceo con 14% y arbustivo con un 3% (Ver Figura 3.6). En el primer estrato sobresale la especie *Azorella trifurcata* (Ver Figura 3.7c); mientras que en los herbáceos hay una presencia de la especie *Holcus lanatus* (Ver Figura 3.7d y Figura 3.7e). Estas especies son indicadoras de un bajo estado de salud del páramo (Fuentes y Tapia, 2011).

#### Figura 3.6 Vista panorámica del área B



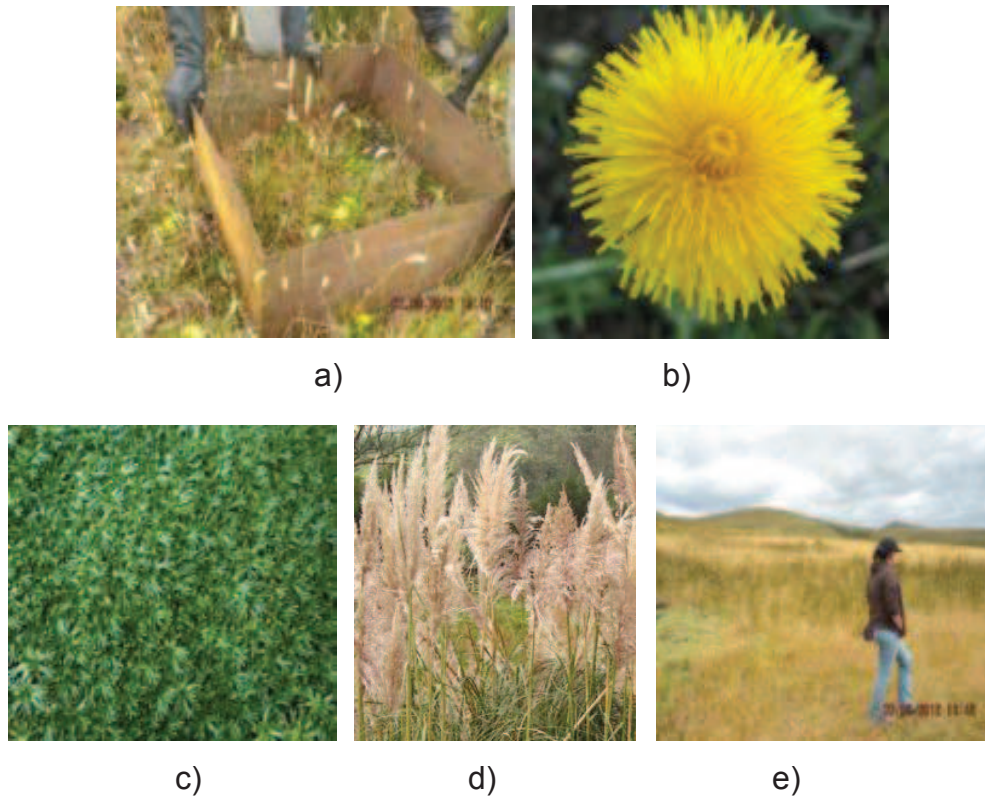
Fuente: Hacienda Pazmiño - Pastos.

Su sistema radicular lo constituyen una intrincada red de raíces que no superan los primeros 30cm de profundidad, cuyo crecimiento se ve limitado por el

endurecimiento (compactación) que experimenta el suelo debido a la intensa actividad ganadera a la que está sometida esta área.

Las especies vegetales encontradas se muestran a continuación en la Figura 3.7.

**Figura 3.7** a) Cobertura vegetal pastos, especies: b) *Achicoria amarga*, c) *Azorella trifurcata*, d) *Holcus lanatus*, e) *Holcus lanatus* distribuido en el área de estudio



Fuente: Hacienda Pazmiño - Pastos.

### 3.5 PROPIEDADES HIDRODINÁMICAS DEL SUELO

Los suelos de las áreas de estudio A y B presentan algunas propiedades que influyen en las características hidrodinámicas, que los diferencian entre sí. Estas propiedades se han modificado debido a la acción antrópica, principalmente por prácticas agrícolas (Rubio, 2005) y ganaderas.

Entre estas propiedades se encuentran: la humedad del suelo, textura, densidad aparente, porosidad y la materia orgánica.

### **3.5.1 HUMEDAD DEL SUELO**

De lo concluido por Fuentes y Tapia (2011), la distribución bimodal de la variación de la precipitación en las áreas de estudio en el año 2010 permitió dividirla en periodos seco y lluvioso, además determinaron que, en el período seco el área que capta y mantiene mayor cantidad de precipitación a través tiempo es la de cobertura Plantación con especies nativas-pajonal (21,13% y 6,32% en los meses de enero a marzo y agosto a septiembre, respectivamente), a diferencia del área de Pastos, con valores de 6,33% y 0,04%, para los meses antes mencionados, demostrando que el suelo con cobertura Plantación de especies nativas presenta mayor porosidad, por tanto menor densidad aparente y menor grado de compactación que el suelo bajo Pastos.

Por otro lado, sucede lo contrario en el periodo lluvioso, donde registran mayores incrementos de agua en el área bajo la cobertura Pastos, con valores de 54,25% y 38,77% en los meses de abril a junio y octubre a diciembre, respectivamente; en tanto que el suelo bajo la plantación con especies nativas-pajonal presentó valores porcentuales de incremento de 48,56% y 36%, respectivamente para los periodos antes mencionados, esto debido a la presencia de una mayor humedad antecedente (contenido mínimo o inicial de humedad que tienen todos los suelos) en la cobertura Plantación con especies nativas, que hace que el incremento de humedad sea menor al de la cobertura Pastos.

### **3.5.2 TEXTURA**

La textura de los suelos presenta condiciones muy similares en las áreas A y B, caracterizándose por tener una clase textural franca (franco arcillosa a franco arenosa), con altos contenidos de arena, medianas cantidades de limo y una menor proporción de arcillas (Ver mapa de textura en Píntag, Figura 8.11 del ANEXO No 2). Este tipo de suelos se encuentran en un rango mediano de capacidad de retención de agua según los estudios realizados por Thompson y Troeh (1988).

El tipo de textura del suelo tiene que ver con las propiedades hídricas, siendo los suelos arenosos más permeables, los arcillosos presentan una mayor retención de agua, y los limosos más impermeables (Garrido, 1993).

### **3.5.3 DENSIDAD APARENTE**

Comparando los valores de densidad aparente del estudio de Fuentes y Tapia (2011) (de 0,81 a 0,85 g/cm<sup>3</sup> para Plantación con especies nativas, y de 0,85 a 0,91 g/cm<sup>3</sup> para la zona de Pastos), con los de un suelo de páramo en forma natural, como se ha registrado al norte del Ecuador (valores bajos de 0,3 a 0,9 g/cm<sup>3</sup>) (Podwojewski, y otros, 2000), los suelos de las áreas analizadas evidencian compactación, sin embargo, éstos no llegan a ser considerados suelos totalmente compactados, ya que como lo indica el Manual de Procedimientos Analíticos de la Universidad Nacional Autónoma de México, análisis de laboratorio en suelos compactados obtuvieron valores de densidad aparente entre 1,90 – 1,95 g/cm<sup>3</sup>.

A pesar de que el área A correspondiente a plantación con especies nativas-pajonal estuvo sometida a pastoreo, se puede evidenciar que existe una recuperación parcial del suelo, a diferencia del área B (pastos), que refleja la compactación sufrida debido al pisoteo de ganado al que se encuentra sometido hasta la actualidad.

### **3.5.4 POROSIDAD**

La porosidad al verse afectada por factores como pisoteo y desecación, resultan en una disminución irreversible de la capacidad de retener agua (Pérez y Valdiviezo, 2007).

Los valores de porcentaje de poros del área B reflejan una leve disminución de esta propiedad, con un valor promedio de 57%, a diferencia de los suelos del área A, que registran valores de porosidad de 60%, donde se tendría un mayor almacenamiento de agua, minimizando los procesos de escorrentía (Buytaert y otros, 2006), permitiendo el buen desarrollo de las raíces, haciendo de estos suelos resistentes a procesos erosivos (Mena y otros, 2000).

### **3.5.5 MATERIA ORGÁNICA**

Considerando que el alto contenido de materia orgánica es una de las características particulares del páramo que permite que el suelo almacene y regule el agua, y evite la escorrentía (Buytaert y otros, 2006), los valores de materia orgánica en las áreas de estudio se encuentran muy cercanos entre sí, con valores promedio de 10,44% y 9,42% para los suelos de las áreas A y B, respectivamente.

Tomando en cuenta que el contenido de materia orgánica es sensible a los efectos del pastoreo, los valores de materia orgánica del área B son relativamente menores a los del área A, cuya superficie se mantiene protegida con fines de conservación.

## **3.6 CARACTERIZACION SOCIO ECONÓMICA**

De lo tratado en el numeral 2.1 del capítulo anterior, la metodología GEO incluye la participación de diferentes sectores sociales, integrando perspectivas globales, regionales y locales, sean estas históricas y futuras; articulando aspectos socioeconómicos y ambientales a fin de minimizar las acciones que generan la degradación ambiental.

Con el objetivo de caracterizar socioeconómicamente a la zona de estudio, y como un aporte para el desarrollo de los indicadores de Fuerzas Motrices y Presiones, se analizó e incluyó información de la parroquia de Píntag sobre cifras demográficas básicas, actividades económicas, datos relacionados con el bienestar humano y pobreza, acceso a la vivienda, salud y educación, así como dotación de servicios básicos, que permitan determinar el grado de desarrollo de este poblado.

### **3.6.1 DEMOGRAFÍA**

La parroquia de Píntag tiene una superficie aproximada de 490,49 Km<sup>2</sup> (GADPP, 2012), con una población total de 17930 habitantes, resultando en una densidad poblacional es de 36,58 hab/Km<sup>2</sup>, y una tasa de crecimiento poblacional anual

2001-2010 del 2,37%, basada en los cifras de población del año 2001 que llegó a los 14487 (INEC, 2011).

### **3.6.2 ASPECTOS ECONÓMICOS**

Las actividades económicas predominantes en Píntag son la minería, agricultura y la ganadería (Beltrán, 2007) (Ver Figura 8.12 del ANEXO No 2). La actividad minera es de tipo no metálica, basada en la explotación de material pétreo (GADPP, 2012) que incluye lastre, ripio, piedra y arena (Cárdenas y Chaparro, 2004). La agricultura está dada principalmente por la producción de cereales, hortalizas y tubérculos (GADPP, 2012); mientras que, la ganadería ésta enfocada especialmente en la producción de ganado de leche y engorde, además de una considerable actividad ganadera ovina en el páramo, por lo que esta parroquia es considerada una de las zonas agrícolas y ganaderas más importantes del Distrito Metropolitano de Quito (Beltrán, 2007) (Ver Figura 8.13 del ANEXO No 2).

Adicionalmente, parte de la economía constituye la crianza de animales menores de granja como cuyes, conejos, gallinas, pollos, patos, gansos, pavos, palomas, y en menor número ganado porcino y caballar. Mientras que, en las zonas donde existen cuerpos de agua naturales, muchas familias se dedican a la cría de truchas, y a actividades turísticas. Por otra parte, la siembra bosques de pino y eucalipto se ha fomentado para obtener ingresos familiares adicionales (GADPP, 2012).

Aproximadamente el 70% de la población económicamente activa vende su fuerza laboral al cantón Rumiñahui y al Distrito Metropolitano de Quito. Ésta se encuentra ocupada predominantemente en actividades de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con 18%, en el campo de la construcción con 16% e Industrias manufactureras con el 13%, entre las cifras con mayor porcentaje (GADPP, 2012). En menor proporción se dedican a actividades en el sector público con 10 % aproximado (actividades financieras y de seguros, servicios administrativos, administración pública, etc.) y un porcentaje mínimo en el sector turístico (2%) (Taco, 2009).

Según los datos del GADPP obtenidos en el censo del INEC, en el 2001, el porcentaje de hogares que se encuentran en condiciones de pobreza extrema (personas que viven con menos de \$1,25 diarios según el Banco Mundial) en la parroquia Píntag (20,4%) es superior a los valores de la provincia de Pichincha (14,6%) y del DMQ (8,2%). Sin embargo, los valores de pobreza (personas que viven con menos de \$2,00 diarios según el Banco Mundial) en Píntag son menores (38%) a los provinciales (40,6%) y cantonales (43,5%) (GADPP, 2012).

### **3.6.3 ASPECTOS SOCIALES**

En cuanto a la parte social en Píntag, el 50% de la población tiene acceso a vivienda propia y totalmente pagada, lo que sumado al porcentaje que posee vivienda propia cedida o heredada, dan un total de 67% de la población que posee una vivienda propia, frente al 11% de familias que arriendan una vivienda, y un 16% de la población que tiene vivienda prestada, es decir, no es propia.

En relación a la salud en Píntag, uno de los problemas que causan preocupación es la falta de sub-centros de salud encargados de atender a la población urbana y rural de la parroquia, además, existe una deficiencia importante de personal médico, lo que obliga a la población a recurrir a los centros de salud de las parroquias cercanas como Sangolquí, Conocoto, Alangasí, La Merced y Pifo (Orozco y Granja, 2006).

Adicionalmente, los indicadores de salud evidencian un preocupante nivel de desnutrición del 63% en la parroquia, mientras que la enfermedad más frecuente es la diarrea aguda causada por las deficientes condiciones sanitarias de la población, sobre todo debido a la falta de acceso a agua segura, al saneamiento básico deficitario y a los malos hábitos de la población. Otra enfermedad que se presenta con frecuencia es la amigdalitis aguda y los altos índices de infecciones respiratorias agudas (IRA) (GADPP, 2012).

En el tema de servicios básicos, la población de la parroquia de Píntag no cuenta con todos los servicios básicos, siendo el tema del agua el más notorio. Solo el 69,50% de la población cuenta actualmente con el servicio de agua potable, siendo beneficiados especialmente los habitantes de la cabecera parroquial, el



27,83% accede al agua entubada de río, vertiente, acequia o canal, y el 1,78% obtiene este servicio de agua lluvia (GADPP, 2012).

Por su parte, sobre el sistema de alcantarillado, un 63,5% de la Parroquia posee el servicio básico conectado a la red pública de alcantarillado, mientras que el 28% de la población posee un sistema de pozos ciegos o sépticos, y el 1,54% realiza sus descargas directamente a los ríos.

El sistema de energía eléctrica está cubierto en un 97,35%, mientras que, no cuentan con este servicio el 2,39%, además, el 0,15% obtiene este servicio de formas alternas y el 0,11% cuenta con generador de luz (planta eléctrica) (GADPP, 2012) por una cantidad limitada de horas al día, sobre todo en las zonas más alejadas de la cabecera parroquial.

## **CAPÍTULO 4**

# **METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE INDICADORES ECOSISTÉMICOS DE FUERZAS MOTRICES, PRESIONES Y ESTADO**

El propósito de este capítulo es detallar la metodología empleada durante todo el proceso de desarrollo de la investigación, identificando en primera instancia las problemáticas asociadas a las zonas de estudio, lo cual permite definir los indicadores de fuerzas motrices para la parroquia de Píntag, el DMQ, y Sangolquí; los indicadores de presión para las haciendas Miranda y Pazmiño; y, los indicadores de estado de conservación para las áreas A y B.

### **4.1 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICAS E INDICADORES**

La metodología EAI-GEO desarrollada por el PNUMA, como se mencionó anteriormente en el CAPÍTULO 2, tiene como objetivo elaborar y difundir informes actualizados sobre el estado del ambiente a nivel mundial, nacional, regional y local (PNUMA y FLACSO – Ecuador, 2011). El enfoque de la metodología EAI-GEO se basa en 5 elementos: Fuerzas motrices, Presiones, Estado actual, Impactos y Respuestas (Buitrago y Rada, 2011), que analiza las interrelaciones entre la sociedad humana y el ambiente (PNUMA, 2010), vinculados en el principio de causa-efecto que se muestra en la Figura 4.1.

El análisis de todos los elementos del marco analítico en una zona determinada, mediante la definición de datos e indicadores específicos, presenta una serie de desafíos para el o los responsables al momento de limitar la investigación, dada la complejidad que involucra el estudio del ambiente en el contexto social, económico y ambiental (PNUMA e IIDS, 2009).

Por ello, en el presente estudio se limita el alcance de la aplicación de la metodología GEO al análisis de tres de los elementos del marco analítico general;

éstos son: Fuerzas motrices, Presiones y Estado, como se observa en la Figura 4.2.

**Figura 4.1 Marco Analítico EAI-GEO**



Fuente: (PNUMA e IIDS, 2009).

Las fuerzas motrices (factores indirectos) hacen referencia a procesos económicos y sociales fundamentales (PNUMA, 2007), que causan presiones directas (factores directos) sobre el ambiente; estas a su vez provocan cambios en el estado (situación actual) y los servicios que el ambiente proporciona (PNUMA e IIDS, 2009).

**Figura 4.2 Elementos del marco analítico EAI-GEO analizados en este estudio**

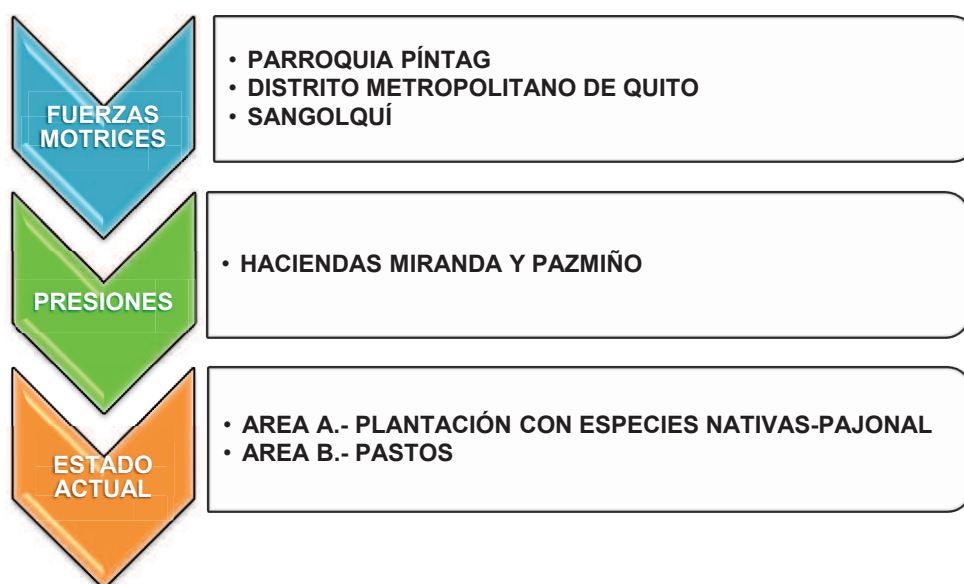


Fuente: (PNUMA e IIDS, 2009).

Según el PNUMA e IIDS (2009) la identificación de problemáticas ambientales y sociales, que mantengan un vínculo evidente con el marco conceptual de la EAI-GEO, es un paso previo muy importante al momento de realizar una investigación. Por esto, los indicadores analizados en esta investigación fueron desarrollados con base en las problemáticas identificadas y en las correlaciones entre indicadores (relaciones de causa y efecto).

El ámbito de estudio considerado para cada elemento se visualiza en la Figura 4.3 mostrada a continuación:

**Figura 4.3** **Ámbito de estudio de los elementos FM-P-E**



Elaborado por: Autores

Las problemáticas relacionadas con el elemento Fuerzas Motrices, se desarrollaron en base a la información socioeconómica de la parroquia de Píntag y sus zonas de influencia (Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y Sangolquí), debido a que estos sectores ejercen una presión indirecta sobre los recursos provenientes de dicha parroquia.

Por otro lado, para las problemáticas referidas a las presiones, se consideró la utilización de los datos referentes a producción agropecuaria total, tanto de la hacienda Miranda, como de la hacienda Pazmiño, que reflejan las presiones a las que se encuentran sometidas las áreas de estudio.

Con relación al estado actual, las problemáticas se determinaron directamente en base a la información recopilada de las áreas A (con cobertura Plantación con especies nativas-pajonal) y B (de cobertura vegetal Pastos) de la zona de estudio, ya definidas en el CAPÍTULO 3 del presente estudio.

#### **4.1.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PROBLEMÁTICAS**

De acuerdo a lo mencionado en el informe del PNUMA e IIDS (2009) es posible identificar o priorizar las problemáticas más importantes mediante una combinación de procedimientos, entre los cuales se puede destacar: un proceso de diálogo y exposición de ideas entre los integrantes de la investigación, consultas y entrevistas con múltiples expertos y actores, así como la revisión de bibliografía relacionada al tema y lugar de investigación.

Para la determinación de problemáticas en la presente investigación se emplearon los siguientes mecanismos o procedimientos:

- Se llevó a cabo diversas reuniones entre los integrantes del presente estudio y el director de la misma, donde como primer punto se analizaron las áreas temáticas del GEO (Ver Figura 2.2) considerando su aplicabilidad en la zona de estudio. Además, se tomaron en cuenta otros criterios como, importancia y disponibilidad de información, el alcance del proyecto y la aplicabilidad en otros estudios de los temas tratados.
- Se realizó una revisión bibliográfica acerca de las temáticas y problemáticas discutidas en las reuniones que facilitó la determinación, mediante consenso, de la lista de problemáticas a analizar para el presente estudio.
- Como un paso adicional se realizaron consultas y entrevistas con diferentes expertos en los temas tratados, con el fin de ampliar la visión de la importancia de las problemáticas seleccionadas, para determinar en base a ellas los indicadores a desarrollar.

Este procedimiento se encuentra esquematizado en el Cuadro 4.1, mostrado a continuación:

**Cuadro 4.1 Matriz de criterios del manual EAI-GEO del PNUMA para la selección de problemáticas en este estudio**

ÁREAS TEMÁTICAS GEO	PROBLEMÁTICAS	APLICABILIDAD EN LA ZONA DE ESTUDIO		DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN			DISPONIBILIDAD DE TIEMPO, RECURSOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN			ALCANCE DENTRO DE ESTA INVESTIGACIÓN		PROBLEMÁTICA SELECCIONADA EN BASE A CONSENSO		APLICACIÓN EN OTROS ESTUDIOS GEO			OBSERVACIONES	PROBLEMÁTICA SELECCIONADA	ELEMENTO DEL MARCO ANALÍTICO EAI-GEO PERTINENTE	
		NO	SI	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA	NO	SI	NO	SI	NOMBRE DE ESTUDIO	AUTOR	AÑO				
TIERRA	Erosión del suelo		X		X															
	desertificación		X	X																
	salinización de la tierra		X	X																
BOSQUES	pérdida de bosques, áreas protegidas, recursos silvícolas		X		X															
	degradación de la calidad de los bosques		X		X															
	pérdida de especies		X		X															
BIODIVERSIDAD	pérdida de hábitat		X		X															
	comercio de especies	X		X																
	sobrexplotación	X		X																
	pesquería		X		X															
	áreas protegidas		X		X															
AGUA DULCE	secuestro de carbono		X		X															
	recursos de agua dulce		X		X															
ATMOSFERA	calidad del agua		X		X															
	cambio climático		X		X															
ZONAS MARINAS Y COSTERAS	agotamiento del ozono estratosférico		X		X															
	contaminación marina y costera	X		X																
	desastres naturales	X		X																
DESASTRES	desastres antropogénicos	X		X																
	urbanización	X		X																
ZONAS URBANAS	contaminación del aire	X		X																
	gestión de residuos	X		X																
SOCIOECONOMÍA (incluye salud)	población		X		X															
	reuniones sociales		X		X															
	economía		X		X															
	consumo		X		X															
	producción		X		X															
	transporte	X		X																
	asuntos agropecuarios		X		X															
	salud y bienestar humano		X		X															
	Gobernanza		X		X															
	apoyar conjuntos de datos		X		X															

Elaborado por: Autores

Las problemáticas identificadas para cada elemento de análisis se detallan en la Figura 4.4, mostrada a continuación:

**Figura 4.4 Problemáticas definidas para la zona de estudio**



Elaborado por: Autores

#### 4.1.2 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE INDICADORES

El informe EAI – GEO del PNUMA e IIDS (2009) sugiere que, al igual que la identificación y selección de problemáticas clave, el proceso de obtener y analizar datos, desarrollar indicadores e índices significa tomar decisiones acerca de qué incluir y qué medir. Para esto fue fundamental y necesario seleccionar los indicadores más importantes de acuerdo a criterios (tomados del Banco Mundial (1997)) como:

- Desarrollarse dentro de un marco conceptual aceptado, que permita estructurar la información y facilitar su acceso e interpretación. El modelo aplicado en esta investigación es el modelo fuerza motriz – presión - estado (FMPE), que se deriva del fuerza motriz – presión – estado – impacto - respuesta (FMPEIR);

- Tener facilidad de interpretación, claramente definidos y ser capaces de mostrar tendencias a lo largo del tiempo;
- Ser científicamente creíbles, que estén basados en datos de alta calidad y cuyas fuentes sean totalmente confiables;
- Tener relevancia en términos de política pública, ser relevantes para los usuarios, políticamente aceptables y constituir un fundamento para la toma de decisiones;
- Tener requisitos razonables de datos, ya sea datos disponibles o datos que pueden recolectarse en forma periódica a un bajo costo.
- Que se limite al alcance de la investigación, en función de los objetivos general y específicos de la misma,

A continuación se muestra de manera más detallada los criterios para la selección de indicadores detallados en el marco lógico del Cuadro 4.2:



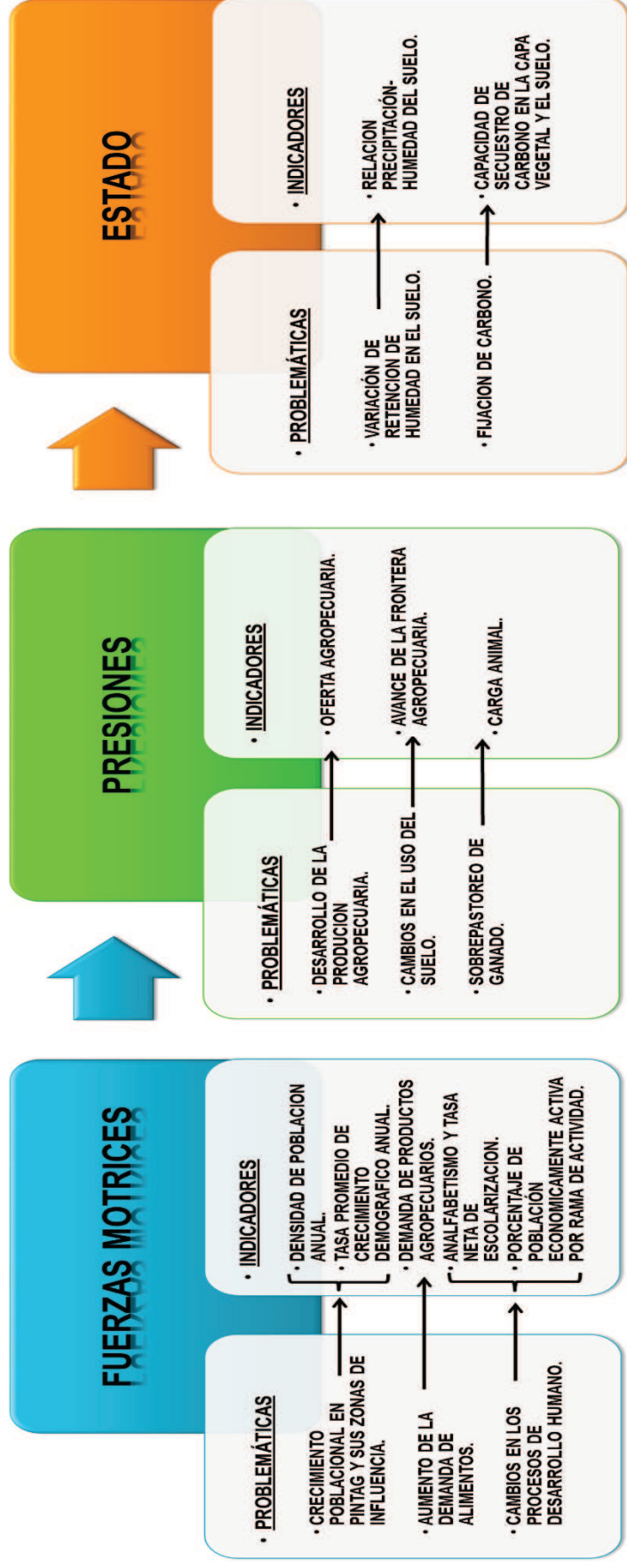
Cuadro 4.2 Matriz de criterios para la selección de indicadores en este estudio

ELEMENTO DEL MARCO ANALÍTICO EAI-GEO	PROBLEMÁTICAS SELECCIONADAS	LISTA DE INDICADORES	DESARROLLO DENTRO DE UN MARCO CONCEPTUAL ACEPTADO			FACILIDAD DE INTERPRETACIÓN			CREDIBILIDAD CIENTÍFICA			RELEVANCIA PARA LA SOCIEDAD EN TÉRMINOS DE POLÍTICA PÚBLICA			DISPONIBILIDAD DE DATOS O INFORMACIÓN			DISPONIBILIDAD DE TIEMPO, RECURSOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS			ALCANCE DENTRO DE ESTA INVESTIGACIÓN			INDICADOR SELECCIONADO EN BASE A CONSENSO			INDICADOR SELECCIONADO					
			BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA	NO	SI	NO	SI	NO	SI									
FUERZA MOTRIZ	POBLACIÓN: Crecimiento Poblacional	Densidad de población anual			X						X									X				Densidad de población anual								
		Tasa promedio de crecimiento demográfico anual			X							X									X				Tasa promedio de crecimiento demográfico anual							
		Fertilidad y natalidad			X							X									X											
FUERZA MOTRIZ	CONSUMO: Aumento Demanda Alimentos	Frecuencia mínima de comidas			X						X										X											
		Estado nutricional			X							X										X										
		Demanda exterior de productos agropecuarios			X							X										X										
FUERZA MOTRIZ	ASUNTOS SOCIALES: Cambios en los procesos de desarrollo humano	Demanda de productos agropecuarios			X						X														Demanda de productos agropecuarios							
		Analfabetismo y Tasa neta de escolarización			X							X														Analfabetismo y Tasa neta de escolarización						
		Gastos en educación			X							X																				
FUERZA MOTRIZ	ASUNTOS SOCIALES: Cambios en los procesos de desarrollo humano	Porcentaje de población económicamente activa por rama de actividad			X						X															Porcentaje de población económicamente activa por rama de actividad						
		Cantidad de televisores y otros artículos electrónicos (número por cada 100 personas)			X							X																				
		Conexión a internet (número por cada 10 000 personas)			X							X																				
FUERZA MOTRIZ	PRODUCCIÓN : Desarrollo Agropecuario	Producción exterior (mundial)			X						X																Producción exterior (mundial)					
		Oferta de productos agropecuarios			X							X																	Oferta de productos agropecuarios			
		Área total de humedales y pantanos			X							X																				
FUERZA MOTRIZ	PERDIDA DE HABITAT: Cambios en el uso del suelo	Área total de manglares			X						X																					
		Avance de la frontera agropecuaria			X							X																				
		Unidades de ganado			X							X																				
FUERZA MOTRIZ	ASUNTOS AGROPECUARIOS: Sobrepastoreo de Ganado	Uso de fertilizantes en tierras de cultivo			X						X																					
		Recursos hídricos internos renovables anuales per cápita			X							X																				
		Consumo anual de agua dulce per cápita			X							X																				
FUERZA MOTRIZ	RECURSO DE AGUA DULCE: Deterioro de la retención de la humedad del suelo	Población bajo tensión hídrica			X						X																					
		Relación Precipitación-Humedad del suelo			X							X																				
		Capacidad de secuestro de carbono en la capa vegetal y el suelo			X							X																				
FUERZA MOTRIZ	SECUESTRO DE CARBONO	Relación Precipitación-Humedad del suelo			X						X																					
		Capacidad de secuestro de carbono en la capa vegetal y el suelo			X							X																				
		Unidades de ganado			X							X																				

Elaborado por: Autores

En la Figura 4.5 se detallan las problemáticas e indicadores definidos en la zona de estudio para la presente investigación:

**Figura 4.5** Problemáticas e indicadores de Fuerzas motrices, Presiones y Estado de la zona de estudio



Elaborado por: Autores

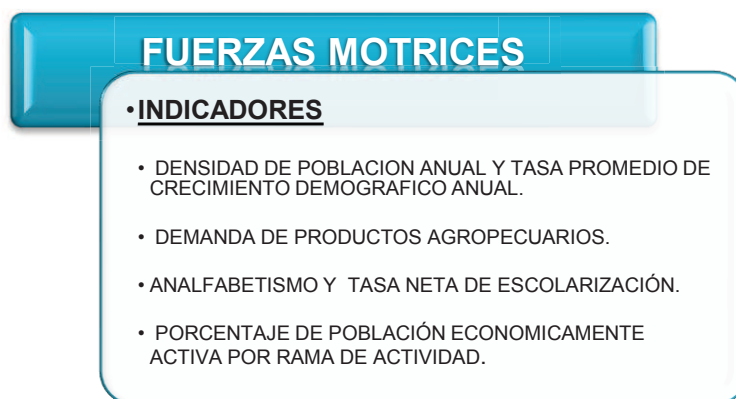
## 4.2 FUERZAS MOTRICES

Las fuerzas motrices en la parroquia de Píntag y sus zonas de influencia, se encuentran asociadas con los siguientes aspectos o problemáticas:

- Crecimiento poblacional, que influye en la producción de alimentos y la ocupación de los suelos debido al desarrollo de actividades antrópicas. Los indicadores seleccionados, del procedimiento descrito en el numeral 4.1.2, para esta problemática fueron: densidad de población anual y la tasa promedio de crecimiento demográfico anual.
- Aumento de la demanda de alimentos, referido principalmente al consumo de productos provenientes de la zona de estudio. En este contexto, según el informe GEO ECCO del DMQ (PNUMA, y FLACSO Ecuador, 2011) y de la FAO (2011), el indicador que más claramente refleja esta problemática es el incremento en la demanda de productos agropecuarios derivado directamente del crecimiento demográfico a nivel local, nacional, regional y mundial.
- Cambios en los procesos de desarrollo humano. Que ha tomado en cuenta en esta investigación los parámetros: educación (analfabetismo y escolaridad), y el aspecto laboral, considerando datos sobre población económicamente activa de acuerdo a su rama de actividad.

Los indicadores de fuerzas motrices se visualizan en la Figura 4.6 y se detallan en los numerales subsiguientes.

**Figura 4.6 Indicadores de Fuerzas motrices de la parroquia de Píntag y sus zonas de influencia**



Elaborado por: Autores

Los valores de los indicadores referentes a las fuerzas motrices considerados en este proyecto de investigación se obtuvieron mediante fuentes secundarias de información a través de estudios realizados por entidades gubernamentales como las que se detallan a continuación:

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC): mediante Censos de Población y Vivienda (años 1990, 2001 y 2010) (INEC, 2011), y Estadísticas Agropecuarias del Ecuador (ESPAC) (INEC, 2012a).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP): a través de Censos nacionales agropecuarios, el Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP) y el Sistema Información Geográfica y Agropecuaria (SIGAGRO) (MAGAP, 2012; SINAGAP, 2013; SIGAGRO, 2010).
- Ministerio Coordinador de Desarrollo Social: cuya información está disponible en el Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador (SIISE) (SIISE, 2013).
- Sistema Nacional de Información (SNI) (SNI, 2011a).
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Píntag (GADPP) a través del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Píntag 2012-2025 (GADPP, 2012).

La información recopilada permitió tener una visión amplia de las problemáticas existentes en la zona de estudio, lo cual contribuyó en la realización de un análisis más completo acerca de los aspectos representativos que causan presiones sobre el ambiente.

#### **4.2.1 DENSIDAD DE POBLACIÓN ANUAL (D) Y TASA PROMEDIO DE CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO ANUAL (r)**

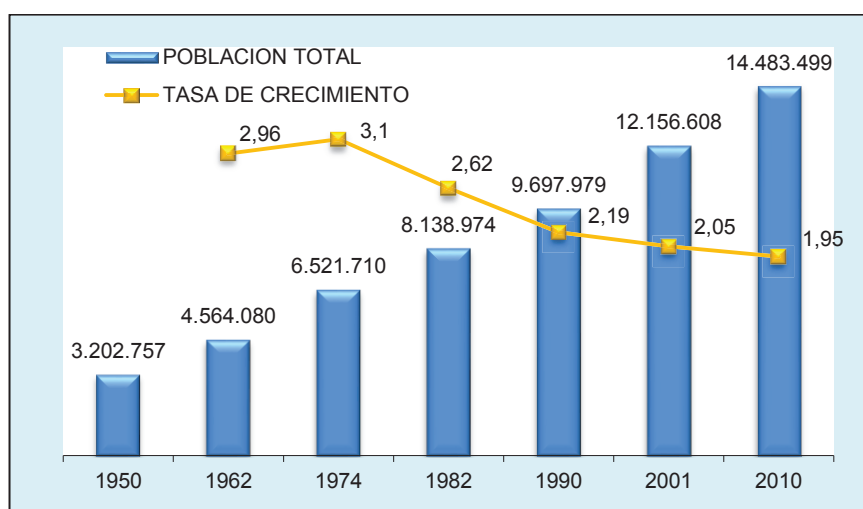
El crecimiento demográfico y el consecuente incremento en la demanda de recursos naturales por parte de la sociedad han sido factores fundamentales en los procesos de transformación de ecosistemas (UNC, 2009), comprometiendo la

existencia de dichos recursos que sirven de base para los bienes y servicios que requiere la sociedad (Mendieta, 2012).

En el Ecuador, la densidad poblacional nacional en 1974 fue de 24 hab/km<sup>2</sup>, en tanto que en 2001, se incrementó a 47,4 hab/km<sup>2</sup> (INEC, 2011). En términos regionales, la Costa y la Sierra albergan a más del 90% de la población del país; mientras que en la Sierra se tiene la mayor densidad poblacional, con 129 hab/km<sup>2</sup> en 2001; la región amazónica registra la menor densidad, con 14 hab/km<sup>2</sup> en el mismo año (FLACSO-Ecuador, PNUMA, MAE, BID, ECORAE y PMRC, 2008).

En el Ecuador, según datos del INEC, se registró un incremento de la población entre 1950 y 2001, con un aumento de 3,20 a 12,16 millones de habitantes (Ver Figura 4.7) con una tasa de crecimiento de 2,62% (INEC, 2011). Adicionalmente, la cantidad de gente en el sector rural presentó una tasa de crecimiento sostenida (FLACSO-Ecuador, PNUMA, MAE, BID, ECORAE y PMRC, 2008). Este crecimiento ha generado una fuerte densificación poblacional, con la consecuente ampliación de la frontera agrícola. Ello ha obligado a que el campesinado opte por la migración a áreas silvestres, afectando así la biodiversidad (Gondard, 2005).

**Figura 4.7 Población total y tasa de crecimiento en el Ecuador**



Fuente: (INEC, 2011) Censos de Población y Vivienda 1950-1962-1974-1982-1990-2001-2010.

En Píntag y sus zonas de influencia, (DMQ y Sangolquí), el crecimiento demográfico se cuantificó a través de los indicadores de densidad de población y la tasa promedio de crecimiento demográfico anual.

La densidad de población anual muestra el número de habitantes por unidad de superficie, expresándose en hab/km<sup>2</sup> (MAGRAMA, 2008), y su ecuación se presenta a continuación:

$$D_t = \frac{P_t}{S} \quad (4.1)$$

Donde:

$D_{(t)}$ : Densidad poblacional en el año t (hab/km<sup>2</sup>).

$P_{(t)}$ : Población en el año t (hab).

S: Superficie (km<sup>2</sup>).

El indicador de densidad de población muestra una primera aproximación a la configuración y organización territorial de un área poblada. Su análisis muestra el nivel de expansión urbana en el territorio y ayuda en la definición de una planificación más organizada (CAT-MED, Plataforma, 2012). Además, este indicador mide la presión demográfica, y está directamente relacionado con el consumo y la demanda de productos de abastecimiento para los hogares (OSE, 2007).

La tasa promedio de crecimiento demográfico expresa el crecimiento o decrecimiento de la población de un determinado territorio durante un período establecido, normalmente, un año; expresado como porcentaje (%) de la población al inicio de cada período o año (SIRSAN, 2011). Este indicador se determinó mediante la ecuación (4.2), descrita a continuación (SIISE, 2013):

$$r = \ln \frac{N_t}{N_o} \times \frac{1}{t} \times 100 \quad (4.2)$$

Donde:

$r$ : Tasa de crecimiento poblacional (%).

$\ln$ : Logaritmo natural.

$N_t$ : Población en el año  $t$  (hab).

$N_0$ : Población en el año de base (hab).

$t$ : Tiempo (años).

La importancia de cuantificar estos indicadores radica en que se pueden establecer planes generales de desarrollo en los ámbitos económico, social, alimenticio, cultural, etc., que permitan satisfacer las necesidades básicas de la población (Figueroa y Rodríguez, 2002).

#### **4.2.2 DEMANDA DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS (De)**

El consumo alimentario no es un dato constante de una población (D'Ercole y Metzger, 2002). La demanda de productos alimenticios está determinada por aspectos como el precio de los productos, ingresos económicos, factores demográficos y gustos o preferencias (Figueroa, 2005). El crecimiento poblacional y los patrones de consumo y producción de alimentos son unas de las causas principales de presión sobre el medioambiente (FAO, 2013b), generando un incremento en la demanda de alimentos, lo que ha promovido la ampliación de la frontera agrícola y espacios destinados a ganadería (PNUMA y FLACSO – Ecuador, 2011).

Según la Comisión de las Comunidades Europeas, además del crecimiento demográfico, el aumento del consumo *per cápita* (por persona) es otro factor que ha intensificado la pérdida de biodiversidad (UE, 2006). Este término expresa la cantidad de producto que consume una región o país en un determinado período de tiempo, y sirve en la determinación de los requerimientos de producción con base en el crecimiento poblacional (MinAgricultura, 2005).

En el Ecuador, el consumo per cápita de ciertos productos, como la papa, refleja un substancial incremento en su demanda (de 15 a 27 kg/hab\*año entre 2000 y 2004, respectivamente) (SIGAGRO, 2010), mientras que otros, como la cebada,

ha tenido una notable disminución (de 1,47 a 0,46 kg/hab\*año entre 2000 a 2007, respectivamente) (INEC, 2012b), debido a cambios en los hábitos de alimentación de la población, cuyos valores se observan en el Cuadro 4.3.

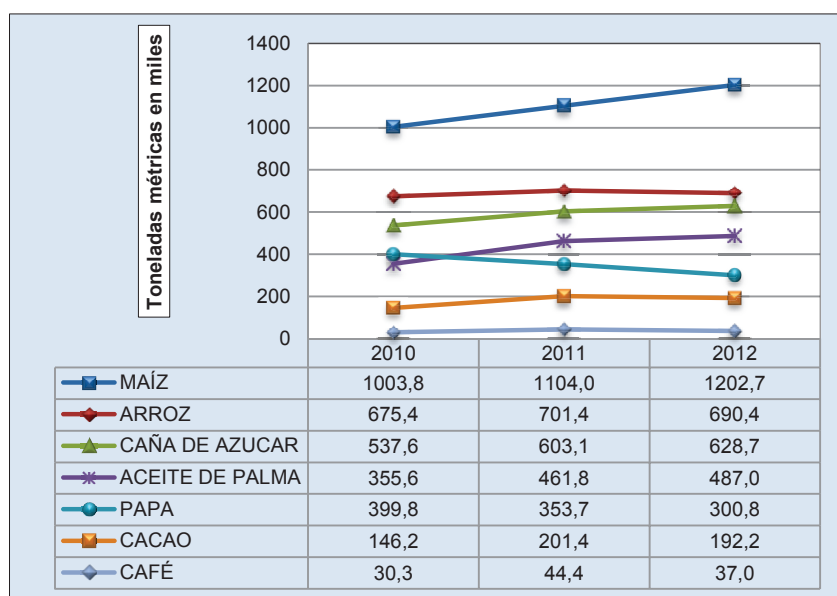
**Cuadro 4.3 Consumo per cápita nacional anual de leche, papa y cebada, años 1999-2007**

AÑOS	LECHE	PAPA	CEBADA
	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)
2000	154	15	1,47
2001	152	17	1,29
2002	129	18	1,71
2003	121	25	1,54
2004	132	27	0,54
2005	124	22	0,47
2006	138	23	0,46
2007	125	20	0,46

Fuente: (SIGAGRO, 2010; INEC, 2012b).

Actualmente, el Ecuador produce alimentos suficientes para satisfacer la demanda interna, que se ve reflejado en la producción de maíz, arroz, caña de azúcar, papa, cacao y café que se destinan tanto para consumo interno, como para exportación (MAGAP, 2012) (Ver Figura 4.8).

**Figura 4.8 Demanda de productos agrícolas en el Ecuador periodo 2010-2012**



Fuente: (MAGAP, 2012).



La demanda aproximada de productos agropecuarios se calculó como el producto entre el consumo *per cápita* nacional de cada producto, y el número de habitantes de la parroquia Píntag, y las ciudades de Quito y Sangolquí.

El Ministerio de Agricultura de Colombia (MinAgricultura, 2005) calcula la demanda de productos agrícolas con el uso de la ecuación (4.3), mostrada a continuación:

$$De_t = \frac{C \times P_t}{1000} \quad (4.3)$$

Donde:

$De_{(t)}$ : Demanda aproximada en el año t (T/año).

$C$ : Consumo *per cápita* (kg/hab\*año).

$P_{(t)}$ : Población en el año t (hab).

La estimación de la demanda alimenticia de productos agropecuarios proporciona una noción de la cantidad de productos destinados a la alimentación que se necesitan para abastecer a una población (Martínez y Villezca, 2005), de acuerdo a los patrones de consumo tanto para los seres humanos, como para animales; lo cual está ejerciendo influencia directa como actividad antrópica que, a su vez, está provocando presiones directas en el ambiente (PNUMA, 2010).

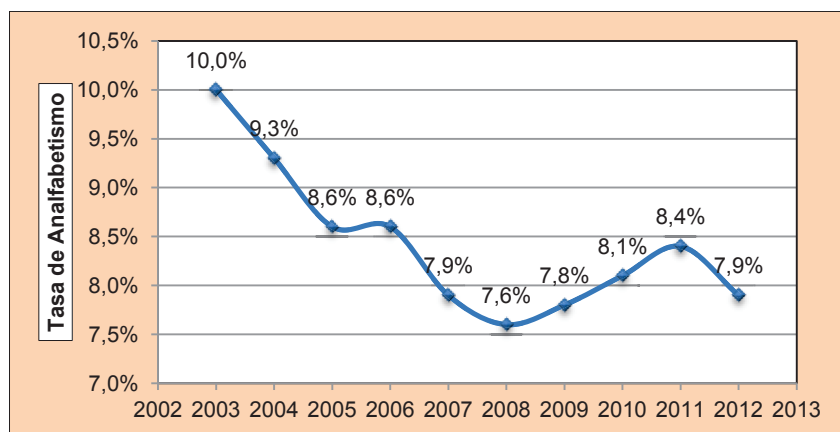
#### **4.2.3 ANALFABETISMO (ANALF) Y TASA NETA DE ESCOLARIZACIÓN (TNE)**

Los indicadores analizados son el analfabetismo y las tasas generales y específicas por nivel de escolarización. Las tasas generales por niveles de instrucción son las medidas más elementales y consisten en relacionar a la población que ha alcanzado un determinado nivel educativo con la población total que posee la edad teórica para ello (Delgado, 2002).

En el Ecuador, la tasa de analfabetismo se ha reducido notoriamente, del 10% al 7,9% entre los años 2003 al 2012, respectivamente (Ver Figura 4.9). Esto se ve

reflejado en el nivel de escolaridad, tanto en educación general básica, como nivel medio o bachillerato; en donde para el primer caso se registra un incremento del 88,6% en el 2003 al 95,6% en el año 2012; mientras que para el segundo caso se dio un aumento de la tasa neta de asistencia del 42,1% al 63,9% para los mismos años, respectivamente (MinEduc, 2012).

**Figura 4.9 Tasa de analfabetismo en el Ecuador período 2003-2012**



Fuente: (MinEduc, 2012).

Para este estudio se analizó la tasa de analfabetismo y la tasa de neta de escolarización (primaria, secundaria y superior) de la parroquia de Píntag, cuyos valores fueron tomados del Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador (SIISE), para determinar la influencia que tiene el nivel de instrucción de su población sobre las actividades económicas de mayor predominancia (agricultura y ganadería) que ahí se realizan.

El analfabetismo en los adultos se define como el porcentaje de la población de quince años y más que no puede leer, escribir y comprender un texto sencillo y corto sobre su vida cotidiana (UNESCO, 2009) (Ver ecuación 4.4). En tanto que, la tasa neta de escolarización es la relación entre el número de personas escolarizadas en cada nivel (primario, secundario, superior) con edad escolar adecuada y el total de la población de ese grupo de edad (SNI, 2011b), como se muestra en la ecuación (4.5).

$$ANALF = \frac{P \text{ ANALF}}{N} \quad (4.4)$$

Donde:

*ANALF*: Tasa de analfabetismo (%).

*P ANALF*: Población de 15 y más años de edad que no sabe leer ni escribir (hab).

*N*: Población de 15 y más años de edad que respondieron a la pregunta "sabe leer" y "escribir" (hab).

$$TNA_{(PRI;SEC;SUP)} = \frac{PA_{(PRI;SEC;SUP)}}{N_{(PRI;SEC;SUP)}} \quad (4.5)$$

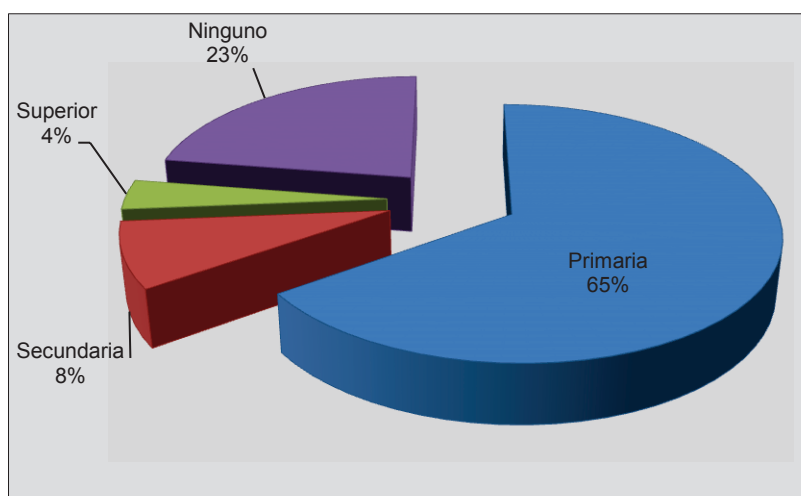
Donde:

*TNA<sub>(PRI;SEC;SUP)</sub>*: Tasa neta de asistencia en educación (primaria, secundaria o superior) (%).

*PA<sub>(PRI;SEC;SUP)</sub>*: Población de 6 a 11, 12 a 17 y 18 a 24 años (primaria, secundaria y superior, respectivamente) que asiste a los niveles de instrucción correspondiente (hab).

*N<sub>(PRI,SEC,SUP)</sub>*: Población de 6 a 11, 12 a 17 y 18 a 24 (primaria, secundaria y superior, respectivamente).

**Figura 4.10 Porcentaje de nivel de instrucción educativa en el sector agropecuario del Ecuador en el 2001**



Fuente: (INEC, 2012a).

El desempeño del sector educativo repercute en el desarrollo de la sociedad (SEP, 2005), es por esto que el análisis de los indicadores de analfabetismo y escolarización podría constatar que una mayor educación no solo implica salarios más altos entre las personas con mayor instrucción académica, sino también una mayor participación en el empleo, lo que explicaría que personas con inferiores niveles de instrucción realicen labores con bajos perfiles salariales, efectuando trabajos agrícolas, ganaderos (Ver Figura 4.10), y como pequeños artesanos, etc., (Ivie, 2008).

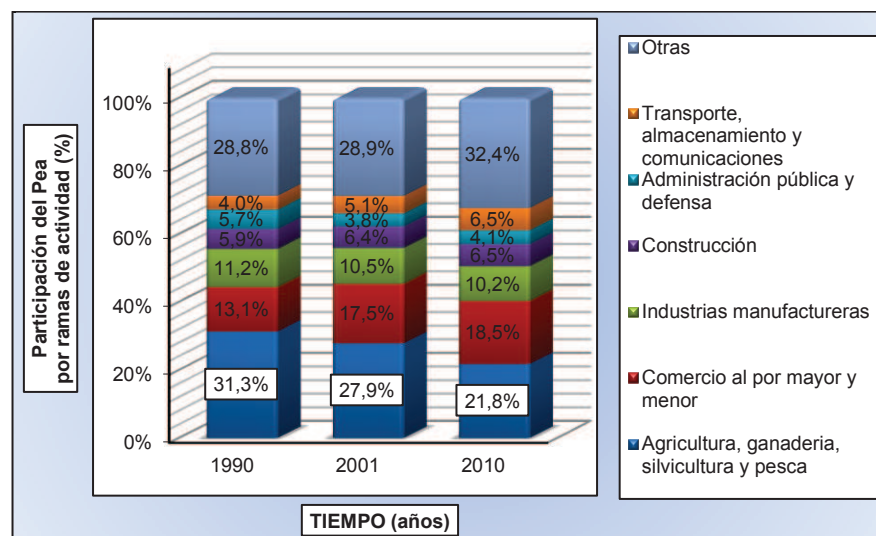
#### **4.2.4 PORCENTAJE DE POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA (PEA) POR RAMA DE ACTIVIDAD**

La PEA se define como el porcentaje de la población total que participa en la producción económica. En la práctica para fines estadísticos, se contabiliza en la PEA a todas las personas mayores de una cierta edad (10 años) que tienen empleo o que, no teniéndolo, están buscándolo o a la espera de alguno (González, 2007). En otras palabras, es la suma de la población empleada y desempleada (SNI, 2011c).

Las actividades agropecuarias, a pesar de que han ido disminuyendo su porcentaje desde 1990 (31%), captan la mayor proporción de la población activa en el Ecuador (22% en el 2010), seguida por actividades de comercio, industrias manufactureras, construcción y administración pública y defensa (INEC, 2011; Villacís y Carrillo, 2012) (Ver Figura 4.11), lo que evidencia que las personas están optando por actividades de mayor rentabilidad (generalmente en las ciudades) o de menor esfuerzo físico que el de la actividad agrícola.

El Ecuador es un país agropecuario por excelencia, de ahí que este sector productivo constituya una importante actividad generadora de recursos económicos en todo el país (Dávila, 2008). La importancia del sector agropecuario en la economía nacional se refleja en su aporte a la generación de empleo. En efecto, según el III Censo Nacional Agropecuario, este sector empleó a 1 313 000 personas en el 2001, es decir al 31% de la PEA del país (FAO-Ecuador, 2013).

**Figura 4.11 PEA por rama de actividad en el Ecuador, años 1990-2001-2010**



Fuente: (INEC, 2011; Villacís y Carrillo, 2012).

La importancia en determinar el porcentaje de la PEA por rama de actividad, específicamente en áreas de páramo destinadas a actividades económicas, a pesar de no ser una zona de mucha productividad (Medina y Mena, 2001b), consiste en conocer la influencia de las actividades productivas (agricultura y ganadería) sobre las presiones ocasionadas y el estado físico y ambiental de este ecosistema.

### 4.3 PRESIONES

Los indicadores de presión en la zona de estudio, están ligados a la siguientes problemáticas:

- Desarrollo de producción agropecuaria en las haciendas donde se encuentran ubicadas las áreas A y B de estudio, que incide sobre la capacidad de oferta de productos agrícolas y ganaderos.
- Cambios en el uso del suelo, debido a factores humanos con el avance de la frontera agrícola y ganadera, producto de la creciente demanda de recursos provenientes de la zona.

- Sobrepastoreo de ganado vacuno en las haciendas Miranda y Pazmiño, que tiene relación con la carga animal de ganado vacuno existente en las zonas de páramo donde se incluyen las áreas de estudio.

Los indicadores de presión analizados se muestran en la Figura 4.12.

**Figura 4.12 Indicadores de Presión en la zona de estudio**



Elaborado por: Autores

Los valores de los indicadores referentes a las presiones considerados en este proyecto de investigación se obtuvieron a través de fuentes primarias de información, por medio de la realización de entrevistas (ver modelo de entrevista en el ANEXO No 4), por lo que se recurrió a los dueños de las haciendas, el Ing. José Miranda y Srta. Cristina Pazmiño. La hacienda Miranda se dedica mayormente a la producción agrícola y pastoreo de ganado vacuno (Miranda, 2013), mientras que la hacienda Pazmiño se dedica en gran parte a la producción agrícola y pecuaria de carne y leche (Pazmiño, 2013).

Además, para fines de discusión y comparación de resultados se recurrió a fuentes secundarias de información, mediante estudios realizados por entidades gubernamentales y ONGs. Entre las cuales constan:

- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) (SENPLADES, 2012).

- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) a través del Sistema Información Geográfica y Agropecuaria (SIGAGRO). (SIGAGRO, 2010).
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC): mediante la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) (INEC, 2012a).
- Sistema Nacional de Información (SNI) (SNI, 2011a).
- Ministerio Coordinador de Desarrollo Social: cuya información está disponible en el Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador (SIISE) (SIISE, 2013).
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) a través del Centro de Análisis Estratégico para la Agricultura (CAESPA) (CAESPA, 2012).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura mediante la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT) (FAOSTAT, 2012).
- Banco Mundial (BM) a través de los Indicadores del Banco Mundial (BM, 2013).

A pesar de que la información obtenida a través de entrevistas se considera de carácter cualitativo, es absolutamente válida para esta investigación, pues complementa la información científica recopilada, permitiendo ampliar la visión del estudio, enriqueciendo así los resultados de la misma.

Es importante mencionar que se analizaron comparativamente los resultados entre las haciendas, y estos se cotejaron simultáneamente con los valores obtenidos a nivel cantonal (DMQ) y parroquial (Píntag). Además, se incluyeron valores nacionales y provinciales, con fines de comparación, ante la falta de información en Píntag para indicadores como la oferta agropecuaria y el número de unidades de ganado, como factores directos que afectan el estado de conservación del ecosistema páramo de esta parroquia.

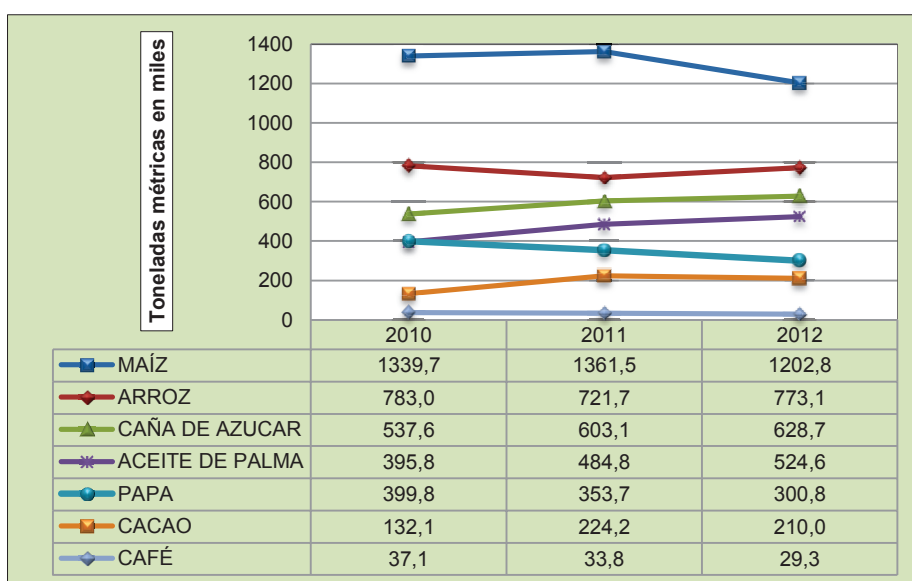
### 4.3.1 OFERTA AGROPECUARIA

La oferta es la cantidad de producto que están dispuestos a ofrecer y vender los productores en el mercado (Castillo, 2011) en un periodo dado de tiempo y a diferentes precios, suponiendo que otros factores, tales como el clima, la tecnología, la disponibilidad de recursos, los precios de los insumos y la regulación del estado, permanecen constantes (Black, 1997).

Las actividades económicas que abarca el sector agropecuario, tienen su fundamento en la explotación de los recursos que la tierra origina, cuyo proceso se hace con el fin de aumentar la producción vegetal y animal a través del tiempo (Castillo, 2011). En el Ecuador, los cultivos que abastecen a todo el país se concentran en determinadas regiones (MAE y Comité Nacional sobre el Clima, 2001).

En la actualidad, los niveles de producción de ciertos productos han tenido un leve aumento, mientras que otros han presentado una tendencia a la baja. Productos como la caña de azúcar, aceite de palma, y el cacao, los dos últimos a consecuencia de las exportaciones, han aumentado sus niveles de producción; en tanto que otros, como el maíz, la papa, y el café han visto menguada su productividad entre los años 2000 a 2012 (Ver Figura 4.13) (MAGAP, 2012).

**Figura 4.13 Oferta de productos agrícolas en el Ecuador periodo 2010-2012**



Fuente: (MAGAP, 2012).



La actividad pecuaria siempre ha estado orientada a la producción de carne y leche, esta última para industrialización y elaboración de derivados lácteos (Haro, 2003). En el país se registró una oferta de carne bovina en el año 2000 de 76934 toneladas, acorde a la demanda creciente, tanto para consumo interno, como externo (Lizano, 2007). La producción nacional de leche, entre los años 2004 a 2011, ha pasado de 4790983 a 6375321 litros, según datos provenientes del Censo Nacional Agropecuario del 2012 (INEC, 2012a).

En base a la información obtenida de las entrevistas realizadas, se determinó la oferta agropecuaria o producción de las haciendas Pazmiño y Miranda en los periodos 2000-2012 y 2006-2012, respectivamente, cuyos valores se expresaron en las siguientes unidades: toneladas al año (T/año) para la producción de leche, carne y productos agrícolas y hectáreas al año (ha/año) para la producción maderera.

La importancia del indicador de oferta agropecuaria consiste en que muestra la capacidad de producción, tanto agrícola como ganadera que la superficie de las áreas de estudio pueden brindar periódicamente, dando una idea de la magnitud de la presión a la que se encuentra sometida el ecosistema páramo en la zona de estudio, lo que afecta el estado de conservación actual del mismo.

#### **4.3.2 AVANCE DE LA FRONTERA AGROPECUARIA**

El avance de la frontera agrícola es el proceso de transformación de grandes zonas con vegetación natural, ubicadas generalmente en laderas muy inclinadas y con poca aptitud agrícola, en tierras de cultivo (Medina y Mena, 2001b). El incremento de la frontera agrícola se ha dado también por el reemplazo de vegetación nativa y bosques por pastizales para desarrollar la ganadería extensiva (Hurtado y Alfaro, 2004).

La superficie agropecuaria total del Ecuador, durante el periodo 1998-2002, ha sufrido varios cambios, ya que la demanda local e internacional de productos primarios ha presionado para que se incrementen las actividades agroindustriales que han tenido impacto sobre los suelos (FLACSO-Ecuador, PNUMA, MAE, BID, ECORAE y PMRC, 2008).

Según información del INEC en 1998 el 31% de la superficie total del Ecuador estaba ocupada por algún uso agropecuario, mientras que para el año 2002 esta cifra se incrementó al 48%, esto significa que el sector agropecuario incrementó su superficie de 8 millones a 12,3 millones de hectáreas (Vallejo, 2002).

El problema del deterioro de las condiciones del suelo se ve agravado en la Costa y en la región amazónica por la poca profundidad de la capa fértil. Según datos de MAG, solo el 17% del territorio del oriente ecuatoriano es apto para uso agropecuario, esa superficie ya ha sido rebasada y se estima una ampliación anual de la frontera agrícola del 2%, en donde la Amazonía ocupa aproximadamente el 22,7% de la superficie agrícola total del país, según los datos del INEC (FLACSO-Ecuador, PNUMA, MAE, BID, ECORAE y PMRC, 2008).

El avance agropecuario se observa con particular fuerza en la Sierra, que a su vez coincide con la región que esta mayormente afectada por los procesos erosivos, y como consecuencia de esto, las presiones se dirigen también a las tierras altas de páramo donde se fragmenta la tierra para su cultivo en parcelas pequeñas (FLACSO-Ecuador, PNUMA, MAE, BID, ECORAE y PMRC, 2008). Cabe recordar que los páramos, que ocupan el 5,5% de la superficie del país, han sido fuertemente afectados y degradados sobre los 3000 msnm en 800000 has, a causa de la expansión de la agricultura (Hofstede y otros, 2003).

El indicador de avance de la frontera agropecuaria, expresado en hectáreas (ha) y porcentajes (%), muestra la variación en el tiempo de la distribución de superficie del suelo destinado a la producción agrícola, ganadera y de conservación. Además, para la obtención de este valor se consideró el porcentaje de área de producción y de actividades de conservación, en relación a la superficie total de las haciendas Miranda y Pazmiño.

#### **4.3.3 CARGA ANIMAL (CA)**

Para el SICA (2000), la carga animal (como una medida de la compactación del suelo), corresponde al número de animales por hectárea de potrero, determinando que una explotación intensiva se refiere a una alta carga animal, y extensiva a una con baja carga. Según el estudio de Rúa (2010), de 0 a 2

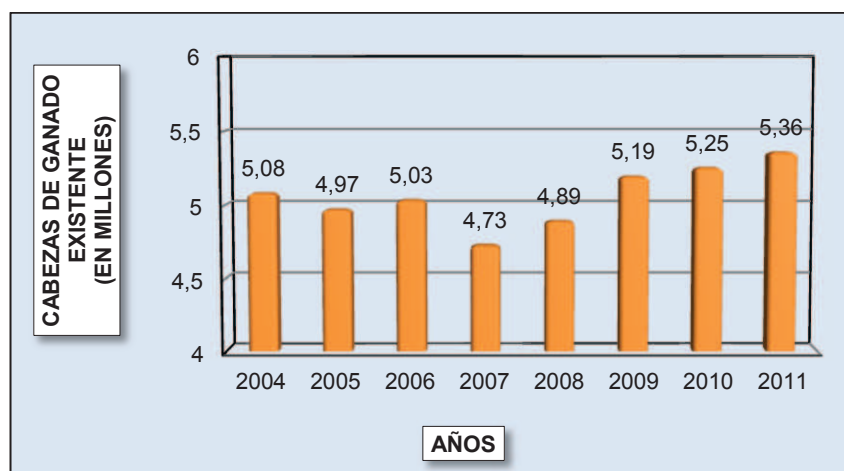
unidades de ganado (UA) por hectárea la ganadería es de tipo extensiva, en tanto que de 2 a 6 UA por hectárea la ganadería es semi-intensiva, y mayor a 6 UA/hectárea es ganadería de tipo intensiva.

El sector pecuario es el de crecimiento más rápido en el mundo en comparación con otros sectores agropecuarios, además, es el medio de subsistencia para 1300 millones de personas y supone el 40% de la producción agrícola mundial. Sin embargo, este sector contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (emisión de metano diario entre 0,25 y 0,5m<sup>3</sup> por animal) (MAE, PNUD, y GEF, 2001), además de ser una de las principales causas de la degradación del suelo y de los recursos hídricos (FAO, 2006).

El informe del 2006 de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), *“La sombra alargada de la ganadería-aspectos medioambientales y alternativas”*, explica que la ganadería utiliza hoy en día el 30% de la superficie terrestre del planeta, que en su mayor parte son pastizales, pero que ocupa también un 33% de toda la superficie cultivable, destinada a producir forraje. La enorme producción ganadera provoca al mismo tiempo daños en el suelo a gran escala, con cerca del 20% de los pastizales degradados debido a la carga animal a causa del sobrepastoreo, la compactación y la erosión. Esta cifra es aún mayor en las tierras áridas, en donde las políticas erróneas y una gestión ganadera inadecuada han contribuido al avance de la desertificación.

La cría y engrosamiento de ganado bovino (además de ganado-ovino) han sido actividades tradicionales que han aprovechado de las grandes extensiones de pajonales del Ecuador. En el año 1993 existían cerca de 1 millón y medio de cabezas de ganado bovino en la Sierra (SEAN, 1994). En los años recientes, se ha dado una tendencia evidente al incremento en el número de cabezas de ganado bovino (Ver Figura 4.14), pasando de 4,73 millones en el año 2007 hasta superar los 5 millones en el 2011 (INEC, 2012a).

**Figura 4.14 Cabezas de ganado bovino existentes en el Ecuador años 2004-2011**



Fuente: (INEC, 2012a).

La degradación del suelo del páramo, debido a los efectos del pisoteo de ganado, se debe a los cascos que cortan el césped o la capa superficial de raíces, exponiendo el suelo al impacto directo de las aguas lluvias y del escurrimiento. El trájín y gran peso de los bovinos empuja los caminos constantemente para abajo, causando una erosión en masa del suelo (Medina y Mena, 2001b).

En un estudio realizado por Avellaneda-Cusarúa (1998), en el páramo de Chontales (Boyacá-Colombia), se encontraron altos niveles de compactación de los suelos paramunos, por efecto de pastoreo de ganado vacuno. Este fenómeno fue más notorio en el suelo bajo una cobertura pastos en relación al suelo bajo bosque, donde se presentaron valores de compactación de  $15 \text{ kg/cm}^2$  en la profundidad de 5-10cm en el suelo de bosques, en comparación a los valores entre 20 y  $30 \text{ kg/cm}^2$  a la misma profundidad obtenidos del suelo bajo pastos.

De ahí la importancia de determinar la carga animal, ya que al ser Píntag un área predominantemente ganadera, pone en situación de riesgo a los páramos que allí se encuentran. El objetivo de este indicador es mostrar la cantidad de cabezas de ganado existentes y su variación a lo largo del tiempo, expresado en número de cabezas por año (UA/año).

Es importante mencionar que este indicador se analizó únicamente en la hacienda Pazmiño debido a la falta de datos necesarios del número de unidades de ganado de la hacienda Miranda en años anteriores.

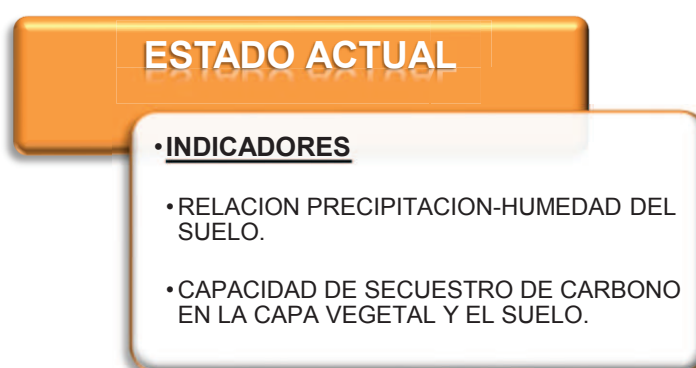
#### 4.4 ESTADO

La situación del estado de conservación actual de las áreas de estudio A y B, se encuentra relacionada con las problemáticas descritas a continuación:

- Variación de la retención de humedad en el suelo, que debido a actividades agropecuarias (ampliación de la frontera agrícola y pecuaria) en el páramo ha hecho que el suelo se compacte y se erosione, y que la retención de agua, su principal función, disminuya (Estupiñán y otros, 2009). Para su análisis se consideró la relación precipitación-humedad del suelo en las áreas de estudio.
- Fijación de carbono, la cual se tomó en consideración de acuerdo al suelo y las coberturas vegetales: Plantación con especies nativas-pajonal en el área A, y cobertura Pastos en el área B.

Los indicadores de estado analizados se muestran en la Figura 4.15, mostrada a continuación:

**Figura 4.15 Indicadores de Estado actual de las áreas A y B**



Elaborado por: Autores

La información para los indicadores de estado se obtuvo mediante metodologías que incluyeron dos fases, a saber: fase de recolección de datos en campo y fase

de laboratorio, tabulación y procesamiento de datos; las mismas que están detalladas en cada indicador a continuación.

Adicionalmente, se llevaron a cabo análisis de materia orgánica y carbono de muestras de suelo en laboratorios normalizados como el Laboratorio de Aguas y Microbiología del Departamento de Ciencias Nucleares de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y, el laboratorio de la Facultad de Geología, Minas, Petróleos y Ambiental (LABFIGEMPA) de la Universidad Central.

#### **4.4.1 RELACIÓN PRECIPITACIÓN – HUMEDAD DEL SUELO**

El propósito de la determinación del indicador relación precipitación – humedad del suelo, fue realizar un análisis comparativo general del estado de las condiciones de retención, incrementos y pérdidas de la humedad del suelo de las áreas de estudio A y B, además del comportamiento hidrodinámico de los suelos en períodos seco y lluvioso, considerando los horizontes S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub> (Ver Cuadro 4.4).

Para el análisis de este indicador se obtuvo la información en base al registro de datos de las estaciones meteorológicas Miranda-plantación especies nativas y Pazmiño-Pastos (Ver Figura 4.16), ubicadas estratégicamente por el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) en las áreas de estudio (A y B, con superficies de 13,6 y 26,26 ha respectivamente). Estas forman parte de las 18 estaciones existentes en la Red Hidrometeorológica del FONAG, instaladas en el año 2009, manteniendo un registro y monitoreo de datos a partir del 2010.

La precipitación muestra el valor acumulado diario y mensual de lluvia en milímetros, representada mediante la altura de la capa de agua que se formaría sobre el terreno por acumulación natural, si dicha superficie fuera perfectamente horizontal e impermeable de manera que no existan pérdidas de agua por evaporación e infiltración. Bajo estas consideraciones 1 mm de lluvia, representa 1 litro de agua en 1 m<sup>2</sup> del terreno.

**Figura 4.16 Estaciones meteorológicas: a) Miranda-Plantación especies nativas y b) Pazmiño-Pastos**



a) Miranda-Plantación  
especies nativas



b) Pazmiño-Pastos

Fuente: a) Hacienda Miranda – Plantación con especies nativas pajonal, b) Hacienda Pazmiño – Pastos

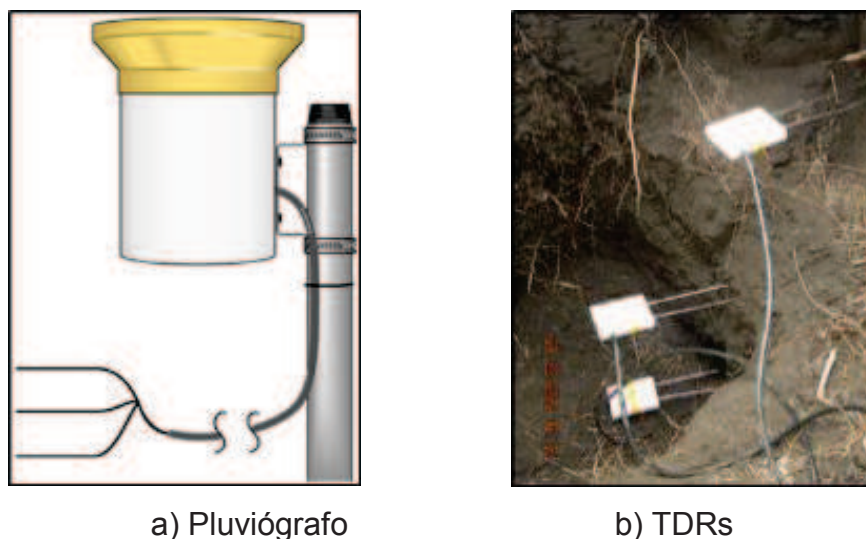
El equipo de medición (CAMPBELL modelo CR200) registró valores de precipitación (mm) y humedad volumétrica del suelo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) cada 15 minutos por un pluviógrafo y tres sensores Reflectómetros de Dominio Temporales (TDR)-CS625, colocados a tres horizontes: superficial ( $S_1$ ), medio ( $S_2$ ) y profundo ( $S_3$ ) a profundidades de 30, 60 y 90cm, respectivamente (Ver Cuadro 4.4), como se puede observar en la Figura 4.17a y Figura 4.17b.

**Cuadro 4.4 Profundidades de colocación de los TDRs y su respectiva simbología**

Profundidad (cm)	Horizonte
30	$S_1$
60	$S_2$
90	$S_3$

Elaborado por: Autores

**Figura 4.17** Equipo de medición: a) Pluviógrafo y b) TDRs dispuestos en el perfil del suelo a 30, 60 y 90cm



Fuente: Hacienda Miranda – Plantación con especies nativas pajonal y Hacienda Pazmiño – Pastos

#### 4.4.1.1 Tabulación de datos

El período de análisis considerado en la presente investigación fue desde el mes de noviembre del 2009 hasta el mes de agosto del 2011. Posteriormente, se tabularon los datos iniciales recopilados cada 15 minutos, los cuales se organizaron de acuerdo a la fecha y hora de ocurrencia de la precipitación y el registro de la humedad del suelo simultáneamente.

Para las áreas de estudio, se procedió a agrupar diaria y mensualmente los datos de precipitación (mm) y humedad volumétrica del suelo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) (expresados también en porcentaje (%)), ver ecuación (4.6), determinando las sumatorias totales para los primeros y valores promedios para los segundos. Al observar los valores máximos y mínimos mensuales de precipitaciones a lo largo del rango de análisis se definió los periodos seco y lluvioso.

$$CH (\%) = H \text{ volum.} \times 100 \quad (4.6)$$

Donde:

*CH*: Contenido de humedad el suelo (%).



*Hvolum*: Humedad volumétrica del suelo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ).

#### 4.4.1.2 Análisis precipitación - humedad del suelo

De lo mencionado anteriormente, se tomaron valores de humedad volumétrica registrados por los TDRs. Sin embargo, es fundamental resaltar que estos (TDRs) no se encuentran calibrados para las condiciones de campo y del sitio de estudio. No obstante, según el estudio experimental (realizado en laboratorio) de calibración de sondas TDR para el suelo bajo la cobertura pastos, los valores de la curva de calibración no difieren significativamente (presentando un RSME promedio de 5,67) de los datos por los TDRs (ver ANEXO No 1); pero, esto no significa que no sea necesario realizar trabajos de calibración de equipos para las áreas de estudio o para posteriores investigaciones.

La metodología para el análisis del indicador relación precipitación – humedad del suelo se basó en el estudio realizado por Fuentes y Tapia (2011), el cual se encuentra descrito a continuación.

Se determinó la variación diaria de la humedad volumétrica del suelo, donde fue necesario manejar los datos de humedad como una columna de agua (mm), para lo cual se multiplicaron los valores de humedad volumétrica ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) por la profundidad de cada perfil (300mm).

Se estableció la variación diaria de humedad del suelo, con el fin de obtener los valores de incrementos y pérdidas de humedad, para cada profundidad u horizonte de suelo analizado, para los períodos seco y lluvioso, aplicando la ecuación (4.7):

$$Vd = H (i + 1) - H (i) \quad (4.7)$$

Donde:

*Vd*: Variación diaria de la humedad el suelo (mm)

*H*: Humedad diaria del suelo (mm)

*i*: Día

Si la variación obtenida es negativa se asume como pérdida (P) de agua en el suelo, si es positiva significa un incremento (I) de agua.

Una vez calculadas las pérdidas y los incrementos, se procedió a calcular su porcentaje mensual respectivo. El cálculo del porcentaje mensual de precipitación que ingresó en el suelo se lo realizó a partir de los totales mensuales de los valores diarios de incrementos obtenidos y su relación con la precipitación mensual de cada área de estudio, utilizando la ecuación (4.8):

$$\% I = \frac{\text{Incremento}}{\text{Precipitación}} \times 100 \quad (4.8)$$

Donde:

*%I*: Valor mensual de precipitación que ingresó en el suelo (%).

*Incremento*: Sumatoria de los valores diarios positivos del cálculo de la variación diaria de la humedad del suelo (mm).

*Precipitación*: Total mensual de precipitación (mm).

Posteriormente, se calculó del porcentaje mensual de agua que se perdió a partir del total incrementado, se sumó por mes todos los valores diarios de pérdidas calculados y se los relacionó al valor mensual del incremento en mm, a través de la ecuación (4.9), mostrada a continuación:

$$\% P = \frac{\text{Pérdida}}{\text{Incremento}} \times 100 \quad (4.9)$$

Donde:

*%P*: Valor mensual de agua que se perdió a partir del total incrementado (%).

*Pérdida*: Sumatoria de los valores diarios negativos del cálculo de la variación diaria de la humedad del suelo (mm).

*Incremento*: Sumatoria de los valores diarios positivos del cálculo de la variación diaria de la humedad del suelo (mm).

#### **4.4.2 CAPACIDAD DE SECUESTRO DE CARBONO EN LA CAPA VEGETAL Y EL SUELO**

Desde hace un poco más de una década, los científicos ambientales están alertando al mundo por los efectos de un alza de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Hofstede, 1999). Las actividades humanas que desde la revolución industrial intensificaron el uso de combustibles fósiles —así como la destrucción de muchos sistemas ecológicos que aportan un equilibrio dinámico de gases en la atmósfera— ha hecho que la acumulación antes mencionada de bióxido de carbono (principal gas invernadero) alcance niveles que no se registraban en la Tropósfera desde hace 200 000 años (Ordoñez, 1999), las cuales causan un calentamiento general del planeta, lo que a su vez causa un cambio climático con graves efectos, como desertificación en ciertas áreas e inundaciones en otras (Hofstede, 1999).

El CO<sub>2</sub> en la atmósfera es el eje de la lucha contra el cambio climático, el calentamiento global y el efecto invernadero, y las medidas que se estudian para reducir su presencia se enfocan en la reducción de emisiones del mismo. Las mayores investigaciones y avances en el tema se han dado a partir de la Convención Marco de Cambio Climático y de los proyectos que se han desarrollado bajo su esquema (MINAM, 2009).

El desafío es la identificación de posibles enfoques para evaluar a nivel nacional las emisiones de carbono derivadas de la deforestación y la degradación de ecosistemas de los países en desarrollo, y por lo tanto para estimar las emisiones se necesita saber la cantidad de carbono que se puede almacenar en los páramos. El objetivo de análisis del indicador Capacidad de secuestro de carbono en la capa vegetal y el suelo fue el estudiar comparativamente a las áreas A y B, desde el punto de vista del estado de la capacidad de almacenamiento de carbono, influenciado tanto por la cobertura vegetal existente, como por las condiciones de uso de suelo.

Su importancia radica en que al constatar la utilidad del páramo (vegetación y suelo) como un ecosistema apto para almacenar carbono y mitigar de esta manera los efectos del cambio climático, puede ayudar a la conservación de la

biodiversidad y la protección de otros bienes y servicios en este mismo ecosistema, mediante la aplicación de alternativas como REDD, enfocadas en “compensaciones por conservación” en el mercado internacional del carbono u otros lugares.

Para el presente estudio se tomó en cuenta la capacidad de secuestro de carbono, que puede establecerse tanto mediante el análisis de la biomasa aérea y subterránea, en las coberturas vegetales Plantación con especies nativas-pajonal (área A) y pastos (área B), como también en el suelo.

El análisis del indicador de capacidad de secuestro de carbono en el estrato vegetal, incluyó las siguientes variables: biomasa, carbono y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mutuamente relacionadas; mientras que, para el suelo se tomó en cuenta a la materia orgánica y el carbono retenido. Para la determinación de carbono en los componentes vegetación y suelos. La metodología utilizada se explica a continuación.

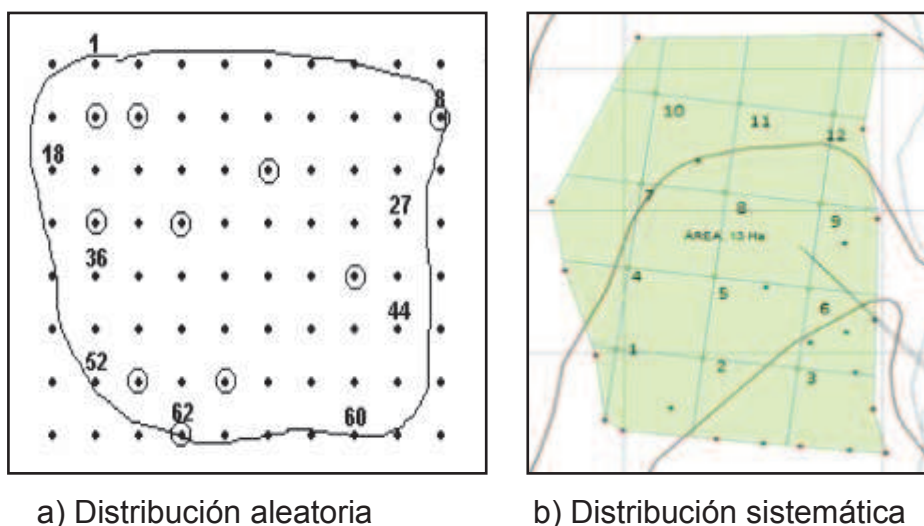
#### **4.4.2.1 Selección de especies vegetales, diseño muestral y número de individuos a muestrear**

En el área A, se analizó la especie *Calamagrostis Intermedia* (nombre común paja) perteneciente al estrato herbáceo (que ocupa el 52% de toda la cobertura vegetal), por ser la especie de mayor dominancia en el área de estudio; en tanto que, la *Gynoxys halli* (purujul) (6 años), como parte del estrato arbustivo, fue seleccionada debido a su uso en los procesos de reforestación y restauración en zonas degradadas (Ver numeral 3.4.2) que lleva a cabo el FONAG. Para el área B, se consideró estudiar la cobertura pastos en general, debido a la heterogeneidad de especies en la misma (Ibrahim y otros, 2007), y por la abundancia del estrato terrestre, cuyo porcentaje de cobertura vegetal corresponde al 83%, según lo mencionado en el numeral 3.4.3.

Una vez definidas las especies, se realizó un diseño muestral para seleccionar los individuos dentro de toda la población. Para el caso de la especie *Gynoxys halli* y pastos se realizó una distribución aleatoria (Ver Figura 4.18a), de manera que cada individuo tubo la misma probabilidad de ser seleccionado; mientras que para

el caso de la *Calamagrostis Intermedia*, se realizó una distribución sistemática (Ver Figura 4.18b), que consistió en diseñar una red de parcelas de 1 ha distribuidas conforme a un arreglo regular (forma cuadrada) (GRN, 2010); lo cual a su vez permitió tener un número preliminar de individuos a muestrear.

**Figura 4.18 Distribución muestral a) aleatoria y b) sistemática**



Fuente: (GRN, 2010)

Para determinar el número de individuos a muestrear, se realizaron visitas previas de campo y un análisis estadístico, con el objeto de obtener una muestra estadísticamente confiable con un bajo error de estimación que mida la representatividad de la muestra (Calderón y Lozada, 2010), lo que junto al diseño muestral permitió definir el número de individuos a estudiar. Para el análisis estadístico, se tomaron individuos de la especie *Gynoxys halli*. El Cuadro 4.5 muestra el cálculo del error de estimación para un muestreo directo de 8 individuos utilizando las siguientes ecuaciones desde la (4.10) hasta la (4.14) (Galindo, 2006):

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(x_i - x_{prom})^2}}{n - 1} \quad (4.10)$$

$$v = \sigma^2 \quad (4.11)$$

$$CV = \frac{\sigma}{x_{prom}} \times 100 \quad (4.12)$$

$$s = \frac{\sigma}{n} \quad (4.13)$$

$$s = \frac{CV}{n} \quad (4.14)$$

Donde:

$\sigma$ : Desviación estándar

$x_i$ : Altura i

$x_{prom}$ : Promedio de la muestra

$n$ : Número de individuos a muestrear

$v$ : Varianza

CV: Coeficiente de variación

$s$ : Error estándar

$s\%$ : Porcentaje del Error estándar

**Cuadro 4.5 Cálculo de tamaño de muestra y error de estimación para *Gynoxys halli* de 6 años**

Número de Individuo (n)	Altura (cm) (xi)	$(xi-x_{prom})^2$	Datos Estadísticos	
1	117	100,0	Desviación estándar ( $\sigma$ )	20,2
2	153	676,0	Varianza (v)	409,4
3	105	484,0	Coeficiente de variación (CV)	15,9
4	126	1,0	Error estándar (s)	7
5	120	49,0	Error estándar %v(s%)	5,6
6	107	400,0	t student (Nivel de incertidumbre: 0,05)	1,9
7	161	1156,0	t student * s	13,3
8	127	0,0	t student * s%	10,5
9			Intervalo de Confianza:	127,0
10			Para un error de estimación menor a <6% se tiene que $n_{mínimo}=8$ individuos	
<b>SUMA</b>	1016	2866,0		
<b>PROMEDIO (<math>x_{prom}</math>)</b>	127,0			

Elaborado por: Autores

De igual manera se procedió para la *Calamagrostis Intermedia* y pastos, obteniendo errores de estimación que varían entre 2,3 y 2,4% (Ver ANEXO No 5, Cuadro 8.21), lo cual es un rango válido dentro de inventarios forestales, según Duaber (1995).

De esta forma se determinó el número de individuos a muestrear para cada área, tal como lo muestra el Cuadro 4.6.

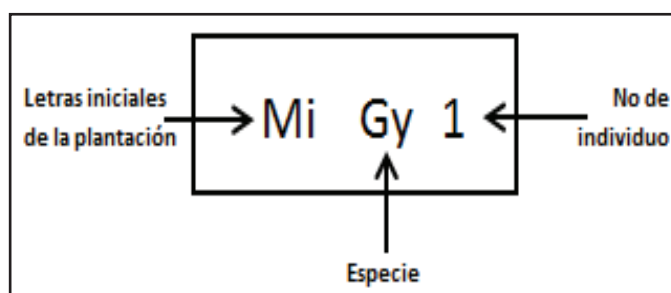
**Cuadro 4.6 Número de individuos a muestrear por área de estudio**

ÁREA ESTUDIO	COBERTURA	ESPECIE	# DE INDIVIDUOS A MUESTREAR
A	Plantación con especies nativas	Gynoxys halli	8
		Calamagrostis Intermedia	12
B	Pastos	Pastos*	10

Elaborado por: Autores

Se codificaron las muestras tomando como referencia las iniciales de los propietarios de las haciendas donde están ubicadas las áreas de estudio, la especie a la que pertenece y el número de individuo muestreado, tal como se muestra a continuación:

**Figura 4.19 Código de identificación de los individuos**



Elaborado por: Autores

Donde:

*Mi*: Iniciales de los propietarios de las haciendas.

*Gy*: Iniciales de la especie.

1: Número del individuo.

#### 4.4.2.2 Tabulación y procesamiento de datos para carbono en la capa vegetal

Se aplicó el método directo (Ver numeral 2.2.5.3.1), el cual consistió en la extracción física de los individuos en campo, y se los diseccionó en cada uno de los componentes (Ver Cuadro 4.7).

**Cuadro 4.7 Componentes aéreo y subterráneo de los especímenes vegetales**

	<u>COMPONENTES</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>
<b>ESPECIMEN VEGETAL</b>	<b>AÉREO</b>	El componente aéreo comprende toda la vegetación viva, tanto arbustiva como herbácea, que se halla por encima del suelo, incluidos fuste, ramas, hojas, flores y frutos
	<b>SUBTERRÁNEO</b>	El componente subterráneo comprende las raíces vivas. A menudo, las raíces finas, de menos de 2mm de diámetro, se excluyen porque, empíricamente, no se las puede distinguir de la materia orgánica del suelo.

Fuente: (Calderón y Lozada, 2010; IPCC, 2003).

Cabe mencionar que, para la *Gynoxys*, se extrajo completamente el individuo, mientras que para la *Calamagrostis* y la cobertura pastos, se consideró como 1 individuo al área ocupada por un cuadrante de 0,50 m x 0,50 m (Ver Figura 4.20), que según ITTO (2004) y Delaney y otros (1997), constituye una medida estándar usada en inventarios forestales.

**Figura 4.20 Cuadrante aplicado para el muestreo de la especie *Calamagrostis Intermedia***



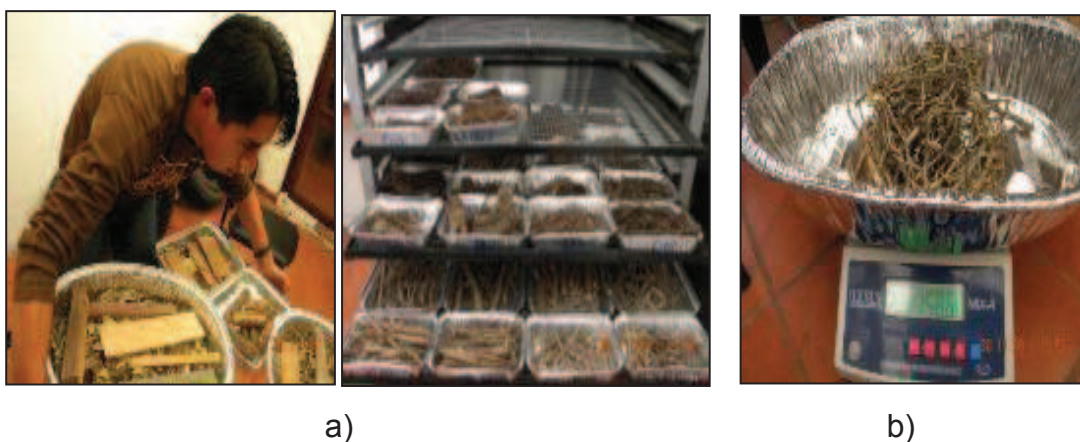


Fuente: Hacienda Miranda – Plantación con especies nativas

Esta consideración se debió al hecho que las dos últimas especies han crecido de forma natural, por lo que no se tiene un valor exacto de densidad de población; en comparación a la *Gynoxys*, donde se conoce que se realizaron plantaciones (ejecutadas por el FONAG) con una densidad de 1000 individuos por hectárea.

En laboratorio se registró el peso verde (PV) de las muestras y se las sometió a un proceso de secado a ( $105^{\circ}\text{C}$ ) en una estufa por 24 horas (Ver Figura 4.21a) para luego ser nuevamente pesadas en una balanza de precisión, determinando así el peso seco de la muestra (Loaiza y Pauwels, 2008) (Ver Figura 4.21b).

**Figura 4.21 Muestras vegetales diseccionadas a) para ser introducidas en la estufa para ser sometidas al proceso de secado y b) pesadas en una balanza de precisión**



Fuente: Instalaciones del FONAG.

Con los valores de peso verde y peso seco se calculó el contenido de humedad empleando la ecuación (4.15) de Chambi (2001):

$$CH = \frac{PV - PS}{PV} \times 100 \quad (4.15)$$

Donde:

*CH*: Contenido de Humedad (%).

*PV*: Peso verde (kg).

*PS*: Peso seco (kg).

A continuación con el valor de contenido de humedad se calculó la proporción de peso que corresponde a biomasa por individuo (Chambi, 2001), mediante la ecuación (4.16).

$$Y = Pht - (Pht \times CH) \quad (4.16)$$

Donde:

*Y*: Biomasa por individuo (kg).

*Pht*: Peso húmedo total (kg).

*CH*: Contenido de humedad.

Para determinar la cantidad de carbono almacenado por las especies estudiadas, se multiplicó el valor de la biomasa por un factor de conversión de 0,50; basado en los estudios del IPCC (2003), quien estableció que el contenido de carbono corresponde al 50% de la biomasa.

$$C = Y \times 0.50 \quad (4.17)$$

Donde:

*C*: Contenido de Carbono por individuo (kg).

*Y*: Biomasa por individuo (kg).

Una vez determinado el contenido de carbono se calculó la cantidad de CO<sub>2</sub> contenido en las especies analizadas, utilizando la ecuación (4.18) (Chambi, 2001):

$$CO_2 = Kr \times C \quad (4.18)$$

Donde:

$CO_2$ : Dióxido de carbono por individuo (kg)

C: Carbono por individuo (kg)

Kr: 3,67 (Factor de conversión de carbono a  $CO_2$ , resultante del cociente de los pesos moleculares del Dióxido de carbono (44) y del Carbono (12) (Orrego y otros, 2003; Castro y Calvas, 2005).

Si bien los valores de biomasa, carbono y  $CO_2$  por individuo calculados, están en kilogramos, para su cuantificación en toneladas por hectárea, se consideró la densidad de población de cada especie; donde, para *Gynoxys* se tuvo como valor de densidad, 1000 ind/ha; mientras que para *Calamagrostis* y pastos, se consideró el porcentaje de cobertura estimada en 52 y 83%, respectivamente.

#### 4.4.2.3 Carbono almacenado en los suelos

Para el muestreo del suelo se aplicó el método unificado OLSEN para la Red de Laboratorios de suelos del Ecuador (RELASE), en la cual a través de un proceso de barrenación se obtuvo 1kg de muestra de suelo a una profundidad de 0-30cm, para ser analizado en laboratorio; ya que según el estudio de Cunalata y otros (2011), existe mayor contenido de carbono orgánico total en los primeros estratos de suelo.

**Figura 4.22** Proceso de barrenación para extracción del suelo y pesaje de 1kg



Fuente: Hacienda Miranda – Plantación con especies nativas pajonal y Hacienda Pazmiño – Pastos.

Se determinó el contenido de materia orgánica y carbono en el suelo (%) mediante el procedimiento de combustión húmeda (Walkley y Black, 1934) descrito en Valencia (2004), el cual fue realizado por el Laboratorio de Aguas y Microbiología del Departamento de Ciencias Nucleares de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y el laboratorio de la Facultad de Geología Minas, Petróleos y Ambiental (LABFIGEMPA) de la Universidad Central.

Se transformó a los valores de carbono de porcentaje (%) a toneladas por hectárea (T/ha), utilizando la siguiente ecuación (4.19) citada en Ibrahim y otros (2007):

$$C = A \times \rho \times c \times h \quad (4.19)$$

Donde:

*C*: Carbono almacenado (T/ha)

*A*: Área (ha)

*ρ* : Densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>) (descrito en el Cuadro 8.20 del ANEXO No 5)

*c* : Fracción de carbono orgánico del suelo

*h*: Profundidad (m)

Posteriormente, se determinó la cantidad total de carbono almacenado (T/ha) en las áreas A y B, a partir de la suma entre el carbono obtenido en el estrato vegetal, más la cantidad de carbono retenido en los suelos.

## **CAPÍTULO 5**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

De la investigación realizada se obtuvieron los siguientes resultados relacionados con los elementos Fuerzas Motrices, Presiones y Estado de la zona de estudio, de acuerdo a la metodología GEO. En las Fuerzas Motrices se determinó que las zonas pobladas de Píntag, así como la ciudad de Sangolquí y el DMQ, son los sectores que, en su mayoría, demandan de los recursos provenientes de Píntag. Esto se ve reflejado en las presiones que se están ejerciendo en los ecosistemas de toda la parroquia, y como un ejemplo de esto, en las haciendas Miranda y Pazmiño, donde se llevó a cabo la presente investigación. Estas presiones han alterado el estado de conservación de las áreas A y B, el cual es analizado desde el punto de vista de la relación precipitación-humedad del suelo y almacenamiento de carbono en el estrato vegetal y el suelo, los cuales demostraron que el área bajo la cobertura pastos está siendo mayormente afectada por la degradación antrópica, en relación a plantación con especies nativas-pajonal.

#### **5.1 FUERZAS MOTRICES**

Las fuerzas motrices se detallan en función de los indicadores ya definidos, los cuales se describen a continuación:

##### **5.1.1 DENSIDAD DE POBLACIÓN ANUAL (D) Y TASA PROMEDIO DE CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO ANUAL (r)**

Se muestra un crecimiento poblacional exponencial tanto en Píntag como en las zonas de influencia (DMQ y Sangolquí), según las gráficas de la Figura 5.1 y Figura 5.2. En la parroquia Píntag se registra un aumento poblacional de aproximadamente dos veces su valor inicial, entre los años 1974 y 2001, pasando de 7483 habitantes a 14487, respectivamente (Ver mapas de la Figura 5.3 y Figura 8.14 del ANEXO No 2). Este fenómeno se ha dado con mayor intensidad tanto en Sangolquí, como en el DMQ (de igual manera a nivel nacional), tal como se observa en el Cuadro 5.1.

**Cuadro 5.1 Información demográfica detallada (Población, Densidad Poblacional y Tasa de crecimiento demográfico) de Píntag y sus zonas de influencia**

POBLACION (hab)				
AÑO	Nacional *	DMQ	Píntag	Sangolquí
1950	<b>3202757</b>	<b>319221</b>	<b>5986</b>	<b>13275</b>
1962	4564080	510286	6516	19030
1974	6521710	782671	7483	27281
1982	8138974	1116035	9335	34685
1990	9697979	1409845	11484	43397
2001	12156608	1839853	14487	62562
2010	<b>14483499</b>	<b>2239191</b>	<b>17930</b>	<b>81140</b>
DENSIDAD POBLACIONAL (hab/km <sup>2</sup> )				
AÑO	Nacional	DMQ	Píntag	Sangolquí
1950	<b>11,8</b>	<b>333,6</b>	<b>12,2</b>	N/D **
1962	16,8	569,4	13,3	N/D
1974	24,0	981,3	15,3	N/D
1982	29,9	1399,9	19,1	N/D
1990	35,6	1749,3	23,4	N/D
2001	47,4	2222,0	29,6	N/D
2010	<b>56,5</b>	<b>3520,7</b>	<b>36,6</b>	<b>1416,1</b>
TASA DE CRECIMIENTO DEMOGRAFICO (%)				
AÑO	Nacional	DMQ	Píntag	Sangolquí
1950				
1962	<b>3,0</b>	<b>3,9</b>	<b>0,7</b>	<b>3,0</b>
1974	3,1	3,6	1,2	3,0
1982	2,6	4,4	2,8	3,0
1990	2,2	2,9	2,6	2,8
2001	2,1	2,4	2,1	3,3
2010	<b>1,9</b>	<b>2,2</b>	<b>2,4</b>	<b>2,9</b>

\* Datos nacionales se añadieron con fines de comparación

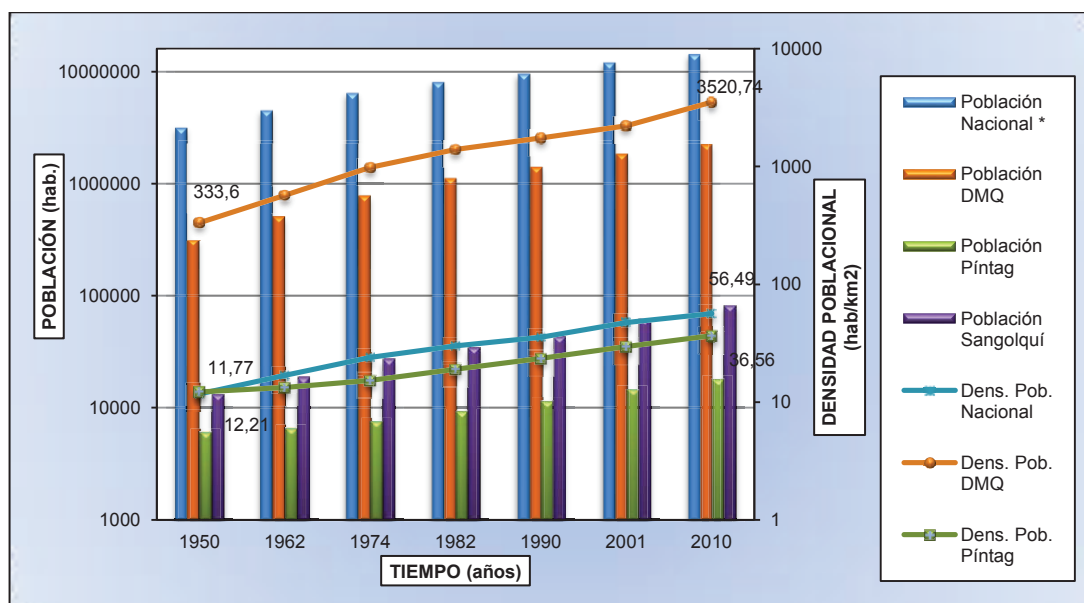
\*\* Datos no disponibles

Fuente: Censos de Población y Vivienda (INEC, 2011; GADPP, 2012).

De igual forma, el crecimiento de la población se ha manifestado con el aumento en los valores de densidad poblacional donde, para la parroquia de Píntag, se dio un incremento aproximado de 15, 30 y 37 hab/km<sup>2</sup> en los años censales 1974, 2001 y 2010, respectivamente (ver Figura 5.1). No obstante, estas cifras son pequeñas en comparación a las registradas en el DMQ, donde se presenta un incremento sustancial de 981, 2222 y 3521 hab/km<sup>2</sup>, en los años antes mencionados, respectivamente (ver mapa de la Figura 5.4), lo que, según

FLACSO-Ecuador, PNUMA, MAE, BID, ECORAE y PMRC (2008), ha sido producto de la migración rural y urbanización (uso y ocupación del suelo) mal controladas, que ejercen a su vez una presión sobre los ecosistemas.

**Figura 5.1 Comparación entre Población y Densidad Poblacional de Píntag y zonas de influencia**



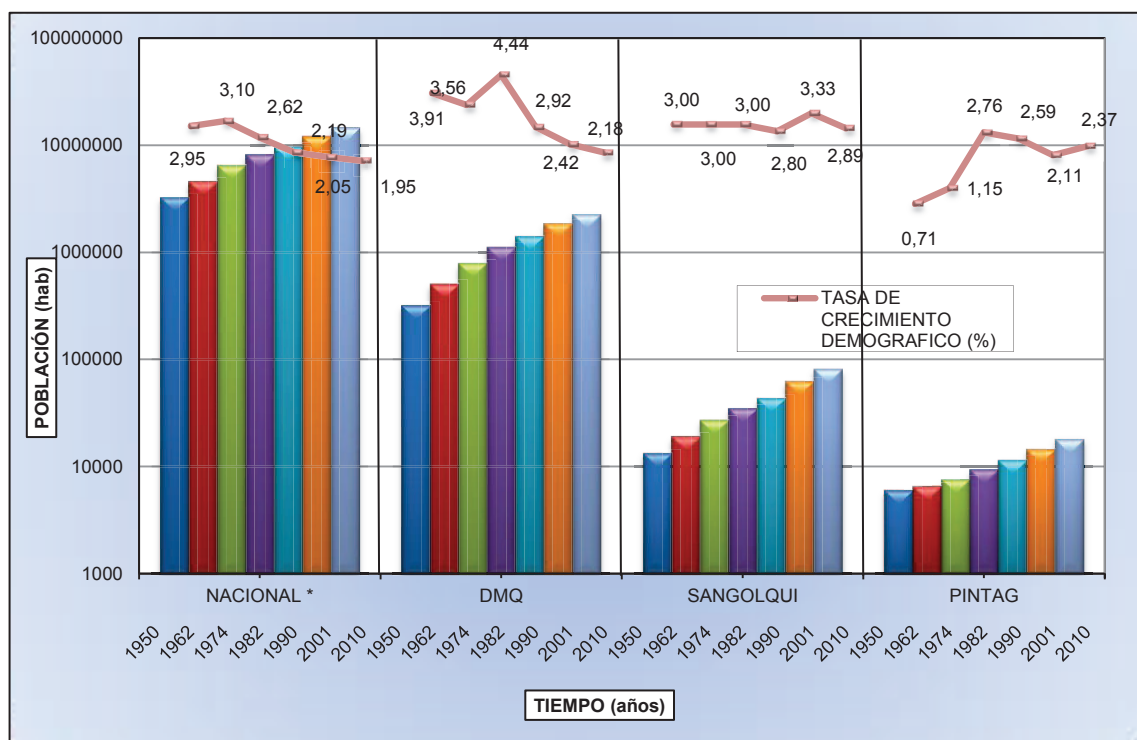
\* Los datos nacionales se añadieron con fines de comparación.

Fuente: Censos de Población y Vivienda (INEC, 2011; GADPP, 2012).

Un fenómeno distinto se observó con los valores de tasa de crecimiento demográfico tanto de Píntag, como el DMQ y Sangolquí (de igual manera a nivel nacional), en donde, en el caso del DMQ (mismo caso en el Ecuador), las tasas de crecimiento por periodos censales se han ido reduciendo (es decir, su crecimiento poblacional ha sido más lento), con valores de 3,6% a 2,2% para los periodos 1962-1974 y 2001-2010, respectivamente.

Para el caso de Sangolquí se ha mantenido una tasa de crecimiento constante, con cifras de 3% y 2,9% en los mismos periodos antes descritos. No obstante, en Píntag ocurre lo contrario al DMQ, donde se registra un aumento en las tasas de crecimiento de 1,2% a 2,4% en los periodos 1962-1974 y 2001-2010, respectivamente (ver Cuadro 5.1 y Figura 5.2), lo que evidenciaría una mayor rapidez de crecimiento poblacional en esta zona rural.

**Figura 5.2 Comparación entre Población y Tasa de Crecimiento de Píntag y zonas de influencia**



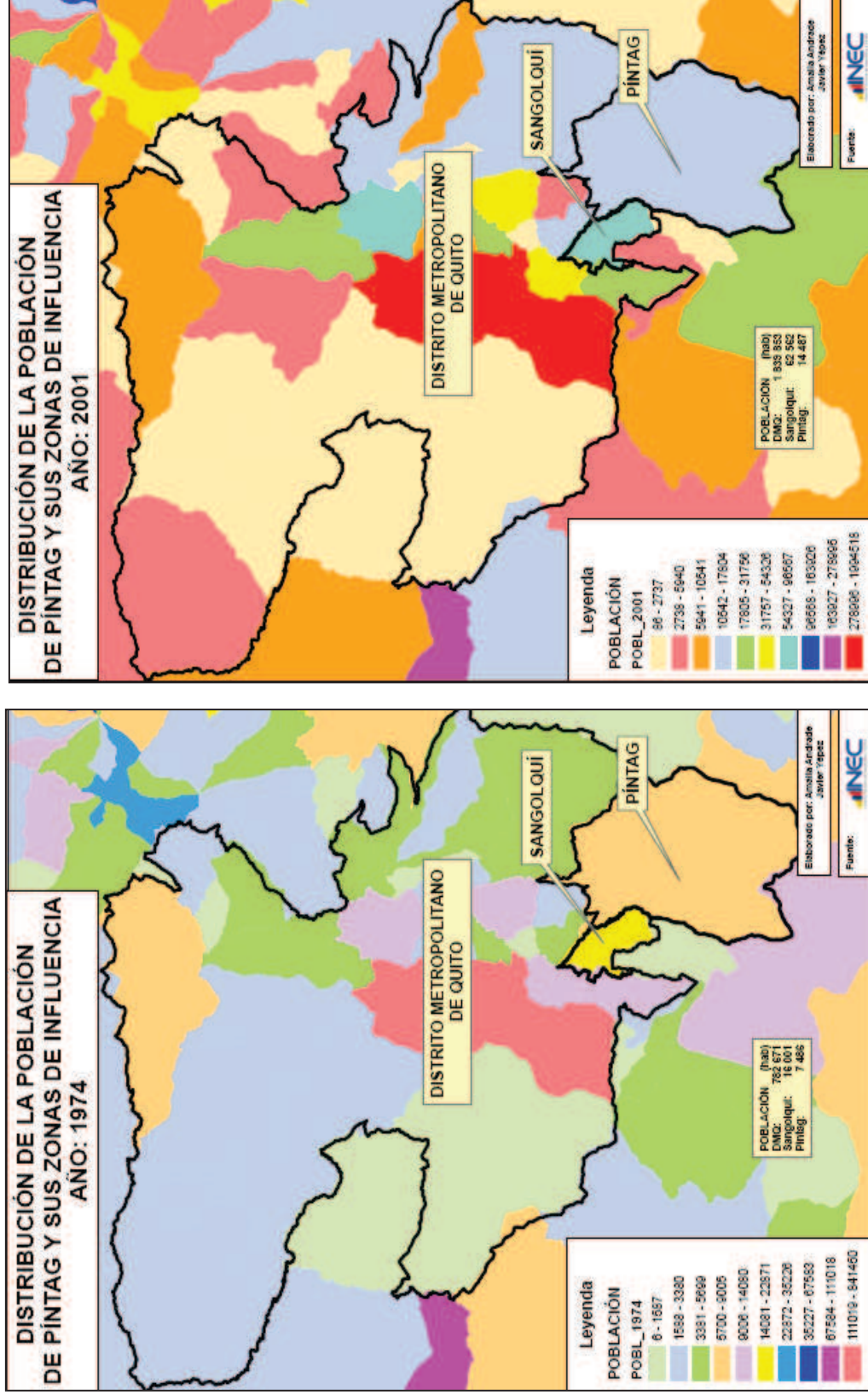
\* Los datos nacionales se añadieron con fines de comparación.

Fuente: Censos de Población y Vivienda (INEC, 2011; GADPP, 2012).

El crecimiento poblacional, tanto en Píntag como en Sangolquí y el DMQ, como zonas de influencia, y la presión que supone sobre la producción de alimentos y recursos naturales en general, constituye uno de los aspectos más visibles de la relación ambiente-desarrollo socioeconómico.

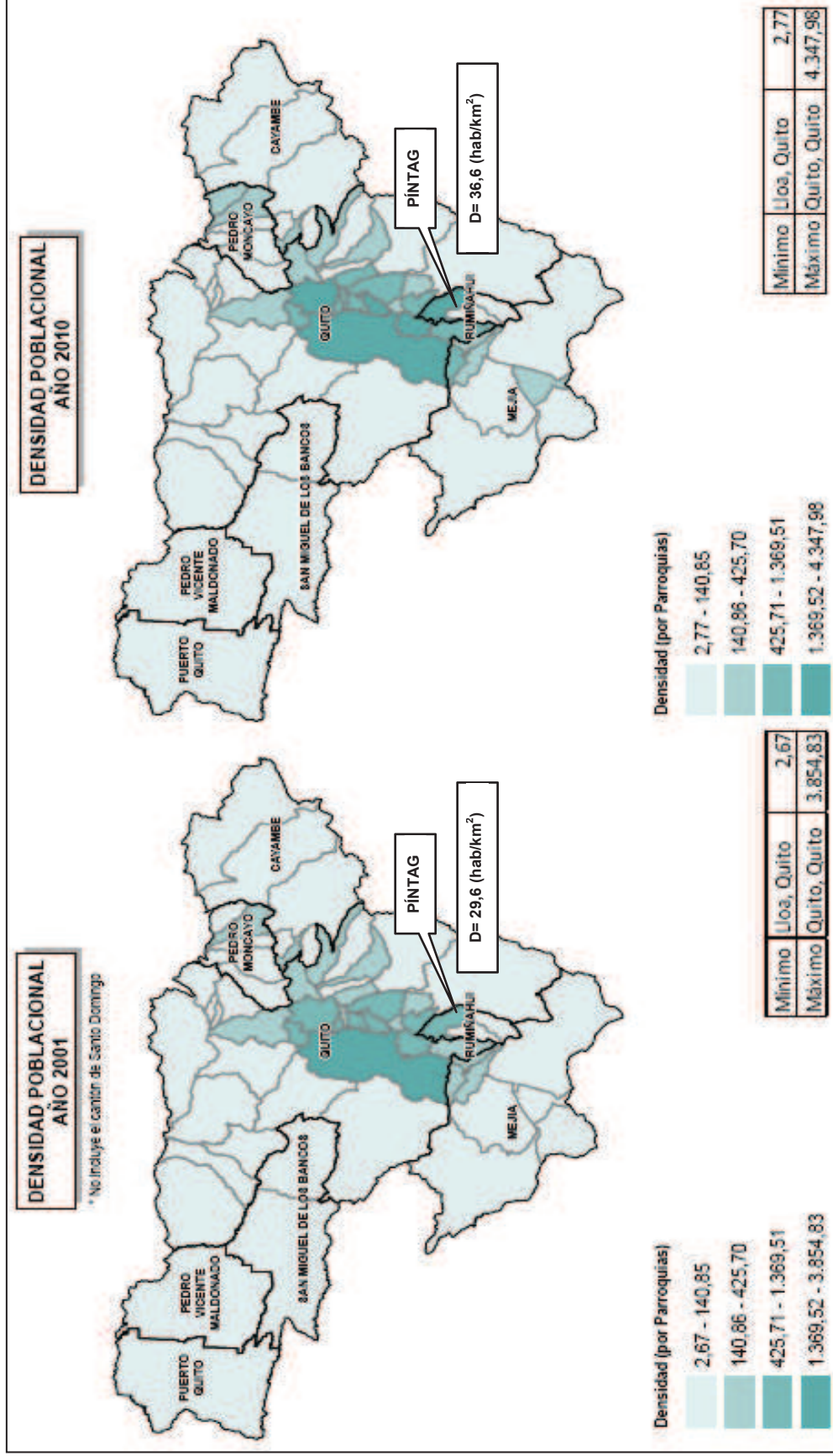


Figura 5.3 Distribución Poblacional de Píntag y sus zonas de influencia, años 1974 y 2001



Fuente: (INEC, 2011).

Figura 5.4 Mapa de densidad poblacional en el DMQ y Píntag, años 2001 y 2010



Fuente: (INEC-CPV, 2001; INEC, 2011).

### 5.1.2 DEMANDA DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS (De)

Se identificaron los principales productos que se originan en Píntag, los cuales son base de la economía agropecuaria de la parroquia. Entre los productos más importantes están: la papa, la cebada, el maíz, el trigo, y legumbres en la producción agrícola local, en tanto que la producción de leche, y carne de ganado bovino son los productos que se generan en el sector pecuario según el GADPP (2012).

Tomando como base a estos productos, se muestra el consumo per cápita nacional en el Cuadro 5.2. Estos valores, multiplicados con los datos poblacionales del Ecuador, así como del DMQ, Sangolquí y Píntag, de acuerdo a la ecuación (4.3), sirvieron para estimar la demanda aproximada de dichos productos y su variación con el tiempo considerando el periodo 2000 a 2010.

**Cuadro 5.2 Consumo per cápita nacional de los principales productos que se dan en Píntag**

AÑO	CARNE BOVINA kg/año	LECHE kg/año	PAPA kg/año	CEBADA kg/año	MAÍZ kg/año	TRIGO kg/año	LEGUMBRES kg/año
2000	12	154	15	1,47	9	27	3
2001	13	152	17	1,29	7	32	2
2002	13	129	18	1,71	6	23	2
2003	13	121	25	1,54	6	26	2
2004	13	132	27	0,54	8	25	2
2005	12	124	22	0,47	7	28	3
2006	12	138	23	0,46	8	32	2
2007	11	125	20	0,46	6	27	1
2008	11	137	17	N/D*	5	27	1
2009	12	132	17	N/D*	7	28	1
2010	11	140	22	N/D*	6	33	1

\* Datos no disponibles

Fuente: (SIGAGRO, 2010).

Según el cuadro anterior, el consumo per cápita de carne de res no ha presentado mucha variación y se ha mantenido entre 11 y 13 kg/año. El mismo caso sucede con el consumo per cápita de leche (154 a 140 kg/año) y maíz (9 a 6 kg/año). Sin embargo, esta mínima diferencia registrada toma mayor importancia al considerar el incremento en la población; ya que un aumento de la población es directamente

proporcional al incremento en el consumo de alimentos y recursos en una zona, región o país.

Para el análisis de este indicador se incluyó la demanda de productos agropecuarios en el DMQ, Sangolquí y Píntag, debido a que, según el informe del GADPP (2012) y las entrevistas realizadas a los propietarios de las haciendas, la mayor parte de los productos provenientes de Píntag se destinan a los mercados de estas zonas. Los valores de demanda de productos agropecuarios en el DMQ se detallan en el Cuadro 5.3, además, se pueden observar los cuadros de demanda a nivel nacional (mostrados como referenciales para fines de comparación), de Sangolquí y Píntag en el ANEXO No 5 (Cuadros y Gráficas adicionales – Fuerzas Motrices, Presiones y Estado), del Cuadro 8.4 al Cuadro 8.6.

**Cuadro 5.3 Demanda en el DMQ de los principales productos que se dan en Píntag**

AÑO	DEMANDA DE PRODUCTOS (miles de toneladas)						
	CARNE BOVINA	LECHE	PAPA	CEBADA	MAÍZ	TRIGO	LEGUMBRES
2000	<b>21,76</b>	<b>279,26</b>	<b>27,20</b>	<b>2,67</b>	<b>16,32</b>	<b>48,96</b>	<b>5,44</b>
2001	23,92	279,66	31,28	2,37	12,88	58,88	3,68
2002	24,67	244,80	34,16	3,25	11,39	43,65	3,80
2003	25,22	234,72	48,50	2,99	11,64	50,44	3,88
2004	25,77	261,63	53,52	1,07	15,86	49,55	3,96
2005	24,29	251,01	44,53	0,95	14,17	56,68	6,07
2006	24,80	285,16	47,53	0,95	16,53	66,12	4,13
2007	23,19	263,55	42,17	<b>0,97</b>	12,65	56,93	2,11
2008	23,65	294,60	36,56	N/D *	10,75	58,06	2,15
2009	26,31	289,37	37,27	N/D *	15,35	61,38	2,19
2010	<b>24,63</b>	<b>313,49</b>	<b>49,26</b>	<b>N/D *</b>	<b>13,44</b>	<b>73,89</b>	<b>2,24</b>

\* Datos no disponibles

Fuente: (SIGAGRO, 2010; INEC, 2012a).

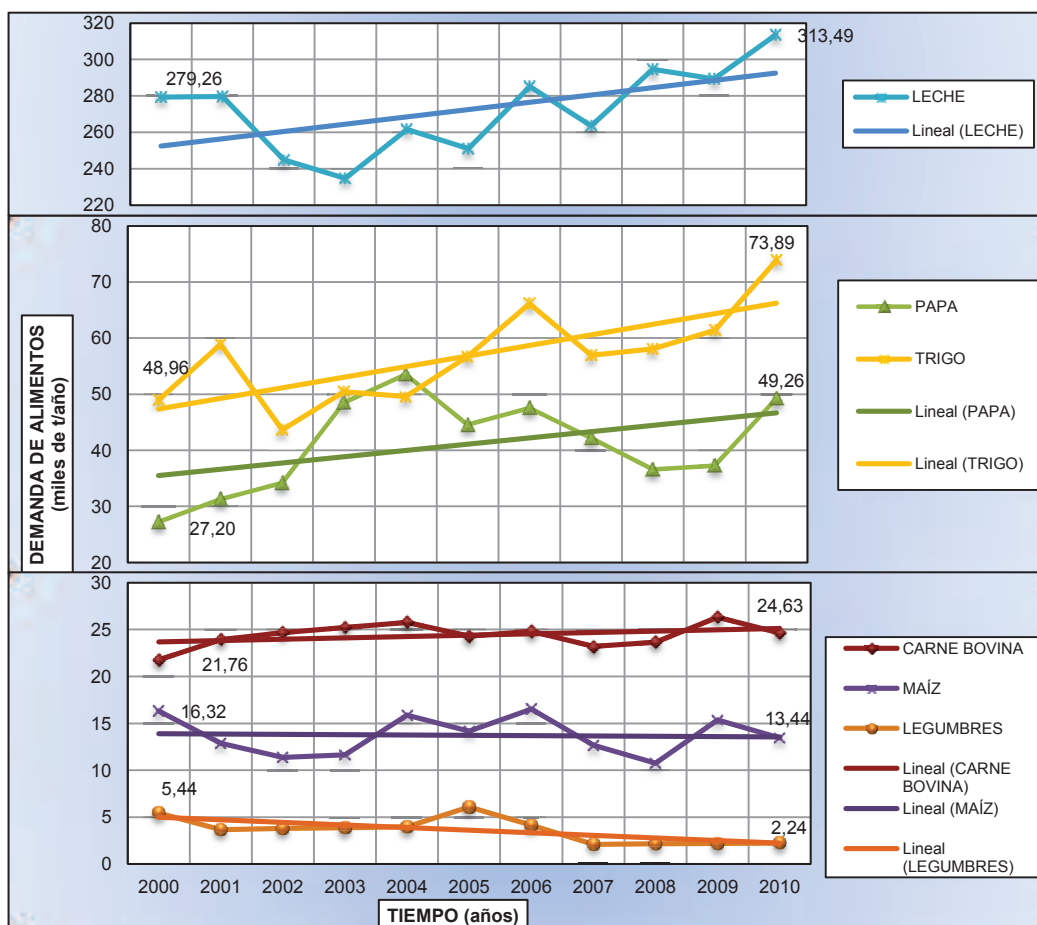
En el cuadro mostrado anteriormente se observa un incremento en el consumo de alimentos en el DMQ, generado principalmente por el crecimiento poblacional, patrones de consumo y producción de alimentos, ingresos económicos (con notables diferencias entre el sector urbano y rural), además de factores

nutricionales, psicológicos y culturales (Morón y Schejitman, 1997). Sin embargo, se tomaron como base de análisis los dos primeros parámetros.

En la Figura 5.5 se encuentran representados los valores del cuadro anterior, donde se puede apreciar con claridad un aumento en la demanda de productos de origen pecuario, como carne y leche en el DMQ. De igual manera, se registra un aumento en la demanda productos agrícolas como la papa y el trigo.

Por otro lado, los productos forestales, que se obtienen de los recursos que proveen los bosques y plantaciones forestales, han tenido un aumento en su demanda en el planeta en general, lo que ha generado un creciente y preocupante aumento en los niveles de deforestación en el mundo (FAO, 2012). Sin embargo, en el Ecuador su consumo se ha reducido en el periodo 1994-2003, como lo muestra el Cuadro 8.7 del ANEXO No 5.

**Figura 5.5 Demanda de productos para el DMQ (miles de t/año)**



Fuente: (SIGAGRO, 2010; INEC, 2012a).

De la gráfica anterior, se distingue una disminución en la demanda de maíz y de legumbres en el DMQ; esto debido a cambios en los hábitos de consumo de la población en general. Esta tendencia se da de la misma forma a nivel nacional, en Sangolquí y en menor medida en Píntag, como se observa en la Figura 8.15, Figura 8.16 y la Figura 8.17 del ANEXO No 5.

Esto concuerda con Cepéde y Languélle (1953), quienes advierten que en general el consumo de granos, legumbres y tubérculos pierde importancia relativa a medida que el ingreso económico se eleva, ocurriendo lo inverso con los aceites y las carnes. Esto está respaldado por un estudio de la FAO, el cual menciona que, en términos de composición, la energía obtenida de los alimentos de origen vegetal crece en importancia a medida que desciende el ingreso económico (familias de estratos bajos consumen más del 40% que familias de estrato alto); en tanto que ocurre lo contrario con las proteínas de origen animal, en las que las consumidas por el estrato alto superan en más de un 80 % a las de los estratos bajos (FAO, 1988) (ver Cuadro 8.8 del ANEXO No 5).

En general, de acuerdo a la FAO (2012), el crecimiento demográfico y el auge de la demanda de alimentos han acelerado el ritmo de degradación de los ecosistemas, como selvas tropicales, incluidos páramos y bosques altoandinos (Mena, 2008); a tal grado que la deforestación (a escala mundial) ha ido aproximadamente a la par que el crecimiento demográfico.

### **5.1.3 ANALFABETISMO (ANALF) Y TASA NETA DE ESCOLARIZACIÓN (TNE)**

El analfabetismo en Píntag, ha presentado una notoria disminución, pasando del 12,1% en el año 2000, hasta caer en un 7,6% en el 2010, tal como se puede observar en el Cuadro 5.4:

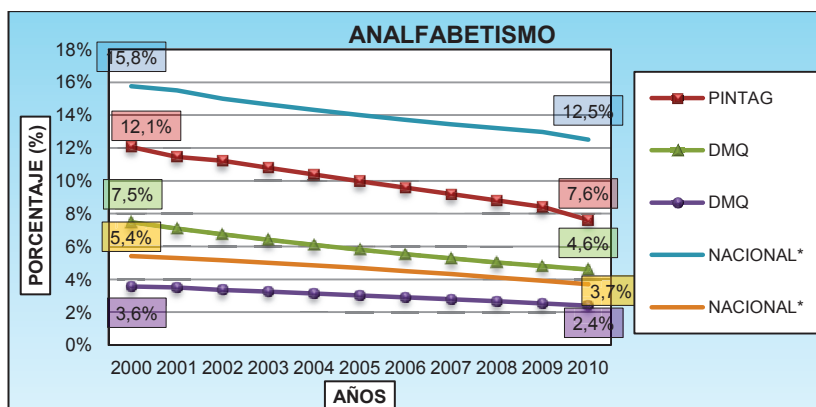
**Cuadro 5.4 Tasa de Analfabetismo en Píntag, el DMQ y nivel Nacional**

AÑOS	PINTAG	DMQ		NACIONAL*	
		RURAL	URBANA	RURAL	URBANA
2000	12,1%	7,5%	3,6%	15,8%	5,4%
2001	11,5%	7,1%	3,5%	15,5%	5,3%
2002	11,2%	6,7%	3,4%	15,0%	5,2%
2003	10,8%	6,4%	3,3%	14,6%	5,0%
2004	10,4%	6,1%	3,1%	14,3%	4,9%
2005	10,0%	5,8%	3,0%	14,0%	4,7%
2006	9,6%	5,5%	2,9%	13,7%	4,5%
2007	9,2%	5,3%	2,8%	13,4%	4,3%
2008	8,8%	5,0%	2,7%	13,2%	4,1%
2009	8,4%	4,8%	2,5%	13,0%	3,9%
2010	7,6%	4,6%	2,4%	12,5%	3,7%

\* Datos nacionales añadidos con fines comparativos.

Fuente: (SIISE, 2013).

La gráfica de la Figura 5.6 muestra que a pesar de la disminución de la tasa de analfabetismo en Píntag, este valor es superior a la tasa de analfabetismo nacional urbana en el 2010 (3,7%), y al registrado en el DMQ urbano (2,4%) y rural (4,6%).

**Figura 5.6 Comparación de la Tasa de Analfabetismo en Píntag y zonas urbanas y rurales del DMQ**

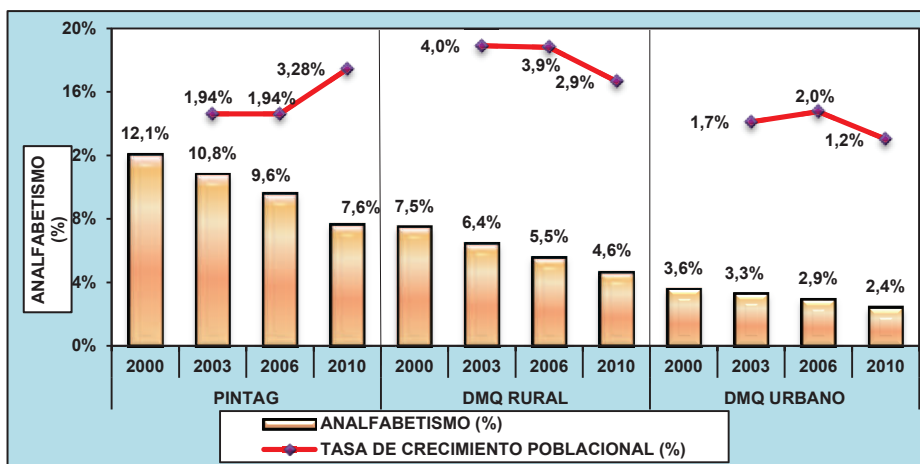
\* Datos nacionales colocados con fines comparativos.

Fuente: (SIISE, 2013).

Al comparar la tasa de crecimiento poblacional con la tasa de analfabetismo se observa que en Píntag, su tasa de crecimiento muestra una tendencia positiva, traducida en una mayor velocidad de crecimiento en comparación a los observados en el DMQ rural y urbano, esto a pesar de que ha ido decreciendo el porcentaje de analfabetismo, hasta llegar al 7,6% en el año 2010 (ver Figura 5.7). Esto puede indicar que, generalmente en los sectores rurales, aún se manifiesta

el hecho de que a mayor porcentaje de analfabetismo, mayor es el crecimiento de la población.

**Figura 5.7 Tasa de crecimiento poblacional en Píntag y DMQ (rural-urbano) en relación con el analfabetismo**



Fuente: (SIISE, 2013; INEC, 2011).

En cuanto a la tasa de escolarización, considerando los niveles primario, secundario y superior, ésta se encuentra en el Cuadro 5.5:

**Cuadro 5.5 Tasa de escolarización en Píntag y el DMQ**

AÑOS	PÍNTAG			DMQ		
	PRIMARIA COMPLETA	SECUNDARIA COMPLETA	SUPERIOR COMPLETA	PRIMARIA COMPLETA	SECUNDARIA COMPLETA	SUPERIOR COMPLETA
2000	61,6%	14,1%	7,6%	81,1%	43,9%	29,9%
2001	62,7%	15,3%	7,9%	82,5%	45,7%	30,6%
2002	65,9%	17,1%	8,4%	82,6%	46,8%	30,8%
2003	68,3%	18,8%	8,9%	83,6%	48,5%	31,3%
2004	70,9%	20,6%	9,3%	84,7%	50,3%	31,8%
2005	73,6%	22,6%	9,8%	85,8%	52,2%	32,3%
2006	76,5%	24,6%	10,2%	87,1%	54,2%	32,8%
2007	79,5%	26,8%	10,7%	88,5%	56,3%	33,3%
2008	82,6%	29,0%	11,2%	89,9%	58,5%	33,8%
2009	85,8%	31,4%	11,7%	91,5%	60,8%	34,4%
2010	84,5%	32,0%	11,5%	92,9%	63,0%	34,8%

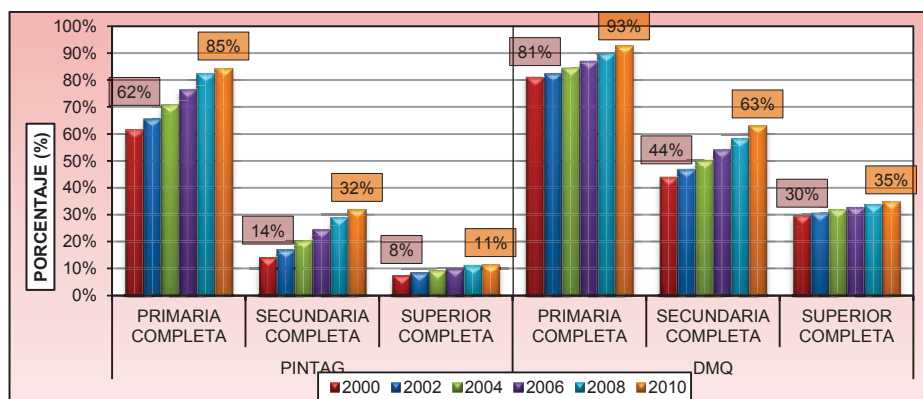
Fuente: (SIISE, 2013).

El porcentaje de tasa de escolarización en Píntag, tanto en el nivel primario, como secundario y superior ha mostrado un importante progreso; sin embargo, sus valores son menores a los dados por el DMQ (tal como lo muestra la Figura 5.8), tanto en la parte urbana, como rural (Ver Figura 8.19), y los obtenidos a nivel



nacional en el sector urbano; que únicamente son superiores a los valores nacional en el sector rural (ver la Figura 8.18 del ANEXO No 5).

**Figura 5.8 Comparación de la Tasa de Escolarización en Píntag y el DMQ**



Fuente: (SIISE, 2013).

El avance en los niveles de instrucción tanto de Píntag, como en el DMQ, y a nivel nacional, reflejan que hay mayor población preparada para laborar en otros sectores económico-productivos, distintos a los que tienen que ver con el ámbito agrícola y pecuario (o con mayor predisposición a la modernización y tecnificación del sector agropecuario), tal como se refleja en el siguiente indicador.

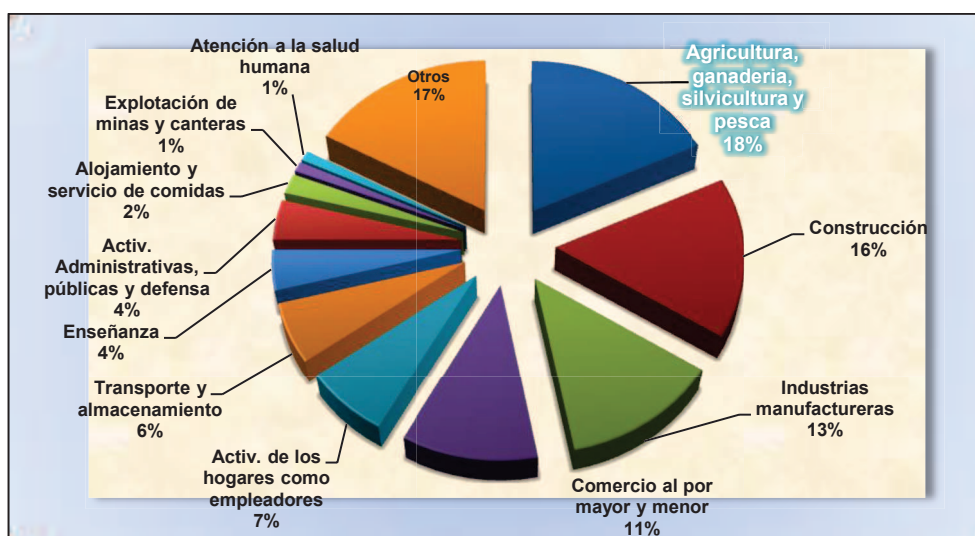
#### 5.1.4 PORCENTAJE DE POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA (PEA) POR RAMA DE ACTIVIDAD

Según el informe del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Píntag (GADPP, 2012) la población económicamente activa (PEA) por rama de actividad en Píntag se encuentra ocupada mayormente por la agricultura, ganadería silvicultura y pesca, con un valor de 18%, como se muestra en la Figura 5.9; esto a pesar de que aproximadamente el 70% de la PEA vende su fuerza laboral al cantón Rumiñahui y al DMQ.

La PEA agrícola en Píntag en contraste con los valores del PEA del Distrito Metropolitano de Quito en los sectores urbano y rural, ha mantenido un alto valor porcentual (actividad económica predominante) en relación a otras ramas de la producción como la construcción, industrias manufactureras y comercio, entre otras (ver Cuadro 8.11 y Figura 8.20 del ANEXO No 5); sin embargo, ha

presentado una notoria disminución, pasando del 40,7 al 18,5% entre el año 1990 y 2010, respectivamente (ver Cuadro 5.6). De la misma forma, en el sector rural del DMQ, se presentó una mayor proporción dedicada al sector agrícola, con un valor de 28% en 1990, que decayó hasta el 11% en el 2010, siendo desplazado por el comercio y el sector de la manufactura, con valores de 17 y 15%, respectivamente en el año 2010.

**Figura 5.9 Porcentaje de Población Económicamente Activa según ramas de actividad en Píntag Año 2010**



Fuente: (GADPP, 2012).

En el DMQ urbano se presentó una mayor predominancia de la PEA en el sector público, que disminuyó a medida que aumentó el porcentaje de PEA dedicado al comercio. Así, el PEA del sector público pasó del 21 al 14% desde 1990 hasta el 2010, respectivamente; y el comercio creció del 8 al 22% en el mismo periodo. Además, resalta el hecho de que el PEA agrícola, a pesar de ocupar el menor porcentaje de todas las ramas de actividad descritas, continúa disminuyendo en el mismo periodo de tiempo, donde pasó de tener 1,3% a 1,1% (INEC-CPV, 2001; SNI, 2011a).

**Cuadro 5.6 Porcentaje del PEA según ramas de actividad en Píntag y DMQ rural y urbano**

<b>PÍNTAG</b>				
<b>AÑO</b>	<b>AGRICULTURA</b>	<b>MANUFACTURA</b>	<b>COMERCIO</b>	<b>SECTOR PUBLICO</b>
1990	<b>40,7%</b>	10,7%	3,5%	6,2%
2001	<b>34,7%</b>	12,6%	8,4%	5,4%
2010	<b>18,5%</b>	13,0%	11,3%	7,9%
<b>DMQ TOTAL</b>				
<b>AÑO</b>	<b>AGRICULTURA</b>	<b>MANUFACTURA</b>	<b>COMERCIO</b>	<b>SECTOR PUBLICO</b>
1990	6,7%	16,8%	7,4%	18,5%
2001	5,8%	14,9%	20,1%	10,6%
2010	3,8%	13,5%	20,7%	13,0%
<b>DMQ RURAL</b>				
<b>AÑO</b>	<b>AGRICULTURA</b>	<b>MANUFACTURA</b>	<b>COMERCIO</b>	<b>SECTOR PUBLICO</b>
1990	28,4%	15,3%	4,0%	10,3%
2001	19,5%	15,4%	14,1%	7,8%
2010	10,7%	14,9%	16,6%	10,3%
<b>DMQ URBANO</b>				
<b>AÑO</b>	<b>AGRICULTURA</b>	<b>MANUFACTURA</b>	<b>COMERCIO</b>	<b>SECTOR PUBLICO</b>
1990	1,3%	17,2%	8,3%	20,6%
2001	1,6%	14,7%	21,9%	11,5%
2010	1,1%	13,0%	22,3%	14,0%

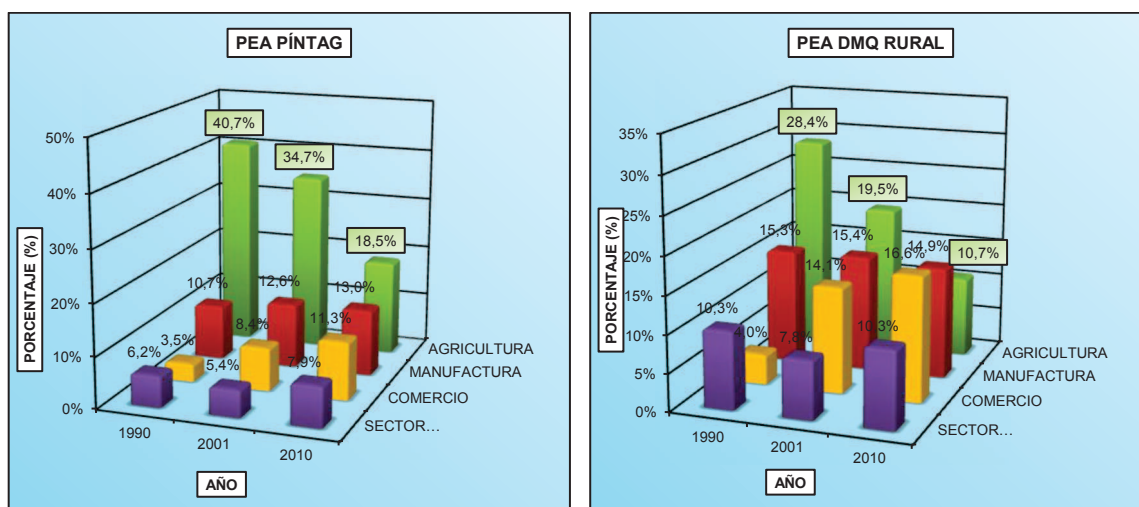
Las ramas de actividad descritas en el cuadro son las de mayor porcentaje del total.

Fuente: (INEC-CPV, 2001; SNI, 2011a).

El análisis en Píntag de la PEA ocupada en las diferentes ramas de actividad productiva muestra que la agricultura, sigue siendo la rama de actividad económica, donde se encuentra el mayor porcentaje de población (Ver Figura 5.10a y Figura 8.22 del ANEXO No 5). Esto explica la relación de la población con los recursos naturales y de alguna manera, la incidencia de las actividades de aprovechamiento con el estado del ambiente.

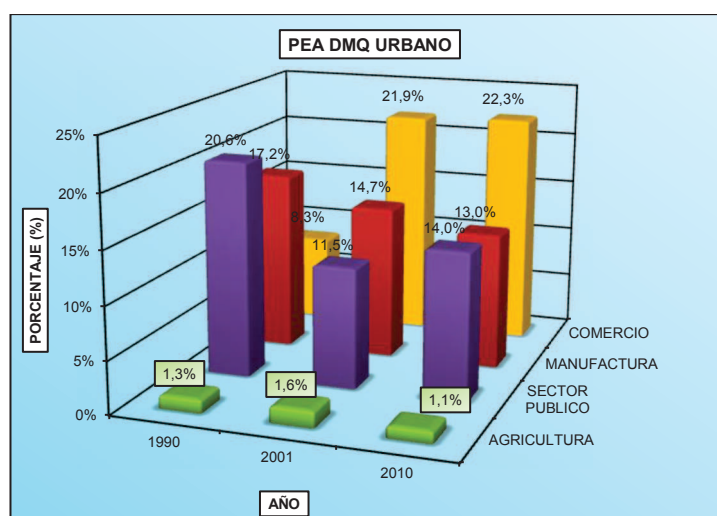
En términos de análisis socioeconómico de la PEA, son las actividades agrícolas y pecuarias las que ofrecen mayor empleo en Píntag (y en general a nivel nacional); dichas actividades están relacionadas con el área rural, donde el acceso a servicios básicos no es el adecuado. Esta situación limita el desarrollo de actividades alternas de creación de empleo y de acceso a mejores niveles de vida (FAO, 2004).

Figura 5.10 Porcentaje del PEA según ramas de actividad años 1990-2001-2010. a) Píntag, b) DMQ rural, c) DMQ urbano



a) Píntag

b) DMQ rural



c) DMQ urbano

Fuente: (INEC-CPV, 2001; SNI, 2011a).

Además, las actividades agropecuarias y su crecimiento (económico), se han basado en la ampliación de la frontera agrícola, más que en el mejoramiento de la productividad de los sistemas de producción (MAE, PNUD, y GEF, 2001), y sus efectos negativos en el suelo se han hecho más evidentes (Sadeghian y otros, 1998).

## 5.2 PRESIONES

Los indicadores analizados se describen a continuación:

### 5.2.1 OFERTA AGROPECUARIA

La oferta o producción agropecuaria de las haciendas Pazmiño y Miranda han registrado un aumento en lo que respecta a la producción de derivados de origen pecuario y forestal (únicamente en la hacienda Pazmiño), como lo muestra el Cuadro 5.7 y Cuadro 5.8. Además, se observa un decremento en la producción de alimentos como papa y cebada, en ambas haciendas.

**Cuadro 5.7 Oferta de productos en la Hacienda Pazmiño**

HACIENDA PAZMIÑO						
PRODUCTO	UNIDAD	AÑO				OBSERVACIONES
		2000	2003	2006	2012	
Leche	T/año	Sobreoferta de productos lácteos	N/D	376,68	1130,04	Incremento aprox. de 125 T/año.
Ganado vacuno	T/año	21	21	21	21	No se ha incrementado
Madera	ha/año	30	60	400	430	Incremento notable de 340 ha en 6 años y de 30 ha en los siguientes 6 años
Papa	T/año	125	88,5	52	15	Decremento por la variabilidad climática y bajo del precio del producto
Zanahoria	T/año	N/D	N/D	N/D	25	En aumento
Cebada	T/año	150	150	0	0	Ya no se produce por cambios en los hábitos de consumo

Fuente: (Pazmiño, 2013).

**Cuadro 5.8 Oferta de productos en la Hacienda Miranda**

HACIENDA MIRANDA						
PRODUCTO	UNIDAD	AÑO			OBSERVACIONES	
		2006	2007-2010	2012		
Leche	T/año	90	188	301	Al comienzo se dieron 2 años de estiaje, por el mal estado del suelo de la hacienda	Rotación de áreas de pastoreo, no sobrepastoreo.
Ganado vacuno	T/año	25	50	25	Producción afectada por la época de estiaje	Excedentes para heno y silos
Cebada	T/ha*año	0,65	3	0	A partir del 2013 se prevé destinar aproximadamente 40 ha para uso agrícola.	
Avena	T/ha*año	0,5	2,5	0		

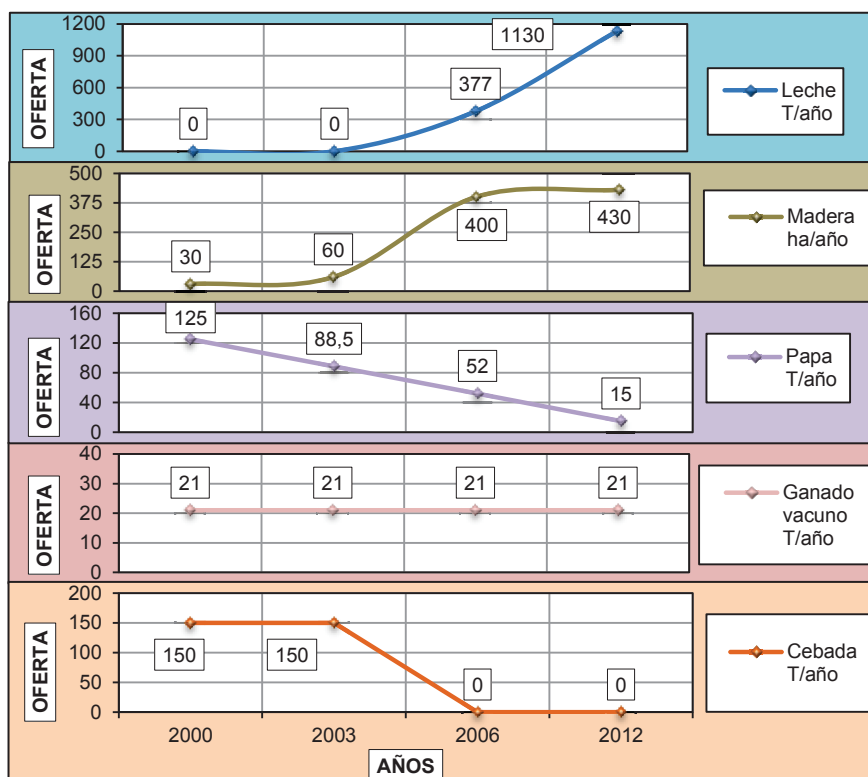
Fuente: (Miranda, 2013).

De esta forma, cada propietario, desde hace ya algunos años, ha optado por dar mayor énfasis a la producción pecuaria (leche y carne bovina). Entre las razones para esto, según las entrevistas realizadas a los señores Pazmiño y Miranda, es la mayor rentabilidad y menor inversión económica que necesita la actividad ganadera en comparación a la agrícola. Esto está confirmado por Hofstede y otros (2003), quienes manifiestan que la ganadería ofrece mayores ganancias, la inversión en mano de obra es menor que en la agricultura, y es una actividad menos riesgosa (el agotamiento y pérdida de fertilidad del suelo, plagas, inestabilidad del mercado, y heladas son factores de riesgo constante para la agricultura).

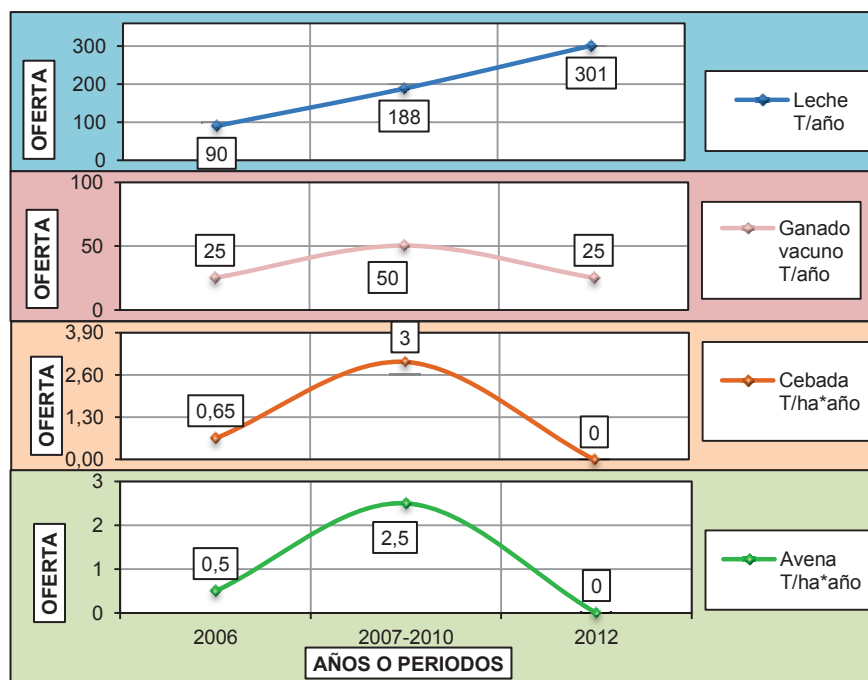
Otra razón que ha impulsado a la producción ganadera es el cambio en las costumbres alimenticias de la población, donde se ha dado un incremento en el consumo de carnes y derivados lácteos, en contraste con la disminución del consumo de productos vegetales, como cereales, legumbres y hortalizas (Pazmiño, 2013; Miranda, 2013).

Los datos de los cuadros anteriores se visualizan claramente en la Figura 5.11a para la hacienda Pazmiño y Figura 5.11b para la hacienda Miranda. En la primera se observa un aumento en su producción de leche de 377 a 1130 T/año en los años 2006 y 2012, respectivamente; cuyos valores superaron a los registrados en la hacienda Miranda, donde se dio un aumento de 90 a 301 T/año en los mismos años, respectivamente.

Figura 5.11 Variación de la oferta de productos: a) Hacienda Pazmiño, b) Hacienda Miranda



a) Hacienda Pazmiño.



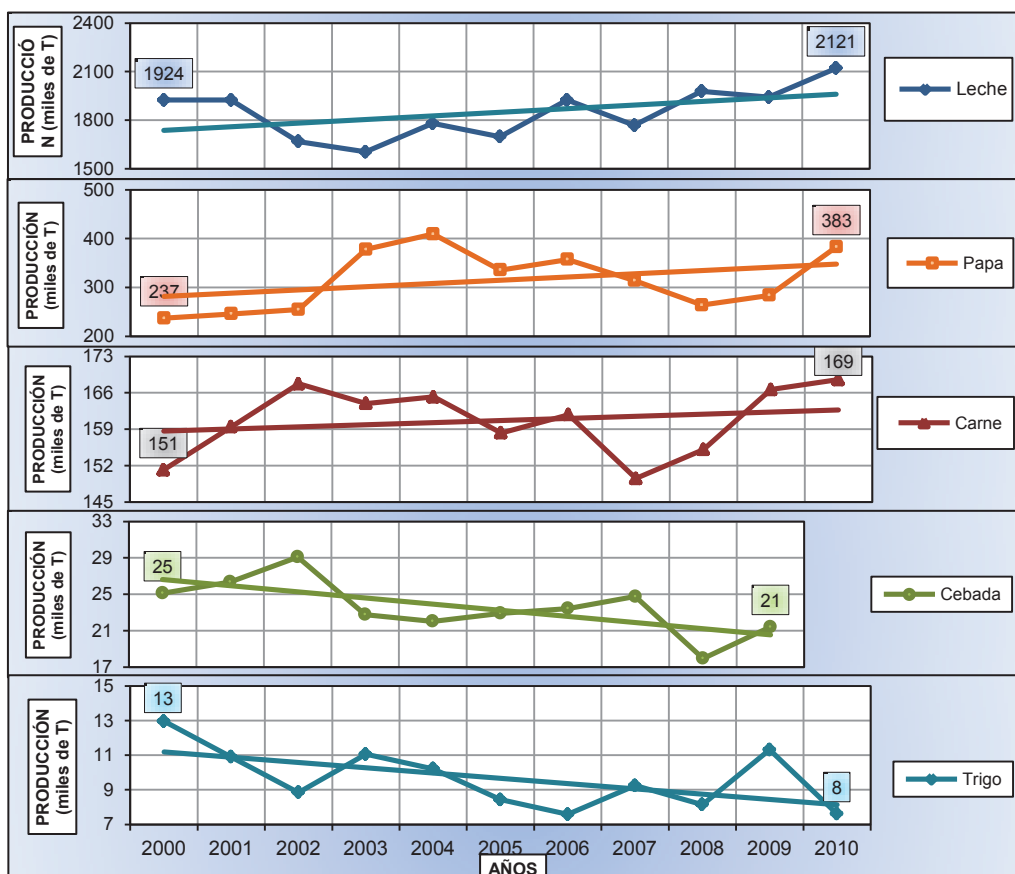
b) Hacienda Miranda.

Fuente: (Pazmiño, 2013; Miranda, 2013).

La oferta de ganado vacuno (para carne) se ha mantenido constante en la hacienda Pazmiño, y ha registrado una tendencia a la baja en Miranda. En tanto que la producción de vegetales como papa, en Pazmiño, cebada, en las dos, y avena, en Miranda, se han ido a la baja con el transcurrir del tiempo.

El aumento de la producción pecuaria y disminución en la producción de derivados de origen vegetal, no es un hecho único de las haciendas mencionadas, dado que esta tendencia se presenta a nivel nacional, como se muestra en la Figura 5.12 (y en el Cuadro 8.13 en el ANEXO No 5), a excepción de la producción de papa que experimenta un aumento irregular entre los años 2000 y 2010.

**Figura 5.12 Tendencias en la producción nacional de varios productos agropecuarios**



Fuente: (INEC, 2012a; SIGAGRO, 2010).

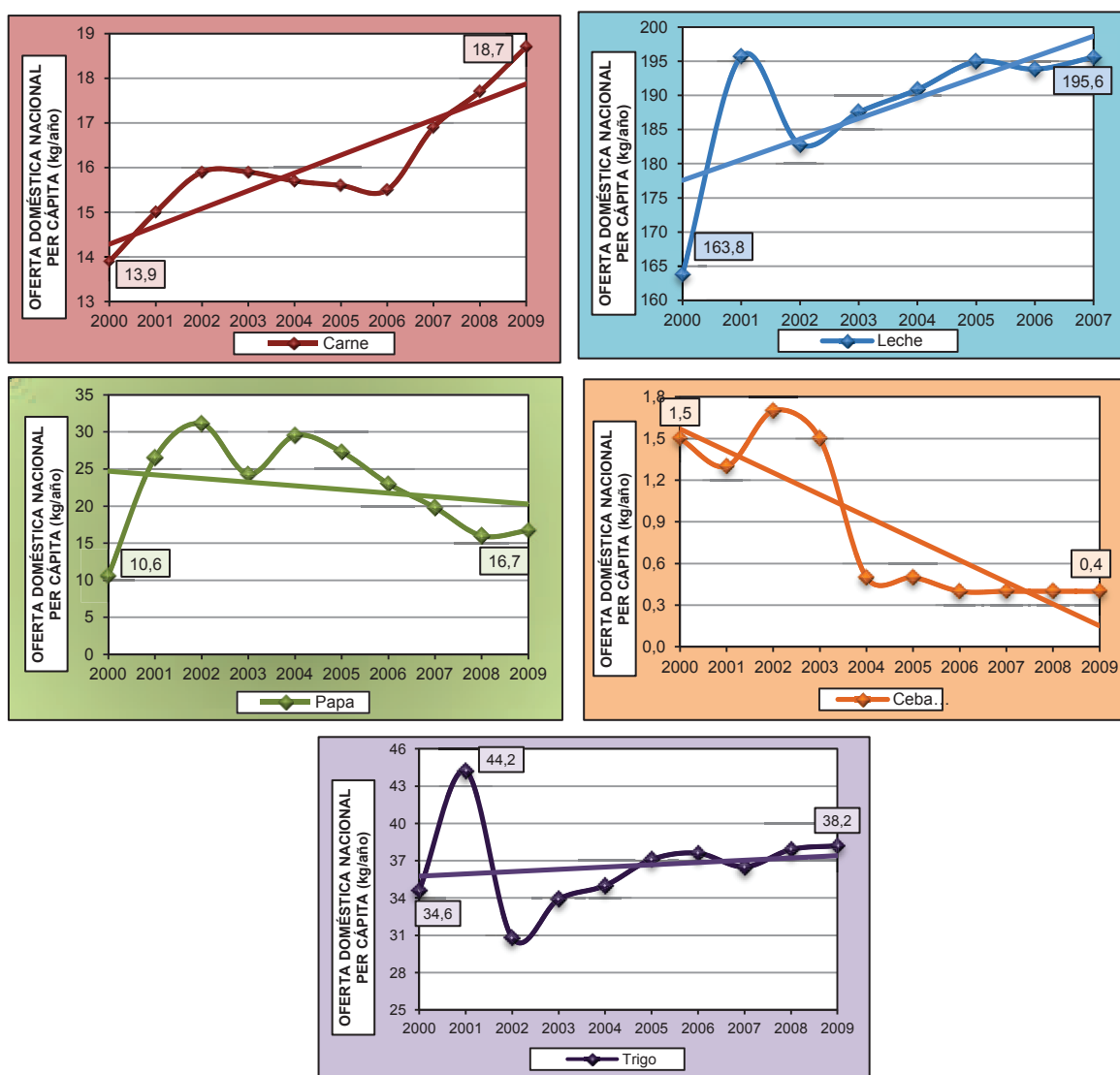
La producción forestal en la hacienda Pazmiño muestra una predisposición al aumento, como lo muestra la Figura 5.11a, cuya tendencia es similar a la



registrada tanto en la provincia de Pichincha, como a nivel nacional, donde presentan incrementos tanto en el volumen de madera disponible como en la superficie de aprovechamiento forestal, cuyos resultados se encuentran el Cuadro 8.14 y Figura 8.23 en el ANEXO No 5.

Por otro lado, la oferta per cápita nacional de productos de origen pecuario (como leche y carne) se ha incrementado sustancialmente en el periodo 2000-2009; en tanto que, productos como la papa y la cebada han presentado una tendencia general a la baja en el mismo periodo de análisis (ver Figura 5.13 y Cuadro 8.15 en el ANEXO No 5).

**Figura 5.13 Variación de la oferta nacional per cápita de productos agropecuarios**



Fuente: (CAESPA, 2012; FAOSTAT, 2012; BM, 2013).

Es así que, la creciente demanda de recursos que converge en el aumento constante de la producción agropecuaria, ha conllevado a la competencia por los recursos de la tierra y el agua (FAO, 2011). En la actualidad, la demanda de tierras y recursos naturales necesarios en una economía ha pasado a ocupar un primer plano, mientras que la prestación de servicios ecosistémicos, se ha convertido en un objetivo secundario (FAO, 2012).

La intensificación de la producción en las tierras agrícolas y pecuarias existentes ha llegado actualmente a un punto en que la producción y los medios de vida están comprometidos, por la acumulación de efectos ambientales en la tierra (expansión de la frontera agropecuaria) y el agua (FAO, 2011).

## 5.2.2 AVANCE DE LA FRONTERA AGROPECUARIA

**Cuadro 5.9 Variación del uso de suelo de las haciendas Pazmiño y Miranda (ha y %)**

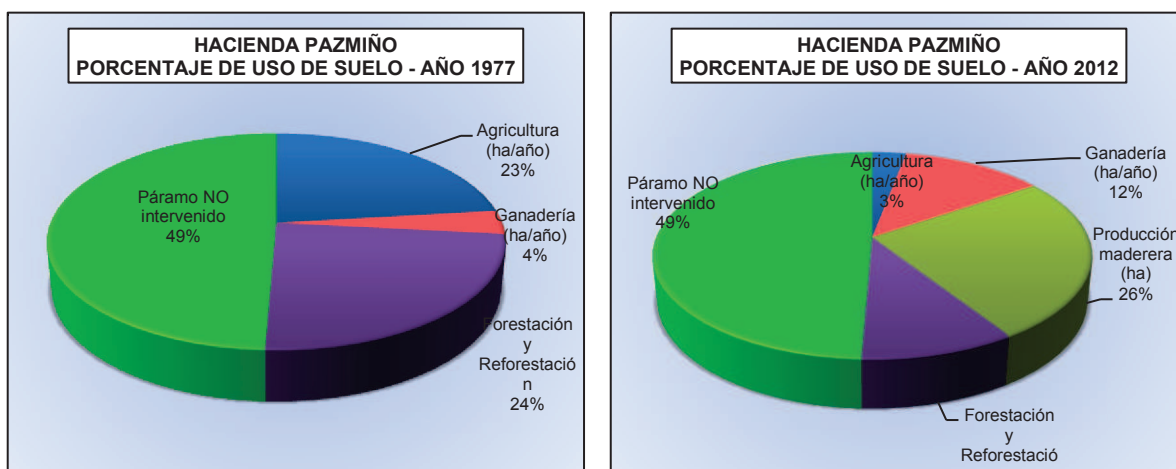
DISTRIBUCIÓN GENERAL DE LA SUPERFICIE	HACIENDA PAZMIÑO				HACIENDA MIRANDA			
	INICIO (a partir del año 1977)		2012		INICIO (a partir del año 2006)		2012	
	Valor (ha)	%	Valor (ha)	%	Valor (ha)	%	Valor (ha)	%
Agricultura (ha/año)	390	23%	50	3%	61,8	22%	0	0%
Ganadería (ha/año)	60	4%	210	12%	144,2	52%	206	74%
Producción maderera (ha)	0	0%	430	25%	N/D	N/D	N/D	N/D
Forestación y Reforestación	405	24%	165	10%	72	26%	72	26%
Páramo NO intervenido	833	49%	833	49%	N/D	N/D	N/D	N/D
Área Total (ha)	<b>1688</b>	<b>100%</b>	<b>1688</b>	<b>100%</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>	<b>278</b>	<b>100%</b>

Fuente: (Pazmiño, 2013; Miranda, 2013).

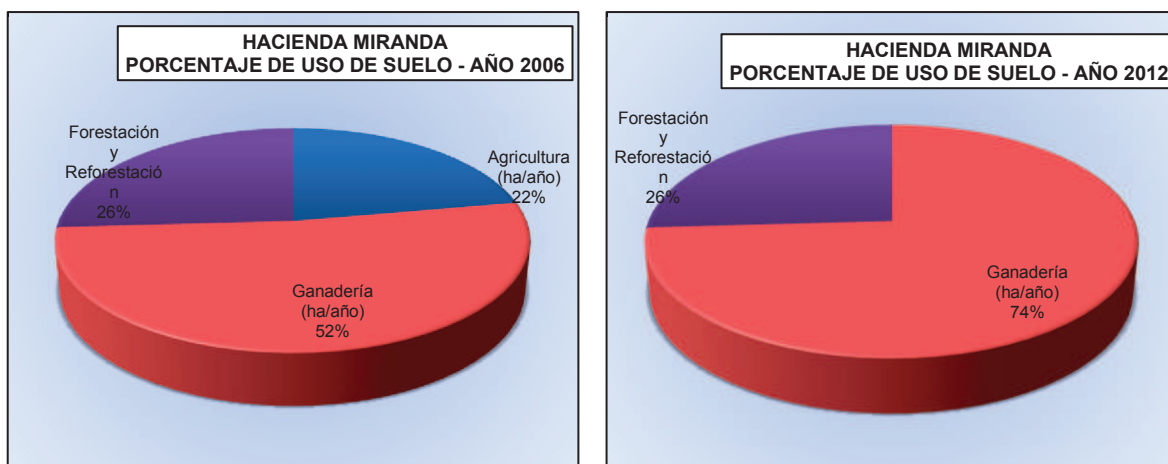
Se obtuvieron los datos de porcentaje y áreas de uso de suelo en las haciendas, los cuales se muestran en el Cuadro 5.9. El porcentaje de área destinada a actividades agrícolas en la hacienda Pazmiño disminuyó del 23% en el año 1977 a un 3% en el 2012, a diferencia del aumento de la superficie destinada a la ganadería del 4 al 12% (de 60 a 210 ha) para los mismos años, respectivamente; lo cual respalda lo explicado en el indicador anterior de oferta agropecuaria (se ha dado prioridad a la producción ganadera, desplazando así al sector agrícola) (Ver Figura 5.14a y Figura 5.15a).

En el caso de la hacienda Miranda se presentó la misma tendencia, la superficie destinada a actividades agrícolas disminuyó su porcentaje del 22 al 0%, en contraste con el aumento de porcentaje para el área ganadera del 52 al 74%. (Ver Figura 5.14b y Figura 5.15b) El área que se ha mantenido constante es la de conservación con un 26% durante el periodo 2006-2012.

**Figura 5.14 Variación del porcentaje de Uso de suelo: a) Hacienda Pazmiño, b) Hacienda Miranda**



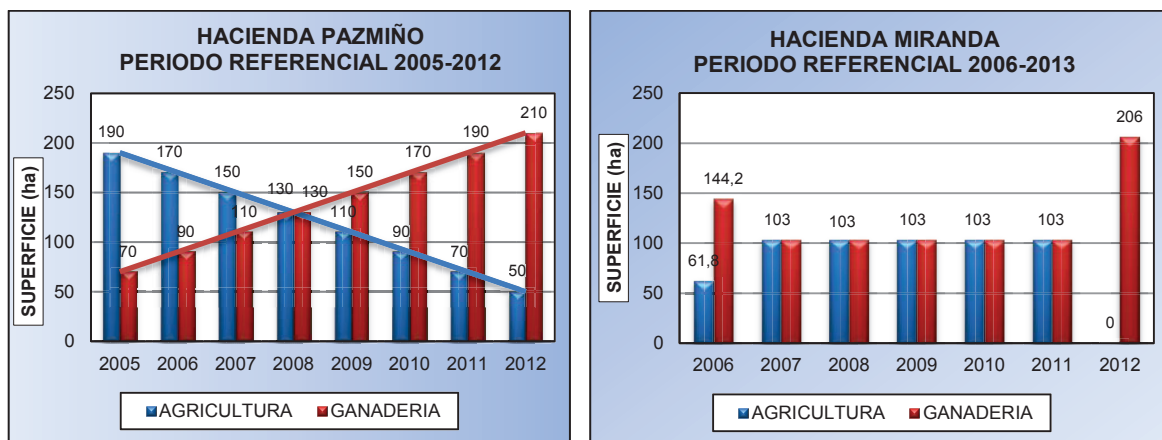
a) Hacienda Pazmiño



b) Hacienda Miranda

Fuente: (Pazmiño, 2013; Miranda, 2013).

**Figura 5.15 Variación de superficie (ha) de Uso de suelo: a) Hacienda Pazmiño, b) Hacienda Miranda**



a) Hacienda Pazmiño

b) Hacienda Miranda

Fuente: (Pazmiño, 2013; Miranda, 2013).

Los resultados de la Figura 5.15 en las haciendas, tienen notables diferencias con los valores nacionales, en los que, los porcentajes de las áreas destinadas a ganadería, agricultura, páramos y bosques se han mantenido constantes a través de los años (Ver Cuadro 8.16, Cuadro 8.17 y Figura 8.24 en el ANEXO No 5), siendo siempre mayores los porcentajes de las áreas dedicadas a actividades ganaderas que las agrícolas, con valores promedio del 41,8% en el periodo 2002-2012 frente a un valor promedio para agricultura del 21,3% para el mismo periodo. Mientras que para las áreas de uso de suelo en páramos y bosques en los años antes mencionados existe un valor promedio de porcentaje de área del 34,9%. (Ver Figura 8.25).

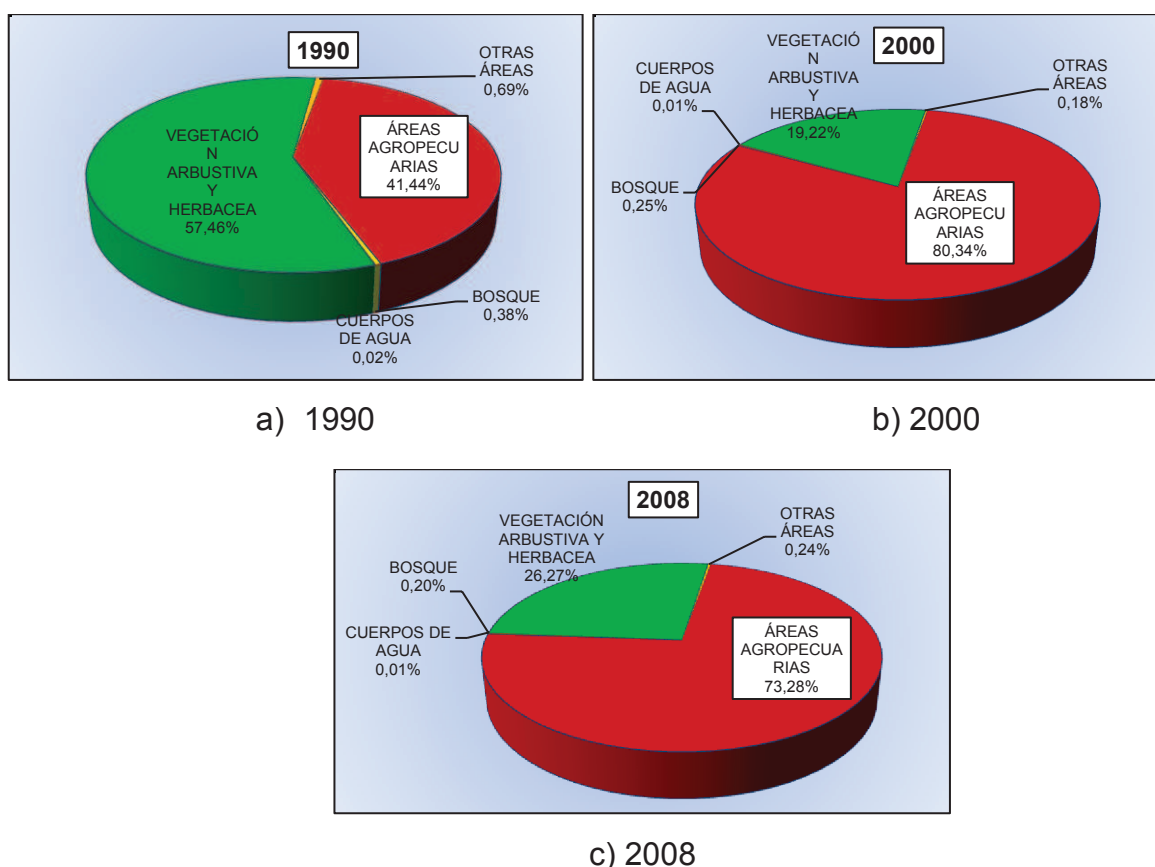
**Cuadro 5.10 Variación del porcentaje de uso de suelo en Píntag**

USO DE SUELO	AÑOS		
	1990	2000	2008
ÁREAS AGROPECUARIAS	41,44%	80,34%	73,28%
BOSQUE	0,38%	0,25%	0,20%
CUERPOS DE AGUA	0,02%	0,01%	0,01%
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBACEA	57,46%	19,22%	26,27%
ZONAS ANTRÓPICAS	0,01%	0,00%	0,01%
OTRAS ÁREAS	0,69%	0,18%	0,24%
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: (SENPLADES, 2012).

Estos valores se asemejan a los obtenidos en Píntag (Ver Cuadro 5.10). Efectivamente, en 1990 el área de vegetación arbustiva y herbácea predominaba en la zona ocupando el 57,46% de la parroquia, quedando en un segundo lugar el área destinada a actividades agropecuarias con un 41,4%; no obstante, en el año 2008 el área agropecuaria sobrepasó al de vegetación arbustiva, habiendo logrado un porcentaje del 73,3% del primero frente al 26,3% del segundo, como se muestra en la Figura 5.16 y la variación de la cobertura y uso de suelo (años 1990-2000-2008) en los mapas de la Figura 5.17.

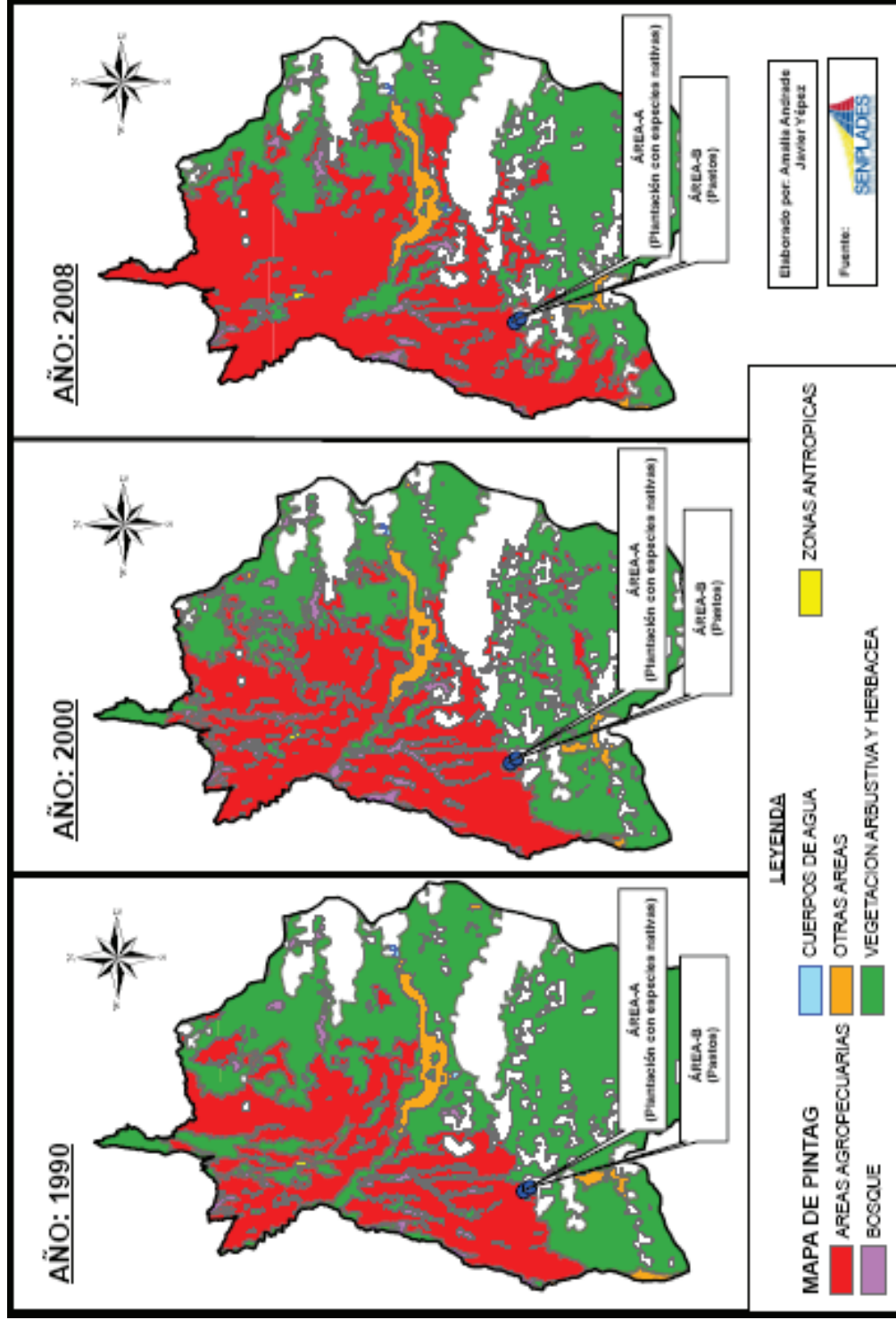
**Figura 5.16 Variación del porcentaje de Uso de suelo en Píntag: a) 1990, b) 2000, c) 2008**



Fuente: (SENPLADES, 2012).

El crecimiento económico de la agricultura y ganadería ha ocurrido a costa del empobrecimiento del recurso suelo (JGM, 2008), que ha generado preocupación en políticos, expertos en desarrollo e investigadores en el sentido de que la expansión de tierras destinadas a la agricultura y ganadería está acelerando procesos de degradación ambiental en el páramo, y bosques, con múltiples resultados adversos posibles (Medina y Mena, 2001b).

Figura 5.17 Mapa de uso de suelo de Pintag, años 1990-2000-2008

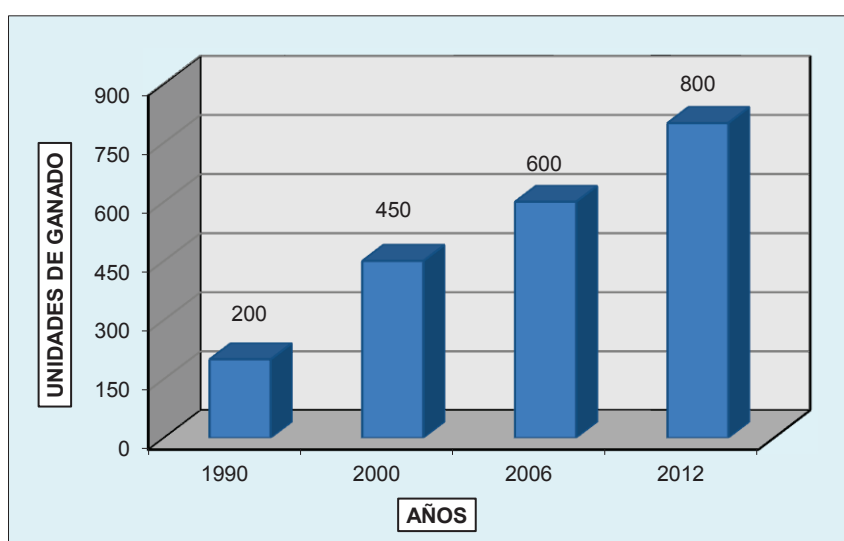


Fuente: (SENPLADES, 2012).

### 5.2.3 CARGA ANIMAL (CA)

Como se mencionó en el numeral 4.3.3, este indicador se analizó únicamente en la hacienda Pazmiño, donde según la entrevista realizada al propietario de la misma, esta hacienda contaba en el año de 1990 con un número aproximado de 200 cabezas de ganado vacuno; cuyo valor fue incrementándose, y su variación se observa en la Figura 5.18, hasta llegar a las 800 unidades en el 2012.

**Figura 5.18 Incremento del número de unidades de ganado en la hacienda Pazmiño**



Fuente: (Pazmiño, 2013).

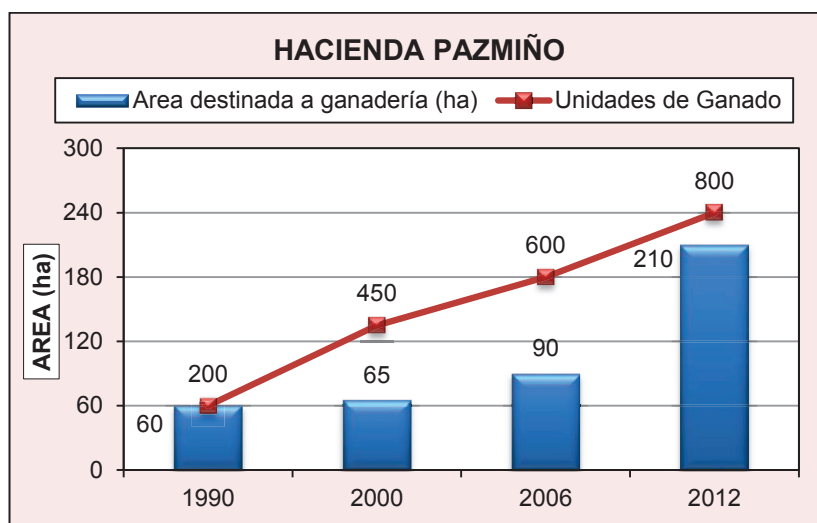
En la hacienda Pazmiño, tal como se puede observar en el Cuadro 5.11, se registraron altos valores de carga animal en los años 2000 y 2006 (6,92 y 6,67 U/ha, respectivamente), en comparación al año 1990; sin embargo, esta se vio reducida en el 2012 (3,81 U/ha), debido a que se destinó una mayor área (210 ha) para ganadería (ver Figura 5.19).

**Cuadro 5.11 Unidades de ganado, Área destinada a ganadería y Carga Animal en la hacienda Pazmiño**

Años	Unidades de Ganado	Área destinada a ganadería (ha)	Carga Animal
	U	Ha	U/Ha
1990	200	60	3,33
2000	450	65	6,92
2006	600	90	6,67
2012	800	210	3,81

Fuente: (Pazmiño, 2013).

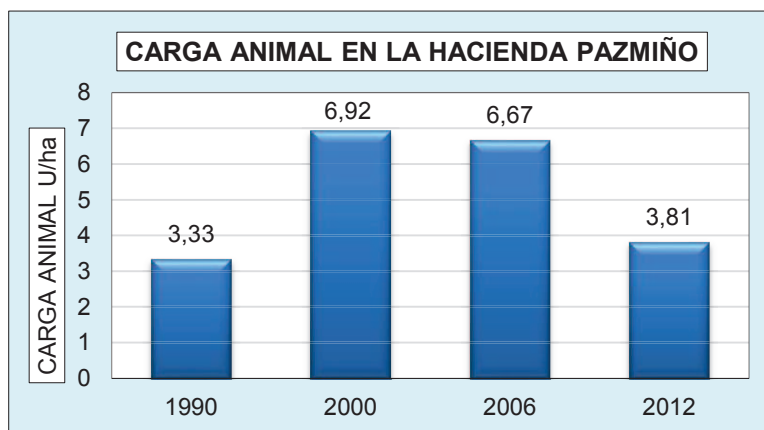
**Figura 5.19** Área destinada a ganadería (ha) y unidades de ganado (UA) en la hacienda Pazmiño



Fuente: (Pazmiño, 2013).

La variación del indicador de carga animal en la hacienda se puede visualizar a detalle en la Figura 5.20, mostrada a continuación:

**Figura 5.20** Variación de la carga animal en la hacienda Pazmiño



Fuente: (Pazmiño, 2013).

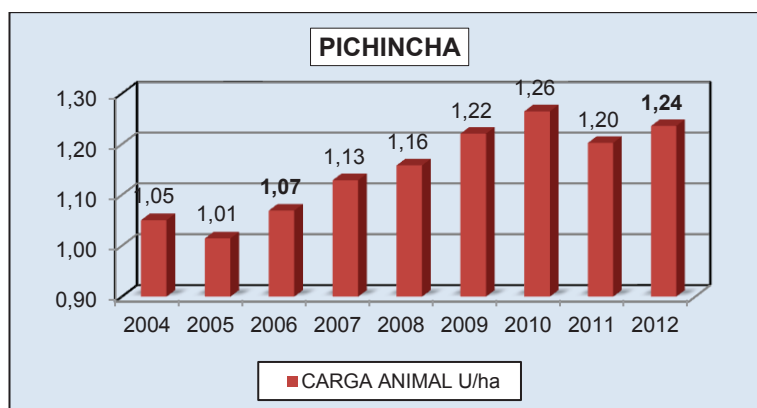
Estos valores son altos si se comparan a los registrados a nivel nacional así como en la provincia de Pichincha, donde en los años 2006 y 2012, se observaron cifras de 1,01 y 1,05 U/ha en el primero (nacional) y cifras de 1,07 y 1,24 U/ha, respectivamente en la prov. de Pichincha (ver Figura 5.21, cuyos datos se detallan en el Cuadro 8.19 y Figura 8.28 en el ANEXO No 5).



**Figura 5.21 Variación de la carga animal periodo 2004-2012: a) Nacional y b) Pichincha**



a) Nacional



b) Pichincha

Fuente: (INEC, 2012a).

Al 2012, los valores obtenidos clasifican a la ganadería en el Ecuador y en la provincia de Pichincha como de tipo extensiva (0 a 2 U/ha), según el SICA (2000); en tanto que, esta actividad en la hacienda Pazmiño se ubica en la categoría de ganadería tipo semi-intensiva (2 a 6 UA/ha), según los datos del estudio de Rúa (2010).

A consecuencia de la alta carga de ganado bovino, dada la concentración de grandes cantidades de ganado ocupando una determinada área, se ha hecho evidente la acción de pisoteo (Parente y Maia, 2011), que compacta el suelo (reduce el volumen y distribución del tamaño de poros) y modifica la resistencia del mismo, de acuerdo a González y Noguez (2012).

Además de la compactación, el impacto generado por la ganadería (sobre todo en los páramos) son los cambios en la vegetación, disminuyendo la abundancia de especies que sirven de alimento al ganado y produciendo generalmente una simplificación y homogeneización de la vegetación aumentando la proporción de suelo desnudo (Llambí y otros, 2012), cuyas modificaciones se ven reflejadas en el cambio de la humedad del suelo (aumento de evaporación por estar mayormente expuestas a la radiación solar) y por consiguiente, en el descenso considerable de la capacidad de retención de agua (Van der Hammen, 2002).

### **5.3 ESTADO**

Los resultados referentes a los indicadores del estado de conservación de los suelos de las áreas A y B se describen a continuación.

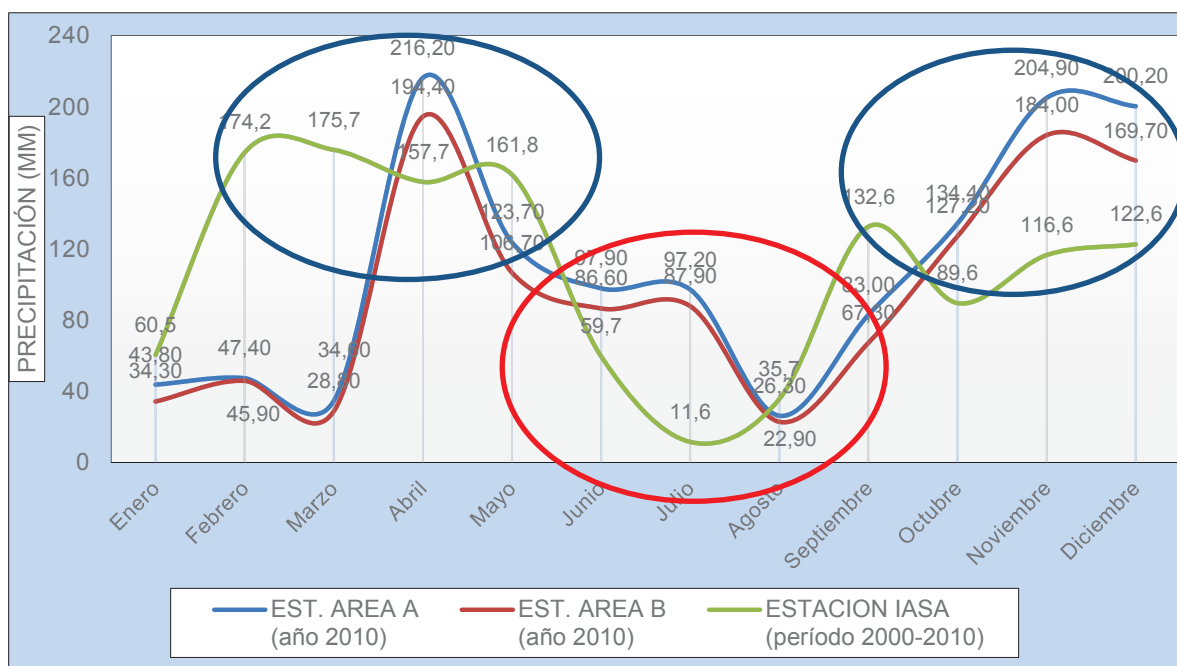
#### **5.3.1 RELACIÓN PRECIPITACIÓN – HUMEDAD DEL SUELO**

##### **5.3.1.1 Análisis de Precipitación**

Los datos de precipitación de las estaciones de la zona, tomados en el año 2010 (ya que en este año se tienen valores acumulados mensuales completos), se compararon gráficamente con los valores de la estación IASA (carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias de la Escuela Politécnica del Ejército) ubicada en la Hacienda El Prado en Píntag, muy cerca del lugar de estudio (a poco más de 11 km), cuyos valores corresponden a un período 10 años (2000-2010).

En la Figura 5.22 se observa una tendencia similar en las curvas de precipitación de las áreas A y B, con respecto al de la estación IASA, lo cual proporciona una relativa confiabilidad en el uso de los valores de precipitación de las estaciones usadas para definir los periodos seco y lluvioso. En la misma gráfica quedan marcados claramente tres periodos con una distribución bimodal de las fases lluviosa-seca (dos periodos lluviosos y uno seco), muy típico del clima ecuatorial, según la clasificación de Pourrut (1995) de acuerdo al número anual de máximos pluviométricos.

**Figura 5.22 Comparación gráfica de los valores de precipitación de las estaciones de las áreas A y B con los de la estación IASA**



	COORDENADAS UTM		distancia de A (km)
	E	N	
EST. AREA A	790788	9946200	0
EST. AREA B	791036	9945838	0,36
EST. IASA	787548	9957587	11,44

Fuente: (FONAG, 2012; (Valencia, 2011).

Los valores de precipitación, analizados en el periodo noviembre/2009 – agosto/2011, obtenidos de las áreas A y B se observan en el Cuadro 5.12, los cuales están separados en los períodos seco y lluvioso de acuerdo a las cantidades totales mensuales registradas. La totalidad de los valores mensuales obtenidos, tanto de precipitación, como de humedad volumétrica de las áreas de estudio se encuentran en el Cuadro 8.22 y Cuadro 8.23 del ANEXO No 5.

En el período seco, los valores más bajos se observaron en los meses agosto-septiembre del 2010, con valores de 109 y 90 mm para al área A y el área B, respectivamente. En el período lluvioso, las cifras más elevadas se dieron en los meses de enero-abril del 2011, con valores que superaron los 1000 mm en las áreas de estudio (1068 y 1013 mm para A y B, respectivamente).

Los valores de precipitación registraron tendencias similares entre sí, al ubicarse muy cercanas un área de la otra (aproximadamente 360 m de distancia de

separación entre estaciones). No obstante, según los datos observados en la gráfica de la Figura 5.23 se dieron pequeñas diferencias en los valores de precipitación, sobre todo en los meses de noviembre y diciembre (que formaron parte del período lluvioso) del 2010. En estos meses, el área A obtuvo valores de 205 y 200 mm, respectivamente, en comparación a los del área B, que para los mismos meses presentó valores de 184 y 170 mm.

**Cuadro 5.12 Precipitación total mensual (períodos seco y lluvioso) de las Áreas A y B**

AÑO	MES	PERIODO	PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	
			Área A	Área B
2009	NOV	LLUVIOSO	398,88	361,66
	DIC		194,70	189,10
	NOV-DIC		593,58	550,76
2010	ENE	SECO	43,80	34,30
	FEB		47,40	45,90
	MAR		34,60	28,80
	ENE-MAR		125,80	109,00
	ABR	LLUVIOSO	216,20	194,40
	MAY		123,70	106,70
	JUN		97,90	86,60
	JUL		97,20	87,90
	ABR-JUL	535,00	475,60	
	AGO	SECO	26,30	22,90
	SEP		83,00	67,30
	AGO-SEP		109,30	90,20
	OCT	LLUVIOSO	134,40	127,20
	NOV		204,90	184,00
DIC	200,20		169,70	
OCT-DIC	539,50		480,90	
2011	ENE	LLUVIOSO	167,50	147,90
	FEB		323,90	301,60
	MAR		236,00	230,90
	ABR		340,10	332,40
	ENE-ABR		1067,50	1012,80
	MAY	SECO	41,80	73,40
	JUN		42,90	42,50
	JUL		41,70	40,40
	AGO		52,30	15,90
MAY-AGO	178,70	172,20		

■ Periodo seco      ■ Periodo lluvioso

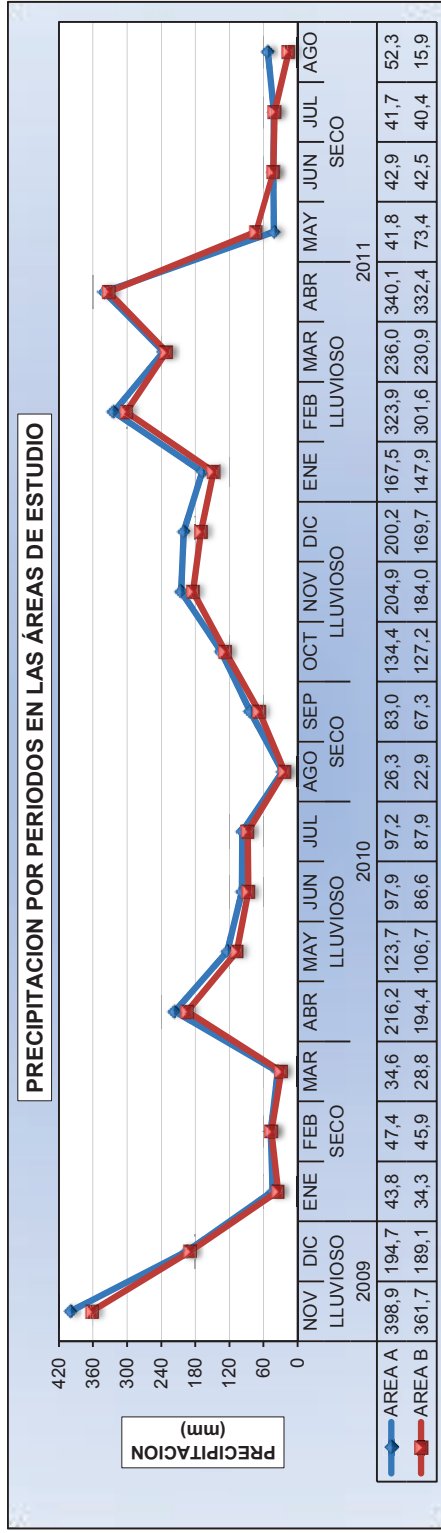
Elaborado por: Autores

De la misma forma, hubo diferencias en los valores de los meses mayo y agosto del 2011 (pertenecientes al período seco), dado que en el área A se registraron valores ascendentes de 42 y 52 mm, para cada mes; mientras que en el área B,

se dieron cifras con tendencia opuesta a la primera, con valores de 73 y 16 mm, respectivamente.

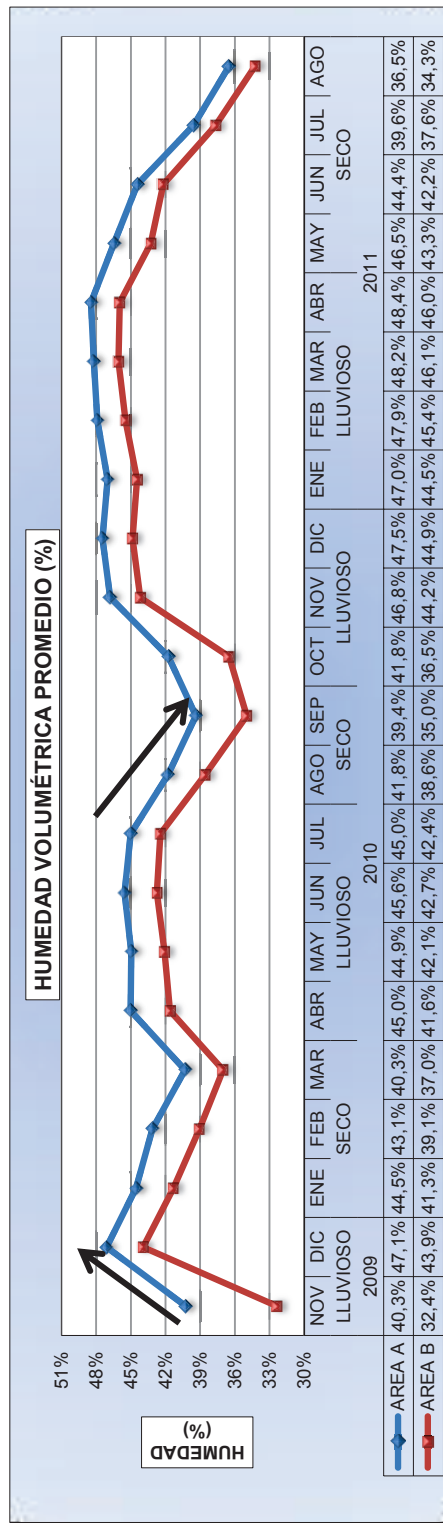
Estas variaciones en la precipitación tienen su razón de ser en la topografía del lugar (Área B con mayor pendiente que el Área A, 15 y 12%, respectivamente), humedad, altitud sobre el nivel del mar (el área A se encuentra a 3580 msnm, mientras que B se ubica a 3620 msnm aproximadamente, a pesar de estar muy cercanos el uno del otro), cobertura vegetal (Raymond, 2009) y la influencia de la cordillera de los Andes , que generan microclimas en cada zona (Vallejo, 2010)

Figura 5.23 Comparación de la Precipitación (mm) registrada por los pluviógrafos en las áreas A y B



Elaborado por: Autores

Figura 5.24 Variación de la Humedad Volumétrica promedio (%) de los suelos de las áreas A y B



Elaborado por: Autores

### 5.3.1.2 Análisis de la Humedad del suelo

Los valores de humedad volumétrica de los suelos dados por los sensores TDRs, transformados de  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  a porcentajes (%), reflejaron que el contenido de agua es mayor en el área A que en el B. Esta superioridad en la cantidad de agua retenida en el suelo del área A, se mantuvo tanto en el período lluvioso como en el seco, tal como se observa en la Figura 5.24.

Adicionalmente, se notó que desde el inicio del período lluvioso, los niveles de humedad volumétrica aumentaron de forma acelerada en ambas áreas hasta llegar a valores relativamente constantes. En el período lluvioso, para el área A los valores más altos de humedad llegaron a un rango entre 45 y 48%; mientras que, en el área B, los valores de humedad llegaron a un intervalo entre 42 y 46%. Sin embargo, en este último, las cifras no llegan a alcanzar los valores obtenidos en el proceso de calibración de sensores TDRs en suelos bajo cobertura pastos realizado en laboratorio (ver ANEXO No 1), donde el promedio máximo de humedad registrado fue de 52%, puesto que estos valores son de saturación.

Los resultados de humedad obtenidos en las áreas A y B, contrastan con los realizados por Estupiñán y otros (2009), en el páramo “El Granizo” en Colombia; donde se tomó como referencia una zona sin rastro de intervención antrópica (M1), zona en periodo de descanso (M4) y zonas con actividades agrícolas y/o pecuarias (M5). Para M1 el contenido de humedad fue de 89%, mientras que para la zona M3 este valor fue de 79%, y para M5 de 72%; por lo tanto, se apreció que las actividades agrícolas afectaron la retención de humedad. No obstante, al considerar el parámetro uso de suelo sobre todo en M5, similar al área B, estos valores están muy por encima de los obtenidos en el presente estudio.

Los valores máximos de humedad registrados en las áreas de estudio constatan un cierto grado de deterioro en su capacidad de retención de humedad; ya que el estudio de De Bièvre y otros (2006), considera que los suelos del páramo en buen estado tienen una capacidad de retención de agua muy alta, situándose entre 80 y 90% de saturación.

Por otro lado, en el período seco, se dio un proceso gradual de disminución de humedad de los suelos en el que, para el área A, sus valores más bajos estuvieron entre 36 y 42%; siendo estos superiores a los del área B, que registró valores entre 32 y 37%. La mayor capacidad de retención de agua en el suelo del área A, confirma lo mencionado en el estudio de Rivera y otros (2009), quienes concluyen que la presencia de cobertura vegetal contribuye a una menor modificación de humedad del suelo y mayor capacidad de retención de la misma.

### **5.3.1.3 Análisis del incremento de humedad en el suelo**

El análisis de incremento en la humedad del suelo de las áreas A y B, a lo largo de todo el intervalo de estudio, mostró que el suelo del área B, captó el mayor porcentaje de precipitación en el período lluvioso (Ver Cuadro 5.13 y 0), cuyo valor promedio más alto se registró en el período abril-julio del 2010 con 19% (90mm de columna de agua); a diferencia del área A, en el cual para el mismo lapso de tiempo captó una media del 16% de la precipitación (aprox. 80mm).

Sin embargo, ocurrió el fenómeno inverso en el período seco, en el cual, el área A captó el mayor porcentaje de precipitación (Ver Cuadro 5.13 y 0), teniendo su mayor valor promedio en el período mayo-agosto del 2011 con un 17% (aprox. 30mm); al contrario de lo obtenido en el área B, el cual captó aproximadamente una media del 10% (17mm), cuya explicación puede ser que el área de pastos, a pesar de ser una cobertura no arbórea (ver sección 3.4.3), en el período seco actúa como una alfombra, al estar compactado por el pisoteo de ganado, limitando el paso del agua hacia el suelo.

Dicha compactación ha provocado un aumento en los valores de densidad aparente (Pioneer, 2012), con valores promedio de  $0,83 \text{ g/cm}^3$  en el área A y  $0,88 \text{ g/cm}^3$  para el área B, disminuyendo la porosidad, cuyo valor en área B de 57%, es apenas menor que el obtenido en el área A (60%). Los datos de las propiedades hidrofísicas de los suelos de las áreas de estudio se pueden observar en el Cuadro 8.20 del ANEXO No 5.

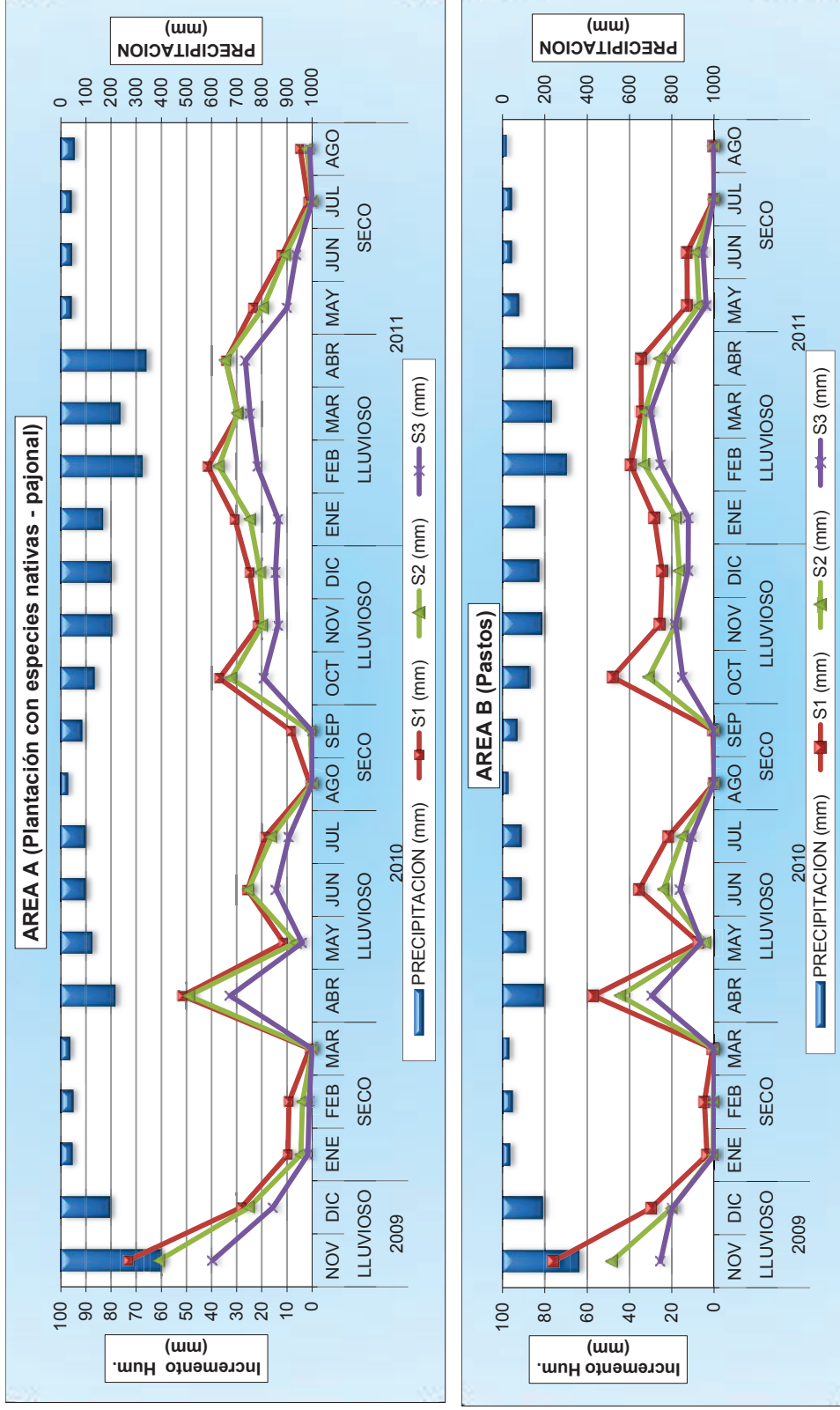


**Cuadro 5.13 Determinación del Incremento de humedad (mm) y Precipitación que ingreso en el suelo (%) en las áreas de estudio**

ANO	MES	PERIODO	AREA A (Plantación con especies nativas - pajonal)										AREA B (Pastos)								
			PRECIP. (mm)			INCREMENTO DE HUMEDAD (mm)			PRECIPITACIÓN QUE INGRESO EN EL SUELO (%)			PRECIP. (mm)			INCREMENTO DE HUMEDAD (mm)			PRECIPITACIÓN QUE INGRESO EN EL SUELO (%)			
			S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	
2009	NOV		398,88	73,17	60,86	39,58	18,34	15,26	9,92	361,66	75,98	48,23	25,27	21,01	13,33	6,99					
	DIC	LLUVIOSO	194,70	28,07	25,10	15,52	14,42	12,89	7,97	189,10	29,67	19,88	19,74	15,69	10,51	10,44					
	NOV-DIC		593,58	101,25	85,97	55,10	17,06	14,48	9,28	550,76	105,65	68,10	45,02	19,18	12,37	8,17					
2010	ENE		43,80	9,58	4,48	1,66	21,87	10,24	3,79	34,30	3,26	0,58	0,02	9,49	1,69	0,07					
	FEB	SECO	47,40	9,14	3,76	1,14	19,29	7,93	2,40	45,90	4,56	0,19	0,00	9,93	0,42	0,00					
	MAR		34,60	0,98	0,00	0,04	2,85	0,00	0,11	28,80	0,70	0,00	0,00	2,44	0,00	0,00					
	ENE-MAR		125,80	19,71	8,24	2,83	15,66	6,55	2,25	109,00	8,52	0,77	0,02	7,81	0,71	0,02					
	ABR		216,20	51,51	49,03	32,65	23,83	22,68	15,10	194,40	57,16	44,36	29,45	29,40	22,82	15,15					
	MAY		123,70	11,35	6,55	3,95	9,18	5,29	3,19	106,70	7,30	4,27	6,09	6,84	4,00	5,71					
	JUN	LLUVIOSO	97,90	25,69	25,41	14,38	26,24	25,95	14,69	86,60	35,47	23,93	15,98	40,96	27,63	18,46					
	JUL		97,20	18,72	16,17	9,20	19,26	16,63	9,47	87,90	21,56	14,65	10,51	24,53	16,67	11,96					
	ABR-JUL		535,00	107,28	97,15	60,18	20,05	18,16	11,25	475,60	121,49	87,21	62,03	25,54	18,34	13,04					
	AGO		26,30	0,74	0,00	0,00	2,83	0,00	0,00	22,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
	SEP	SECO	83,00	8,18	0,65	0,00	9,85	0,79	0,00	67,30	0,51	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00					
	AGO-SEP		109,30	8,92	0,65	0,00	8,16	0,60	0,00	90,20	0,51	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00					
2011	OCT		134,40	36,87	32,21	19,16	27,43	23,96	14,26	127,20	47,92	30,89	14,80	37,67	24,28	11,64					
	NOV		204,90	21,52	19,97	13,50	10,50	9,75	6,59	184,00	25,47	18,02	18,16	13,84	9,79	9,87					
	DIC	LLUVIOSO	200,20	24,83	20,70	14,54	12,40	10,34	7,26	169,70	24,43	16,34	12,19	14,40	9,63	7,18					
	OCT-DIC		539,50	83,21	72,88	47,20	15,42	13,51	8,75	480,90	97,82	65,25	45,16	20,34	13,57	9,39					
	ENE		167,50	30,71	24,69	13,46	18,33	14,74	8,04	147,90	28,18	17,99	12,13	19,05	12,17	8,20					
	FEB		323,90	41,49	37,05	21,71	12,81	11,44	6,70	301,60	39,37	32,99	25,08	13,05	10,94	8,32					
	MAR	LLUVIOSO	236,00	29,37	29,63	24,66	12,44	12,55	10,45	230,90	34,29	32,67	30,09	14,85	14,15	13,03					
	ABR		340,10	34,26	34,40	26,56	10,07	10,12	7,81	332,40	34,48	25,61	20,70	10,37	7,71	6,23					
	ENE-ABR		1067,50	135,83	125,77	86,39	12,72	11,78	8,09	1012,80	136,32	109,27	88,01	13,46	10,79	8,69					
	MAY		41,80	23,38	19,54	9,99	55,94	46,75	23,91	73,40	12,66	7,07	3,68	17,24	9,63	5,02					
	JUN		42,90	12,03	10,62	6,36	28,05	24,75	14,83	42,50	12,81	8,19	5,15	30,15	19,26	12,11					
	JUL	SECO	41,70	1,55	0,00	0,00	3,72	0,00	0,00	40,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
AGO		52,30	4,72	2,08	0,94	9,02	3,97	1,79	15,90	0,22	0,00	0,00	1,35	0,00	0,00						
MAY-AGO		178,70	41,69	32,24	17,30	23,33	18,04	9,68	172,20	25,69	15,25	8,83	14,92	8,86	5,13						

Elaborado por: Autores

**Figura 5.25 Precipitación e Incremento de Humedad (mm) de los horizontes S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub> por períodos (seco -lluvioso) en el área A y B**

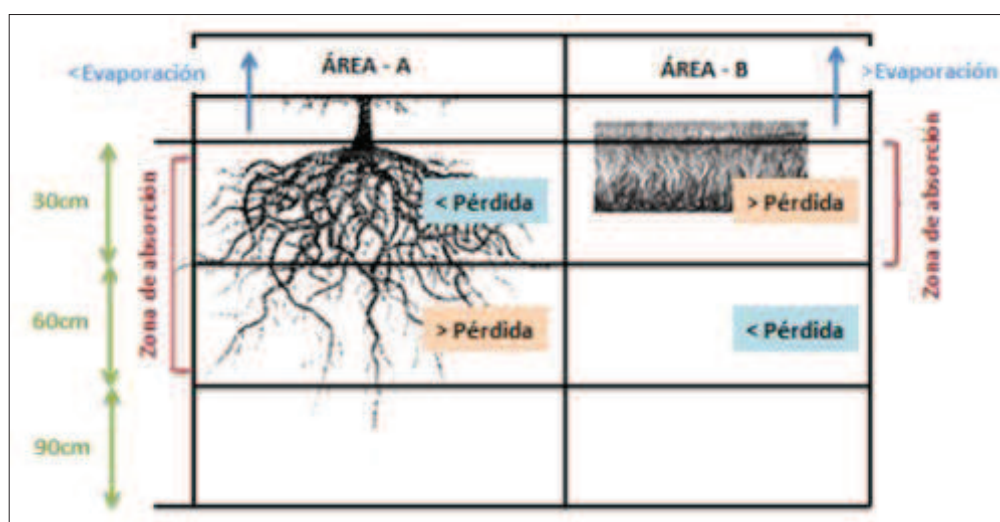


Elaborado por: Autores

El área B, sometida actualmente a pastoreo semi-intensivo, presenta una cubierta vegetal terrestre densa y continua (pastos del género apiaceae, ver Figura 3.7), con una intrincada red de raíces (< 2mm) que no superan los primeros 30cm de profundidad, lo cual provoca que la zona de absorción esté concentrada en el nivel superior, exponiendo al suelo a perder humedad rápidamente por evaporación (Fuentes y Tapia, 2011).

En cambio, el área A, sometida a pastoreo de baja intensidad (además de ser una zona destinada a conservación), presenta un perfil conformado por raicillas (sobre todo de pajonales y en menor medida arbustos) que se reducen a medida que aumenta la profundidad. En los 30 primeros cm se observa mayor concentración de raíces de hasta 4 mm, por lo que la zona de absorción hídrica se extiende hasta los 60 cm (o más) de profundidad. Una apariencia del perfil radicular de la vegetación existente en las áreas se puede observar con detalle en la Figura 5.26.

**Figura 5.26 Perfil radicular de la vegetación existente en las áreas A y B**



Fuente: (Fuentes y Tapia, 2011).

Elaborado por: Autores.

El análisis por profundidades u horizontes, muestra un incremento de la humedad del suelo similar en el horizonte S<sub>1</sub> para ambas áreas de estudio en el período lluvioso (ver Figura 5.27). Los valores máximos se ubicaron en el período enero-abril del 2011, donde para el área A se obtuvo un valor de 135,8 mm, en comparación con el del área B que registró 136,3 mm de columna de agua (ver

Cuadro 5.13). Para el horizonte  $S_2$ , existe un mayor incremento para el área A en relación a B, donde en el mismo período (enero–abril del 2011), se dieron valores de 125,8 y 109,3 mm para las áreas antes mencionadas, respectivamente.

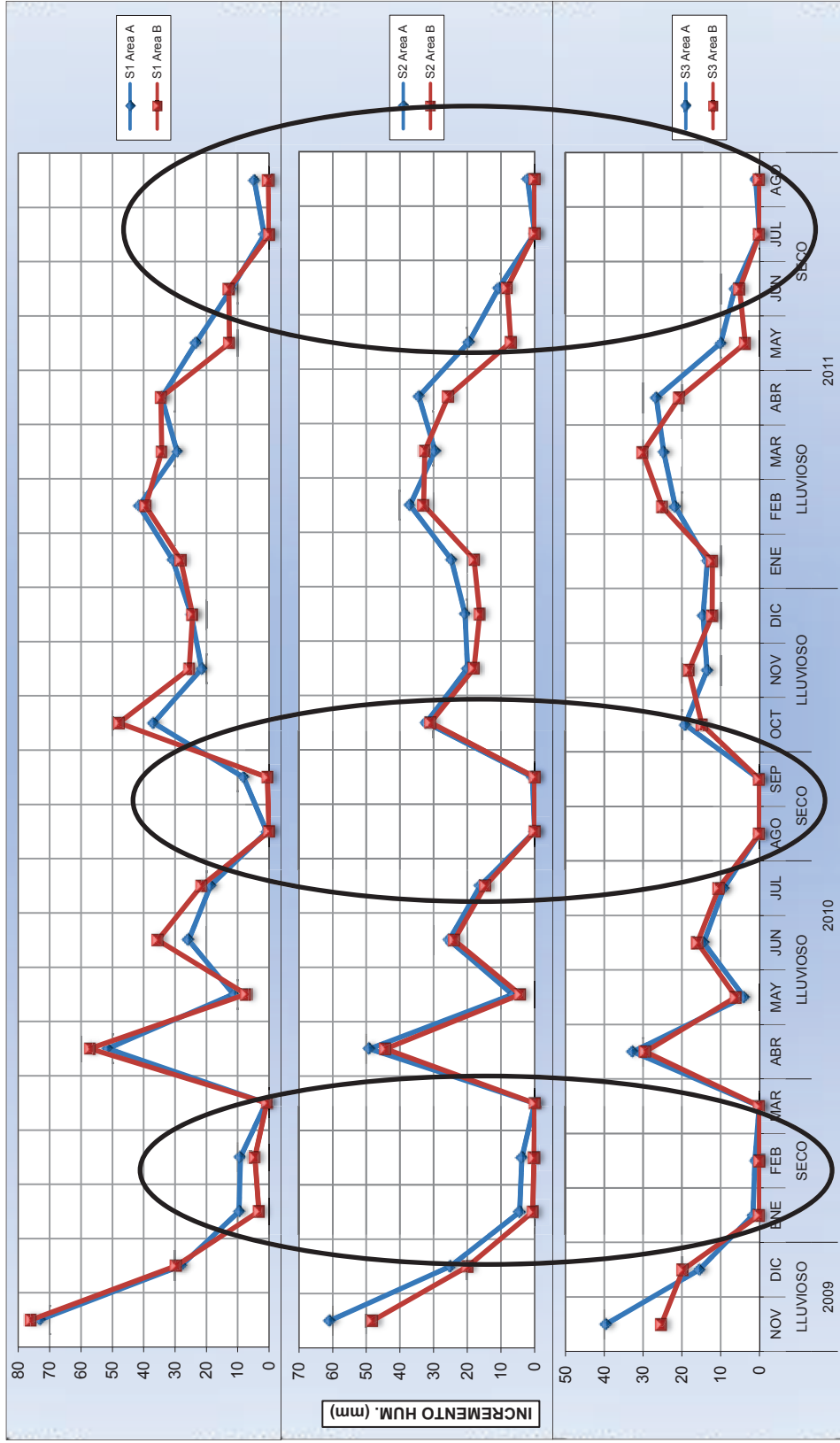
Lo mencionado anteriormente se debe a que el horizonte  $S_1$  en el área B se encuentra más propenso a la evaporación superficial, que está asociada a la pérdida de humedad, según Rivera y otros (2009), y está poco provista de vegetación herbácea y arbustiva; a diferencia del suelo del área A, que debido a la mayor densidad de individuos, así como la morfología y tipo de plantas (arbustos y pajonales), contribuye a la reducción de los procesos de evaporación (Torres y Recharte, 2007), permitiendo que haya más agua disponible para la misma vegetación y el suelo.

En el caso del horizonte  $S_3$ , los valores obtenidos en el período lluvioso fueron semejantes (86,4 y 88mm en las áreas A y B, respectivamente), dado que, a esta profundidad (90 cm), el agua proveniente de la precipitación se infiltra en menor proporción que los otros horizontes.

El suelo del área A tiene un mejor comportamiento en los períodos secos, sobre todo en los estratos  $S_1$  y  $S_2$ , como se puede observar en la Figura 5.27, lo cual es debido al mayor espacio poroso y la presencia de vegetación que absorbe (solo el agua disponible) y ayuda a retener el líquido en el suelo. En el horizonte  $S_1$ , los valores de incremento de humedad llegaron a 8,9 mm en el área A, y 0,5 mm en el área B (ver Cuadro 5.13), en el período comprendido entre agosto–septiembre del 2010.

En el horizonte  $S_2$ , el incremento de humedad en el área A tomó un valor de 0,7 mm, que a pesar de ser bajo, es superior al obtenido en el área B que arrojó un valor nulo (0mm). En el horizonte  $S_3$ , no se registraron incrementos de humedad (0 mm) en ambas áreas.

Figura 5.27 Comparación del Incremento de Humedad (mm) entre los horizontes S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub> de los suelos de las Áreas A y B



Elaborado por: Autores

### 5.3.1.4 Análisis de la pérdida de humedad en el suelo

Como se visualiza en el Cuadro 5.14 y Cuadro 5.15, correspondientes a las áreas A y B, respectivamente, el análisis de la pérdida de la humedad en el suelo a partir de los incrementos registrados en las áreas de estudio, mostró que el porcentaje de pérdidas para ambas áreas de estudio son similares.

**Cuadro 5.14 Determinación del porcentaje de Pérdida de humedad (en mm y %) del Área A**

AÑO	MES	PERIODO	INCREMENTO DE HUMEDAD (mm)			PÉRDIDA (mm)			PÉRDIDA (%)		
			S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
2009	NOV	LLUVIOSO	73,17	60,86	39,58	-29,03	-13,40	-5,97	39,68	22,02	15,08
	DIC		28,07	25,10	15,52	-30,17	-27,64	-17,32	*	*	*
	NOV-DIC		101,25	85,97	55,10	-59,20	-41,05	-23,29	58,47	47,75	42,26
2010	ENE	SECO	9,58	4,48	1,66	-20,93	-15,02	-8,32	*	*	*
	FEB		9,14	3,76	1,14	-15,04	-10,07	-5,00	*	*	*
	MAR		0,98	0,00	0,04	-15,24	-10,75	-6,29	*	*	*
	ENE-MAR		19,71	8,24	2,83	-51,20	-35,85	-19,61	*	*	*
	ABR	LLUVIOSO	51,51	49,03	32,65	-19,73	-19,48	-15,04	38,30	39,73	46,07
	MAY		11,35	6,55	3,95	-24,47	-21,70	-12,71	*	*	*
	JUN		25,69	25,41	14,38	-24,99	-20,89	-10,84	97,27	82,22	75,39
	JUL		18,72	16,17	9,20	-21,52	-18,85	-10,73	*	*	*
	ABR-JUL	107,28	97,15	60,18	-90,71	-80,92	-49,33	84,56	83,29	81,97	
	AGO	SECO	0,74	0,00	0,00	-14,01	-12,36	-7,88	*	*	*
	SEP		8,18	0,65	0,00	-5,66	-4,10	-3,78	69,19	*	*
	AGO-SEP		8,92	0,65	0,00	-19,67	-16,46	-11,66	*	*	*
	OCT	LLUVIOSO	36,87	32,21	19,16	-15,18	-7,33	-2,58	41,16	22,75	13,47
	NOV		21,52	19,97	13,50	-18,47	-15,55	-10,68	85,85	77,88	79,15
DIC	24,83		20,70	14,54	-28,33	-24,35	-16,79	*	*	*	
OCT-DIC	83,21		72,88	47,20	-61,98	-47,23	-30,06	74,48	64,81	63,68	
ENE	30,71		24,69	13,46	-27,85	-21,37	-11,61	90,68	86,55	86,25	
2011	FEB	LLUVIOSO	41,49	37,05	21,71	-33,14	-29,75	-17,16	79,88	80,31	79,04
	MAR		29,37	29,63	24,66	-41,67	-40,36	-31,11	*	*	*
	ABR		34,26	34,40	26,56	-26,39	-29,17	-24,34	77,02	84,78	91,66
	ENE-ABR		135,83	125,77	86,39	-129,05	-120,65	-84,22	95,01	95,93	97,49
	MAY	SECO	23,38	19,54	9,99	-33,95	-26,74	-13,86	*	*	*
	JUN		12,03	10,62	6,36	-26,89	-23,35	-13,59	*	*	*
	JUL		1,55	0,00	0,00	-15,41	-12,66	-8,34	*	*	*
	AGO		4,72	2,08	0,94	-14,88	-12,22	-7,86	*	*	*
	MAY-AGO		41,69	32,24	17,30	-91,14	-74,97	-43,65	*	*	*

\* Pérdidas que sobrepasaron el 100 % del incremento de humedad.

Elaborado por: Autores

**Cuadro 5.15 Determinación del porcentaje de pérdida de humedad (en mm y %) del Área B**

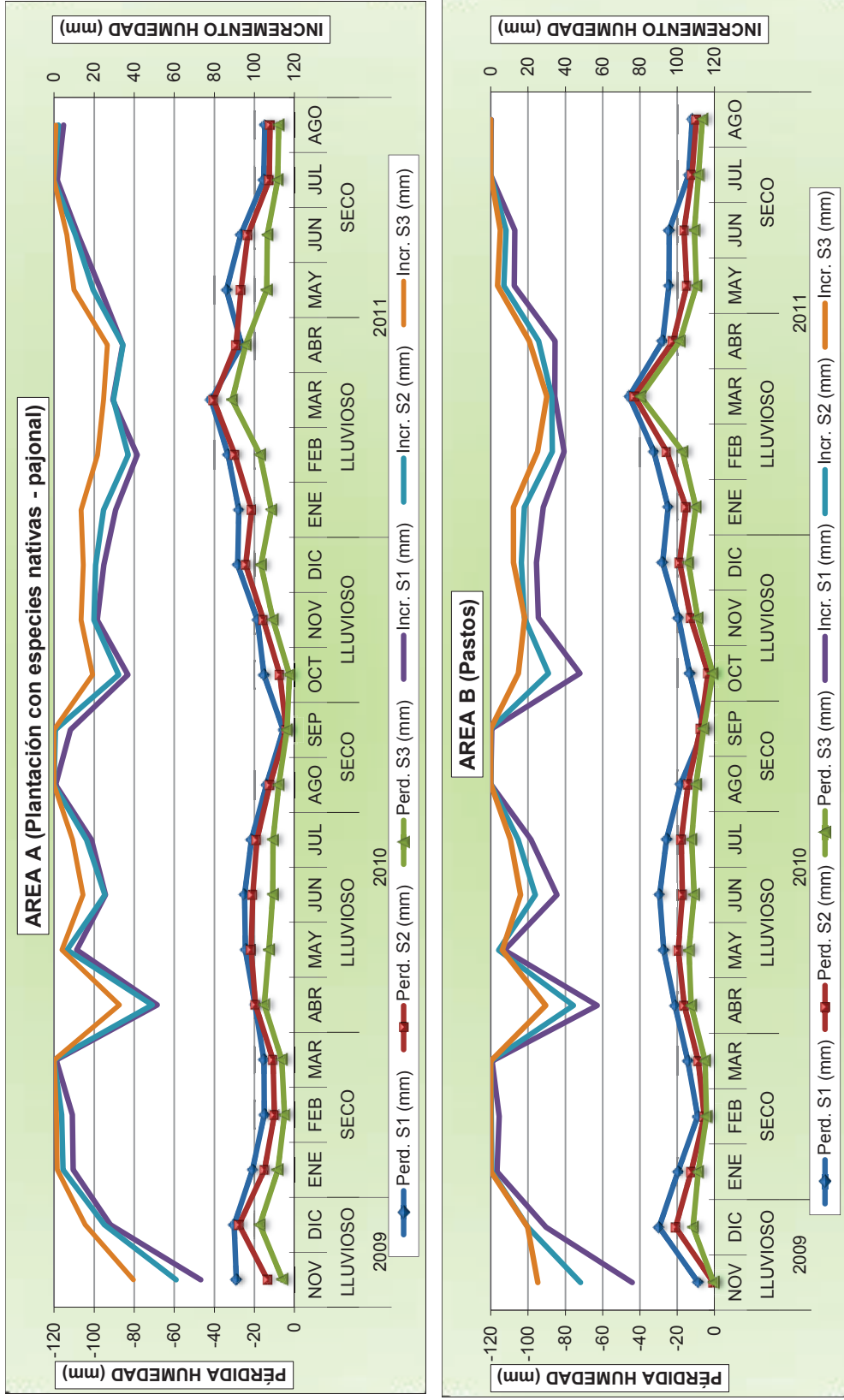
AÑO	MES	PERIODO	INCREMENTO DE HUMEDAD (mm)			PERDIDA (mm)			PERDIDA (%)		
			S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
2009	NOV	LLUVIOSO	75,98	48,23	25,27	-8,67	-0,59	-0,34	11,41	1,22	1,36
	DIC		29,67	19,88	19,74	-29,67	-20,82	-11,47	*	*	58,09
	NOV-DIC		105,65	68,10	45,02	-38,34	-21,41	-11,81	36,29	31,44	26,24
2010	ENE	SECO	3,26	0,58	0,02	-19,50	-12,43	-8,71	*	*	*
	FEB		4,56	0,19	0,00	-8,89	-5,40	-4,25	*	*	*
	MAR		0,70	0,00	0,00	-14,17	-8,65	-5,00	*	*	*
	ENE-MAR		8,52	0,77	0,02	-42,56	-26,48	-17,96	*	*	*
	ABR	LLUVIOSO	57,16	44,36	29,45	-21,08	-16,10	-12,45	36,88	36,30	42,29
	MAY		7,30	4,27	6,09	-27,22	-19,40	-13,61	*	*	*
	JUN		35,47	23,93	15,98	-29,37	-17,11	-10,91	82,81	71,51	68,27
	JUL		21,56	14,65	10,51	-25,65	-17,72	-12,20	*	*	*
	ABR-JUL	121,49	87,21	62,03	-103,33	-70,32	-49,18	85,05	80,64	79,27	
	AGO	SECO	0,00	0,00	0,00	-18,10	-14,11	-9,81	*	*	*
	SEP		0,51	0,00	0,00	-5,73	-7,40	-5,77	*	*	*
	AGO-SEP		0,51	0,00	0,00	-23,83	-21,52	-15,58	*	*	*
	OCT	LLUVIOSO	47,92	30,89	14,80	-13,19	-3,40	-0,86	27,52	11,01	5,80
	NOV		25,47	18,02	18,16	-19,25	-12,73	-8,98	75,57	70,62	49,42
DIC	24,43		16,34	12,19	-27,79	-18,64	-14,00	*	*	*	
OCT-DIC	97,82		65,25	45,16	-60,22	-34,76	-23,83	61,57	53,28	52,78	
2011	ENE	LLUVIOSO	28,18	17,99	12,13	-24,83	-15,26	-10,04	88,13	84,78	82,71
	FEB		39,37	32,99	25,08	-32,48	-25,56	-17,05	82,51	77,49	67,99
	MAR		34,29	32,67	30,09	-45,71	-42,86	-39,60	*	*	*
	ABR		34,48	25,61	20,70	-27,80	-22,19	-18,52	80,62	86,62	89,44
	ENE-ABR		136,32	109,27	88,01	-130,82	-105,86	-85,20	95,97	96,89	96,81
	MAY	SECO	12,66	7,07	3,68	-24,42	-14,87	-9,61	*	*	*
	JUN		12,81	8,19	5,15	-24,25	-16,27	-10,63	*	*	*
	JUL		0,00	0,00	0,00	-13,76	-12,03	-8,48	*	*	*
	AGO		0,22	0,00	0,00	-11,89	-9,64	-6,42	*	*	*
MAY-AGO	25,69	15,25	8,83	-74,32	-52,81	-35,14	*	*	*		

\* Pérdidas que sobrepasaron el 100 % del incremento de humedad.

Elaborado por: Autores

Además, se observó que las pérdidas de humedad en el período seco, superaron el 100% del valor incrementado por precipitación para ambas áreas de estudio, lo que indica que sus suelos perdieron humedad ganada por las lluvias, más parte de la humedad que éstas tenían inicialmente (denominada humedad antecedente). En tanto que, en el período lluvioso se dio el efecto contrario, donde los suelos de las áreas recuperaron y ganaron humedad, ya que los valores de incremento fueron superiores a los de pérdida, como se observa en la Figura 5.28, mostrada a continuación.

Figura 5.28 Incremento y Pérdida de Humedad (mm) de los horizontes S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub> por períodos (seco -lluvioso) en las áreas A y B



Elaborado por: Autores

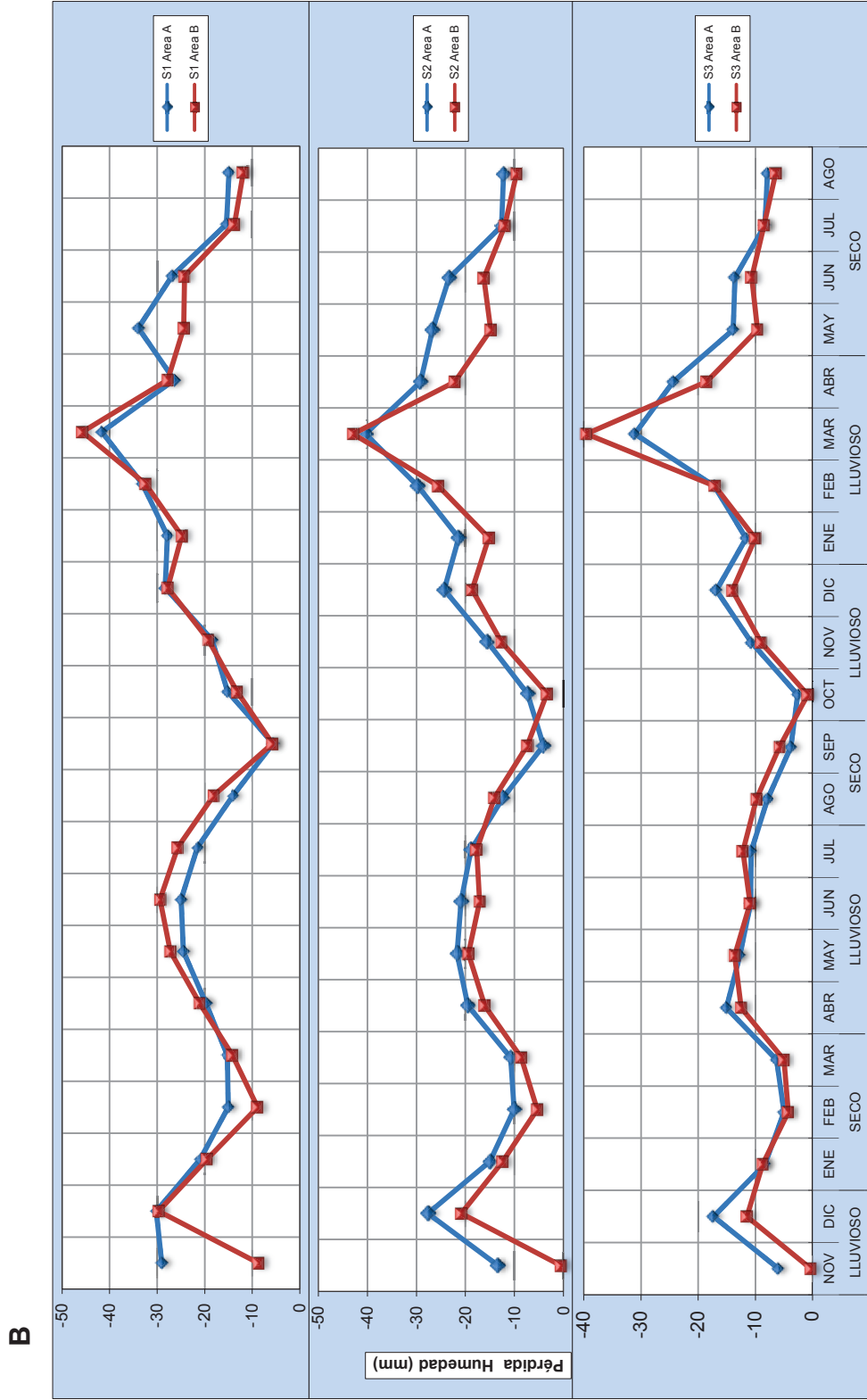


El análisis de pérdidas por horizontes en el período lluvioso, mostró que en el estrato  $S_1$ , el área B presentó mayores pérdidas, específicamente en los meses junio de 2010 y marzo del 2011, con valores aproximados de 29 y 46 mm, respectivamente; en comparación a los del área A cuyas cifras fueron 25 y 26 mm, para cada mes antes mencionado.

En perfil  $S_2$ , ocurrió el proceso inverso, aunque sin mucha diferencia. En la Figura 5.29, se observa que, en general, el área A tiene mayores pérdidas en relación a B. En el mes de junio del 2010, en A y B se obtuvieron valores de 21 y 17mm, para cada una. En el caso del horizonte  $S_3$ , los valores de pérdidas en las áreas estudiadas fueron muy similares entre sí.

Es claro que la cobertura vegetal tiene gran influencia sobre el contenido de humedad del suelo (FAO, 2013a), que junto a un buen desarrollo radicular favorece la capacidad de retención y regulación hídrica, mejorando las condiciones físicas del suelo. Al ocurrir esto, hay una mayor cantidad de agua disponible para las plantas, permitiendo un mayor crecimiento de las mismas, asimilando a su vez  $CO_2$  y convirtiéndolo en biomasa (Hofstede, 1999), que beneficia a la captura y almacenamiento de carbono.

**Figura 5.29** Comparación de la Pérdida de Humedad (mm) entre los horizontes S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub> de los suelos de las áreas A y



Elaborado por: Autores

### 5.3.2 CAPACIDAD DE SECUESTRO DE CARBONO EN LA CAPA VEGETAL Y EL SUELO

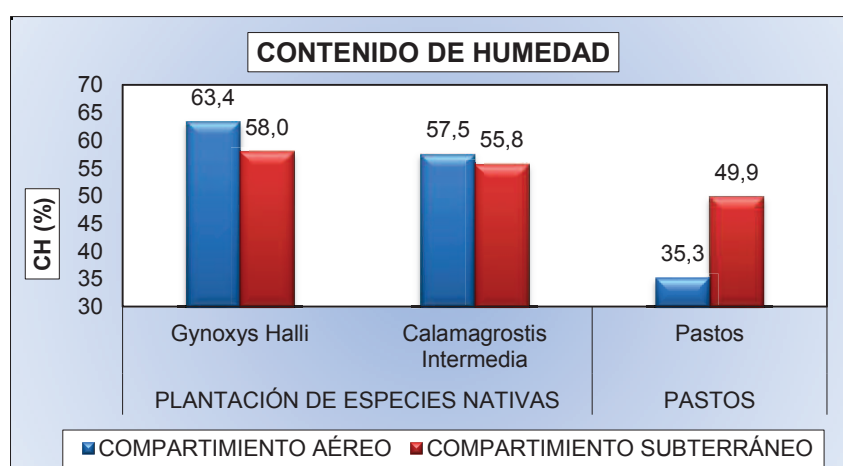
Los resultados de carbono fijado en la capa vegetal de las áreas se describen a continuación.

#### 5.3.2.1 Determinación de biomasa, carbono y CO<sub>2</sub> en la capa vegetal

Se calcularon los valores de contenido de humedad de los especímenes vegetales en laboratorio como paso previo a la determinación de la biomasa contenida en éstas, cuyos datos se pueden observar con detalle en el ANEXO No 5, Cuadro 8.24, Cuadro 8.25 y Cuadro 8.26.

Los valores de contenido de humedad obtenidos en laboratorio reflejaron que las especies *Gynoxys halli* y *Calamagrostis* poseen cantidades mayores al 50%, tanto en el componente aéreo como en el subterráneo, en comparación a pastos, que en la parte aérea posee una humedad del 35,5%, mientras que en la parte subterránea un valor cercano a 50%, lo que refleja una mayor capacidad de almacenamiento de agua (Ver Figura 5.30), además de que son capaces de retenerla durante períodos de lluvia y utilizarla en los meses secos (Calderón y Lozada, 2010).

**Figura 5.30 Contenido de humedad en las especies vegetales analizadas**



Elaborado por: Autores

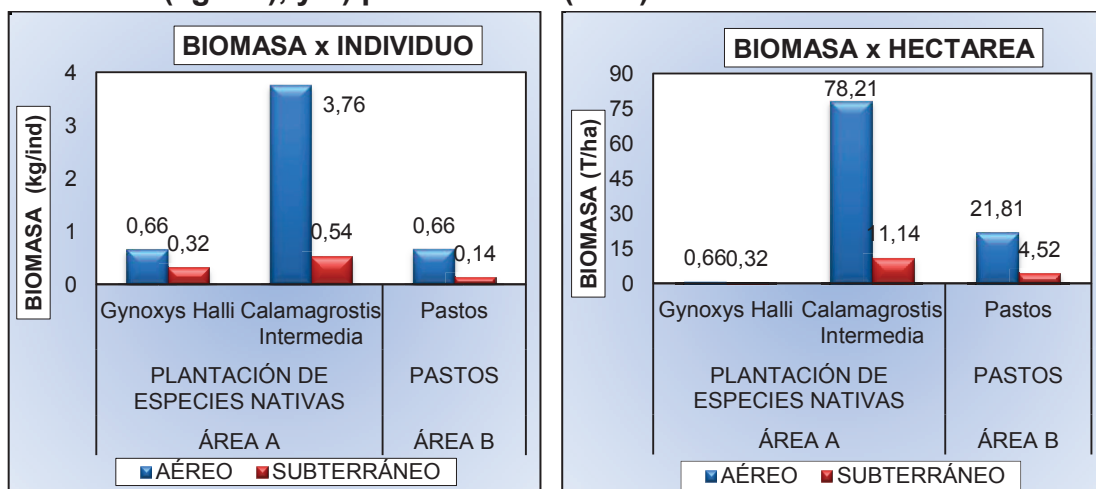
Además, la humedad registrada en el componente aéreo de las dos especies del área A, es mayor que la obtenida en la parte subterránea; donde para la *Gynoxys*

se presentó una humedad en el estrato aéreo de 63%, en el subterráneo presentó 58%; mientras que la *Calamagrostis* obtuvo valores para la parte aérea y subterránea de 58 y 56%, respectivamente.

La humedad obtenida en la especie *Gynoxys halli*, se asemeja mucho a los resultados de Calderón y Lozada (2010), quienes registraron valores de humedad en la especie arbustiva *Polylepis incana* (de 4 años) de alrededor de 58% en la parte aérea y 57% en la subterránea; en tanto que en la *Polylepis reticulata* (también de la misma edad) presentó cifras de 54 y 53% en las partes aérea y subterránea, respectivamente. Además, concluyeron que el contenido de humedad de los arbustos estudiados disminuye conforme su crecimiento, por lo que el mismo fenómeno puede darse en la *Gynoxys*, al ser esta una especie arbustiva.

Los valores de biomasa calculados, tanto por individuo, como por hectárea se muestran en la Figura 5.31a y Figura 5.31b, respectivamente. Analizados individualmente, se puede notar que la *Calamagrostis* sobresale de entre las demás especies, con un valor de biomasa total de 4,30 kg/ind., en comparación a la *Gynoxys* que registró aproximadamente 1 kg/ind., y los pastos, que lograron apenas 0,8 kg.

**Figura 5.31 Biomasa almacenada en las especies *Gynoxys halli*, *Calamagrostis intermedia* y cobertura pastos: a) por individuo (kg/ind), y b) por hectárea (T/ha)**



a) por individuo (kg/ind)

b) por hectárea (T/ha)

Elaborado por: Autores

De igual manera, la biomasa por hectárea muestra que la *Calamagrostis* predomina por sobre las otras, con un valor aproximado 89 T/ha, mientras la *Gynoxys* y los pastos lograron 0,98 y 26,3 T/ha cada una, como se puede observar en el Cuadro 5.17.

Por otro lado, se observó que el estrato aéreo contiene mayor biomasa, en comparación a la parte subterránea, con claras diferencias en la proporción aéreo-subterráneo, para *Gynoxys* (2 a 1), *Calamagrostis* (7 a 1) y pastos (5 a 1). El valor del primero, fue similar al obtenido en *Polylepis incana* de 4 años de Calderón y Lozada (2010).

Un ejemplo de la tabla de cálculo para la determinación de biomasa, carbono y CO<sub>2</sub> del componente aéreo de la *Gynoxys* se muestra en el Cuadro 5.16. Las tablas de cálculo del estrato subterráneo de esta especie, y en general, de las demás, se muestran en el ANEXO No 5, desde el Cuadro 8.27 al Cuadro 8.31.

**Cuadro 5.16 Determinación de biomasa, carbono, CO<sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente aéreo de la especie *Gynoxys halli***

<b>PROPIETARIO HACIENDA:</b>		Sr. José Miranda					
<b>PARROQUIA:</b>		Píntag					
<b>CANTÓN:</b>		<b>EDAD:</b>		6 años		<b>Población ind.:</b>	13000
<b>PROVINCIA:</b>		<b>FECHA DE CORTE:</b>		24 y 25 de oct 2011		<b>Área (Ha):</b>	13
<b>ESPECIE:</b>		<b>NOMBRE COMÚN:</b>		Purujul		<b>DENSIDAD (ind/ha):</b>	1000
		<b>INDIVIDUO</b>			<b>HECTAREA</b>		
<b># INDIVIDUO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>Biomasa Aérea (kg)</b>	<b>Carbono (kg)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg)</b>	<b>Biomasa Aérea (T/ha)</b>	<b>Carbono (T/ha)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (T/ha)</b>
1	MiGy1	1,37	0,68	2,51	1,37	0,68	2,51
2	MiGy2	0,43	0,21	0,78	0,43	0,21	0,78
3	MiGy3	0,55	0,28	1,01	0,55	0,28	1,01
4	MiGy4	0,24	0,12	0,43	0,24	0,12	0,43
5	MiGy5	0,17	0,09	0,32	0,17	0,09	0,32
6	MiGy6	0,62	0,31	1,13	0,62	0,31	1,13
7	MiGy7	1,25	0,62	2,29	1,25	0,62	2,29
8	MiGy8	0,69	0,34	1,26	0,69	0,34	1,26
<b>PROMEDIO (xm)</b>		<b>0,66</b>	<b>0,33</b>	<b>1,22</b>	<b>0,66</b>	<b>0,33</b>	<b>1,22</b>
<b>DESV. EST. (s)</b>		0,44	0,22	0,80	0,44	0,22	0,80
<b>ERROR. EST. (σx)</b>		0,15	0,08	0,28	0,15	0,08	0,28

Elaborado por: Autores

El bajo resultado de biomasa, obtenido en la *Gynoxys* (0,66 T/ha) se debió principalmente a su densidad (1000 ind/ha), y a su temprana edad (6 años), que según Calderón y Lozada (2010) a mayor edad de la plantación, mayor es la biomasa almacenada (de 0,6 a 41 T/ha en *Polylepis* de 4 a 17 años, respectivamente). Adicionalmente, el porcentaje de cobertura, tanto de *Calamagrostis*, como de pastos, resultó un valor muy relevante para determinar la cantidad de biomasa contenida en una hectárea.

Los valores de biomasa de *Calamagrostis* (89,4 T/ha) se contraponen con lo mencionado por Hofstede (1999), quien señala que el pajonal de páramo tiene un máximo de 40 T/ha de biomasa, sin mencionar si es un páramo natural o intervenido. No obstante, los resultados obtenidos en este estudio son bajos si se comparan con los obtenidos en el pino (*pinus maximinoi* y *pinus oocarpa*), de un estudio realizado en México, cuyos valores de biomasa aérea llegaron a un promedio de 150 T/ha (González, 2008), y más aún si se comparan con los obtenidos en bosques húmedos tropicales, cuyos valores de biomasa aérea se han datado en 300 T/ha promedio (Suárez, 2009).

A partir de la biomasa, se obtuvieron los valores de carbono almacenado y CO<sub>2</sub> retenido, que se muestran en el Cuadro 5.17, mediante la aplicación de las ecuaciones (4.17) y (4.18), respectivamente.

**Cuadro 5.17 Estimación de biomasa, carbono y CO<sub>2</sub> de los estratos vegetales analizados, por individuo y hectárea**

ÁREA	Especie	POR INDIVIDUO (kg/ind)			POR HECTAREA (T/ha)			
		Biomasa (kg/ind)	Carbono (kg/ind)	CO <sub>2</sub> (kg/ind)	Densidad (ind/ha)	Biomasa (T/ha)	Carbono (T/ha)	CO <sub>2</sub> (T/ha)
ÁREA A	<i>Gynoxys halli</i>	1,0	0,5	1,8	1000	1,0	0,5	1,8
	<i>Calamagrostis intermedia</i>	4,3	2,1	7,9	20800 <sup>a</sup>	89,4	44,7	164,0
ÁREA B	Pastos	0,8	0,4	1,5	33200 <sup>b</sup>	26,3	13,2	48,3

<sup>a</sup> Su cálculo fue estimado en base al porcentaje de cobertura vegetal de 52% del total.

<sup>b</sup> Su cálculo fue estimado en base al porcentaje de cobertura vegetal de 83% del total.

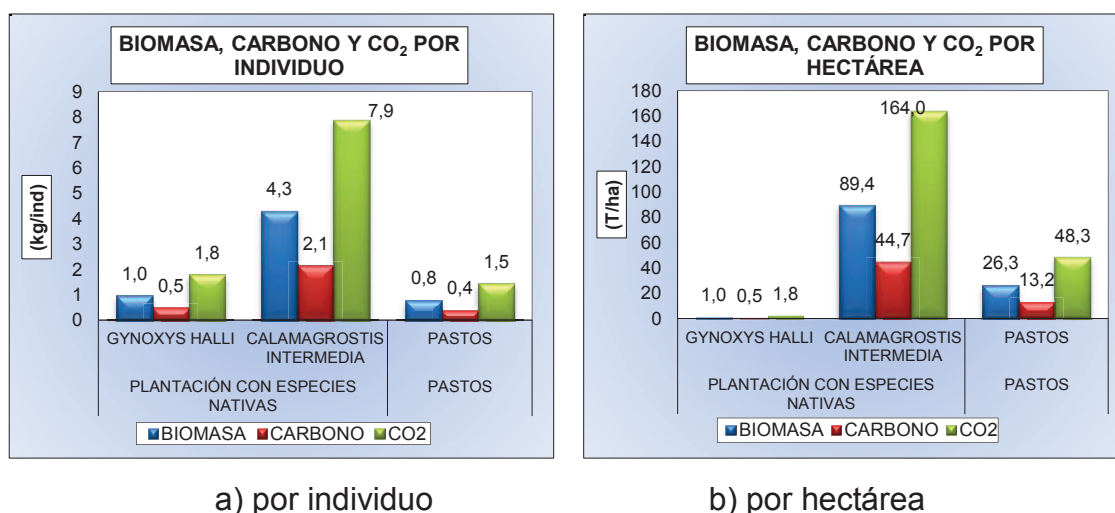
Elaborado por: Autores

En las gráficas de la Figura 5.32a y Figura 5.32b son visibles los resultados obtenidos de biomasa, carbono y CO<sub>2</sub>, por individuo y por hectárea,

respectivamente. La proporción de carbono y CO<sub>2</sub> en los especímenes vegetales estudiados presentó la misma tendencia que la biomasa, de esta forma, la *Calamagrostis* presentó valores superiores al resto tanto en carbono, como en dióxido de carbono.

En la especie *Calamagrostis* se contabilizó un valor de 45 T/ha de carbono almacenado y 164 T/ha de CO<sub>2</sub> retenido. Aunque, según Hofstede (1999), la cantidad de carbono fijado en el pajonal de páramo no llega a superar las 20 T/ha.

**Figura 5.32 Estimación de biomasa, carbono y CO<sub>2</sub> de los estratos vegetales analizados: a) por individuo y, b) por hectárea**



Elaborado por: Autores

Para la *Gynoxys*, los valores de carbono y CO<sub>2</sub> por individuo son mayores a los obtenidos en pastos; no así al considerar la cantidad almacenada por hectárea, donde, con valores de 0,5 T/ha de carbono y 1,8 T/ha de CO<sub>2</sub> resultaron ser bastante bajos en comparación a *Calamagrostis* y pastos, este último con cifras respectivas de carbono y CO<sub>2</sub> de 13 y 48 T/ha aproximadamente.

Sin embargo, estos valores son mayores al compararlos con especies arbustivas de similar edad, como la especie *Polylepis incana* y *reticulata* (4 años) de la investigación de Calderón y Lozada (2010), cuyos valores de carbono llegaron a 0,3 y 0,6 T/ha de carbono almacenado. No obstante, en individuos de 8 años estos valores se incrementan sustancialmente hasta llegar a 11 y 9 T/ha; lo que permite prever que un análisis incluyendo la variable tiempo de crecimiento puede

arrojar resultados más exactos sobre el carbono y CO<sub>2</sub> fijado en la especie *Gynoxys halli*.

Los resultados de carbono (13,2 T/ha) conseguidos en los pastos fueron superiores a los registrados por Ibrahim y otros (2007), cuya investigación realizada en pasturas degradadas (sometidas a pastoreo) en una localidad de Nicaragua reportó 9,44 T/ha y para pasturas naturales de baja densidad de árboles, 11,9 T/ha, que se asemeja al obtenido en este estudio. De esta forma, el autor concluyó que el cambio de uso de suelo, generalmente por actividades ganaderas, incide significativamente en el secuestro de carbono, e incluso podría estar emitiéndolo a la atmósfera.

### 5.3.2.2 Carbono almacenado en los suelos

Los resultados de materia orgánica y carbono realizados en laboratorio (ver Figura 8.29 y Figura 8.30) para los suelos de las áreas A y B se muestran a continuación en el Cuadro 5.18.

La materia orgánica reportó valores de 13,12% en el área A y 11,86% en B, que al ser cotejados con los obtenidos en la investigación realizada por Fuentes y Tapia (2011), en las mismas zonas de estudio, en la cual obtuvieron 11,47 y 9,88%, respectivamente, muestran una leve recuperación en la capacidad de retención de agua (Brechelt, 2004) y fijación de carbono (Martínez y otros, 2008) del suelo.

**Cuadro 5.18 Materia orgánica y carbono obtenido en las áreas A y B**

AREA ESTUDIO NUMERO DE MUESTRA	ÁREA – A		ÁREA – B	
	MATERIA ORGÁNICA (%)	CARBONO (%)	MATERIA ORGÁNICA (%)	CARBONO (%)
1	12,51	5,03	8,9	3,0
2	12,83	5,15	11,5	3,9
3	11,45	4,60	12,8	4,3
4	14,66	5,89	10,6	3,6
5	12,02	4,83	11,4	3,8
6	12,74	5,12	11,1	3,7
7	13,13	5,27	12,8	4,3
8	13,00	5,29	13,2	4,4
9	13,50	5,42	13,6	4,6
10	13,60	5,46	12,7	4,3
11	12,66	5,08	---	---
12	15,22	6,11	---	---
<b>PROMEDIO</b>	<b>13,11</b>	<b>5,27</b>	<b>11,86</b>	<b>3,99</b>

Muestras recolectadas a 30 cm de profundidad.

Elaborado por: Autores



Pese a esto, se evidencia cierto nivel de degradación en los suelos; ya que los resultados de Medrano y otros (2012) en suelos del ecosistema pajonal mostraron valores de materia orgánica de 48% aproximadamente; cuyas variaciones, según Buytaert y otros (2007), se atribuyen a las condiciones climáticas, humedad, altitud, variaciones en la vegetación y cambios en el uso del suelo.

El porcentaje de carbono registrado en las áreas de estudio mostró que el área A, con un valor de 5,3%, presenta mejores condiciones que su par, el área B, que llegó al 4%. Esto, refleja la importancia de la vegetación que recubre el suelo; ya que la investigación de Cunalata y otros (2011), realizado en los páramos de Chimborazo, obtuvo porcentajes de carbono, analizado hasta 30 cm de profundidad de 6,7% en un suelo de cobertura paja y almohadillas; mientras que en otro suelo bajo una cobertura vegetal mínima reportó 4,7%. En otro estudio, realizado en los páramos de Nariño, Colombia por Cerón y García (2009), se obtuvo un porcentaje de carbono en los suelos bajo pajonales de 12% (analizado hasta 20 cm de profundidad); cuyo alto valor se asoció a un considerable contenido de materia orgánica.

**Cuadro 5.19 Carbono almacenado (T/ha) en los suelos de las áreas A y B hasta los 30 cm. de profundidad**

ÁREA	Carbono (T/ha)
ÁREA A	134,41
ÁREA B	101,75

Elaborado por: Autores

Al transformar los porcentajes de carbono a toneladas por hectárea, se obtienen los resultados mostrados en el Cuadro 5.19. Se puede notar que en el área A, la cantidad de carbono (134 T/ha aprox.) es mayor que en B (102 T/ha aprox.).

Aplicando la ecuación (4.19) de Ibrahim y otros (2007), en los resultados de Cerón y García (2009), se tiene que el carbono almacenado en el suelo de los pajonales alcanza los 168 T/ha, el cual es mayor al registrado en las áreas de estudio (134,41 y 101,75 T/ha para las áreas A y B, respectivamente). Estos valores discrepan con lo mencionado por Suárez (2009), quien sostiene que los suelos de

páramo en buen estado pueden llegar a fijar hasta un máximo de 600 T/ha de carbono.

### 5.3.2.3 Carbono total almacenado en las áreas A y B.

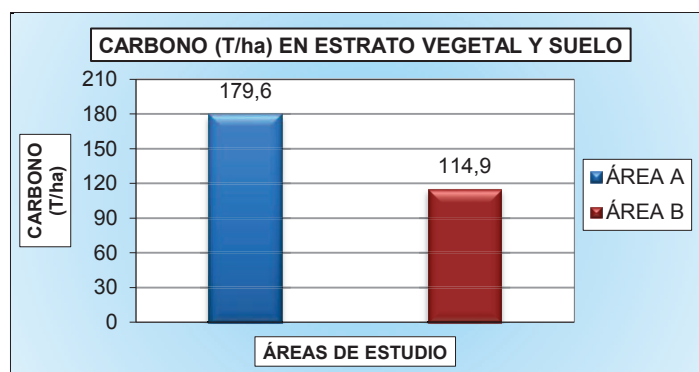
En el Cuadro 5.20 y en la 0 se muestran los resultados de carbono almacenado tanto en el componente vegetal, como en el suelo de las áreas de estudio. Se observa que, el carbono fijado en el área A prevalece sobre lo obtenido en el área B.

**Cuadro 5.20 Carbono almacenado (T/ha) en las áreas A y B considerando el estrato vegetal y el suelo**

COMPONENTE	ÁREA A	ÁREA B
VEGETAL	45,2	13,2
SUELO	134,41	101,75
<b>TOTAL</b>	<b>179,6</b>	<b>114,9</b>

Elaborado por: Autores

**Figura 5.33 Carbono almacenado (T/ha) en las áreas A y B considerando el estrato vegetal y el suelo**



Elaborado por: Autores

Estos valores son bajos, si se comparan con los obtenidos por Ibrahim y otros (2007), en bosques húmedos de Nicaragua, los cuales se encontraron en un rango de 252 y 320 T/ha. Estos últimos, similares a los registrados en las selvas tropicales, que según Hofstede (1999), almacenan 300 T/ha, entre vegetación y suelo (ver Cuadro 5.21).

**Cuadro 5.21 Comparación de ecosistemas de páramo y selva tropical en términos de la cantidad de carbono acumulada en los componentes suelo y vegetación**

<b>COMPONENTE</b>	<b>PÁRAMO T/ha</b>	<b>SELVA TROPICAL T/ha</b>
VEGETACIÓN	20	250
SUELO	1700	50
<b>TOTAL</b>	<b>1720</b>	<b>300</b>

Fuente: (GreenPeace, 2009; Hofstede, 1999).

No obstante, Hofstede (1999) considera que el carbono almacenado en un páramo en buen estado puede llegar a fijar hasta 1720 T/ha (investigación realizada en los páramos de El Ángel, ubicada en la provincia de Carchi), donde el carbono en el suelo contempla la mayor parte (considerando un porcentaje de carbono de 17% y una profundidad de suelo de hasta 2 metros). Esto es un indicador de que los suelos de las áreas de estudio están atravesando un proceso de deterioro o degradación, que empeora con el cambio de uso de suelo (pastoreo de ganado), como sucede con mayor fuerza en el área B.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 CONCLUSIONES**

Como resultado del análisis de las condiciones y estado de conservación de los páramos de Píntag y tomando como referencia las áreas de estudio A (con cobertura Plantación con especies nativas-pajonal y actividad ganadera de muy baja intensidad y zona de conservación) y B (cobertura vegetal Pastos y sometido a ganadería semi-intensiva), se ha llegado a las siguientes conclusiones:

#### **FUERZAS MOTRICES**

- El crecimiento poblacional en Píntag, Sangolquí y, sobre todo, en el DMQ, ha generado un incremento en la demanda de alimentos, lo cual ha promovido la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria en las zonas de páramo de Píntag, con la consecuente degradación de estos frágiles ecosistemas.
- Hay una disminución del analfabetismo en Píntag, del 16 al 8%, entre el año 2000 y 2010, respectivamente; mientras que en el DMQ urbano, pasó del 4 al 2,5% para el mismo periodo. Por otro lado, se pudo observar que para Píntag, en el año 2010, el 18% del PEA se dedica a actividades como la agricultura y ganadería; a diferencia de las ramas de actividad a las que se dedica el PEA en el DMQ, cuya actividad con mayor predominancia es la del sector público, con un 14% en el 2010, dejando relegada a la agricultura con un valor de 1,1%; concluyendo preliminarmente que, una mayor educación implica una mayor participación en áreas laborales diferentes a las agropecuarias, lo que disminuiría parcialmente la presión existente sobre el ecosistema páramo.

#### **PRESIONES**

- Integrando todo lo mencionado anteriormente, el crecimiento poblacional, en un 21% entre el 2001 y 2010 del DMQ, ha generado un incremento en la demanda de los principales productos provenientes de Píntag por un valor de

16% para el mismo periodo. Esto promovió el aumento de áreas destinadas a producción agropecuaria en las haciendas de estudio, con prioridad al sector ganadero, registrando un aumento del 4 al 12% en la hacienda Pazmiño (período 1977-2012), y del 52 al 74% en la hacienda Miranda (período 2006-2012), así como en la producción lechera que, por ejemplo, aumentó aproximadamente el triple de su producción en las dos haciendas en los años 2006-2012.

- La carga animal ejercida, sobre todo en la hacienda Pazmiño, cuyo valor se situó en 3,8 UA/ha, es baja, comparada con zonas donde la ganadería es de tipo intensiva (de 6 UA/ha en adelante); sin embargo, es innegable que esta afecta a los niveles de porosidad del suelo y los efectos producidos en la capacidad de retención y regulación del agua.
- Los páramos de Píntag han sido transformados para dar paso a actividades agropecuarias (41,4% de su suelo en 1990, a 73,3% en 2008), lo cual ha generado una fuerte presión sobre este ecosistema provocando la pérdida de los recursos naturales y de la diversidad biológica y el aumento de gases causantes del efecto invernadero (cambio climático).

## **ESTADO**

- En referencia al análisis precipitación-humedad del suelo se observó que, en períodos secos, el suelo del área A captó el mayor porcentaje de precipitación (17%), al contrario de lo registrado para el área B (con solo el 10%), lo cual implica que, debido a la presencia de la cobertura vegetal *pastos* en el área B, el paso del agua se encuentra limitado, favoreciendo la escorrentía; mientras que el suelo bajo la cobertura plantación con especies nativas – pajonal presenta un mejor comportamiento en cuanto a su capacidad de retención de agua; esto justifica que la presencia de cobertura vegetal nativa o en buen estado de conservación influye notoriamente en la capacidad de retención de agua en el suelo, al mantener el suelo húmedo, reduciendo los procesos de evaporación.
- Para ambas áreas de estudio, en el periodo seco, sus suelos registraron pérdidas de humedad por más del 100% del valor incrementado a causa de la

precipitación, es decir, perdieron la humedad ganada en eventos de lluvia más una parte de la humedad que tenían inicialmente.

- El análisis de humedad en el suelo por horizontes permitió definir que a nivel superficial (estrato S<sub>1</sub>) el suelo bajo pastos está sometido a un mayor riesgo de pérdida de humedad, por evaporación y escorrentía, debido a la pobre vegetación terrestre que cubre el suelo, además de que sus raíces no superan los 30 cm de profundidad, lo que provoca que la zona de absorción esté concentrada en ese nivel. Adicionalmente, el suelo se encuentra mayormente compactado por efecto del pisoteo del ganado semi intensivo.
- El registro de la humedad del suelo en el periodo de análisis noviembre/2009 agosto/2011, mostró que el área bajo la cobertura *plantación con especies nativas – pajonal* alcanzó un valor máximo de humedad del 48,4%, en comparación a *pastos* que llegó al 46,1% de humedad volumétrica máxima, por lo que se observa que las propiedades del suelo del área A, y con mayor incidencia, el área B, están siendo afectadas por las intervenciones antrópicas. Tendencias parecidas se mostraron al analizar el contenido de carbono almacenado en suelos, ya que el menor valor 3,99% fue para el área de *pastos*, lo que confirmaría lo expresado por Farley y otros (2004) quienes determinaron que la pérdida de carbono en el suelo tiene un fuerte impacto en la capacidad de regulación, por lo tanto, existe una estrecha relación entre el servicio hidrológico y el servicio de acumulación de carbono.
- El carbono almacenado en la capa vegetal, muestra que la especie *Calamagrostis intermedia* (que ha crecido naturalmente), fija más CO<sub>2</sub>, tanto por individuo, como por hectárea, que las otras especies estudiadas; lo que puede demostrar que los procesos de reforestación no son necesariamente la mejor forma de almacenar GEI, ya que mediante la aplicación de propuestas afines y la ejecución de procesos forestales como la regeneración o sucesión natural de especies, permitiría obtener interesantes resultados sobre fijación de carbono en el componente vegetal.
- Las prácticas agrícolas y ganaderas, en algunas zonas, han provocado el deterioro de las condiciones de almacenamiento de agua y secuestro de

carbono en las áreas de estudio; donde el área A captó el 17% de la precipitación a una profundidad de 30 cm en el periodo seco (mayo-agosto 2011) en comparación al área B que registró apenas 10%. Mientras que el potencial de fijación de carbono del suelo y capa vegetal mostró que el área A capta 179,6 T/ha en comparación al área B que alcanzó 114,9 T/ha., concluyéndose que el deterioro o alteración de la cobertura vegetal de los páramos, producto de las actividades antrópicas que allí se realizan, influyen negativamente, tanto en la capacidad de retención de agua en el suelo, como en el potencial de secuestro de carbono en los componentes suelo y vegetación.

- La interrelación entre Fuerzas motrices, Presiones y Estado determinados en este estudio se observan en la Figura 6.1, mostrada a continuación:

**Figura 6.1 Esquema final Fuerzas Motrices – Presiones – Estado en los páramos de Píntag**



Elaborado por Autores.

- Este trabajo constituye una herramienta de información importante para generadores de políticas, investigadores, académicos y sociedad en general, al ofrecer un análisis objetivo de las fuerzas motrices, presiones y estado del ambiente, en particular de los páramos ecuatorianos que están siendo afectados en gran medida por actividades provocadas por el hombre y el cambio climático, para tomar acciones y medidas que lleven a la valoración y protección de estos ecosistemas.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Se enlistan las siguientes recomendaciones sobre este trabajo de investigación para el desarrollo de posteriores estudios relacionados, así como una serie de posibles recomendaciones generales que propendan a la conservación y uso sostenible de los ecosistemas de alta montaña:

### **RECOMENDACIONES SOBRE EL ESTUDIO REALIZADO**

- Se recomienda complementar el análisis de la metodología GEO, considerando todos los elementos del marco analítico FMPEIR, ya que éste tipo de análisis permitirá incluir aspectos como los impactos generados en las áreas de estudio, las respuestas o acciones a tomarse y, los posibles escenarios que se darían por la aplicación de dichas respuestas.
- Es necesario definir indicadores del marco analítico FMPEIR considerando aspectos como disponibilidad de tiempo, espacio y recursos, además de las causas-estado-consecuencias de la situación del ambiente que permitan orientarla a un enfoque integral en la investigación.
- Desarrollar estudios comparativos a nivel de microcuencas en zonas de páramo que puedan involucrar procesos de monitoreo de caudales, escorrentía, evapotranspiración, infiltración, entre los más importantes, que relacionen parámetros de cambios en la cobertura vegetal, y uso de suelo permitiendo enriquecer los conocimientos adquiridos en esta investigación.



- Considerar periodos de registro de datos e información hidrometeorológica más extensos que los utilizados en este proyecto, con la finalidad de sustentar los resultados obtenidos al final de la investigación.
- Realizar nuevas investigaciones que involucren análisis continuos de parámetros físicos y químicos de los suelos con el objetivo de realizar un seguimiento permanente de las condiciones del ecosistema en estudio.
- A pesar de que se conoce que a mayor profundidad, menos carbono se almacena en los suelos, es importante conocer la variabilidad de este parámetro a diferentes profundidades, por lo que se sugiere efectuar estudios sobre la capacidad de secuestro en suelo a estratos más profundos que lo realizado en este estudio (30 cm).
- Complementar el estudio del monitoreo carbono en el ecosistema páramo, con el muestreo de una mayor variedad de especies vegetales representativas (nativas y exóticas) presentes en el área de estudio, con el propósito de hacer un análisis comparativo y tener cifras más apegadas a la realidad.
- Una alternativa viable que se viene aplicando ya en varios estudios para la estimación de biomasa y carbono es la definición de modelos alométricos de acuerdo a las especies vegetales a estudiar, que permita su cálculo en el transcurrir del tiempo, sin la necesidad de recurrir a la extracción física de individuos.

## **RECOMENDACIONES GENERALES**

- Es importante la construcción de alianzas y convenios sólidos de cooperación entre entidades públicas y privadas con instituciones académicas para la ejecución de proyectos de investigación.
- Promover una mayor divulgación de información hacia la ciudadanía, así como entidades públicas y privadas, mediante la realización de eventos, talleres, reuniones donde se propague información científica-técnica acerca

de la importancia de la conservación de los ecosistemas y el uso racional de los recursos provenientes de la naturaleza.

- Fomentar el desarrollo de modelos económicos productivos basados en el aprovechamiento de los bienes que provee la naturaleza acorde a las bases del cambio de matriz energética y productiva que se viven actualmente en el país donde se dé prioridad al desarrollo e innovación científica.
- Indagar en nuevos procesos de desarrollo tecnológico que se puedan aplicar a actividades económicas primarias como la agricultura y ganadería, que se traduzcan en una mayor eficiencia en la producción, coartando los fenómenos de expansión agrícola y pecuaria.
- Mayor voluntad política en la decisión e implementación de acuerdos nacionales e internacionales como el Protocolo de Kioto, vigilando el cumplimiento de las leyes que amparan la conservación de ecosistemas, a través de una mayor participación de la sociedad en general.
- Incentivar a una correcta toma de decisiones, por parte de los actores políticos y sociales, que responda a intereses comunes en donde prevalezca el aprovechamiento equitativo y conservación de la naturaleza en desmedro de intereses en la acumulación de riquezas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, N., y Aguirre, Z. (2004). Guía para monitorear la Biomasa y dinámica de carbono en ecosistemas forestales en el Ecuador. Loja - Ecuador.

Aguirre, N., y Weber, M. (2007). Enriquecimiento de plantaciones forestales como herramienta para la rehabilitación de ambientes degradados en la region sur Ecuatoriana. Universidad Nacional de Loja, Loja - Ecuador.

Álvarez, G. (2008). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba Bolivia. Tesis de grado, Centro Agrónomo Tropical de Investigación y enseñanza, Turrialba - Costa Rica.

Amézquita, C., y Navas, J. (1993). Métodos para la determinación de algunas propiedades físicas de los suelos. En L. A. Rojas, Manual de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá - Colombia: Editorial ICA.

AN-MDL. (2013). Autoridad Nacional para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. (Ministerio del Ambiente) Obtenido de: <http://web.ambiente.gob.ec/?q=node/718>

Arriaga, J., Vanderlinden, K., Muriel, J. L., Morón, M., Ortega, M. G., & Rubio, F. R. (2011). Calibración de Sensores de Humedad Capacitivos Usando Redes Neuronales. En J. Martínez, & N. Sánchez, Estudios en la Zona no Saturada del Suelo (Vol. X). Salamanca - España: Universidad de Salamanca.

Avellaneda-Cusarúa, A. (1998). Alteración del Páramo de Chontales en Boyacá por Ganadería y Aplicación de Plaguicidas en Papa. Boyacá - Colombia.

Baker, T. (2009). Generación y uso de ecuaciones alométricas. University of Leeds, Iquitos - Perú.

Barrios, N. (2012). Fundación Las Delicias, El suelo: URL: [http://www.fundacionlasdelicias.org/portal/images/stories/pdf/agricultura\\_2.pdf](http://www.fundacionlasdelicias.org/portal/images/stories/pdf/agricultura_2.pdf)

Beltrán, D. (2007). Plan de Desarrollo Turístico de la Parroquia de Píntag. Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Turismo y Preservación Ambiental, Quito - Ecuador.

Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-Yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., y otros. (2009). Distribución Espacial, Sistemas Ecológicos y Caracterización Florística de los Páramos en el Ecuador. Quito - Ecuador: Editorial Ediecuatorial.

Bertrand, Y. A. (Dirección). (2009). HOME [Película].

Black, J. (1997). A Dictionary of Economics. Oxford - Reino Unido

BM. (2013). Datos del Banco Mundial. Obtenido de EL BANCO MUNDIAL: URL: <http://datos.bancomundial.org/indicador#5355>

Borja, P., Iñiguez, V., Crespo, P., Cisneros, P., Cisneros, F., & Feyen, J. (2008). Caracterización Hidráulica de Andosoles e Histosoles del Austro del Ecuador. Quito - Ecuador: XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.

Bravo, M., Serrato, B., Fregoso, L., & Medina, L. (2009). Evaluación empírica de la reflectometría de dominio temporal para estimar la humedad de dos suelos de origen volcánico. Chapingo - México: Revista Terra Latinoamericana.

Brechelt, A. (2004). Manejo Ecológico del Suelo. Fundación de Agricultura y Medio Ambiente (FAMA). Santiago de Chile - Chile: Editorial RAP-AL.

Buitrago, J., y Rada, M. (2011). Un Enfoque EAI-GEO. El Caso del Parque Nacional Laguna de la Restinga, Isla de Margarita, Venezuela. En Red CYTED, A. Vanina, L. Fernández, & J. Buitrago (Edits.), Experiencias en la Aplicación del Enfoque GEO en la Evaluación de Ecosistemas Degradados de Iberoamérica. Buenos Aires - Argentina: Programa CYTED.

Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., y Cisneros, F. (2007). Hidrología del Páramo Andino: Propiedades, Importancia y Vulnerabilidad. Universidad de Cuenca, Cuenca.

Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., y otros. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. Amsterdam - Holanda: Division of Soil and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Programa para el Manejo del Agua y del Suelo, Universidad de Cuenca.

Buytaert, W., De Bièvre, B., Wyseure, G., y Deckers, J. (2005). The effect of land use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador. Universidad Católica de Lovaina, Laboratorio de Suelos y Agua. Leuven - Bélgica: Hydrological Processes.

CAESPA. (2012). Indicadores de Agricultura Región Andina. Obtenido de Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura: URL:<http://www.iica.int/Esp/Programas/AnalisisEstrategico/Documents/indicadores/RegionAndina/Ecuador.pdf>

Calderón, M., y Lozada, V. (2010). Determinación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de Polylepis incana y polylepis reticulata. Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Fac. Ingeniería Civil y Ambiental, Quito - Ecuador.

CAMPBELL SCI. (2006). CS616 AND CS625 WATER CONTENT REFLECTOMETERS INSTRUCTION MANUAL. Utah - USA: CAMPBELL SCIENTIFIC, INC.

CAP-NET. (2008). Gestión Integrada de los Recursos Hídricos para Organizaciones de Cuencas Fluviales. Manual de Capacitación, Pretoria - Sudáfrica.

Cárdenas, M., y Chaparro, E. (2004). Industria Minera de los Materiales de Construcción. Su Sustentabilidad en América del Sur. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago de Chile - Chile.

Carrere, R. (2005). Pinos y eucaliptos en Ecuador: Símbolos de un modelo destructivo. Quito - Ecuador: World Rainforest Movement.

Carúa, J., Proaño, M., Suárez, D., & Podwojevski, P. (2008). Determinación de retención de agua en los suelos de los páramos: Estudio de caso en la subcuenca del río San Pedro, cantón Mejía; Pichincha, Ecuador. En P. Mena, & N. Ochoa, Forestación. Quito - Ecuador: Serie Páramo 26. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Castaño, C. (2002). Páramos y ecosistemas altoandinos de Colombia en condición hotspot y global climatic tensor. Bogotá - Colombia: Editorial IDEAM.

Castillo, O. (2011). Economía Agraria: Apuntes de Clase. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Montería - Colombia.

Castro, L., y Calvas, B. (2005). Producción de Biomasa y Fijación de Carbono en manchas naturales de Guadua Angustifolia Kunth en el Cantón Santo Domingo de los Colorados, Provincia de Pichincha. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. Santo Domingo de los colorados, Pichincha, Ecuador.

CAT-MED, Plataforma. (2012). Plataformas para Modelos Urbanos Sustentables. Obtenido de Herramientas - Densidad de Población: <http://catmed.eu/pagina.php?id=22>

CDM Watch. (2010). Manual del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) (Segunda Edición). Bruselas - Bélgica.

Céleri, R. (2009). Servicios ambientales para la conservación de los recursos hídricos: lecciones desde los Andes. Síntesis Regional, CONDESAN, Quito - Ecuador.

Cepéde, M., y Languéle, M. (1953). Economie alimentaire du globe. París - Francia: Librairie de Medicis.

Cerón, P., y García, H. (2009). Propiedades del suelo en bosque y pajonal: Reserva natural Pueblo Viejo, Nariño, Colombia. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, XII(1).

Chacón, G. (1997). Usos no saludables de los Páramos. (Conferencia virtual). Ecociencia-Instituto de Montaña-FLACSO, Quito - Ecuador.

Chaico, E. (2010). Movimiento del agua en el suelo. Determinación de la velocidad de infiltración con cilindros infiltrómetros. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias, Ayacucho - Perú.

Chambi, P. (2001). Valoración económica de Secuestro de Carbono mediante simulación aplicado a la Zona Boscosa del Río Inambari y Madre de Dios. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en

Ecosistemas Forestales, Instituto de Investigación y Capacitación para el Fomento de Oportunidades Económicas con Base en la Conservación de Recursos Naturales, Valdivia - Chile.

Cifuentes, M. (2011). Construcción de modelos alométricos. Turrialba - Costa Rica: Programa REDD-CCAD-GIZ.

CI - ECUADOR. (2012). Conservación Internacional del Ecuador. Obtenido de Apoyo al Programa Socio Bosque. URL:

[http://www.conservation.org.ec/links\\_contenido/links\\_contenido.php?recordID=12](http://www.conservation.org.ec/links_contenido/links_contenido.php?recordID=12)

CITRA. (2009). Uso del TDR para el monitoreo de la humedad del suelo. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias. Talca - Chile: Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología.

CONAFOR. (2011). Servicios Ambientales y Cambio Climático. Comisión Nacional Forestal, Coordinación General de Producción y Productividad. Oaxaca - México: SEMARNAT.

CONDESAN. (2009). Cuantificación y estimación de los stocks de carbono en ecosistemas de alta montaña. TALLER REGIONAL, Lima - Perú.

Coppus, R., Endara, L., Nonhebel, M., Mera, V., León-Yáñez, S., Mena, P., y otros. (2001). El Estado de Salud de Algunos Páramos del Ecuador: Una Metodología de Campo. En P. Mena, G. Medina, & R. Hofstede, Los Páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas. Quito - Ecuador: Abya Yala/Proyecto Páramo.

Cuesta, F., Beltrán, K., Salgado, S., De Bièvre, B., y Llambí, L. (En prep.). Los páramos de los Andes del Norte. Quito - Ecuador: Proyecto Páramo Andino.

Cunalata, C., Inga, C., Álvarez, G., Recalde, C., y Echeverría, M. (2011). Determinación de Carbono orgánico total presente en el suelo y biomasa de los páramos de las comunidades: Chimborazo y Shobol Llin Llin - Chimborazo - Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador.

Dávila, R. (2008). Estudio de Factibilidad para la Instalación de una Fábrica de Embutidos en el Sector de San Jacinto, Cantón Atacames, Provincia de Esmeraldas. Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Ibarra - Ecuador.

De Bièvre, B., Iñiguez, V., y Buytaert, W. (2006). Hidrología del páramo: Importancia, propiedades y vulnerabilidad. En D. Ortíz, & P. Mena, Investigaciones biofísicas en el paramo. Cuenca - Ecuador, Ecuador: Serie Páramo 21. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Delaney, M., Brown, S., Lugo, S., Torres-Lezama, A., y Bello-Quintero, A. (1997). The distribution of organic carbon in major components of forest located in five zones of Venezuela. Journal of Tropical Ecology, Volumen: 13.

Delgado, M. d. (2002). Los indicadores educativos. Estado de la cuestión y uso en geografía. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, Vol. VII. N° 354.

D'Ercole, R., y Metzger, P. (2002). Los Lugares Esenciales del Distrito Metropolitano de Quito. Quito - Ecuador. AH/Editorial.

Diario HOY. (2008). Pichincha tras gran proyecto hidroeléctrico. Quito - Ecuador.

Duaber, E. (1995). Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. Santa Cruz - Bolivia.

Echavarría, M. (1999). Agua: Valoración del servicio ambiental que prestan las Áreas Protegidas (Vol. 1). (E. Vilarrubí, Ed.) Quito, Ecuador: The Nature Conservancy.

Estupiñán, L. (2002). Impacto causado en el suelo por las plantaciones de pino en el páramo de Gachaneca. Grupo Páramo U.D.C.A., Bogotá - Colombia.

Estupiñán, L., Gómez, J., Barrantes, V., y Limas, L. (2009). Efecto de Actividades Agropecuarias en las características del suelo en el páramo El Granizo, (Cundinamarca-Colombia). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ingeniería Agronómica, Bogotá - Colombia.

FACE-PROFAFOR. (2005). Sumideros de carbono en los Andes ecuatorianos. Quito - Ecuador: Acción Ecológica.

FAO. (1988). Sistemas alimentarios y seguridad alimentaria. En FAO, Potencialidades del desarrollo agrícola y rural en América Latina y el Caribe. Roma - Italia.

FAO. (2004). Estudio de tendencias y perspectivas del Sector Forestal en América Latina. Documento de Trabajo. Instituto Nacional de Bosques. Roma - Italia: Depósito de documentos de la FAO.

FAO. (2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. (C. Mattheus, Editor) FAO Sala de Prensa: URL: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/>

FAO. (2011). El Estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la Agricultura. Resumen, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma - Italia.

FAO. (2012). El estado de los bosques del mundo. Roma - Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2013a). Manejo de la humedad del suelo. FAO, Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor.

FAO. (2013b). Consumo y Producción de Alimentos Sostenibles. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: URL: <http://www.fao.org/ag/ags/sustainable-food-consumption-and-production/es/>

FAO WRB. (2006). World reference base for soil resources. Roma - Italia: World Soil Resources Reports. No. 103. FAO.

FAO-Ecuador. (2013). Desarrollo Rural. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Representación FAO: URL: <http://coin.fao.org/cms/world/ecuador/Proyectos/DesarrolloRural.html>

FAOSTAT. (2012). Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO) Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: URL: <http://faostat.fao.org/>

Farley, K., Kelly, E., y Hofstede, R. (2004). Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes. Duke University, Center for Global Change, Durham - USA.

FCEyN. (2013a). Materia orgánica del suelo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de la Pampa. Argentina. URL: <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/edafologia/practicos/mo-04.htm>

FCEyN. (2013b). Estructura del suelo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de la Pampa. Argentina URL: <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/edafologia/practicos/ESTRUCT04.htm>

Figuroa, D. (Enero-Marzo de 2005). Seguridad Alimentaria y Nutricional. Determinantes y Vías para su Mejora. Revista Salud Pública y Nutrición, Vol. VI.

Figuroa, R., y Rodríguez, R. (Enero de 2002). Nutrición y Población. Nutrición: La Base para el Desarrollo. Ginebra Suiza.

FLACSO-Ecuador, PNUMA, MAE, BID, ECORAE y PMRC, (2008). GEO Ecuador 2008 - Informe sobre el estado del medio ambiente. Quito - Ecuador: Editorial Rispergraf.

Florentino, A. (2006). Métodos para medir el contenido de agua en el suelo. Universidad Central de Venezuela. Maracay - Venezuela: Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía.

Flores, L., y Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos. Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Edafología, México D.F. - México.

FONAG. (2012). Sitio web del Fondo para la Protección del Agua. Quito - Ecuador. De <http://www.fonag.org.ec>

Forsythe, W. (1975). Física de los Suelos: Manual de Laboratorio. Turrialba - Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

Foth, H. D. (1986). Fundamentos de la ciencia del suelo. México D.F. - México: Compañía Editorial Continental.

Fuentes, P., & Tapia, C. (Octubre de 2011). Estudio del Impacto de la Cobertura Vegetal sobre la Disponibilidad del Recurso Hídrico en los Suelos de un Área de Páramo de la Parroquia Píntag, Cantón Quito. Tesis de grado, Universidad Central, FIGEMPA, Quito - Ecuador.



GADPP. (2012). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Píntag 2012-2025. Gobierno de Pichincha, Quito - Ecuador.

Galindo, E. (2006). Estadística Métodos y Aplicaciones. Quito: Prociencia Editores.

García, D. (Agosto de 2010). Agua. Un derecho humano fundamental. Una Constitución hecha de Agua. N°1. (A. Acosta, & E. Martínez, Recopiladores) Quito, Pichincha, Ecuador: Abya - Yala.

García, J., Sosa, F., y Fernández, J. (2006). El Agua del Suelo. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia. Tucumán - Argentina: Cátedra de Edafología.

Garrido, S. (1993). Interpretación de Análisis de Suelos. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Madrid - España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

GEF, UNEP, y CONDESAN. (2010). Mecanismo de Información de Páramos. Proyecto Páramo Andino: <http://www.paramo.org/content/%C2%BFqu%C3%A9-son-los-p%C3%A1ramos>

GEF/PNUD/MAE. (2011). Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Ministerio del Ambiente, Quito - Ecuador.

Gibbs, H., Brown, S., Oniles, J., & Foley, J. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stock: making REDD a reality.

Gondard, P. (Diciembre de 2005). Ensayo en torno a las regiones de Ecuador: herencias y reestructuraciones territoriales. Debate (Revista No. 66), Págs 45-60.

González, M. (2007). Población Económicamente Activa en Lima, Perú. Universidad San Martín de Porres, Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos, Lima - Perú.

González, M. (2008). Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de Pinus maximinoi H.E. Moore, Pinus oocarpa var. Ochoterenai Mtz y Quercus sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Centro Agrónomo Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba - Costa Rica.

González, M., y Nogues, E. (2012). Pisoteo Animal y su Efecto en la Densidad Aparente del Suelo en un Haplústol Franco Arenoso bajo diferentes Manejos. Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial (No. 31).

GreenPeace. (2009). Cambio Climático: Futuro negro para los páramos. Obtenido de GREENPEACE - Colombia: URL: [http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/informe\\_todo3.pdf](http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/informe_todo3.pdf)

GRN. (2010). Gestión en Recursos Naturales. Diseños muestrales en Inventarios Forestales.En: [http://www.grn.cl/Disenos\\_muestrales\\_en\\_Inventarios\\_Forestales.pdf](http://www.grn.cl/Disenos_muestrales_en_Inventarios_Forestales.pdf)

Gutiérrez, R. C., Parraga, M. J., y Díaz, H. J. (2003). Determinación de la humedad de la capa arable del suelo en zonas semiáridas. En J. Álvarez, & P. Marinero, Estudios de la Zona No Saturada del Suelo (Vol. VI, págs. 181-184). Valladolid - España, España: Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León.

Haro, R. (2003). I Informe Sobre Recursos Zoogenéticos Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Subsecretaría de Fomento Agroproductivo. Quito - Ecuador: Dirección para la Implementación del Desarrollo Agropecuario, Agroforestal y Agroindustrial.

Hincapié, E. (2011). Estudio y modelación del movimiento del agua en suelos volcánicos de ladera. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira - Colombia: Escuela de Posgrados.

Hofstede, R. (1997). El impacto ambiental de plantaciones de Pinus en la sierra del Ecuador. Proyecto Ecopar, Universidad de Amsterdam, Larenstein Colegio Universitario Internacional. , Amsterdam - Holanda.

Hofstede, R. (1999). El Páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico. En G. Medina, P. Mena, & C. Josse, El Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. Quito, Pichincha, Ecuador: Serie Páramo 1. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Hofstede, R. (2000). Aspectos Técnicos Ambientales de la Forestación en los Páramos. En G. Medina, C. Josse, & P. Mena, La Forestación en los Páramos. Quito, Pichincha, Ecuador: Serie Páramo 6. GTP - Abya Yala.

Hofstede, R. (2002). Los Páramos Andinos; su diversidad, sus habitantes, sus problemas y sus perspectivas. Un breve diagnóstico regional del estado de conservación de los páramos. Informe Regional, Ministerio de Medio Ambiente, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Congreso Mundial de Páramos, Bogotá - Colombia.

Hofstede, R. (2008). Los Servicios del Ecosistema Páramo: Una visión desde la evaluación de Ecosistemas del Milenio. En P. Mena, Páramo: Servicios Ambientales. Quito - Ecuador: Serie Páramo 24. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Hofstede, R., y Aguirre, N. (1999). Biomasa y dinámica del carbono en relación con las actividades forestales en la sierra del Ecuador. En G. Medina, P. Mena, & C. Josse, El Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. Quito - Ecuador, Ecuador: Serie Páramo 1. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Hofstede, R., Segarra, P., y Mena, P. (2003). Los Páramos del Mundo. Quito - Ecuador: Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-UICN/Ecociencia.

Hurtado, L., y Alfaro, M. (2004). Conociendo la Naturaleza: Los Ecosistemas Terrestres. En PROARCA, & APM, Manual Básico para el Guardarecurso Centroamericano (Vol. II). San José - Costa Rica: INFOTERRA Editores.

Hyndman, R., y Koehler, A. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. International Journal of Forecasting.

Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., y otros. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Agroforestería en las Américas. Turrialba - Costa Rica.

IGM. (2012). Instituto Geográfico Militar. Geoportal del Instituto Geográfico Militar: URL: [www.igm.gob.ec](http://www.igm.gob.ec). Quito - Ecuador.

INEC. (2011). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo 2010: URL: [http://www.inec.gob.ec/tabulados\\_CPV/2\\_Densidad\\_Pobla\\_Nac\\_Prov\\_Cant\\_Parr.XLSX](http://www.inec.gob.ec/tabulados_CPV/2_Densidad_Pobla_Nac_Prov_Cant_Parr.XLSX)

INEC. (2012a). Estadísticas Agropecuarias del Ecuador (ESPAC). (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). Ecuador en Cifras: URL: <http://200.110.88.44/lcds-samples/testdrive-remoteobject/main.html#>

INEC. (2012b). Sistema Agroalimentario de la Cebada. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Sistema de Cadenas Agroalimentarias: URL: <http://www.ecuadorencifras.com/sistagroalim/pdf/Cebada.pdf>

INEC-CPV. (2001). Censo de Población y Vivienda 2001. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos: URL: <http://www.inec.gob.ec/estadisticas/index>

IPCC. (2003). Metodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del protocolo de Kyoto. Panel Intergubernamental del Cambio Climático

ITMA. (2011). Metodologías para la estimación de carbono: Métodos indirectos. Huancayo - Perú: Instituto Tecnológico del Medio Ambiente.

ITTO. (2004). Consecución del objetivo 2000 y la ordenación forestal sostenible en Ecuador. Consejo Internacional de las Maderas Tropicales, Interlaken - Suiza.

Ivie, I. V. (Mayo de 2008). Efectos del nivel educativo sobre las probabilidades de empleo. Valencia, España.

Jara, L. F., y Martínez, S. (1999). El Programa FACE de Forestación (PROFAFOR) para el Ecuador. En G. Medina, P. Mena, C. Josse, & D. Mosquera (Ed.), El Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. Quito, Ecuador: Serie Páramo 1. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

JGM. (2008). El Avance de la Frontera Agropecuaria y sus Consecuencias. Secretaria Ambiente y Desarrollo Sustentable Argentina. Buenos Aires - Argentina: Jefatura de Gabinete de Ministros.

Jiménez, C. (2010). Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en la parte aérea de Pinus hartwegii Lindl., en el Parque Nacional Izta-Popo. Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, Texcoco - México.

Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Cabrera, E., Chacón-Moreno, E., y otros. (2009). Ecosistemas de los Andes del Norte y Centrales. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Lima - Perú: Secretaría General de la

Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia.

Josse, C., Navarro, G., Comer, P., Evans, R., Faver-Langendoen, D., Fellows, M., y otros. (2003). Ecological systems of Latin America and the Caribbean: A working classification of terrestrial systems. Virginia - EEUU. NatureServe.

Lizano, L. (2007). Estudio de factibilidad para la producción, industrialización comercialización en el mercado local de carne orgánica bovina producida en la zona de Nanegalito. Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Agricultura, Alimentos y Nutrición, Quito - Ecuador.

Llambí, L., Soto-W, A., Célleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., y Borja, P. (2012). Ecología, Hidrología y Suelos de Páramos. Quito - Ecuador: Proyecto Páramo Andino.

Loaiza, J. C., y Pauwels, V. (2008). Utilización de sensores de humedad para la determinación del contenido de humedad del suelo (Ecuaciones de Calibración). En S. ECUATORIALES. Medellín - Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

López, A., Crende, P., & Castelao, A. (2005). Uso del TDR en Ensayos de movimiento de Agua Sobre Columnas de Suelo Inalterado. En J. Samper, & A. Paz, Estudios de la Zona No Saturada del Suelo (Vol. VII). La Coruña - España. Universidad de la Coruña.

Lovato, M. (2011). Análisis de la importancia de la denominación de origen en la decisión de compra de prendas de vestir en el Distrito Metropolitano de Quito. Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias económicas, administrativas y de comercio. Sangolquí: Ingeniería en Mercadotecnia.

Lugo, M., y Snyder, V. (2006). Relaciones básicas para suelo-agua-planta. En M. Goyal, Manejo de Riego por Goteo. Mayagüez - Puerto Rico.

M.A.R.C.O. (2009). Efectos del Calentamiento Global y Alternativas de Cambio. Fundación M.A.R.C.O., Proyecto REDD-Páramo, CONDESAN, Riobamba - Ecuador.

MAE. (2008). Socio Bosque: Programa de Protección de Bosques. En <http://sociobosque.ambiente.gob.ec>.

MAE. (2013). Socio Bosque: Experiencias Exitosas. Obtenido de <http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/EXPERIENCIAS%20EXITOSAS.pdf>

MAE, y Comité Nacional sobre el Clima. (2001). Comunicación Nacional de la República del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Quito - Ecuador: Ministerio de Ambiente del Ecuador.

MAE, PNUD, y GEF. (2001). Vulnerabilidad - Adaptación y Mtigación al Cambio Climático. Quito - Ecuador: Ministerio del Ambiente.

MAGAP. (2011). Plan Nacional de Riego y Drenaje. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Quito - Ecuador: Subsecretaría de Riego y Drenaje.

MAGAP. (2012). Cadenas Agroproductivas. Del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. URL: <http://servicios.agricultura.gob.ec/sinagap/index.php/site-map/10-cadenas-agroproductivas-comercializacion>.

MAGRAMA. (2008). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente - España. Sistema de Indicadores del Agua. URL: [http://servicios2.marm.es/sia/indicadores/ind/ficha.jsp?cod\\_indicador=08&factor=estado&idioma=es](http://servicios2.marm.es/sia/indicadores/ind/ficha.jsp?cod_indicador=08&factor=estado&idioma=es).

Martínez, E. M. (2008). Estudio de propiedades hídricas del suelo mediante medidores de actividad de agua en la zona regable de Tierra Chá. Tesis doctoral, Universidad Santiago de Compostela, La Coruña - España.

Martínez, E., Fuentes, J., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. Universidad de Chile, Facultad de ciencias agronómicas, Santiago de Chile - Chile.

Martínez, I., y Villezca, P. (Enero-Marzo de 2005). La Alimentación en México. CIENCIA UANL, Vol. III, (No. 1).

MDMQ, S. (2011). Memoria Técnica del Mapa de Cobertura Vegetal del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaría del Ambiente, Quito - Ecuador.

Medina, G. (2000). Introducción. En C. Josse, P. Mena, & G. Medina, El páramo como fuente de recursos hídricos. (Primera Edición). Quito - Ecuador, Serie Páramo 3. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Medina, G., y Mena, P. (2001a). Los Páramos en el Ecuador. Particularidades, problemas y perspectivas. Quito - Ecuador, Editorial Abya Yala.

Medina, G., y Mena, P. A. (2001b). La Agricultura y la Ganadería en los Páramos. Quito - Ecuador, Serie Páramo 8. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Medina, G., Josse, C., y Mena, P. A. (2000). La Forestación en los Páramos. Quito - Ecuador, Serie Páramo 6. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Medrano, R., Chupan, L., y Vila, M. (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha, Junín. Huancayo - Perú, Apuntes de Ciencia & Sociedad, Vol. II, (No. 2).

Mena, P. (2008). Servicios Ambientales. Quito - Ecuador, Ecuador: Serie Páramo 24. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Mena, P., Josse, C., y Medina, G. (2000). Los Suelos del Páramo. Quito - Ecuador: Serie Páramo 5. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Mena, P., Medina, G., y Hofstede, R. (2001). Los Páramos en el Ecuador. Particularidades, problemas y perspectivas. Quito: Abya Yala.

Mendieta, J. C. (2012). Economía Ambiental. Universidad Peruana de los Andes, Facultad de Economía, Lima - Perú.

Micucci, D., Taboada, M., y Gil, R. (2003). El agua en la producción de cultivos extensivos: El suelo como un gran reservorio eficiente. El sitio agrícola: URL: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/micucci/ElAguaEnLaProduccionDeCultivosExtensivos-I.pdf>

MinAgricultura. (2005). Calculo de los Consumos Aparentes de los Productos Agropecuarios. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Dirección de Política Sectorial, Bogotá - Colombia.

MINAM. (2009). Identificación de Metodologías existentes para determinar stock de carbono en ecosistemas forestales. Ministerio del Ambiente, Lima - Perú.

MinEduc. (2012). Indicadores Educativos, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo, 2003-2012: URL: <http://educacion.gob.ec/indicadores/>.

Miranda, J. (Enero de 2013). Entrevista socio económica. (Amalia Andrade, & Javier Yépez, Entrevistadores).

Mondragón, A. (2002). ¿Qué son los Indicadores?. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), México D.F.

Moreno, A. (2012). Relación Agua-Suelo-Planta. Universidad de Castilla - La Mancha, Escuela de Ingenieros Agrónomos, La Mancha - España.

Morón, C., y Schejitman, A. (1997). Evolución del Consumo de Alimentos en América Latina. En FAO, Producción y Manejo de Datos de Composición Química de Alimentos en Nutrición. Santiago - Chile: Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos.

Nanzyo, M., Shoji, S., y Dahlgren, R. (1993). Physical Characteristics of volcanic ash soils. En S. Shoji, R. Dahlgren, & M. Nanzyo, Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization. Amsterdam - Holanda: Development in Soil Science.

NatureServe. (2009). Sistemas ecológicos de los Andes del Norte y Centro: Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Arlington - USA, NatureServe Central Databases.

Ordoñez, J. (1999). Captura de carbono en un bosque templado: El caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México D.F.- México: SEMARNAP.

Orozco, K., y Granja, A. (2006). Zonificación socio ambiental del Sector de Píntag. Sangolquí-Ecuador. Tesis de grado, Escuela Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Quito - Ecuador.

Orrego, S., Del Valle, A., y Moreno, H. (2003). Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la

mitigación del cambio climático. Universidad Nacional de Colombia, Medellín - Colombia.

Ortega, P. S., García, A., Ruíz, C.-A., Sabogal, J., y Vargas, J. D. (2010). Deforestación Evitada. Una Guía REDD + Colombia. Bogotá - Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Conservación Internacional Colombia; Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF); The Nature Conservancy; Corporación Ecoversa; Fundación Natura; Agencia de Cooperación Americana (USAID).

OSE. (2007). Observatorio de la Sostenibilidad en España. Evaluación Ambiental Mediante Indicadores: <http://www.sostenibilidad-es.org/>

Parente, H., y Maia, M. (2011). Impacto do pastejo sobre a Compactação dos solos com ênfase no Semiárido. Revista Trópica, Ciencias Agrarias e Biológicas.

Parker, C., Mitchell, A., Trivedi, M., y Mardas, N. (2009). El Pequeño Libro de REDD+ (Segunda Edición ed.). Oxford, Inglaterra: Global Canopy Foundation.

Pavez, A. (2004). Análisis del Comportamiento Temporal del Contenido de humedad, en Suelos Sometidos a Obras de Conservación (Zanjas de Infiltración y Subsulado), en Áreas de las Regiones VI, VII y VIII. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. Talca - Chile: Escuela de Ingeniería Forestal.

Pazmiño, C. (Marzo de 2013). Entrevista socio económica. (Amalia Andrade, & Javier Yépez, Entrevistadores)

Pérez, S., y Valdivieso, C. (2007). Colección y Caracterización Morfológica in situ del Mortiño (Vaccinium floribundum Kunt) en la Sierra Norte del Ecuador. Tesis de grado, Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida, Sangolquí - Ecuador.

Pinter, L., Zahedi, K., y Cressman, D. (2000). Capacitación para la preparación de evaluaciones e informes ambientales integrados. Obtenido de [http://www.iisd.org/pdf/geo\\_manual\\_sp\\_2.pdf](http://www.iisd.org/pdf/geo_manual_sp_2.pdf).

Pioneer. (Octubre de 2012). Boletín Técnico Pioneer. Buenos Aires - Argentina.

PNUD. (2013). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Nueva York - USA: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

PNUMA. (2007). Perspectivas del medio ambiente mundial: medio ambiente para el desarrollo. Nairobi - Kenya: Phoenix Design Aid.

PNUMA. (2010). Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe GEO ALC 3. Ciudad de Panamá - Panamá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

PNUMA, y Andina, C. (2003). GEO Andino 2003 - Perspectivas del medio ambiente. Lima - Perú: Editorial TIMBO.

PNUMA, y FLACSO - Ecuador. (2011). Perspectivas del ambiente y cambio climático en el medio urbano: ECCO Distrito metropolitano de Quito. Quito - Ecuador.

PNUMA, y IIDS. (2009). Manual de Capacitación para Evaluaciones Ambientales Integrales y Elaboración de Informes GEO (László Pintér, Darren Swanson y Jacque Chenje ed.). Nairobi, Manitoba, Kenia.

PNUMA; GAD-Loja. (2007). Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: GEO LOJA. Loja - Ecuador.

Podwojewski, P., y Poulenard, J. (2000). Los suelos de los páramos del Ecuador. En P. Mena, C. Josse, & G. Medina, Los Suelos del Páramo. Quito, Pichincha, Ecuador: Serie Páramo 5. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Podwojewski, P., y Poulenard, J. (2000). Los Suelos del Páramo. (GTP, Ed.) Quito, Pichincha, Ecuador: Serie Páramo 5. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Podwojewski, P., Poulenard, J., Zambrana, T., y Hofstede, R. (2002). Overgrazing effects on vegetation cover and volcanic ash soil properties in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). Soil Use and Management, vol. 18, N° 1.

Portilla, J. G. (2003). Análisis del potencial de emisión de dióxido de carbono del páramo de Chingaza y Lineamientos para su conservación en el contexto del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de estudios ambientales y rurales, Bogotá - Colombia.

Proaño, M., Poats, S., y Silva, M. (2008). Propuesta de un modelo de retribución por los servicios ambientales en la Subcuenca del Río El Angel, Carchi, Ecuador. En P. Mena, Páramo: Servicios Ambientales. Quito - Ecuador: Serie Páramo 24. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Querelle. (2013). Profesor en línea. (Querelle y Cia Ltda). Clima: elementos y factores. En: <http://www.profesorenlinea.cl>

Quintero, M. (2010). Servicios ambientales hidrológicos en la región andina. (Primera Edición ed., Vol. I). Lima, Perú: IEP, CONDESAN.

Raymond, W. (2009). Microclimas del Mundo. Suite 101 Naturaleza y Animales. Vancouver - Canadá.

Regalado, C., Muñoz-Carpena, R., Socorro, A., y Hernández-Moreno, J. (2001). ¿Por qué los suelos volcánicos no siguen la ecuación de Topp? En J. López, M. Quemada, Sáenz, & Badillos (Edits.), Temas de Investigación en zona no saturada del suelo (Vol. V). Pamplona - España, España: Universidad Pública de Navarra.

Regalado, C., Ritter, A., y García, O. (2009). Caracterización de sensores electromagnéticos de humedad de suelo con fluidos estandar de permitividad conocida. En O. Silva, & J. Carrera, Estudios en la Zona No Saturada del Suelo (Vol. IX.). Barcelona - España, España.



Reynolds, J., Marathon, G., Rosales, L., y Wright, J. (2000). Ecuaciones de Volumen y Peso para Eucaliptus urophylla, el híbrido Eucalyptus grandis.

Rivera, M., Amézquita, E., Rao, I., y Menjivar, J. (2009). Variabilidad espacial y diaria del contenido de humedad en el suelo en tres sistemas agroforestales. Cali - Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Rosell, R. (1999). Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón - Chile.

Roth, C., Malicki, M. A., y Plagge, R. (1992). Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as the basis for calibrating soil moisture measurements by TDR. J. Soil Sci.

Rúa, M. (2010). Beneficios del Pastoreo Racional Voisin. Sitio Argentino de Producción Animal: URL: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

Rubio, C. (2005). Hidrodinámica de los suelos de una área de montaña media mediterránea sometida a cambio de uso y cubierta. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Barcelona - España.

Sadeghian, S., Rivera, J., y Gómez, M. (1998). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica: URL: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/Siavosh6.htm>

SADSN, (. d. (2013). Jefatura de gabinete de Ministros-Presidencia de la Nación. Síntesis del Proceso GEO-Argentina: <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=566>

SAF. (2010). Sistema de Administración Forestal. Aprovechamiento de los Recursos Forestales en Ecuador 2007-2009: URL: <http://servicios.ambiente.gob.ec/saf/estadisticas/Aprovechamiento%202007-2009.pdf>

Salas, J., e Infante, A. (2006). Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. Universidad de los Andes, Mérida - Venezuela.

Salinas, Z., y Hernández, P. (2008). Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía (Vol. No. 83). (R. Shek, Ed.) Turrialba - Costa Rica, CATIE.

Sánchez, J. (Enero de 2007). Fertilidad del Suelo y Nutrición Mineral de Plantas-Conceptos básicos. Agronegocios Peru: URL: <http://www.agronegociosperu.org/downloads/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>

SAP. (2008). Medición del contenido de humedad del suelo. Universidad de Chile, Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta, Santiago - Chile.

SEAN. (1994). Productos Agrícolas Transitorios, Por Condición de Riego y Tipo de Fertilizantes Utilizados a Nivel Nacional, 1993. INEC, Sistema Estadístico Agropecuario Nacional. 1994: Encuesta de Superficie y Producción por Muestreo de Áreas, 1993.

SENPLADES. (2012). Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. URL: <http://www.planificacion.gob.ec/>

SEP. (2005). Lineamientos para la formulación de indicadores educativos. Secretaría de Educación Pública, Dirección General de Planeación y Programación. México D.F. - México: Unidad de Planeación y Evaluación de Políticas Educativas.

SICA. (2000). Análisis comparativos de los resultados de los Censo de 1974 y 2000. Sistemas de Información y Censo Agropecuario: URL: [www.sica.gov.ec](http://www.sica.gov.ec)

SIGAGRO. (2010). Hoja de Balance de Alimentos del Ecuador. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Sistema de Información Geográfica para el Sector Agropecuario. Quito - Ecuador: MAGAP.

SIISE. (2013). Resumen de Indicadores. (Ministerio Coordinador de Desarrollo Social) Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador: URL: [http://www.siise.gob.ec/Indicadores\\_Prioritarios/fichas/ficindex\\_D002.htm](http://www.siise.gob.ec/Indicadores_Prioritarios/fichas/ficindex_D002.htm)

SINAGAP. (2013). Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (Coordinación General del Sistema de Información). Ministerio de de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca: URL: <http://servicios.agricultura.gob.ec/sinagap/>

SIRSAN. (2011). Sistema Regional de Indicadores de Seguridad Alimentaria y Nutricional. URL: <http://www.sica.int/SIRSAN/Indicadores.aspx?indicator=6&data=Datos.aspx%3FIndicator%3D2&dummy>

SNI. (2011a). Sistema Nacional de Información. (SENPLADES, Productor, & Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). URL: <http://app.sni.gob.ec/sni/>

SNI. (2011b). Indicadores de Educación. Sistema Nacional de Información: URL: <http://app.sni.gob.ec/web/sni>

SNI. (2011c). Indicadores Económicos. Sistema Nacional de Información: URL: <http://www.sni.gob.ec/documents/10156/473f1763-1c32-4665-9c6c-eab025a30b14>

Snowdon, P., Raison, J., Keith, Heather, Ritson, P., Grierson, P., y otros. (2002). Protocol for Sampling Tree and Stand Biomass. Technical report no. 31. Reporte, The Australian Greenhouse Office, Canberra - Australia.

SOCO. (Mayo de 2009). Agricultura sostenible y conservación de suelos. Erosión hídrica y compactación: URL: <http://agrilife.jrc.ec.europa.eu/documents/ESFactSheet-02.pdf>

Soil Survey Staff. (2010). Claves para la Taxonomía de Suelos. (Undécima Edición ed.). (D. d. Unidos, & Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Edits.)

Solsona, C., Neto, M., Ibáñez, M., y Rosell, J. (2001). Diseño, construcción y calibración de una sonda eléctrica de medida de contenido de agua en el suelo. En J. J. López, M. Quemada, Sáenz, & Badillos (Edits.), Temas de Investigación en la Zona No Saturada (Vol. V). Pamplona - España, España: Universidad de Navarra.

Suárez, E. (2009). Por un manejo sostenible de los páramos: aprovechamiento del carbono en el suelo de los páramos. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina, Proyecto Páramo Andino - PPA. Lima - Perú: CONDESAN. URL: [http://www.condesan.org/ppa/sites/default/files/recursos/archivos/Por\\_un\\_manejo\\_sostenible\\_de\\_los\\_p\\_ramos\\_0.pdf](http://www.condesan.org/ppa/sites/default/files/recursos/archivos/Por_un_manejo_sostenible_de_los_p_ramos_0.pdf)

Taco, L. (2009). Plan Estratégico de Desarrollo Turístico de la Parroquia de Píntag, Perteneciente a la provincia de Pichincha. Tesis de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Turismo y Preservación Ambiental, Quito - Ecuador.

Tenecora, J. (2012). Calibración de Sensores de Humedad. (Amalia Andrade, & Javier Yépez, Entrevistadores) Cuenca - Ecuador.

Thompson, L., y Troeh, F. (1988). Los suelos y su fertilidad. Barcelona - España. Editorial Reverté S.A.

Tobón, C. (2009). Los bosque andinos y el agua. (P. M. Vásconez, Ed.) Quito, Pichincha, Ecuador: La Caracola.

Tobón, C., Brujinzeel, L. A., Frumau, K., y Calvo, J. C. (2010). Changes in soil hydraulic properties and soil water status after conversion of tropical montane cloud forest to pasture in northern Costa Rica. En L. A. Brujinzeel, F. N. Scatena, & L. S. Hamilton, Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management. Cambridge - Reino Unido, Reino Unido: Cambridge University Press.

Tommer, M. D., Clothier, B. E., Vogeler, I., y Green, S. (1999). A dielectric water content relationship for sandy volcanic soils in New Zeland. Soil. Sci. Soc. Am. J.

Torres, F., y Recharte, J. (2007). Economías sanas en ambientes sanos: Los páramos, el agua y la biodiversidad para el desarrollo y competitividad agraria del norte peruano. Piura - Perú: INCAGRO, Instituto de Montaña.

UAE. (04 de Julio de 2011). Ecuador Agropecuario. El Misionero (342).Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil - Ecuador.

UE. (2006). Detener la Pérdida de Biodiversidad para 2010 - Y Más Adelante. Bruselas - Bélgica: Comisión de las Comunidades Europeas.

UNC. (2009). Universidad Nacional de Colombia - Direccion Nacional de Servicios Académicos Virtuales. URL: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/200912>

2/lecturas\_contenido/capitulo\_10/10\_1\_transformacion\_de\_ecosistemas\_en\_colombia/5/5\_3\_1\_procesos\_segundo\_nivel.htm

UNESCO. (2009). Indicadores de la Educación. Especificaciones Técnicas. París - Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura.

Valencia, C. (2004). Prácticas para la asignatura de edafología. Universidad Nacional Autónoma de México, Ingeniería Agrícola, Cuautitlán - México.

Valencia, C. (2011). Estudio Edafológico y Agrológico con fines de Planificación Agropecuaria en la hacienda "La Valencia" ubicada en Píntag, cantón Quito, prov. de Pichincha. ESPE, Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias, Sangolquí - Ecuador

Vallejo, M. (2010). Diversidad Biológica del Ecuador. Quito - Ecuador.

Vallejo, S. (2002). Perfil del Sector Agropecuario Ecuatoriano. Quito - Ecuador. URL: [www.sica.gov.ec/agro/docs/perfil1998-2002.pdf](http://www.sica.gov.ec/agro/docs/perfil1998-2002.pdf).

Van der Hammen, T. (2002). Los páramos de Colombia: diagnóstico, cambio global y conservación. En Ministerio del Medio Ambiente, CAR, & IDEAM (Ed.), Congreso Mundial de Páramos, (págs. 60-71). Bogotá - Colombia.

Vega, E., y Martínez, D. (2000). Productos Económicamente Sustentables y Servicios Ambientales del Páramo. (P. Mena, G. Medina, & C. Josse, Edits.) Quito, Pichincha, Ecuador: Serie Páramo 4. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Velástegui, A., y López, V. (2011). Análisis Geoespacial y Estadístico Preliminar de la Actividad Minera en los Páramos del Ecuador. En P. Mena, N. Ochoa, & S. Flores, Páramo: Nuevos Conocimientos, Nuevos retos (Vol. 28). Quito - Ecuador, Ecuador: Serie Páramo 28. GTP - Abya Yala. Ecociencia.

Villacís, B., y Carrillo, D. (2012). País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). Quito - Ecuador: Edición Especial Revista Analítica.

Zamora, J., y Cristancho, F. (2008). La Humedad en las Propiedades Físicas del Suelo. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Física, Bogotá - Colombia.

## **ANEXOS**

**ANEXO No 1**

**CALIBRACION DE SENSORES DE HUMEDAD TDR PARA  
SUELOS DE LA COBERTURA VEGETAL PASTOS**

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objeto de calibrar sondas Time Domain Reflectometry (TDR)-CS625 para estimar el contenido de agua del suelo bajo la cobertura vegetal Pastos, en base a la señal del TDR expresada en microsegundos ( $\mu\text{s}$ ) a tres horizontes: superficial ( $S_1$ ), medio ( $S_2$ ) y profundo ( $S_3$ ) a profundidades de 30, 60 y 90 cm., respectivamente. Se determinaron los coeficientes de correlación, las curvas y ecuaciones de calibración (lineales y cuadráticas) para cada horizonte. Los coeficientes de correlación obtenidos fueron de 0,80 para  $S_1$ , 0,98 para  $S_2$  y 0,97 para  $S_3$ . Los coeficientes de determinación  $R^2$  fluctuaron entre 0,762 y 0,971 para los diferentes horizontes, con valores de RMSE de 6,891, 4,744 y 5,387 para  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$ , respectivamente. Al finalizar este trabajo, se recomienda la realización de trabajos de validación en campo de las ecuaciones de calibración, considerando las condiciones naturales del suelo.

## INTRODUCCIÓN

Son escasos los estudios acerca del monitoreo permanente del contenido de agua del suelo en el ecosistema páramo en particular (Borja y otros, 2008). El agua en el suelo varía continuamente con la profundidad, lo cual hace que las mediciones de humedad del suelo sean a menudo costosas y problemáticas, debido en parte a la gran heterogeneidad natural, además de los problemas asociados a la descripción de procesos del agua en el suelo (Loaiza y Pauwels, 2008).

Una buena alternativa para la toma de datos de humedad en campo es el uso de sensores de humedad del suelo y así estudiar el comportamiento del agua al interior del perfil de suelo (Loaiza y Pauwels, 2008). Al efectuar un monitoreo con sensores de humedad, aumenta el nivel de incertidumbre en la parte superior del suelo, ya que a éste nivel se encuentra una fuerte influencia del aire. Según Regalado y otros (2009), existen ciertas dudas que se generan como consecuencia de la propia variabilidad intrínseca del medio suelo, la salinidad y/o composición del mismo, o de la inserción de la sonda y alteración de la muestra.

Por esta razón, de acuerdo con Gutiérrez y otros (2003), se recomienda realizar calibraciones independientes para cada sensor.

En este estudio, se utilizaron sensores TDR para conocer el contenido de humedad del suelo para diferentes profundidades en la zona bajo cobertura vegetal pastos. El objetivo del estudio fue buscar una curva de calibración óptima para el suelo bajo la cobertura pastos que permita la determinación de los valores reales de humedad del suelo.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **SITIO DE ESTUDIO**

La zona de estudio está localizada en la hacienda Pazmiño, en las faldas del volcán Sincholagua, parroquia Píntag, del cantón Quito, provincia de Pichincha.

La superficie de estudio se encuentra a una altitud de 3634 msnm., tiene un área de 26,26 ha, con un rango de pendiente que varía entre 12 y 17%. La temperatura varía entre 2,48 a 20,89 °C, con valores promedio de 9,26°C. La precipitación total anual en el año 2010 fue de 1113,9 mm (Fuentes y Tapia, 2011).

En cuanto al uso actual de suelo viene dado por el sobrepastoreo de ganado vacuno, que lo convierte en un ecosistema muy intervenido debido a la acción antrópica (GADPP, 2012). Su cobertura vegetal está compuesta en su mayor parte por el estrato terrestre (83%), seguido del herbáceo (14%) y en menor cantidad por el estrato arbustivo (3%).

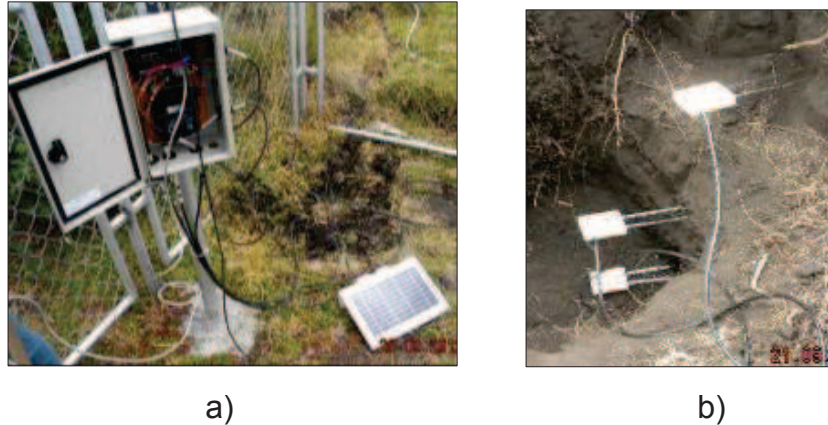
### **ADQUISICIÓN DE DATOS**

La información fue obtenida de la estación meteorológica de la zona, la cual está monitoreada por el Fondo para la Protección del Agua (FONAG). La estación fue equipada con tres sensores TDR-CS625 Campbell Scientific (de dimensiones: 30 cm de longitud y 3,2 mm de espesor) (CAMPBELL SCI., 2006), colocados a 30, 60 y 90 cm de profundidad. Los datos de humedad del suelo han sido registrados y almacenados con un intervalo de quince minutos, utilizando dataloggers CR 200 Campbell Scientific.



## TRABAJO DE CAMPO REALIZADO

**Figura 8.1 Extracción del a) datalogger, panel solar y b) Sensores de Humedad o TDRs**



Fuente: Hacienda Miranda – Plantación con especies nativas pajonal y Hacienda Pazmiño - Pastos

El trabajo de campo consistió en la extracción del datalogger, el panel solar, sensores de humedad (TDRs) y muestras de suelo. Los equipos de medición de humedad fueron trasladados e instalados en laboratorio para el monitoreo del contenido de humedad durante el proceso de calibración (Ver Figura 8.1a y Figura 8.1b).

**Figura 8.2 Extracción de muestras en campo y traslado al laboratorio para realizar la calibración**



Fuente: Hacienda Miranda – Plantación con especies nativas pajonal y Hacienda Pazmiño – Pastos.

La calibración de la sonda TDR-CS625 se realizó a partir de muestras de suelo de los horizontes superficial ( $S_1$ ), medio ( $S_2$ ) y profundo ( $S_3$ ), a profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, respectivamente, confinadas en anillos metálicos de 40 cm

de diámetro (volumen aprox. de 38000 cm<sup>3</sup>) y cubiertas con envolturas plásticas para evitar la pérdida de humedad (Ver Figura 8.2). Estos anillos fueron etiquetados de acuerdo a la profundidad del horizonte y, posteriormente trasladados al laboratorio.

### **TRABAJO DE LABORATORIO REALIZADO**

La fase de laboratorio consistió en humedecer las muestras de suelo durante un mes aproximadamente, a razón de 0,25 lt día hasta alcanzar las condiciones de saturación (Loaiza y Pauwels, 2008). El nivel de saturación de las muestras de suelo se determinó conectando cada sonda TDR (3 en total) con su respectiva muestra de suelo. Los resultados de la variación del contenido de humedad almacenados en el datalogger, mostraron que las muestras de suelo alcanzaron su punto máximo de humedad (49%, 50% y 57% para S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub>, respectivamente, cuyo promedio fue de 52%).

Una vez que las muestras llegaron a su condición saturación, se las sometió al proceso de secado a temperatura ambiente, colocándolas en un lugar que favorezca dicho proceso (Borja y otros, 2008) en el día y tapándolas durante toda la noche para favorecer la homogeneización de la humedad (López y otros, 2005); posteriormente se empleó el método gravimétrico para conocer el contenido de humedad de las mismas, en relación a la masa de las partículas de suelo, con la aplicación de la siguiente ecuación (García y otros, 2006):

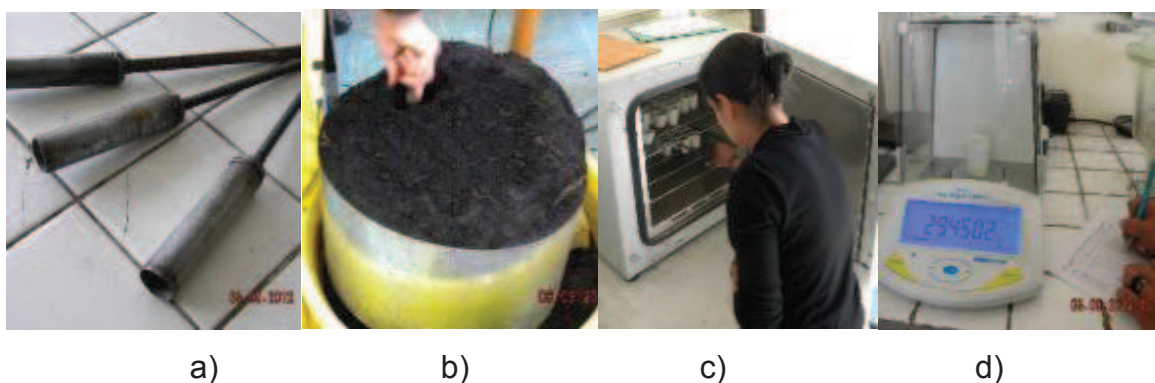
$$CH = \frac{(PH - Pc) - (PS - Pc)}{(PS - Pc)} \times 100$$

Donde: CH: Contenido de Humedad (%), PH: Peso del crisol con la muestra húmeda (g), PS: Peso del crisol con la muestra seca (g), y Pc: Peso del crisol (g).

Para el desarrollo del método gravimétrico se utilizaron cilindros pequeños (2cm de diámetro y 10 cm de altura) (Ver Figura 8.3a), que sirvieron para extraer 3 submuestras de suelo por cada muestra en forma periódica (Ver Figura 8.3b), colocándolas en crisoles para el proceso de secado a 105°C por 24 horas (Ver Figura 8.3c), y pesándolas en una balanza de precisión (Ver Figura 8.3d), determinando así su pérdida de peso (Loaiza y Pauwels, 2008). Este

procedimiento se realizó tomando como referencia los cambios de humedad registrados por los sensores con el propósito de poder construir una curva que refleje el comportamiento del suelo en cuanto a su contenido de humedad (Borja y otros, 2008).

**Figura 8.3 Vista de: a) cilindros, b) extracción de submuestras de suelo, c) secado de submuestras, y d) pesaje de submuestra seca.**



Fuente: Instalaciones de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional

El monitoreo y extracción de submuestras culminó una vez que el porcentaje de humedad registrado por los sensores se mantuvo constante por un período mayor a dos semanas (23%, 15% y 19% para  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$ , respectivamente), según lo recomendado por Tenecora (2012).

Los valores de humedad del suelo obtenidos a través del método gravimétrico se transformaron a humedad volumétrica considerando la densidad aparente del suelo ( $D_{ap}$   $g/cm^3$ ), mediante la ecuación (2.3) del numeral 2.2.3.1 Contenido de humedad del suelo, ubicado en el CAPÍTULO 2 del presente estudio.

## **DISEÑO ESTADÍSTICO**

Para el análisis estadístico de los datos se realizó una regresión lineal y se compararon los parámetros de lectura de la señal del TDR (microsegundos  $\mu s$ ) como variable independiente y humedad volumétrica ( $cm^3/cm^3$ ) como variable dependiente.

Las ecuaciones para calibración de la recta son del tipo  $y=ax+b$  (Loaiza y Pauwels, 2008). Siendo  $a$  y  $b$ , los coeficientes o constantes de dicha ecuación,  $x$  está representada por la señal de los TDRs,  $y$  es el valor de contenido de humedad volumétrico.

Adicionalmente, se determinaron ecuaciones cuadráticas que se ajustaron de mejor forma a los valores obtenidos (CAMPBELL SCI., 2006), sobre todo en el horizonte superficial ( $S_1$ ). Con el fin de comparar la bondad de las calibraciones se calculó el coeficiente de determinación  $R^2$  (Arriaga y otros, 2011). Además, se utilizó como medida de la diferencia de datos, la raíz del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés) (Hyndman y Koehler, 2006), el cual ofrece información sobre la dispersión de los valores medidos volumétricamente y los medidos por los sensores de humedad (Loaiza y Pauwels, 2008). El RMSE es calculado como:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N \theta_o n - \theta_s n^2}}{N}$$

Donde:

$N$ : número de observaciones o datos en el tiempo,  $\theta_o$  y  $\theta_s$  son los valores de humedad volumétrica calculada y humedad volumétrica registrada por los TDRs, respectivamente.

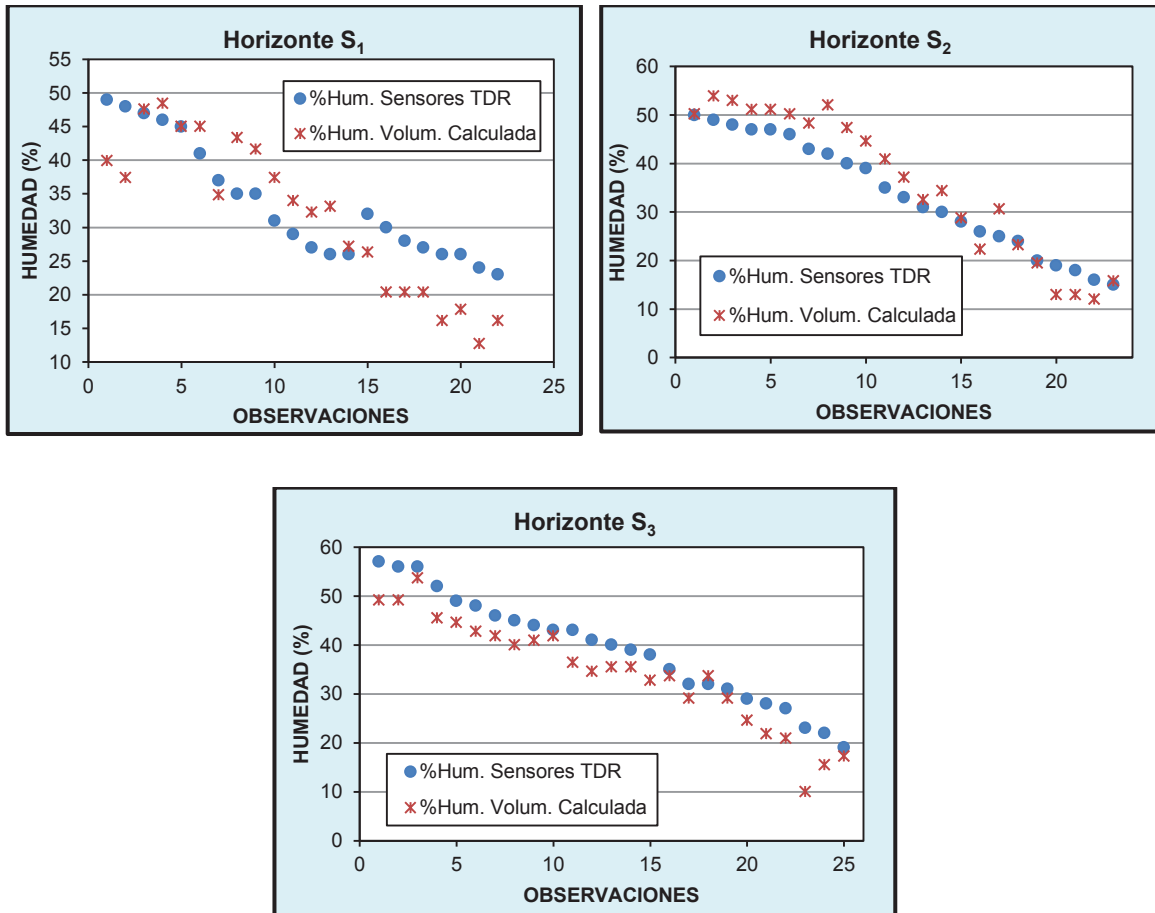
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 8.4 se puede observar que existe una mayor dispersión entre los valores de Humedad de los sensores y los valores de humedad volumétrica calculada, para el caso del horizonte superficial ( $S_1$ ); esto debido a diversos factores, como una inadecuada manipulación y cambio de condiciones naturales de las muestras, que en el momento mismo de su extracción se convierten en muestras alteradas, además de la falta de precisión en la toma de datos.

En las tres gráficas se puede apreciar una tendencia de tipo lineal, reflejándose en los altos valores de correlación obtenidos (0,80, 0,98, y 0,97 para  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$ ,

respectivamente) entre los valores de humedad registrados por los sensores y los obtenidos mediante el cálculo de la humedad volumétrica.

**Figura 8.4 Distribución de los datos de humedad volumétrica calculada y lectura de sensores de los diferentes horizontes**

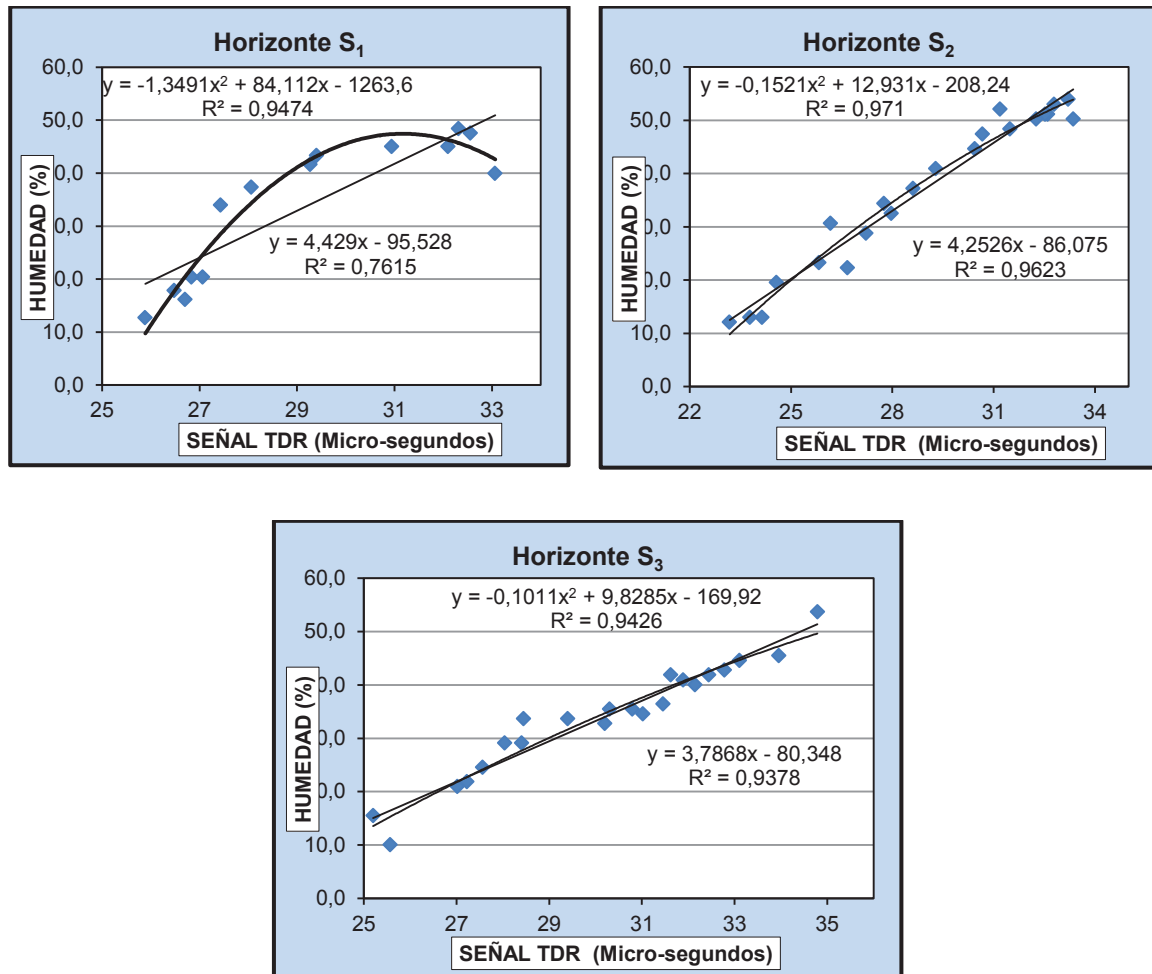


Elaborado por: Autores

Se determinaron ecuaciones para cada uno de los sensores, que permitieron establecer relaciones entre humedad del suelo y señal del TDR. Para ello, se realizaron dos tipos de ajustes: ajustes lineales y ajustes polinómicos de segundo grado; resultando estos últimos ligeramente más fiables. El Cuadro 8.1 muestra los resultados de las curvas de calibración para los horizontes S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub>, las cuales se encuentran representadas gráficamente en la Figura 8.5.

En los horizontes S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub> se mostró una tendencia similar de las líneas de calibración tanto polinómica como lineal, lo cual reveló un ajuste significativo entre 25,83 y 31,48  $\mu\text{s}$  (23,3% y 48,4% de humedad) y 27,22 y 32,44  $\mu\text{s}$  (21,8% y 41,9% de humedad) para S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub>, respectivamente.

Figura 8.5 Curvas de calibración para los diferentes horizontes



Elaborado por: Autores

Por otra parte se observaron serias discrepancias en la tendencia de las líneas de calibración polinómica y las de ajuste lineal para S<sub>1</sub> lo que sugiere limitantes para la estimación del valor de humedad volumétrica a partir de la señal o tiempo en  $\mu$ s registrado por el TDR correspondiente a este estrato.

No obstante al realizar el ajuste a través de ecuaciones polinómicas de segundo grado, permitió mejorar notablemente el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> para el sensor del horizonte S<sub>1</sub>, obteniéndose un valor de 0,947 (en relación al valor de R<sup>2</sup> de 0,761 del ajuste lineal); mientras que para los dos horizontes restantes, la diferencia no fue significativa, mostrándose variaciones en el valor de R<sup>2</sup> en la segunda cifra decimal, con valores que fluctuaron entre 0,938 y 0,962 (Ver Cuadro 8.1).

Los valores de RMSE son altos para los tres horizontes, sobre todo para los valores de humedad estimados por el TDR del horizonte  $S_1$ , los cuales difieren más de las cifras reales, a diferencia de los valores de los horizontes  $S_2$  y  $S_3$ , que son algo más apegados a la realidad, como se indica en el Cuadro 8.1, y se puede visualizar gráficamente en la Figura 8.6.

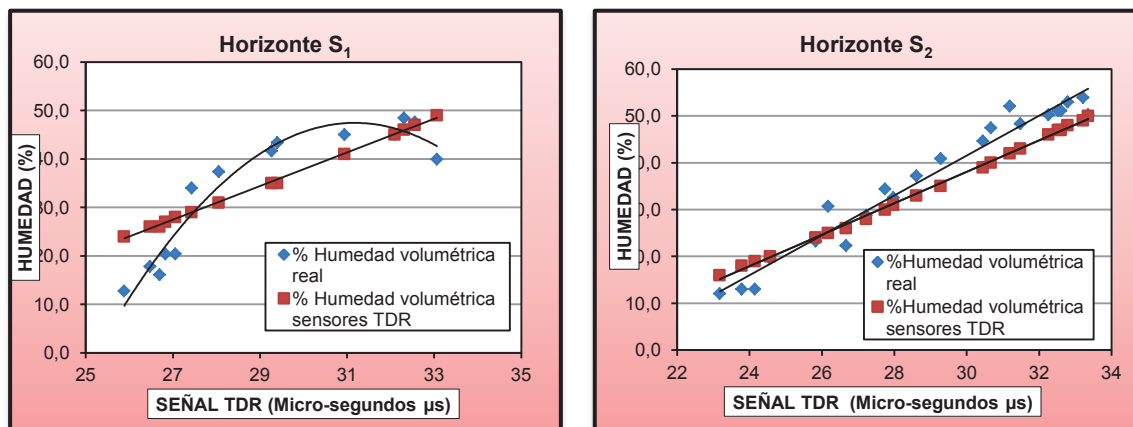
**Cuadro 8.1 Resultados de las ecuaciones de calibración de los sensores**

HORIZONTE	PROF. (cm)	TIPO ECUACIÓN	COEFICIENTES			R <sup>2</sup>	RMSE
			a	b	c		
Superficial (S <sub>1</sub> )	0 - 30	Lineal	4,429	-95,598	--	0,762	6,891
		Cuadrática	-1,349	84,112	-1263,6	<b>0,947</b>	
Medio (S <sub>2</sub> )	30 - 60	Lineal	4,253	-86,075	--	<b>0,962</b>	4,744
		Cuadrática	-0,152	12,931	208,24	0,971	
Profundo (S <sub>3</sub> )	60 - 90	Lineal	3,787	-80,348	--	<b>0,938</b>	5,387
		Cuadrática	-0,101	9,8285	-169,92	0,943	

Elaborado por: Autores

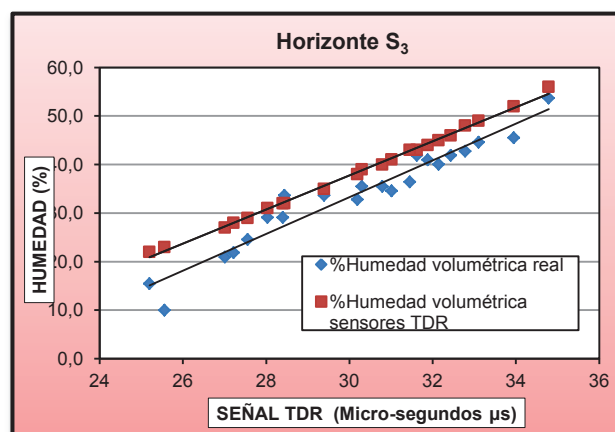
Los gráficos de la Figura 8.6 muestran la variación entre los datos de contenido de humedad volumétrica real y los determinados por los TDRs, en función de la señal de los sensores en microsegundos, en donde la humedad volumétrica real difiere notoriamente de los valores registrados por los sensores, específicamente para el horizonte  $S_1$ ; no obstante, en el caso de los horizontes  $S_2$  y  $S_3$ , hay una relativa similitud entre los valores de humedad reales y de los sensores.

**Figura 8.6 Comparación de datos entre humedad real y humedad de los sensores en función de la señal de los TDRs**



Elaborado por: Autores

**Figura 8.6 CONTINUACIÓN**



Elaborado por: Autores

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sensores de humedad TDRs son una herramienta válida para la determinación del contenido de humedad del suelo, la cual puede ser utilizada a diferentes escalas temporales y espaciales. Sin embargo, para el caso de los suelos de páramo, debido a su alto contenido de materia orgánica y de humedad, es necesaria una calibración previa, la cual no siempre obtiene los resultados esperados; ya que el proceso de calibración no está exento de fallas humanas, tanto en la toma de datos y monitoreo de las muestras de suelo, así como del funcionamiento de los equipos. Ventajosamente, la obtención de la humedad volumétrica a partir de los datos gravimétricos permite una calibración más fiable y eficiente de los sensores de humedad del suelo.

Del presente trabajo de calibración de sensores TDR, se puede concluir que existe una correlación de proporcionalidad directa entre los valores de humedad registrados por los sensores y los obtenidos a partir de la humedad volumétrica.

Las ecuaciones, cuadrática para S<sub>1</sub> y lineales para S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub>, mostraron altos valores de R<sup>2</sup>, reflejando una alta confiabilidad de aplicación de estos, cuanto más cercanos a 1 se encuentren.

El RSME brinda un criterio para determinar el nivel de precisión con que los sensores miden o registran los valores de contenido de humedad; por lo tanto, a



menor valor de RMSE, más similitud existe entre los valores de humedad de los sensores con los datos de humedad calculados.

De las ecuaciones obtenidas en el Cuadro 8.1 se puede deducir que para el horizonte  $S_1$  se ajusta la ecuación cuadrática  $y = -1,349 x^2 + 84,112 x - 1263,6$ ; mientras que para los horizontes  $S_2$  y  $S_3$ , se pueden tomar como válidas las ecuaciones lineales  $y = 4,253 x - 86,075$  y  $y = 3,787 x - 80,348$ , respectivamente.

Se debe tomar en cuenta que la calibración se hizo en laboratorio, con el fin de controlar factores físicos y meteorológicos; sin embargo, se recomienda la realización de trabajos de validación *in situ* de las ecuaciones de calibración en las condiciones en las cuales los equipos de medición de humedad trabajarán normalmente, donde se mantengan las condiciones naturales del suelo.

**ANEXO No 2**

**MAPAS**

Figura 8.7 Mapa de Isotermas de la Parroquia de Píntag

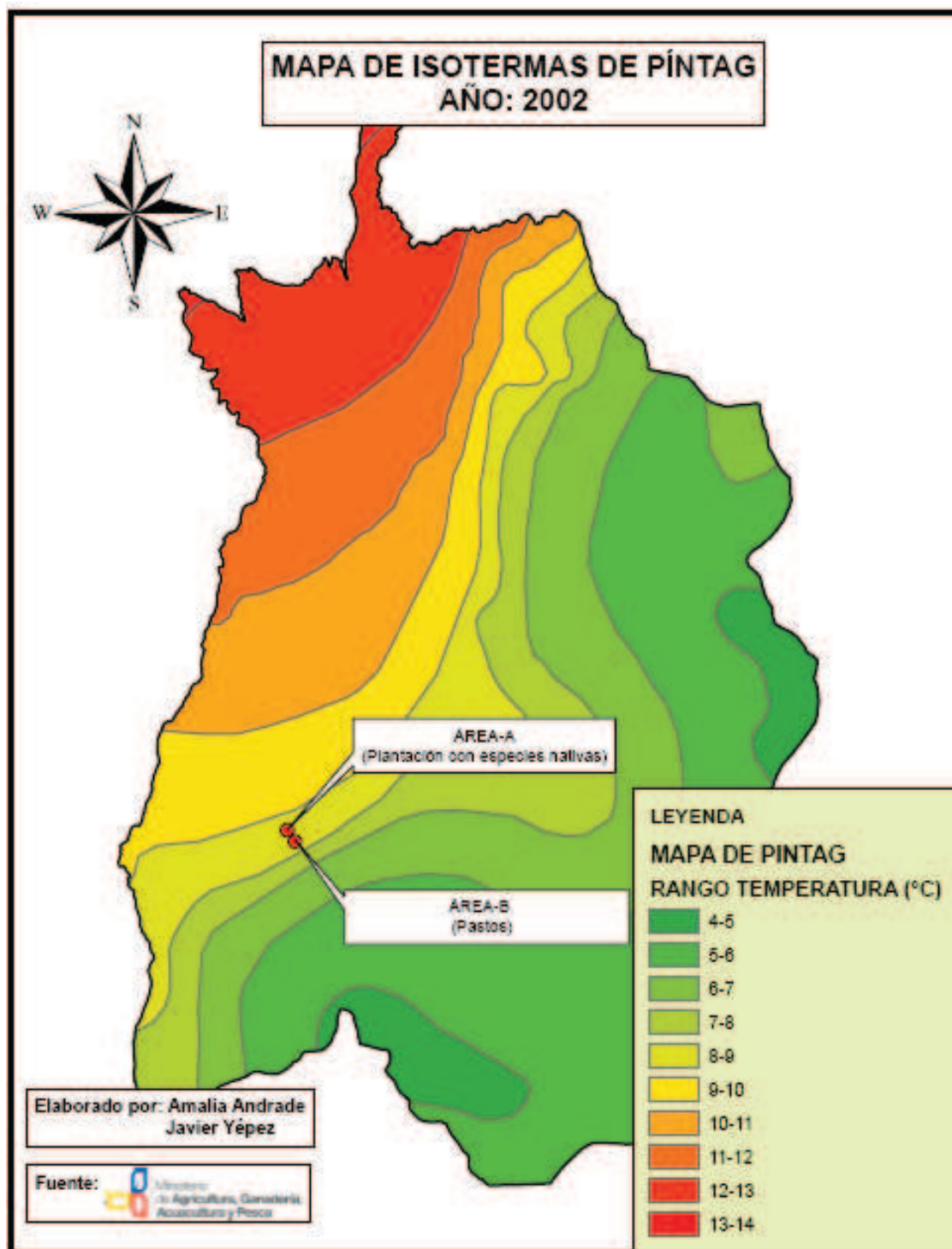


Figura 8.8 Mapa de Isoyetas de la Parroquia de Píntag

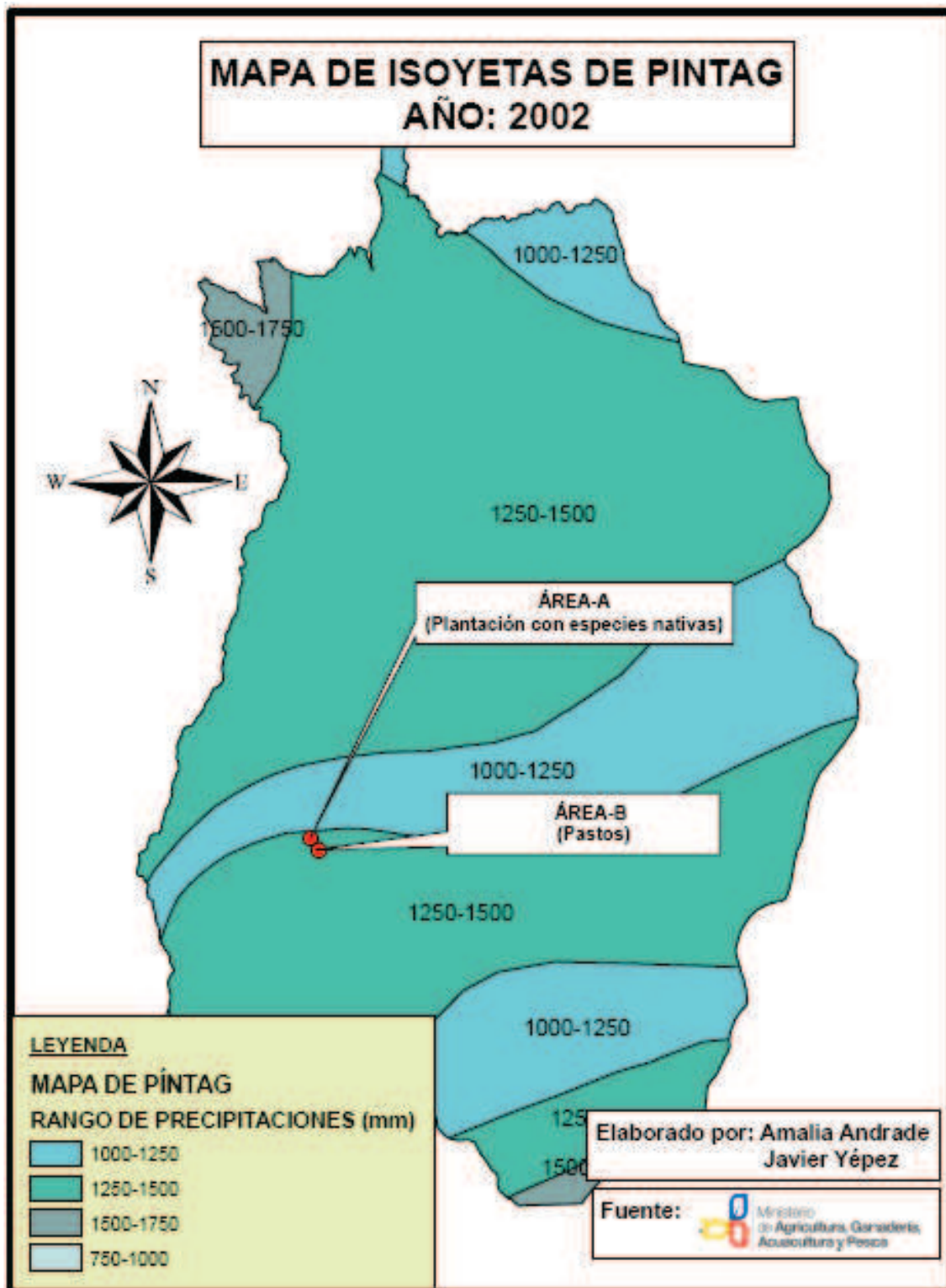


Figura 8.9 Mapa Taxonómico de Píntag

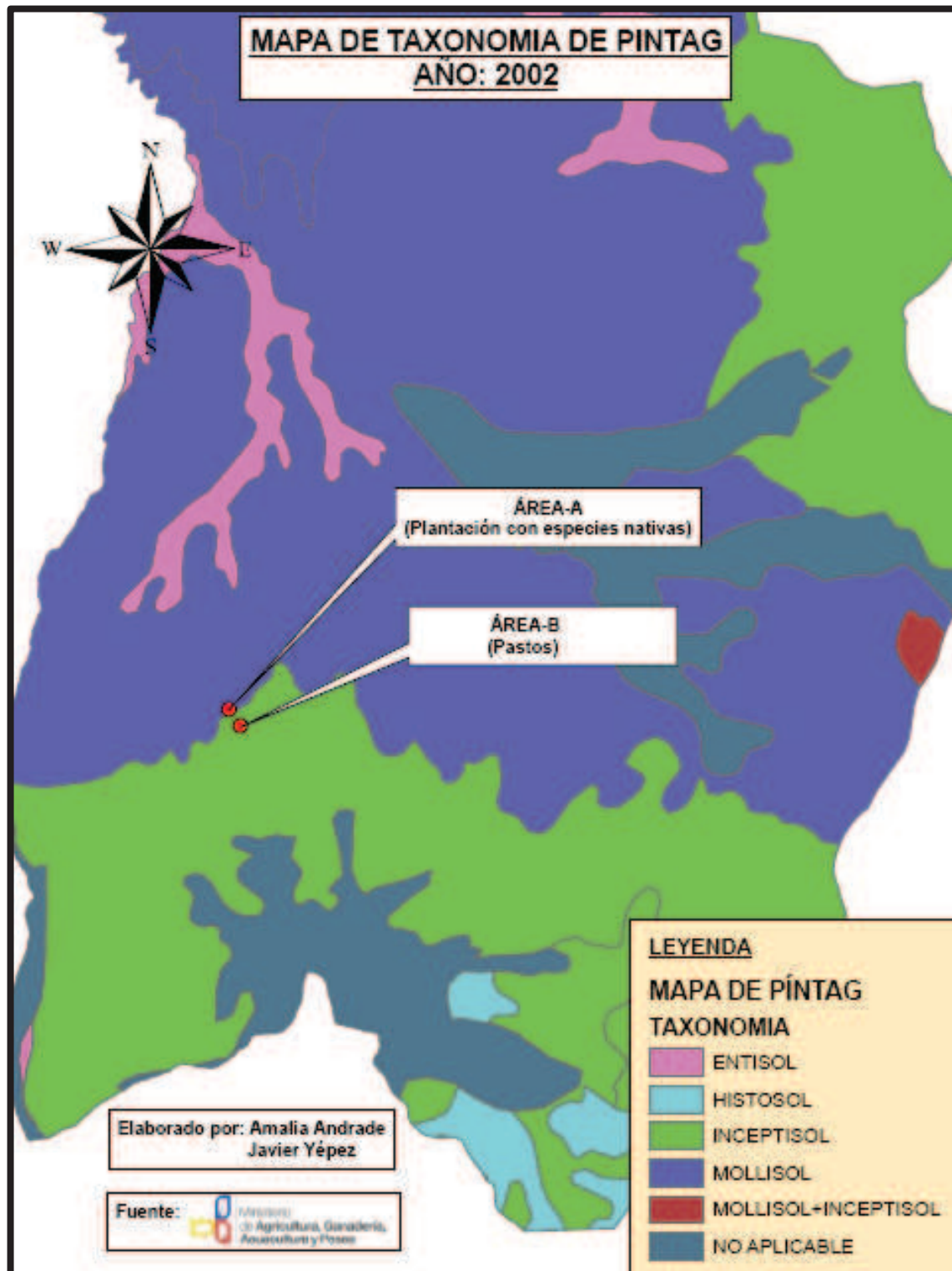


Figura 8.10 Mapa de Pendientes de Píntag

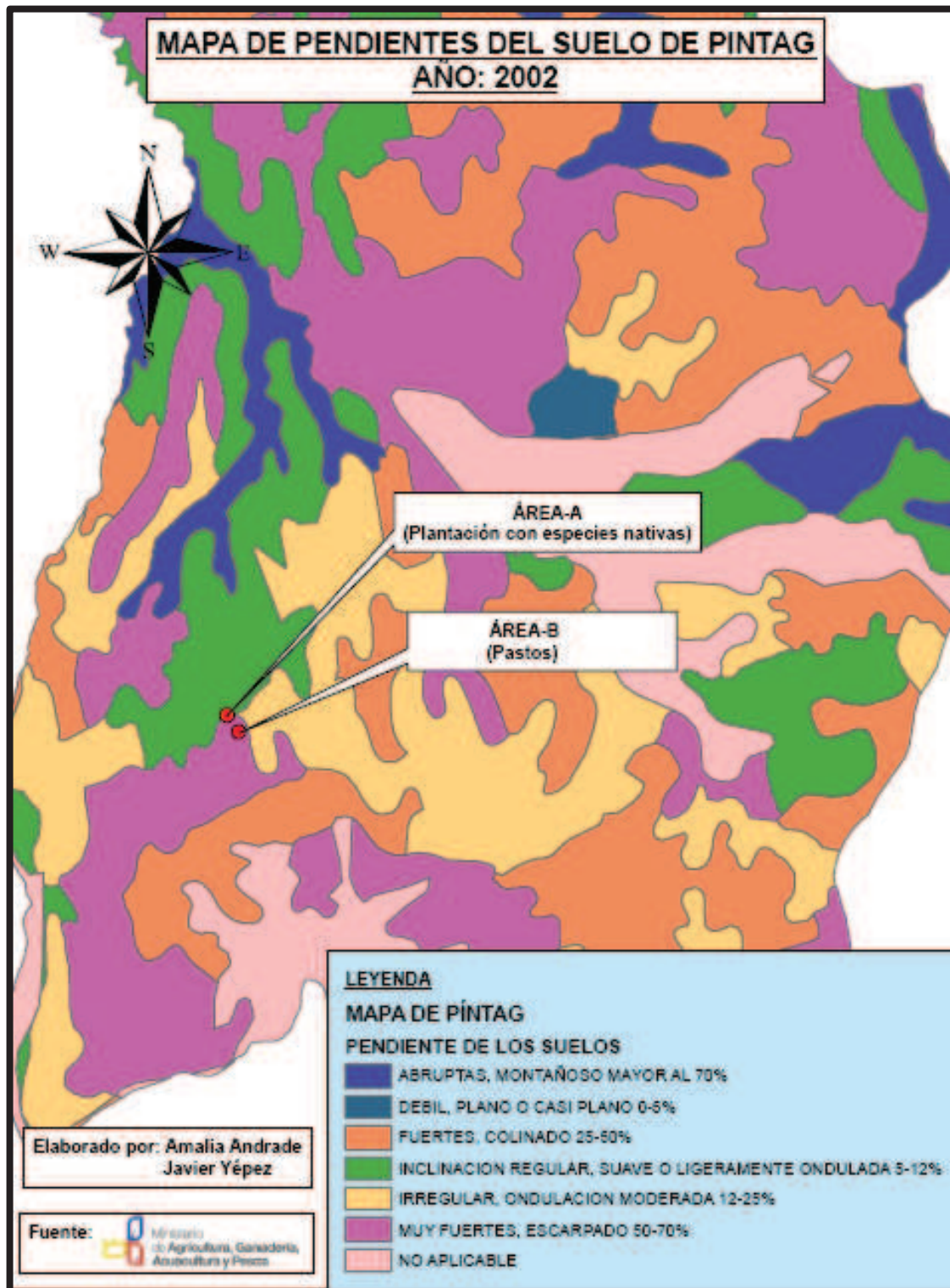


Figura 8.11 Mapa de Textura del suelo de Píntag

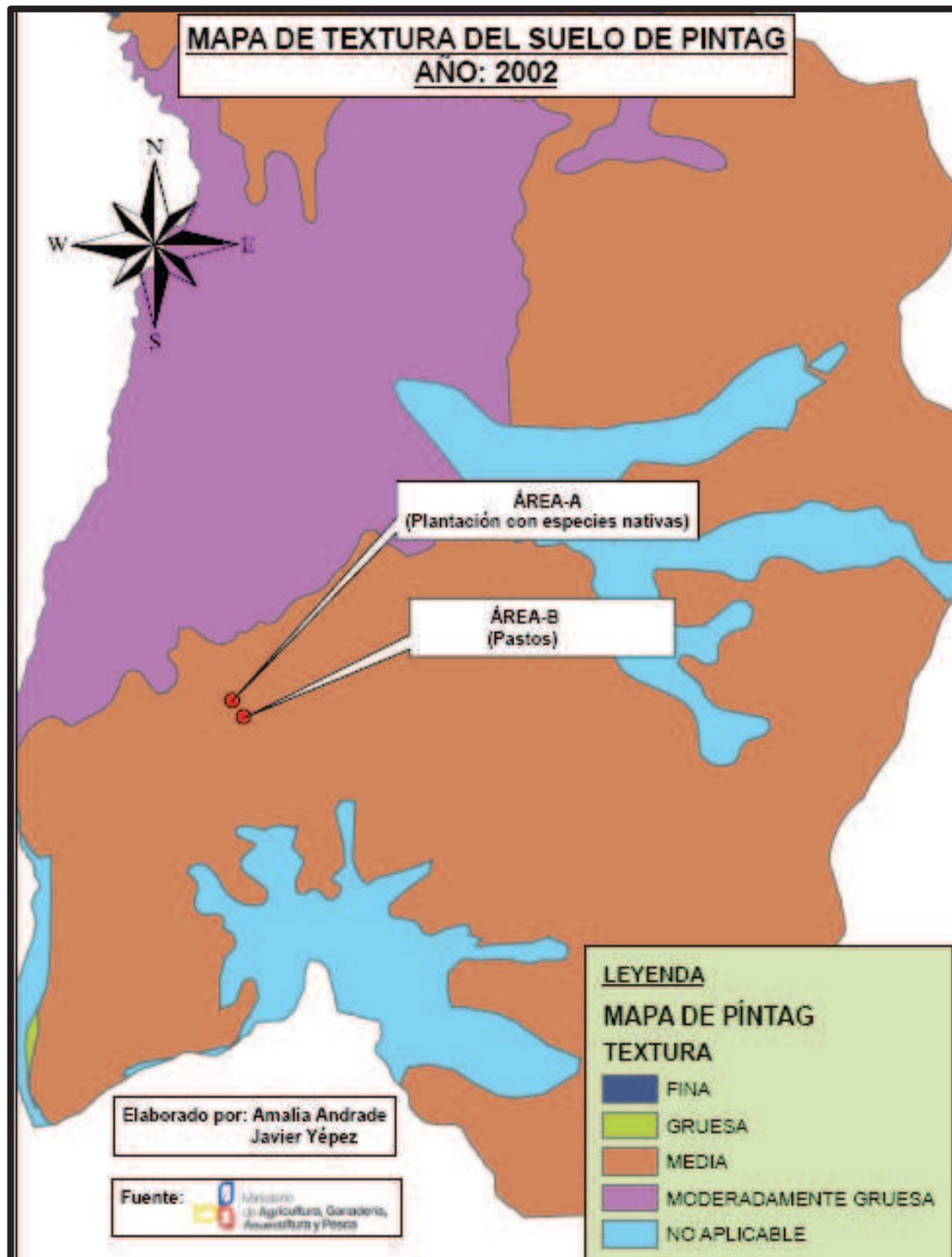


Figura 8.12 Mapa de Conflicto de uso de suelo de Píntag

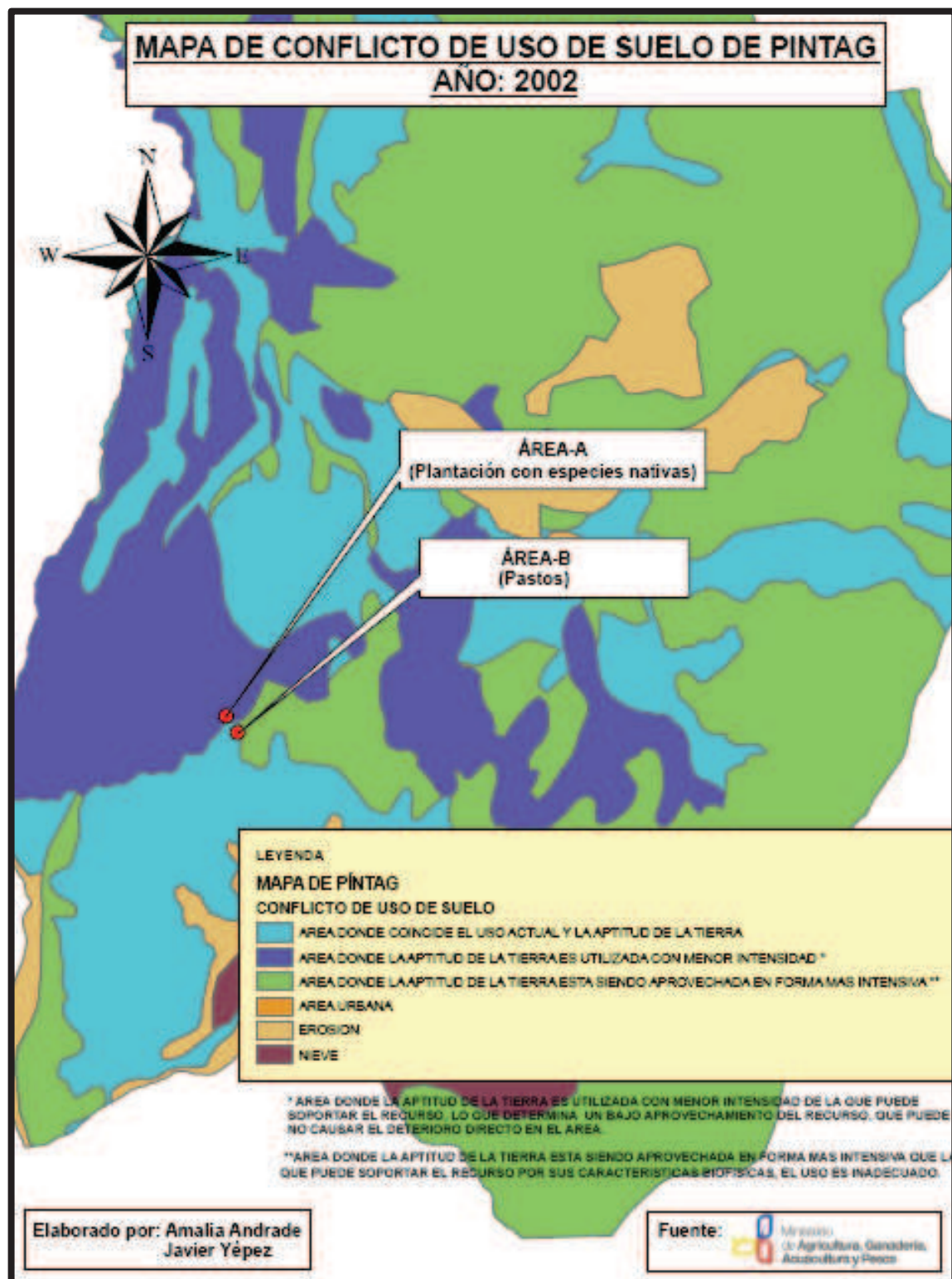




Figura 8.13 Mapa de Aptitudes agrícolas de Píntag

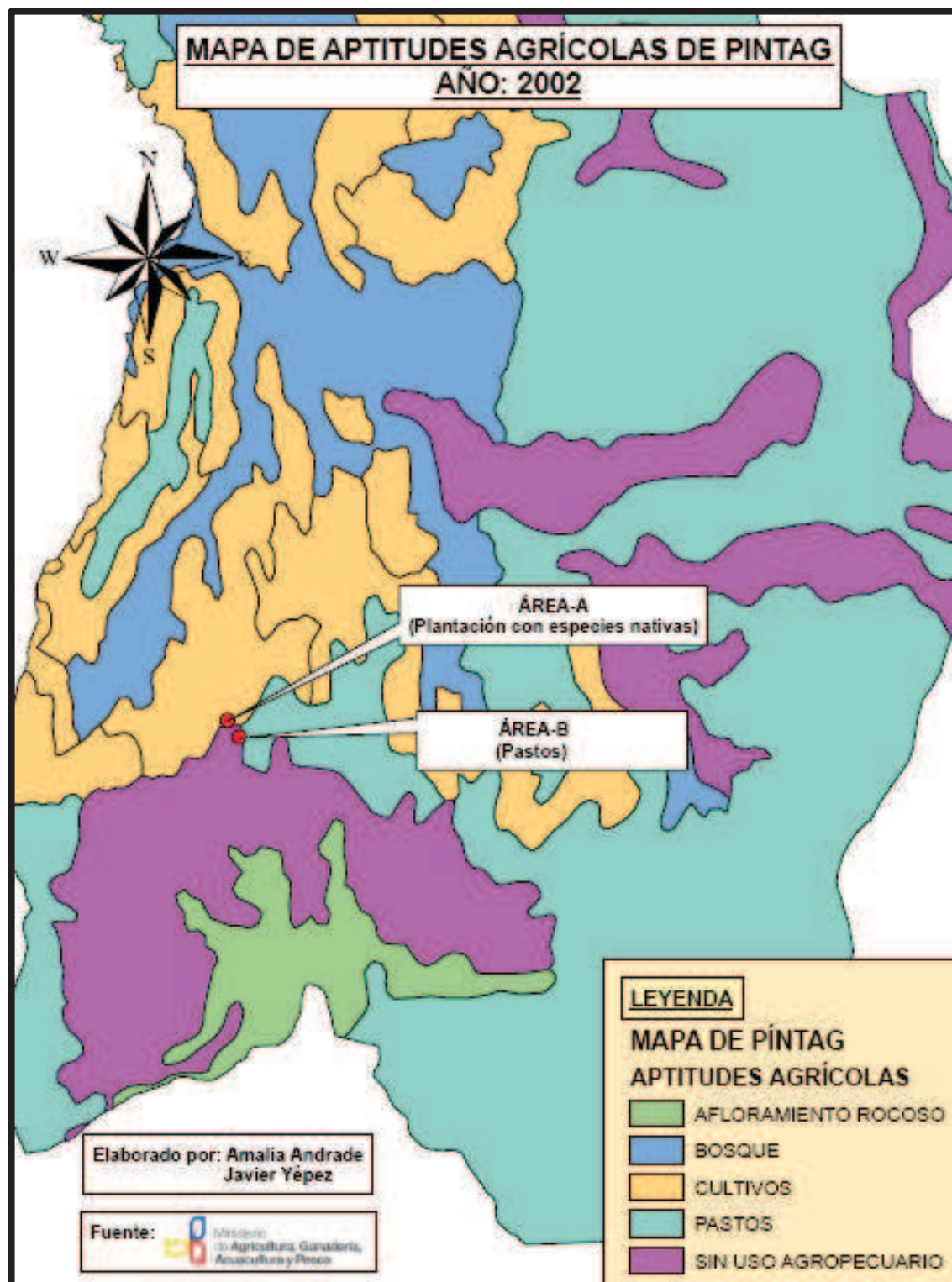
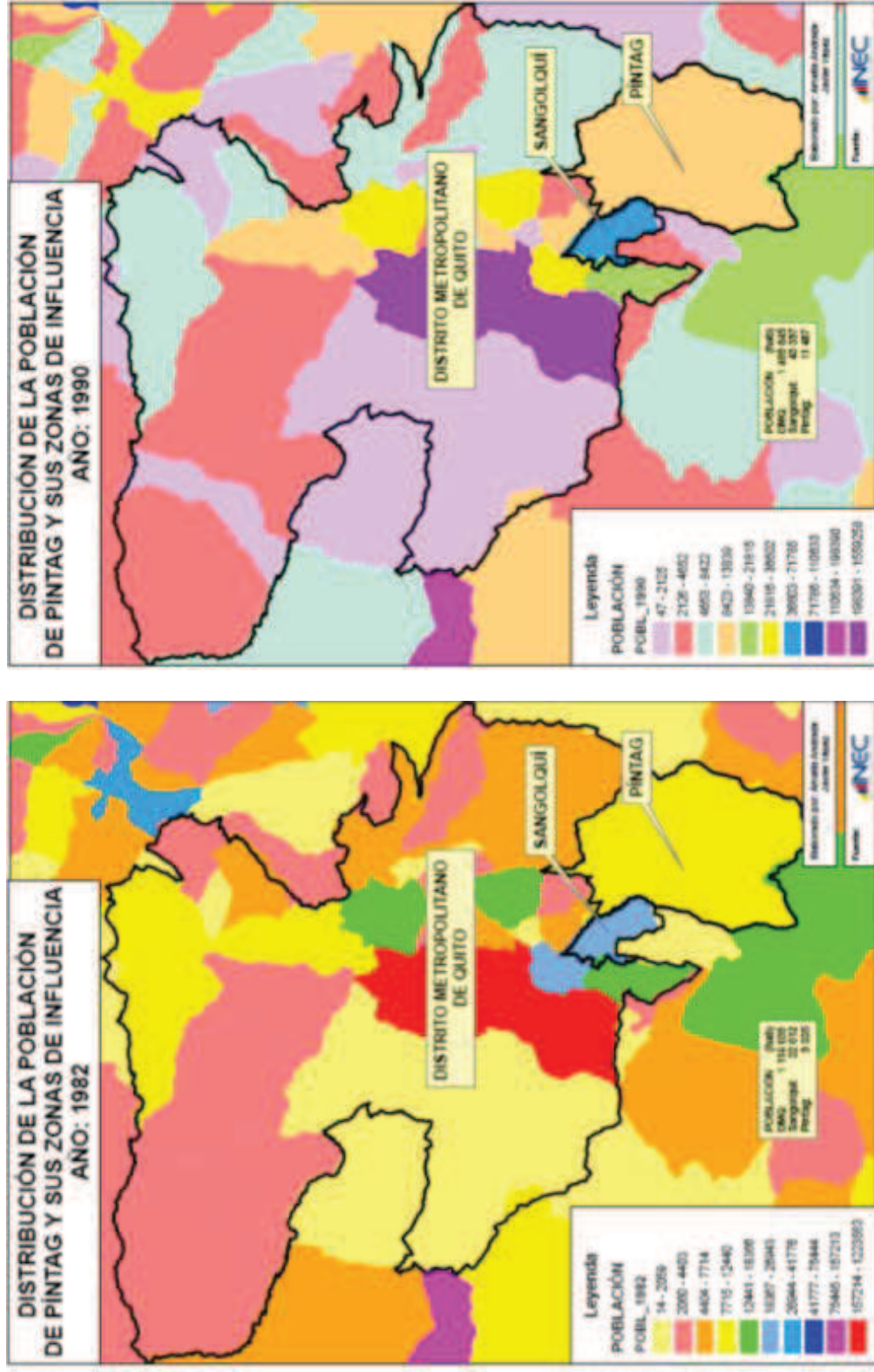


Figura 8.14 Mapa de Distribución Poblacional de Píntag y sus zonas de influencia y sus zonas de influencia, años: 1982 y 1990



Fuente: (INEC, 2011).

**ANEXO No 3**

**COBERTURAS VEGETALES Y USOS DE SUELO DEL  
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

**Cuadro 8.2 Superficies de ocupación de las diferentes categorías, clases y subclases del mapa de cobertura vegetal del DMQ.**

NIVEL I Categoría	Ha	%	NIVEL II Clase	Ha	%	NIVEL III Subclase	Ha	%
2. Bosque bajo y arbustal altimontano paramuno	3909	0,92						
3. Bosque altimontano norte-andino de Polylepis	141	0,03						
4. Bosque montano pluvial de los Andes del Norte	44953	10,60						
5. Bosque siempreverde estacional montano bajo	31277	7,38						
6. Bosque pluvial piemontano de los Andes del Norte	7323	1,73						
2. Bosques secos	722	0,17	7. Bosque seco interandino	640	0,15			
			8. Vegetación ribereña del piso montano xerofítico	82	0,02			
3. Arbustos húmedos	46525	10,97	9. Arbustal bajo y matorral altoandino paramuno	6208	1,46			
			10. Arbustal montano de los Andes del Norte	40317	9,51			
4. Arbustos secos	36690	8,65	11. Arbustal seco interandino	36690	8,65			
5. Herbazales húmedos	45211	10,66	12. Vegetación geliturbada y edafoxerófila subnival paramuna	43	0,01			
			13. Bofedal altoandino paramuno	257	0,06			
			14. Pajonal altimontano y montano paramuno	38689	9,12			
			15. Pajonal edafoxerofílico altimontano	6222	1,47			
6. Herbazales secos	2665	0,63	16. Vegetación saxícola montana interandina de los Andes del Norte	548	0,13			
			17. Herbazal montano	2117	0,5			

Fuente: (MDMQ, 2011)

Cuadro 8.2 CONTINUACIÓN

NIVEL I Categoría	Ha	%	NIVEL II	Ha	%	NIVEL III	Ha	%
			Clase			Subclase		
2. Áreas Seminaturales	50298	11,86	7. Vegetación en regeneración natural	41031	9,68	18. Bosque secundario	15505	3,66
						19. Matorral en regeneración	18590	4,38
						20. Surco con árboles	6124	1,44
						21. Surco con arbustos	812	0,19
			8. Vegetación cultivada latifoliada	7743	1,83	22. Eucalipto adulto	5252	1,24
						23. Eucalipto joven y en regeneración	2491	0,59
9. Vegetación cultivada coníferas	1524	0,36	24. Pino y ciprés	1524	0,36			
3. Áreas cultivadas	87112	20,54	10. Cultivos	36687	8,65	25. Cultivo ciclo corto	24845	5,86
						26. Cultivos semipermanente y permanente	10040	2,37
						27. Suelo en preparación	1802	0,42
			11. Pastos	50425	11,89	28. Pasto natural	33467	7,89
						29. Pasto cultivado	16958	4,00
4. Espacios abiertos	4757	1,12	12. Suelo desnudo de origen natural	2547	0,60	30. Arenal	879	0,21
						31. Roca	958	0,23
						32. Glaciar	710	0,17
			13. Suelo desnudo de procesos antropogénicos	2210	0,52	33. Área quemada	0	0,00
						34. Cantera	611	0,14
						35. Suelo erosionado	1599	0,38
5. Áreas artificiales	24732	5,83	14. Infraestructura	24732	5,83	36. Edificaciones	23699	5,59
						37. Aeropuerto	435	0,10
						38. Relleno sanitario	30	0,01
						39. Invernadero	568	0,13
6. Cuerpos de agua	756	0,00	15. Agua en cauces naturales	689	0,16	40. Río y/o quebrada	481	0,11
						41. Laguna	208	0,05
			16. Agua en cauces artificiales	67	0,02	42. Reservorio	67	0,02

Fuente: (MDMQ, 2011).

**Cuadro 8.3 Sistemas ecológicos del DMQ**

<b>Sistemas ecológicos presentes en el DMQ</b>	<b>Rangos altitudinales</b>
1. Bosque altimontano norte-andino siempreverde	2600-4000
2. Bosque bajo y arbustal altoandino paramuno	6300-4100
3. Bosque altimontano norte-andino de Polylepis	3600
4. Bosque altimontano pluvial de los Andes del Norte	1500-2600
5. Bosque siempreverde estacional montano bajo de los Andes del Norte	600-1500
6. Bosque pluvial piemontano de los Andes del Norte	<600
7. Bosque seco interandino	1300-2200
8. Vegetación ribereña del piso montano xerofítico	1300-2500
9. Arbustal bajo y matorral altoandino paramuno	3600-4200
10. Arbustal montano de los Andes del norte	2400-3300
11. Arbustal seco interandino	1300-2200
12. Vegetación geliturbada y edafoxerófila subnival paramuna	4200-4400
13. Bofedal altoandino paramuno	3900
14. Pajonal altimontano y montano paramuno	>3600
15. Pajonal Edafoxerófilo altimontano	<3600
16. Vegetación saxícola montana interandina de los Andes del Norte	1900-2600
17. Herbazal montano	2400-3300

Fuente: (MDMQ, 2011).

**ANEXO No 4**

**MODELO DE ENTREVISTA REALIZADA A LOS  
PROPIETARIOS DE LAS HACIENDAS MIRANDA Y  
PAZMIÑO**

**MODELO DE ENTREVISTA**

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Fecha:**

**Nombre persona que entrevista:**

**Lugar:**

**Finalidad:** Determinar las condiciones socioeconómicas generales de la hacienda, en cuanto a la producción agrícola y pecuaria.

**Nombre de la hacienda:**

**Nombre del propietario:**

**INICIO DE LA ENTREVISTA:**

**1. Cobertura y uso del suelo:**

- **Área de la hacienda:**
- **Distribución general de la superficie:**

DISTRIBUCIÓN GENERAL DE LA SUPERFICIE	PRODUCTO	PERIODO INICIAL *		PERIODO ACTUAL AÑO: 2012		INCREMENTO O DECREMENTO
		Valor (ha)	%	Valor (ha)	%	%
Agricultura (ha/año)						
Ganadería (ha/año)						
Área productiva AGROPECUARIA (ha)						
Producción maderera(ha)						
Forestación						
Páramo existente						
Área Total (ha)						

\* La hacienda Miranda proporcionó datos a partir del año 2006.

La hacienda Pazmiño facilitó datos de distribución de superficie desde el año 1977.



- **Porcentaje de variación de superficie productiva en el tiempo:**

PORCENTAJE DE VARIACION DE SUPERFICIE PRODUCTIVA EN EL TIEMPO HACIENDA _____ PERIODO REFERENCIAL ____-2012						
	_____**	_____	_____	2010	2011	2012
<b>AGRICULTURA</b>						
<b>GANADERIA</b>						

\*\* La hacienda Miranda mantuvo un registro de datos a partir del año 2006.  
La hacienda Pazmiño registró información desde el año 2005.

## 2. Actividades económicas en la hacienda

- **Producción Agrícola**

OFERTA DISPONIBLE O PRODUCCION HACIENDA _____						
PRODUCTO	UNIDAD	AÑO				OBSERVACIONES
		_____***	_____	_____	2012	

\*\*\* La hacienda Miranda proporcionó datos de producción agrícola desde el año 2006.  
La hacienda Pazmiño suministró datos de producción agrícola desde el año 2000.

- **Producción Pecuaria**

OFERTA DISPONIBLE O PRODUCCION HACIENDA _____						
PRODUCTO	UNIDAD	AÑO				OBSERVACIONES
		_____***	_____	_____	2012	

\*\*\* La hacienda Miranda proporcionó datos de producción pecuaria desde el año 2006.  
La hacienda Pazmiño suministró datos de producción pecuaria desde el año 2000.

## 3. Aspectos de relevancia Ambiental

NUMERO DE CABEZAS DE GANADO HACIENDA _____		
AÑOS	_____***	2012
<b>UNIDADES DE GANADO/AÑO</b>		

\*\*\*Inicio registro hacienda Miranda 2006  
Inicio registro hacienda Pazmiño 1990

## 4. Aspectos de relevancia Social

<b>NUMERO DE TRABAJADORES HACIENDA:</b>	
<b>TRABAJADORES</b>	<b>TOTAL</b>
HOMBRES	
MUJERES	
TOTAL	

<b>NIVELES DE INSTRUCCIÓN HACIENDA:</b>	
<b>Sin Instrucción</b>	
<b>Primaria</b>	
<b>Secundaria Completa</b>	

**ANEXO No 5****CUADROS Y GRAFICAS ADICIONALES – FUERZAS  
MOTRICES, PRESIONES Y ESTADO**

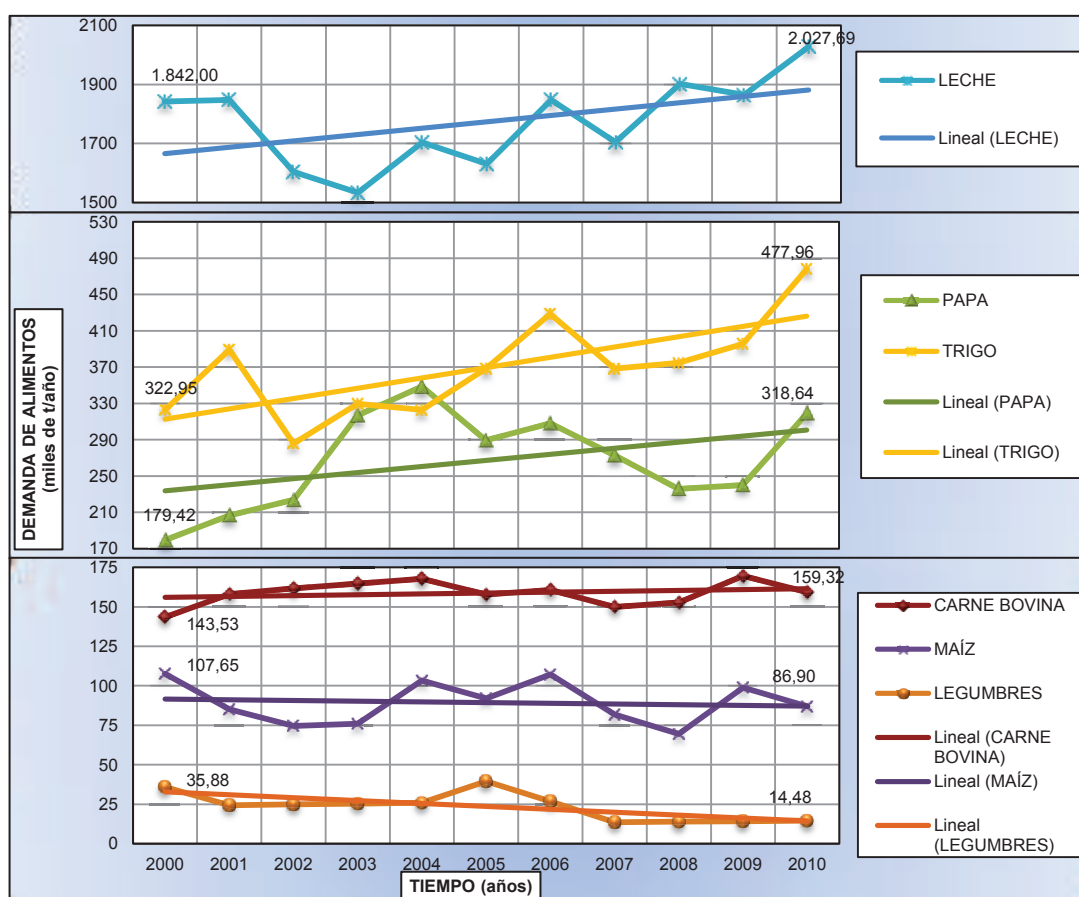
**Cuadro 8.4 Demanda nacional de los principales productos que se dan en Píntag**

AÑO	DEMANDA DE PRODUCTOS (miles de toneladas)						
	CARNE BOVINA	LECHE	PAPA	CEBADA	MAÍZ	TRIGO	LEGUMBRES
2000	143,53	1842,00	179,42	17,58	107,65	322,95	35,88
2001	158,04	1847,80	206,66	15,68	85,10	389,01	24,31
2002	161,62	1603,81	223,79	21,26	74,60	285,95	24,87
2003	164,72	1533,15	316,77	19,51	76,02	329,44	25,34
2004	167,83	1704,13	348,57	6,97	103,28	322,75	25,82
2005	157,81	1630,71	289,32	6,18	92,06	368,23	39,45
2006	160,72	1848,25	308,04	6,16	107,14	428,58	26,79
2007	150,00	1704,57	272,73	6,27	81,82	368,19	13,64
2008	152,69	1901,74	235,98	N/D *	69,41	374,80	13,88
2009	169,53	1864,80	240,16	N/D	98,89	395,56	14,13
2010	159,32	2027,69	318,64	N/D	86,90	477,96	14,48

\* Datos no disponibles.

Fuente: (SIGAGRO, 2010; INEC, 2012a).

**Figura 8.15 Demanda en Miles de T/año a nivel Nacional**



Fuente: (SIGAGRO, 2010; INEC, 2012a).

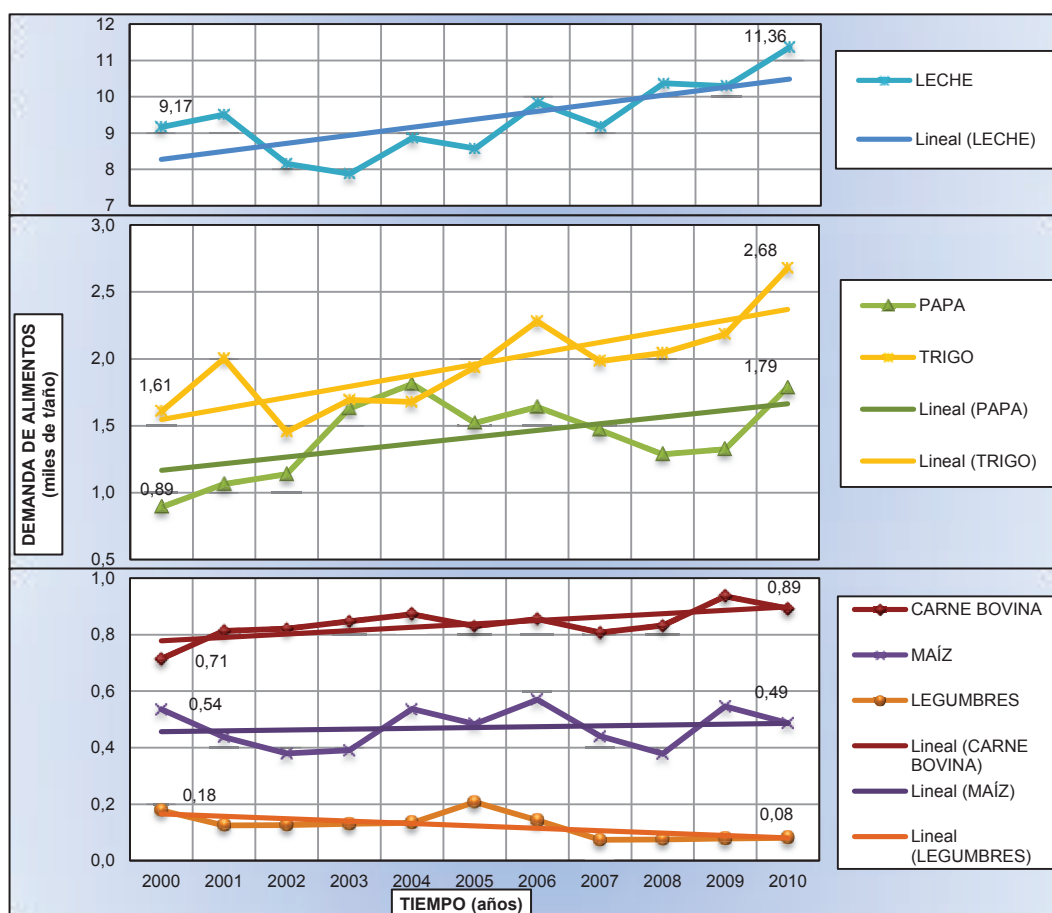
**Cuadro 8.5 Demanda en Sangolquí de los principales productos que se dan en Píntag**

DEMANDA DE PRODUCTOS (miles de toneladas)							
AÑO	CARNE BOVINA	LECHE	PAPA	CEBADA	MAÍZ	TRIGO	LEGUMBRES
2000	0,71	9,17	0,89	0,09	0,54	1,61	0,18
2001	0,81	9,51	1,06	0,08	0,44	2,00	0,13
2002	0,82	8,16	1,14	0,11	0,38	1,45	0,13
2003	0,85	7,88	1,63	0,10	0,39	1,69	0,13
2004	0,87	8,86	1,81	0,04	0,54	1,68	0,13
2005	0,83	8,58	1,52	0,03	0,48	1,94	0,21
2006	0,86	9,84	1,64	0,03	0,57	2,28	0,14
2007	0,81	9,18	1,47	0,03	0,44	1,98	0,07
2008	0,83	10,37	1,29	N/D *	0,38	2,04	0,08
2009	0,94	10,30	1,33	N/D	0,55	2,18	0,08
2010	0,89	11,36	1,79	N/D	0,49	2,68	0,08

\* Datos no disponibles

Fuente: (SIGAGRO, 2010; INEC, 2012a).

**Figura 8.16 Demanda en miles de T/año de Sangolquí**



Fuente: (SIGAGRO, 2010; INEC, 2012a).

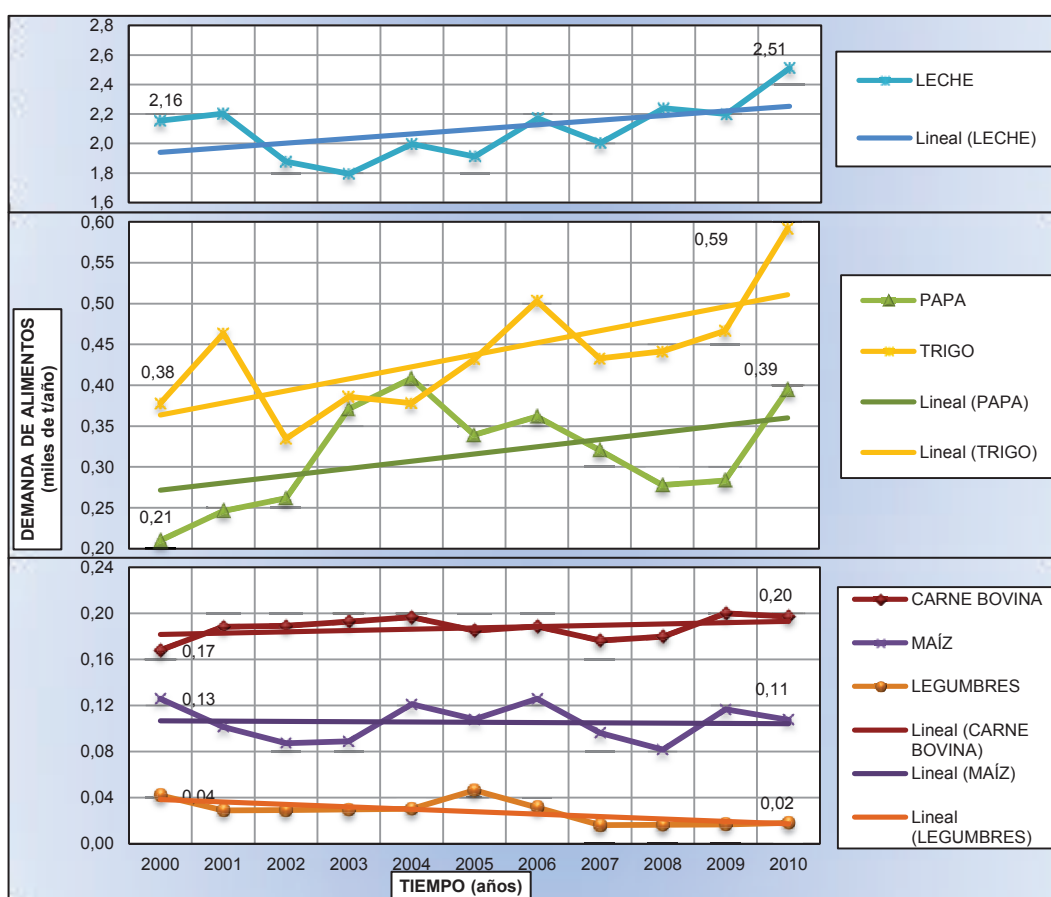
**Cuadro 8.6 Demanda local de los principales productos que se dan en Píntag**

AÑO	DEMANDA DE PRODUCTOS (miles de toneladas)						
	CARNE BOVINA	LECHE	PAPA	CEBADA	MAÍZ	TRIGO	LEGUMBRES
2000	0,168	2,156	0,210	0,021	0,126	0,378	0,042
2001	0,188	2,202	0,246	0,019	0,101	0,464	0,029
2002	0,189	1,877	0,262	0,025	0,087	0,335	0,029
2003	0,193	1,795	0,371	0,023	0,089	0,386	0,030
2004	0,197	1,997	0,408	0,008	0,121	0,378	0,030
2005	0,185	1,912	0,339	0,007	0,108	0,432	0,046
2006	0,189	2,170	0,362	0,007	0,126	0,503	0,031
2007	0,176	2,004	0,321	0,007	0,096	0,433	0,016
2008	0,180	2,239	0,278	N/D *	0,082	0,441	0,016
2009	0,200	2,200	0,283	N/D	0,117	0,467	0,017
2010	0,197	2,510	0,394	N/D	0,108	0,592	0,018

\* Datos no disponibles

Fuente: (SIGAGRO, 2010; INEC, 2012a).

**Figura 8.17 Demanda en miles de T/año de Píntag**



Fuente: (SIGAGRO, 2010; INEC, 2012a).

**Cuadro 8.7 Demanda nacional de Productos Forestales**

<b>AÑO</b>	<b>MADERA ASERRADA (1000 m<sup>3</sup>)</b>	<b>PANELES DE MADERA (1000 m<sup>3</sup>)</b>	<b>CELULOSA Y PAPEL (1000 ton)</b>
1994	1562	72	365
1995	1579	117	424
1996	1770	143	430
1997	2000	117	427
1998	1999	126	398
1999	1367	91	371
2000	634	73	242
2001	707	96	250
2002	643	56	223
2003	712	100	226

Fuente: (ITTO, 2004).

**Cuadro 8.8 Origen de la energía y proteínas por nivel de ingreso en el Ecuador en comparación con otros países**

<b>PAIS</b>	<b>% ENERGIA DE CEREALES</b>			<b>% ENERGIA DE ORIGEN PECUARIO</b>		
	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>BAJO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>BAJO</b>
ECUADOR	21,4	26,6	26,0	42,5	32,0	31,7
COLOMBIA	24,7	29,4	35,2	49,3	43,8	32,9
PERU	39,4	38,7	45,9	53,5	46,3	37,0
BRASIL	33,2	35,1	30,8	54,6	38,7	24,3

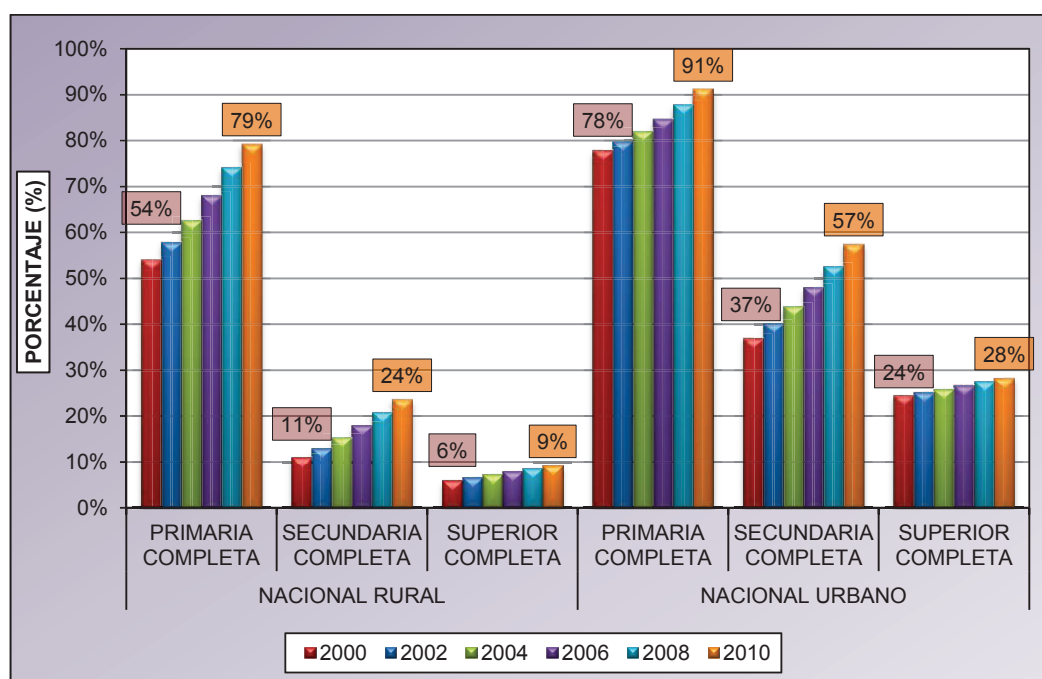
Fuente: (FAO, 1988).

**Cuadro 8.9 Tasa de Escolarización nacional rural y urbano**

<b>AÑOS</b>	<b>NACIONAL RURAL</b>			<b>NACIONAL URBANO</b>		
	<b>PRIMARIA COMPLETA</b>	<b>SECUNDARIA COMPLETA</b>	<b>SUPERIOR COMPLETA</b>	<b>PRIMARIA COMPLETA</b>	<b>SECUNDARIA COMPLETA</b>	<b>SUPERIOR COMPLETA</b>
2000	54,0%	11,0%	5,9%	77,9%	37,0%	24,4%
2001	56,3%	12,0%	6,3%	78,7%	38,5%	24,8%
2002	57,9%	12,9%	6,6%	79,7%	40,1%	25,2%
2003	60,2%	14,0%	6,9%	80,8%	41,9%	25,6%
2004	62,6%	15,2%	7,2%	82,0%	43,8%	26,0%
2005	65,3%	16,5%	7,6%	83,3%	45,8%	26,4%
2006	68,1%	17,9%	7,9%	84,7%	48,0%	26,8%
2007	71,1%	19,3%	8,3%	86,2%	50,2%	27,1%
2008	74,2%	20,9%	8,6%	87,8%	52,6%	27,5%
2009	77,5%	22,4%	9,0%	89,5%	55,0%	27,9%
2010	79,3%	23,6%	9,2%	91,2%	57,5%	28,3%

Fuente: (SIISE, 2013; INEC, 2011).

**Figura 8.18 Comparación de la tasa de escolarización nacional rural y urbano**



Fuente: (SIISE, 2013; INEC, 2011).

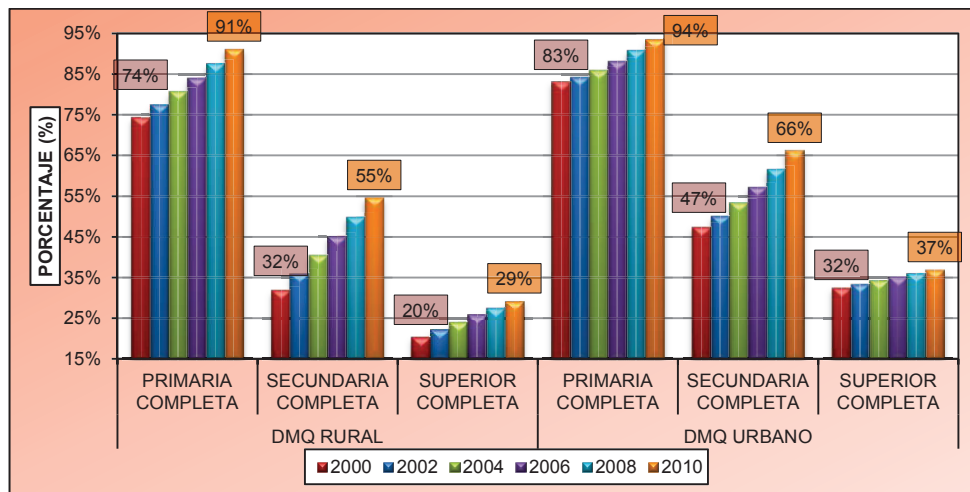
**Cuadro 8.10 Tasa de Escolarización en DMQ rural y urbano**

AÑOS	DMQ RURAL			DMQ URBANO		
	PRIMARIA COMPLETA	SECUNDARIA COMPLETA	SUPERIOR COMPLETA	PRIMARIA COMPLETA	SECUNDARIA COMPLETA	SUPERIOR COMPLETA
2000	74,3%	31,8%	20,4%	83,0%	47,4%	32,5%
2001	75,8%	33,9%	21,3%	84,5%	49,2%	33,3%
2002	77,4%	36,0%	22,2%	84,2%	50,1%	33,4%
2003	79,0%	38,3%	23,1%	85,0%	51,7%	33,8%
2004	80,7%	40,5%	24,0%	85,9%	53,4%	34,2%
2005	82,4%	42,8%	24,9%	87,0%	55,2%	34,7%
2006	84,1%	45,1%	25,8%	88,1%	57,2%	35,1%
2007	85,8%	47,5%	26,7%	89,4%	59,3%	35,6%
2008	87,6%	49,9%	27,5%	90,8%	61,6%	36,1%
2009	89,3%	52,2%	28,4%	92,3%	63,9%	36,5%
2010	91,1%	54,6%	29,2%	93,6%	66,2%	36,9%

Fuente: (SIISE, 2013; INEC, 2011).



**Figura 8.19 Comparación de la tasa de escolarización en el DMQ rural y urbano**



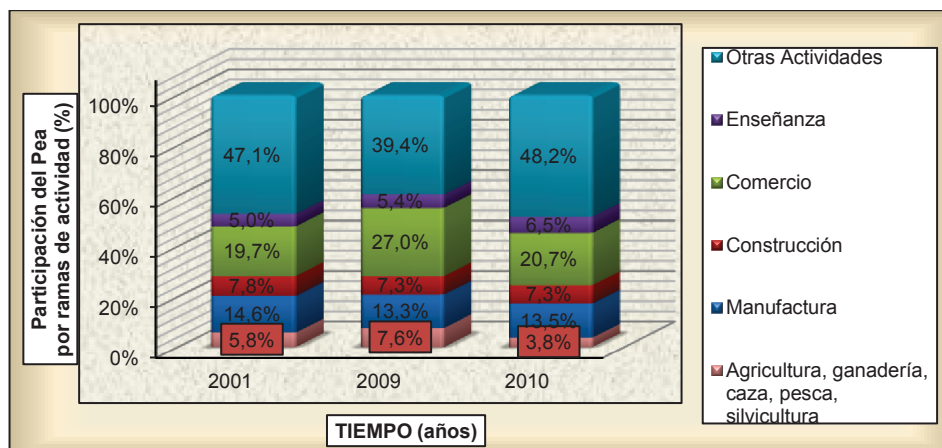
Fuente: (SIISE, 2013; INEC, 2011).

**Cuadro 8.11 Porcentaje de población económicamente activa según ramas de actividad en DMQ**

RAMAS DE ACTIVIDAD	2001	2009	2010
Agricultura, ganadería, caza, pesca, silvicultura	5,8%	7,6%	3,8%
Manufactura	14,6%	13,3%	13,5%
Construcción	7,8%	7,3%	7,3%
Comercio	19,7%	27,0%	20,7%
Enseñanza	5,0%	5,4%	6,5%
Otras Actividades	47,1%	39,4%	48,2%

Fuente: (INEC, 2011; Lovato, 2011).

**Figura 8.20 Porcentaje de población económicamente activa según ramas de actividad en DMQ**



Fuente: (INEC, 2011; Lovato, 2011).

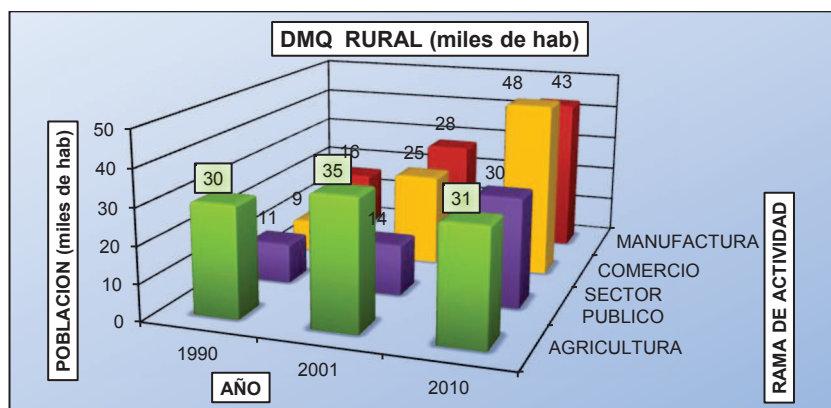
**Cuadro 8.12 Población económicamente activa según ramas de actividad en Píntag y DMQ rural y urbano**

PÍNTAG				
AÑO	AGRICULTURA	MANUFACTURA	COMERCIO	SECTOR PUBLICO
1990	1555	409	238	235
2001	1968	714	479	304
2010	1369	961	839	588
DMQ RURAL (en miles hab)				
AÑO	AGRICULTURA	MANUFACTURA	COMERCIO	SECTOR PUBLICO
1990	30,31	16,30	8,81	11,04
2001	35,33	27,88	25,46	14,02
2010	31,16	43,22	48,34	29,91
DMQ URBANO (en miles hab)				
AÑO	AGRICULTURA	MANUFACTURA	COMERCIO	SECTOR PUBLICO
1990	5,38	73,11	71,22	87,54
2001	9,11	85,81	127,86	67,24
2010	8,53	97,97	167,62	105,40

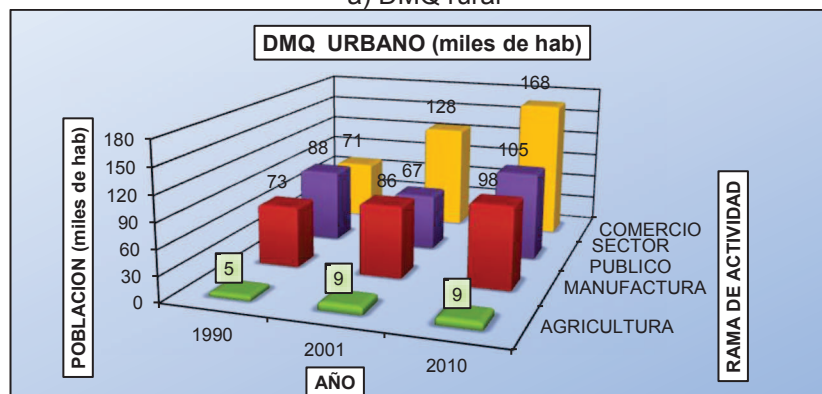
Las ramas de actividad descritas en el cuadro son las de mayor porcentaje del total.

Fuente: (SNI, 2011a).

**Figura 8.21 Población económicamente activa según ramas de actividad años 1990, 2001 y 2010 en a)DMQ rural y b) DMQ urbano**



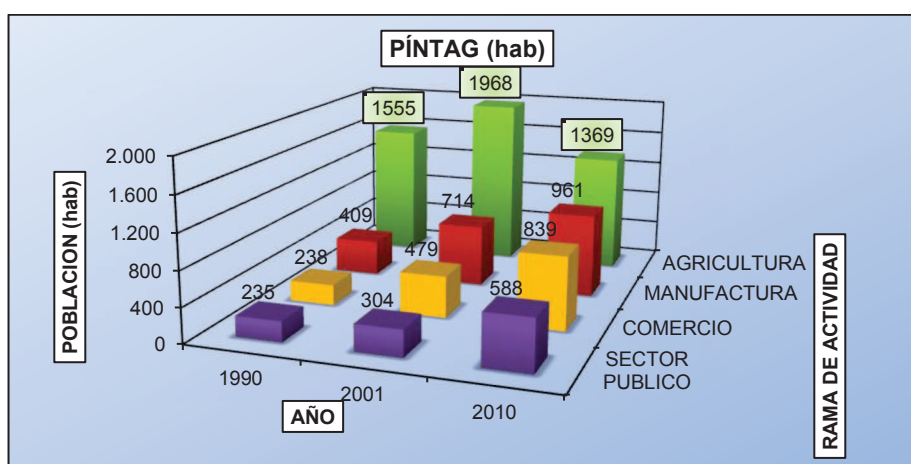
a) DMQ rural



b) DMQ urbano

NOTA: Las ramas de actividad descritas en el cuadro son las de mayor porcentaje del total.  
Fuente: (SNI, 2011a).

**Figura 8.22 Población económicamente activa según ramas de actividad años 1990, 2001 y 2010 en Píntag**



Fuente: (SNI, 2011a).

**Cuadro 8.13 Producción nacional de los principales productos que se dan en Píntag**

PRODUCCIÓN NACIONAL (miles de T.)							
AÑOS	Carne	Leche	Papa	Cebada	Maíz (choclo)	Trigo	Legumbres
2000	151,2	1924,0	237,3	25,1	43,2	13,0	29,6
2001	159,5	1924,0	246,1	26,4	41,5	10,9	32,7
2002	167,7	1668,2	254,9	29,1	39,3	8,8	34,0
2003	164,0	1604,3	377,9	22,8	45,5	11,1	31,4
2004	165,2	1779,9	409,2	22,0	69,4	10,2	44,2
2005	158,3	1697,8	335,6	22,9	69,2	8,4	51,3
2006	161,8	1924,1	357,2	23,4	66,8	7,6	45,5
2007	149,5	1768,2	314,0	24,8	65,3	9,2	33,2
2008	155,1	1978,6	264,1	18,0	43,3	8,1	32,5
2009	166,6	1942,6	283,9	21,4	62,1	11,3	24,7
2010	168,5	2121,2	382,9	N/D	53,7	7,6	33,8

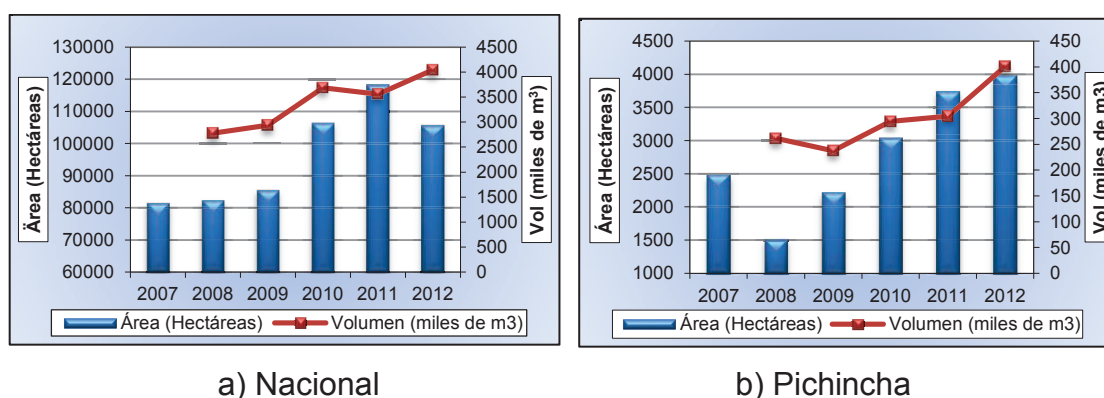
Fuente: (SIGAGRO, 2010; INEC, 2011).

**Cuadro 8.14 Volumen de madera autorizada y Superficie de Aprovechamiento Forestal a nivel nacional y de Pichincha**

AÑOS	Volumen (m <sup>3</sup> )		AREA (Hectáreas)		Vol/AREA (m <sup>3</sup> /ha)	
	PICHINCHA	TOTAL NACIONAL	PICHINCHA	TOTAL NACIONAL	PICHINCHA	TOTAL NACIONAL
2007	N/D	N/D	2477	81403	N/D	N/D
2008	261362	2776189	1510	82144	173,1	33,8
2009	237543	2935724	2211	85552	107,4	34,3
2010	294377	3689180	3053	106455	96,4	34,7
2011	304416	3558988	3743	118241	81,3	30,1
2012	401186	4043914	3995	105774	100,4	38,2

Fuente: (SAF, 2010).

**Figura 8.23 Volumen de madera autorizada y Superficie de Aprovechamiento Forestal a) Nacional y de b) Pichincha**



Fuente: (SAF, 2010).

**Cuadro 8.15 Oferta nacional per cápita de alimentos**

OFERTA NACIONAL PER CÁPITA (kg/año)							
AÑOS	Carne	Leche	Papa	Cebada	Maíz	Trigo	Legumbres
2000	13,9	163,76	10,6	1,5	4,2	34,6	1,6
2001	15	195,71	26,5	1,3	4,4	44,2	1,8
2002	15,9	182,82	31,1	1,7	4	30,8	1,8
2003	15,9	187,53	24,3	1,5	4,2	33,9	1,6
2004	15,7	190,86	29,5	0,5	4,2	35	1,6
2005	15,6	194,94	27,3	0,5	4,5	37,1	1,9
2006	15,5	193,84	23	0,4	4,5	37,6	1,7
2007	16,9	195,59	19,8	0,4	4,3	36,5	1,9
2008	17,7	N/D	16	0,4	4	37,9	1,9
2009	18,7	N/D	16,7	0,4	4,7	38,2	1,8

Fuente: (CAESPA, 2012).

**Cuadro 8.16 Uso de Suelo en el Ecuador (ha)**

AÑOS	SECTOR AGRICOLA	SECTOR GANADERO*	PARAMO Y BOSQUES	OTROS USOS
2002	2598823	4890553	4063222	287405
2003	2486257	4762562	4113872	277577
2004	2523198	5004789	4089725	218625
2005	2510853	4990046	4218622	237951
2006	2446957	4997994	4225854	255609
2007	2415112	4996928	4166752	254513
2008	2500527	4945353	4142520	235285
2009	2548635	4985880	4047163	232593
2010	2577705	4919923	4043599	217055
2011	2535228	4810959	4102311	210584
2012	2530769	4976120	4191327	205657

\* Comprende el área de pastos naturales y cultivados que se usan normalmente para ganadería

Fuente: (INEC, 2012a).

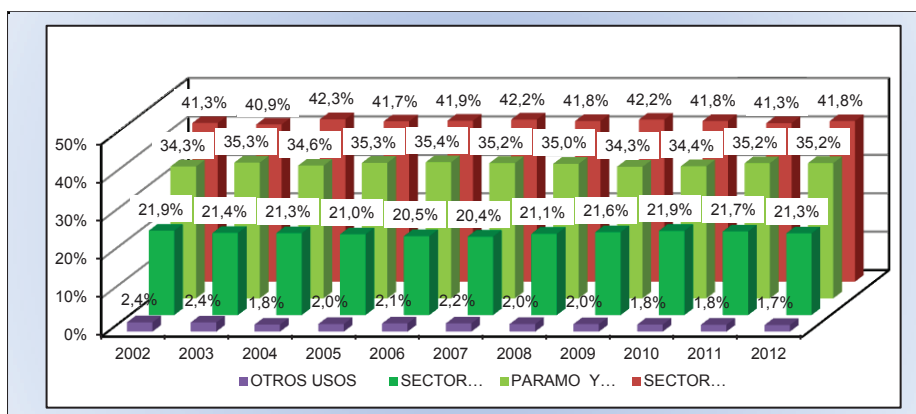
Cuadro 8.17 Uso de Suelo en el Ecuador (%)

AÑOS	AGRICOLA	GANADERO*	PARAMO-BOSQUE	OTROS USOS
2002	21,9%	41,3%	34,3%	2,4%
2003	21,4%	40,9%	35,3%	2,4%
2004	21,3%	42,3%	34,6%	1,8%
2005	21,0%	41,7%	35,3%	2,0%
2006	20,5%	41,9%	35,4%	2,1%
2007	20,4%	42,2%	35,2%	2,2%
2008	21,1%	41,8%	35,0%	2,0%
2009	21,6%	42,2%	34,3%	2,0%
2010	21,9%	41,8%	34,4%	1,8%
2011	21,7%	41,3%	35,2%	1,8%
2012	21,3%	41,8%	35,2%	1,7%

\* Comprende el área de pastos naturales y cultivados que se usan normalmente para ganadería

Fuente: (INEC, 2012a).

Figura 8.24 Variación del porcentaje de uso de suelo en el Ecuador



\* Comprende el área de pastos naturales y cultivados que se usan normalmente para ganadería  
Fuente: (INEC, 2012a).

Figura 8.25 Variación del porcentaje de uso de suelo en el Ecuador : a) Sector Ganadero, b) Sector agrícola, c) Páramos y Bosques, d) Otros usos

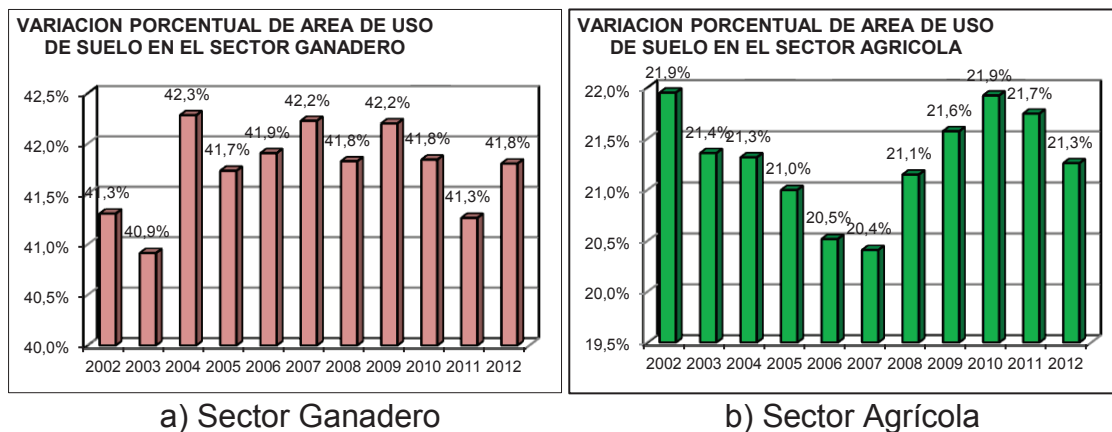
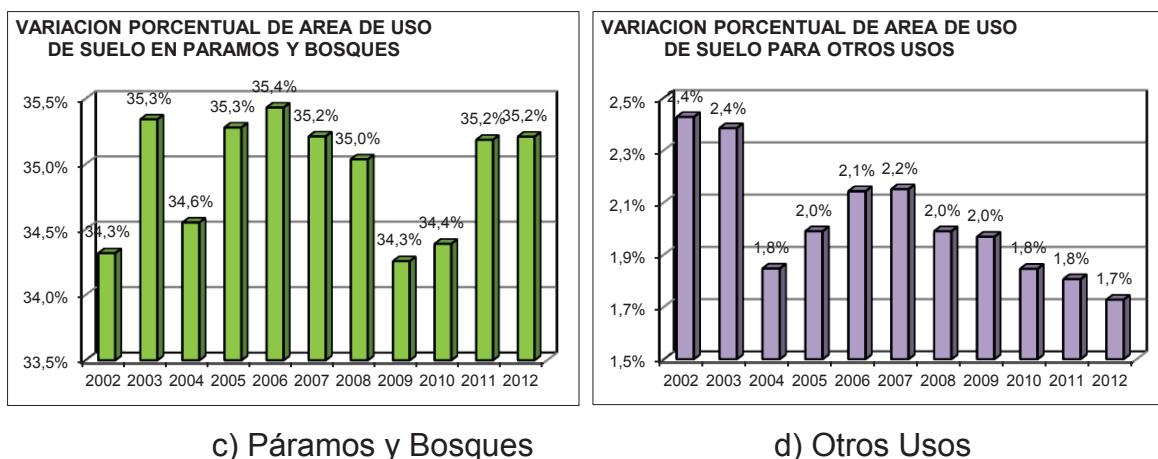
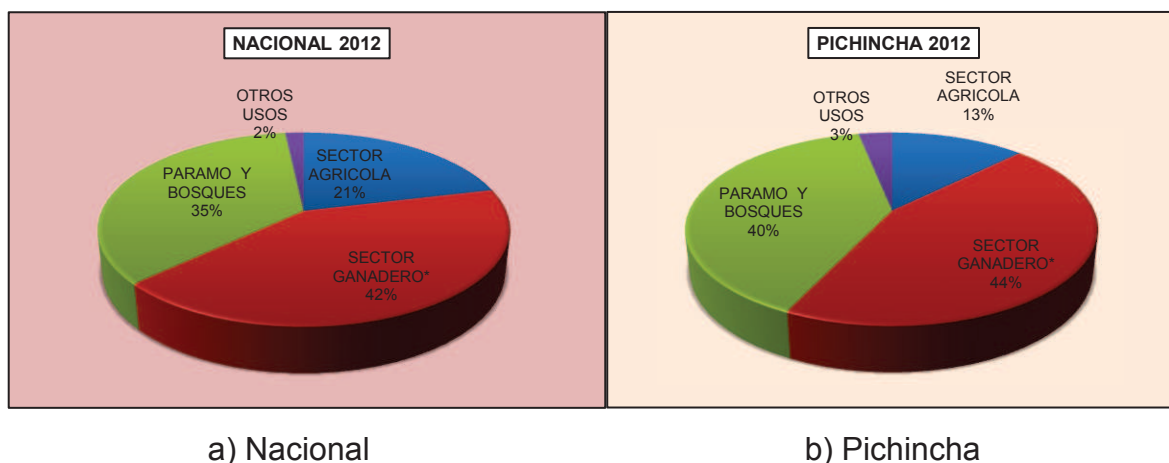


Figura 8.25 CONTINUACIÓN



Fuente: (INEC, 2012a).

Figura 8.26 Variación del porcentaje de uso de suelo en el año 2012: a) Nacional, b) Pichincha



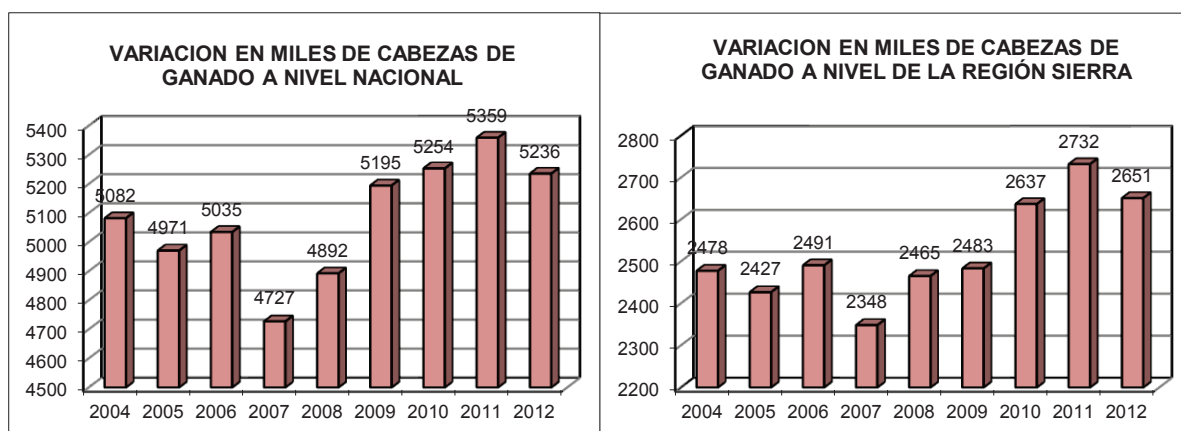
Fuente: (INEC, 2012a).

Cuadro 8.18 Cabezas de ganado existentes en Ecuador, región Sierra y Pichincha

AÑOS	NACIONAL	SIERRA	PICHINCHA
2004	5082091	2477821	529467
2005	4970834	2426858	505854
2006	5034650	2490798	514212
2007	4727100	2348446	525363
2008	4892215	2465299	571615
2009	5194722	2483352	392099
2010	5253532	2637027	386500
2011	5358907	2732354	360467
2012	5235545	2651175	363107

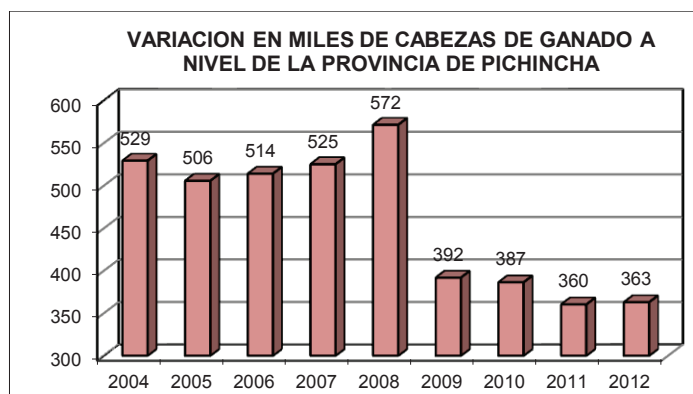
Fuente: Fuente: (INEC, 2012a).

**Figura 8.27 Cabezas de ganado (en miles) existentes en a) Ecuador, b) región Sierra y c) Pichincha**



a) Ecuador

b) Región Sierra



c) Pichincha

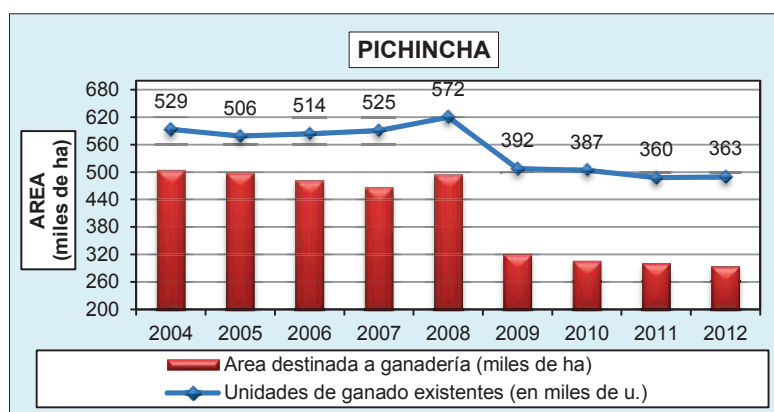
Fuente: (INEC, 2012a).

**Cuadro 8.19 Área destinada a ganadería (ha) y unidades de ganado (miles de unidades) en la provincia de Pichincha**

AÑOS	Unidades de ganado existentes (en miles de u.)	Área destinada a ganadería (miles de ha)	Carga Animal UA/Ha
2004	529	504	1,05
2005	506	499	1,01
2006	514	481	1,07
2007	525	465	1,13
2008	572	494	1,16
2009	392	321	1,22
2010	387	306	1,26
2011	360	300	1,20
2012	363	294	1,24

Fuente: (INEC, 2012a).

Figura 8.28 Área destinada a ganadería (ha) y unidades de ganado (miles de unidades) en la provincia de Pichincha



Fuente: (INEC, 2012a).

Cuadro 8.20 Propiedades hidrofísicas del suelo de las áreas A y B para los tres horizontes

Cobertura Vegetal	Horizonte	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Porcentaje de poros (%)	M.O (%)	Conductividad Hidráulica (cm/h)	Textura
Plantación con especies nativas - pajonal	S <sub>1</sub>	0,85	60	11,47	19	Franco Arenoso
	S <sub>2</sub>	0,81	60	10,85	7,3	Franco Arenoso
	S <sub>3</sub>	0,81	60	9	23,5	Franco
Pastos	S <sub>1</sub>	0,85	59	9,88	1,3	Franco Arenoso
	S <sub>2</sub>	0,93	55	9,29	0,8	Franco Arcillo Arenoso
	S <sub>3</sub>	0,91	56	9,1	5	Franco Arenoso

Fuente: (Fuentes y Tapia, 2011).

Cuadro 8.21 Cálculo de tamaño de muestra y error de estimación para: a) Calamagrostis Intermedia y b) Pastos

Número de Individuo (n)	Altura (cm) (xi)	(xi-x <sub>prom</sub> ) <sup>2</sup>	Datos Estadísticos	
1	105	0,6	Desviación estándar (σ)	8,3
2	104	0,1	Varianza (v)	69,5
3	104	0,1	Coefficiente de variación (CV)	8,0
4	100	18,1	Error estándar (s)	2
5	92	150,1	<b>Error estándar %v(s%)</b>	<b>2,3</b>
6	95	85,6	t student (Nivel de incertidumbre: 0,05)	1,8
7	115	115,6	t student * s	4,3
8	92	150,1	t student * s%	4,1
9	105	0,6	Intervalo de Confianza:	104,3
10	110	33,1		
11	114	95,1		
12	115	115,6		
<b>SUMA</b>	1251	764,3		
<b>PROMEDIO (x<sub>prom</sub>)</b>	104,3			

a) Calamagrostis intermedia



Cuadro 8.21 CONTINUACIÓN

Número de Individuo (n)	Altura (cm) (xi)	$(xi-x_{prom})^2$	Datos Estadísticos	
1	105	0,6	Desviación estándar ( $\sigma$ )	7,8
2	104	0,1	Varianza (v)	61,5
3	104	0,1	Coefficiente de variación (CV)	7,7
4	100	18,1	Error estándar (s)	2
5	92	150,1	<b>Error estándar %v(s%)</b>	<b>2,4</b>
6	95	85,6	t student (Nivel de incertidumbre: 0,05)	1,8
7	115	115,6	t student * s	4,1
8	92	150,1	t student * s%	4,4
9	105	0,6	Intervalo de Confianza:	102,2
10	110	33,1		
<b>SUMA</b>	1022	553,6		
<b>PROMEDIO (<math>x_{prom}</math>)</b>	102,2			

b) Pastos

Elaborado por: Autores

Cuadro 8.22 Valores de precipitación y humedad volumétrica en el Área A  
(Plantación con especies nativas - pajonal)

AÑO	MES	PRECIPITACION (mm)	HUMEDAD VOLUMETRICA (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )		
		SUMATORIA	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
2009	nov	398,9	0,417	0,367	0,424
	dic	194,7	0,466	0,452	0,495
2010	ene	43,8	0,436	0,423	0,477
	feb	47,4	0,421	0,408	0,466
	mar	34,6	0,383	0,378	0,449
	abr	216,2	0,442	0,428	0,480
	may	123,7	0,437	0,429	0,482
	jun	97,9	0,445	0,436	0,486
	jul	97,2	0,438	0,430	0,482
	ago	26,3	0,398	0,394	0,461
	sep	83,0	0,376	0,365	0,440
	oct	134,4	0,415	0,389	0,449
	nov	204,9	0,457	0,452	0,495
	dic	200,2	0,466	0,458	0,499
2011	ene	167,5	0,462	0,453	0,495
	feb	323,9	0,471	0,464	0,502
	mar	236,0	0,474	0,467	0,505
	abr	340,1	0,477	0,470	0,506
	may	41,8	0,452	0,449	0,492
	jun	42,9	0,424	0,428	0,481
	jul	41,7	0,365	0,374	0,448
	ago	52,3	0,329	0,341	0,425
TOTAL	3149,4				

Elaborado por: Autores

**Cuadro 8.23 Valores de precipitación y humedad volumétrica en el Área B (Pastos)**

AÑO	MES	PRECIPITACION (mm)	HUMEDAD VOLUMETRICA (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )		
		SUMATORIA	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
2009	nov	361,7	0,312	0,299	0,360
	dic	189,1	0,431	0,423	0,465
2010	ene	34,3	0,395	0,396	0,448
	feb	45,9	0,370	0,373	0,429
	mar	28,8	0,342	0,353	0,416
	abr	194,4	0,402	0,399	0,447
	may	106,7	0,401	0,405	0,457
	jun	86,6	0,412	0,412	0,458
	jul	87,9	0,408	0,409	0,457
	ago	22,9	0,354	0,371	0,432
	sep	67,3	0,311	0,332	0,406
	oct	127,2	0,355	0,340	0,400
	nov	184,0	0,436	0,425	0,465
dic	169,7	0,442	0,431	0,473	
2011	ene	147,9	0,437	0,427	0,470
	feb	301,6	0,448	0,437	0,478
	mar	230,9	0,453	0,444	0,486
	abr	332,4	0,453	0,442	0,483
	may	73,4	0,419	0,415	0,464
	jun	42,5	0,402	0,407	0,457
	jul	40,4	0,345	0,360	0,424
	ago	15,9	0,302	0,325	0,400
TOTAL		2891,5			

Elaborado por: Autores

**Cuadro 8.24 Datos de peso verde, peso seco y humedad en los componentes aéreo y subterráneo de la especie *Gynoxys halli* en el área A**

# IND	CÓDIGO	AEREO			SUBTERRANEO		
		Peso Verde (kg)	Peso Seco (kg)	CH (%)	Peso Verde (kg)	Peso Seco (kg)	CH (%)
1	MiGy1	2,80	0,97	65,20	1,57	0,63	60,00
2	MiGy2	1,17	0,42	63,69	0,71	0,27	61,46
3	MiGy3	1,44	0,55	61,50	0,73	0,32	55,45
4	MiGy4	0,63	0,24	62,43	0,24	0,14	42,63
5	MiGy5	0,45	0,17	61,40	0,26	0,11	56,13
6	MiGy6	1,72	0,61	64,64	0,83	0,36	57,38
7	MiGy7	2,73	1,05	61,42	0,79	0,34	57,16
8	MiGy8	1,69	0,60	64,38	0,95	0,38	59,60
<b>PROMEDIO</b>		<b>1,58</b>	<b>0,58</b>	<b>63,36</b>	<b>0,76</b>	<b>0,32</b>	<b>57,99</b>

Elaborado por: Autores

**Cuadro 8.25 Datos de peso verde, peso seco y humedad en los componentes aéreo y subterráneo de la especie *Calamagrostis Intermedia* en el área A**

# IND	CÓDIGO	AEREO			SUBTERRANEO		
		Peso Verde (kg)	Peso Seco (kg)	CH (%)	Peso Verde (kg)	Peso Seco (kg)	CH (%)
1	MiHe1	1,00	0,30	70,37	1,03	0,40	61,37
2	MiHe2	1,12	0,47	58,32	1,01	0,31	69,25
3	MiHe3	0,98	0,45	54,52	1,10	0,49	55,59
4	MiHe4	0,99	0,47	52,46	0,69	0,35	49,46
5	MiHe5	0,96	0,39	59,90	0,87	0,35	59,89
6	MiHe6	1,33	0,43	67,59	0,80	0,35	56,15
7	MiHe7	0,96	0,60	37,35	1,12	0,50	55,14
8	MiHe8	0,86	0,37	57,00	0,71	0,34	51,74
9	MiHe9	1,11	0,35	68,16	1,10	0,54	51,03
10	MiHe10	1,01	0,46	54,56	0,91	0,40	55,98
11	MiHe11	0,99	0,55	44,67	0,84	0,42	49,53
12	MiHe12	1,00	0,40	60,12	0,95	0,46	51,49
<b>PROMEDIO</b>		<b>1,03</b>	<b>0,44</b>	<b>57,55</b>	<b>0,93</b>	<b>0,41</b>	<b>55,83</b>

Elaborado por: Autores

**Cuadro 8.26 Datos de peso verde, peso seco y humedad en los componentes aéreo y subterráneo de la cubierta vegetal pastos en el área B**

# IND *	CÓDIGO	AEREO			SUBTERRANEO		
		Peso Verde (kg)	Peso Seco (kg)	CH (%)	Peso Verde (kg)	Peso Seco (kg)	CH (%)
1	Pa1	1,04	0,51	50,64	0,73	0,35	52,54
2	Pa2	0,63	0,42	33,96	0,36	0,15	59,11
3	Pa3	0,84	0,51	39,02	0,22	0,11	52,50
4	Pa4	1,05	0,62	40,37	0,26	0,14	47,32
5	Pa5	1,11	0,67	39,80	0,21	0,09	56,40
6	Pa6	0,93	0,73	21,55	0,11	0,06	41,77
7	Pa7	0,75	0,53	29,04	0,19	0,13	31,16
8	Pa8	0,81	0,59	26,88	0,07	0,04	51,00
9	Pa9	1,16	0,85	26,40	0,16	0,09	42,36
10	Pa10	1,04	0,57	44,86	0,60	0,21	64,68
<b>PROMEDIO</b>		<b>0,94</b>	<b>0,60</b>	<b>35,25</b>	<b>0,29</b>	<b>0,14</b>	<b>49,88</b>

Elaborado por: Autores

**Cuadro 8.27 Determinación de biomasa, carbono, CO<sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente subterráneo de la especie *Gynoxys halli***

<b>PROPIETARIO HACIENDA:</b>		Sr. José Miranda					
<b>PARROQUIA:</b>		Píntag					
<b>CANTÓN:</b>	Rumiñahui	<b>EDAD:</b>	6 años	<b>Población ind.:</b>	<b>13000</b>		
<b>PROVINCIA:</b>	Pichincha	<b>FECHA DE CORTE:</b>	24 y 25 de oct 2011	<b>Área (Ha):</b>	<b>13</b>		
<b>ESPECIE:</b>	GYNOXYS HALLI	<b>NOMBRE COMUN:</b>	Purujul	<b>DENSIDAD (ind/ha):</b>	<b>1000</b>		
		<b>INDIVIDUO</b>			<b>HECTAREA</b>		
<b># INDIVIDUO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>Biomasa Subt (kg)</b>	<b>Carbono (kg)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg)</b>	<b>Biomasa Subt. (T/ha)</b>	<b>Carbono (T/ha)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (T/ha)</b>
1	MiGy1	0,63	0,31	1,15	0,63	0,31	1,15
2	MiGy2	0,27	0,14	0,50	0,27	0,14	0,50
3	MiGy3	0,32	0,16	0,60	0,32	0,16	0,60
4	MiGy4	0,14	0,07	0,25	0,14	0,07	0,25
5	MiGy5	0,11	0,06	0,21	0,11	0,06	0,21
6	MiGy6	0,36	0,18	0,65	0,36	0,18	0,65
7	MiGy7	0,34	0,17	0,62	0,34	0,17	0,62
8	MiGy8	0,38	0,19	0,71	0,38	0,19	0,71
<b>PROMEDIO (xm)</b>		<b>0,32</b>	<b>0,16</b>	<b>0,59</b>	<b>0,32</b>	<b>0,16</b>	<b>0,59</b>
<b>DESV. EST. (s)</b>		0,16	0,08	0,29	0,16	0,08	0,29
<b>ERROR. EST. (σx)</b>		0,07	0,03	0,12	0,07	0,03	0,12

Elaborado por: Autores

**Cuadro 8.28 Determinación de biomasa, carbono, CO<sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente aéreo de la especie *Calamagrostis Intermedia***

<b>PROPIETARIO HACIENDA:</b>		Sr. José Miranda			<b>Área 1 ind (m<sup>2</sup>): *</b>	0,25	
<b>PARROQUIA:</b>		Píntag			<b>Área 1 ind (ha):</b>	<b>0,000025</b>	
<b>CANTÓN:</b>		Rumiñahui			<b>Área total (ha):</b>	13	
<b>PROVINCIA:</b>		Pichincha			<b>Cobert. 52 % (ha):</b>	<b>6,76</b>	
<b>FECHA DE CORTE</b>		26 y 27 de oct 2011	<b>EDAD:</b>	.....	<b>POB. total eq. (ind)</b>	270400	
<b>ESPECIE:</b>	CALAMAGROSTIS INTEMEDIA	<b>NOMBRE COMUN:</b>	Paja	<b>DENSIDAD (ind/ha):</b>	<b>20800</b>		
		<b>INDIVIDUO</b>			<b>HECTAREA</b>		
<b># INDIVIDUO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>Biomasa Aérea (kg)</b>	<b>Carbono (kg)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg)</b>	<b>Biomasa Aérea (T/ha)</b>	<b>Carbono (T/ha)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (T/ha)</b>
1	MiHe1	2,96	1,48	5,44	61,62	30,81	113,07
2	MiHe2	5,21	2,60	9,56	108,36	54,18	198,85
3	MiHe3	3,18	1,59	5,84	66,22	33,11	121,51
4	MiHe4	4,28	2,14	7,85	88,99	44,50	163,30
5	MiHe5	3,21	1,60	5,89	66,72	33,36	122,43
6	MiHe6	2,30	1,15	4,22	47,86	23,93	87,83
7	MiHe7	5,58	2,79	10,23	115,98	57,99	212,83
8	MiHe8	3,65	1,83	6,71	76,02	38,01	139,50
9	MiHe9	3,92	1,96	7,19	81,47	40,73	149,49
10	MiHe10	2,91	1,45	5,34	60,49	30,24	111,00
11	MiHe11	4,81	2,41	8,83	100,12	50,06	183,72
12	MiHe12	3,11	1,56	5,71	64,70	32,35	118,72
<b>PROMEDIO (xm)</b>		<b>3,76</b>	<b>1,88</b>	<b>6,90</b>	<b>78,21</b>	<b>39,11</b>	<b>143,52</b>
<b>ERROR. EST. (σx)</b>		0,29	0,15	0,54	6,10	3,05	11,20

\* Se consideró el área ocupada por un individuo como el equivalente al área representativa del cuadrante extraído (0,5m x 0,5m).

Elaborado por: Autores

**Cuadro 8.29 Determinación de biomasa, carbono, CO<sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente subterráneo de la especie *Calamagrostis Intermedia***

PROPIETARIO HACIENDA:		Sr. José Miranda			Área 1 ind (m <sup>2</sup> ): *	0,25	
PARROQUIA:		Píntag			Área 1 ind (ha):	0,000025	
CANTÓN:		Rumiñahui			Área total (ha):	13	
PROVINCIA:		Pichincha			Cobert. 52 % (ha):	6,76	
FECHA DE CORTE		26 y 27 de oct 2011	EDAD:		.....	POB. total eq. (ind)	270400
ESPECIE:	CALAMAGROSTIS INTEMEDIA		NOMBRE COMUN:		Paja	DENSIDAD (ind/ha):	20800
				INDIVIDUO		HECTAREA	
# INDIVIDUO	CÓDIGO	Biomasa Subt. (kg)	Carbono (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	Biomasa Subt. (T/ha)	Carbono (T/ha)	CO <sub>2</sub> (T/ha)
1	MiHe1	1,39	0,70	2,55	28,93	14,46	53,08
2	MiHe2	0,38	0,19	0,71	8,00	4,00	14,67
3	MiHe3	0,49	0,25	0,90	10,25	5,13	18,82
4	MiHe4	0,35	0,18	0,65	7,32	3,66	13,43
5	MiHe5	0,35	0,18	0,65	7,34	3,67	13,47
6	MiHe6	0,35	0,18	0,65	7,33	3,67	13,45
7	MiHe7	0,78	0,39	1,43	16,21	8,10	29,74
8	MiHe8	0,35	0,17	0,64	7,25	3,62	13,30
9	MiHe9	0,69	0,34	1,26	14,25	7,13	26,15
10	MiHe10	0,40	0,20	0,74	8,35	4,17	15,32
11	MiHe11	0,43	0,22	0,79	8,95	4,48	16,43
12	MiHe12	0,46	0,23	0,84	9,49	4,74	17,41
<b>PROMEDIO (x<sub>m</sub>)</b>		<b>0,54</b>	<b>0,27</b>	<b>0,98</b>	<b>11,14</b>	<b>5,57</b>	<b>20,44</b>
<b>ERROR. EST. (σ<sub>x</sub>)</b>		0,09	0,04	0,16	1,82	0,91	3,34

\* Se consideró el área ocupada por un individuo como el equivalente al área representativa del cuadrante extraído (0,5m x 0,5m).

Elaborado por: Autores

**Cuadro 8.30 Determinación de biomasa, carbono, CO<sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente aéreo de la cobertura pasto**

PROPIETARIO HACIENDA:		Sra. Cristina Pazmiño			Área 1 ind (m <sup>2</sup> ): *	0,25	
PARROQUIA:		Píntag			Área 1 ind (ha):	0,000025	
CANTÓN:		Rumiñahui			Área total (ha):	26,26	
PROVINCIA:		Pichincha			Cobert. 83 % (ha):	21,80	
FECHA DE CORTE		7 y 8 de agosto 2012	EDAD:		.....	POB. total eq. (ind)	871832
COBERT:	PASTOS		NOMBRE COMUN:		PASTO	DENSIDAD (ind/ha):	33200
				UNITARIO		HECTAREA	
# INDIVIDUO	CÓDIGO	Biomasa Aérea (kg)	Carbono (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)	Biomasa Aérea (T/ha)	Carbono (T/ha)	CO <sub>2</sub> (T/ha)
1	Pa1	0,64	0,32	1,17	21,16	10,58	38,82
2	Pa2	0,41	0,21	0,76	13,68	6,84	25,11
3	Pa3	0,51	0,26	0,94	16,97	8,48	31,13
4	Pa4	0,60	0,30	1,10	19,86	9,93	36,43
5	Pa5	0,65	0,33	1,20	21,75	10,87	39,90
6	Pa6	0,74	0,37	1,35	24,48	12,24	44,92
7	Pa7	0,62	0,31	1,14	20,61	10,31	37,83
8	Pa8	0,59	0,29	1,08	19,57	9,78	35,90
9	Pa9	0,85	0,42	1,55	28,12	14,06	51,61
10	Pa10	0,96	0,48	1,77	31,95	15,97	58,62
<b>PROMEDIO (x<sub>m</sub>)</b>		<b>0,66</b>	<b>0,33</b>	<b>1,21</b>	<b>21,81</b>	<b>10,91</b>	<b>40,03</b>
<b>ERROR. EST. (σ<sub>x</sub>)</b>		0,05	0,03	0,09	1,67	0,83	3,06

\* Se consideró como 1 individuo, a la vegetación registrada en el cuadrante de 0,25 m<sup>2</sup>, debido a la heterogeneidad de especies en la cobertura pastos.

Elaborado por: Autores

**Cuadro 8.31 Determinación de biomasa, carbono, CO<sub>2</sub> por individuo y hectárea del componente subterráneo de la cobertura pasto**

<b>PROPIETARIO HACIENDA:</b>		Sra. Cristina Pazmiño			<b>Área 1 ind (m<sup>2</sup>):</b>	0,25	
<b>PARROQUIA:</b>		Píntag			<b>Área 1 ind (ha):</b>	<b>0,000025</b>	
<b>CANTÓN:</b>		Rumiñahui			<b>Área total (ha):</b>	26,26	
<b>PROVINCIA:</b>		Pichincha			<b>Cobert. 83 % (ha):</b>	<b>21,80</b>	
<b>FECHA DE CORTE</b>		7 y 8 de agost 2012	<b>EDAD:</b>		.....	<b>POB. total eq. (ind)</b>	871832
<b>COBERT:</b>	PASTOS		<b>NOMBRE COMUN:</b>	PASTO	<b>DENSIDAD (ind/ha):</b>	<b>33200</b>	
		<b>INDIVIDUO</b>			<b>HECTAREA</b>		
<b># INDIVIDUO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>Biomasa Subt. (kg)</b>	<b>Carbono (kg)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg)</b>	<b>Biomasa Subt. (T/ha)</b>	<b>Carbono (T/ha)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (T/ha)</b>
1	Pa1	0,35	0,17	0,63	11,46	5,73	21,02
2	Pa2	0,15	0,07	0,27	4,83	2,42	8,87
3	Pa3	0,11	0,05	0,20	3,63	1,81	6,66
4	Pa4	0,14	0,07	0,25	4,58	2,29	8,41
5	Pa5	0,09	0,05	0,17	3,04	1,52	5,58
6	Pa6	0,06	0,03	0,11	2,03	1,01	3,72
7	Pa7	0,13	0,06	0,24	4,27	2,14	7,84
8	Pa8	0,04	0,02	0,07	1,27	0,63	2,33
9	Pa9	0,09	0,05	0,17	3,06	1,53	5,62
10	Pa10	0,21	0,11	0,39	7,04	3,52	12,91
<b>PROMEDIO (x<sub>m</sub>)</b>		<b>0,14</b>	<b>0,07</b>	<b>0,25</b>	<b>4,52</b>	<b>2,26</b>	<b>8,30</b>
<b>ERROR. EST. (σ<sub>x</sub>)</b>		0,03	0,01	0,05	0,92	0,46	1,69

\* Se consideró como 1 individuo, a la vegetación registrada en el cuadrante de 0,25 m<sup>2</sup>, debido a la heterogeneidad de especies en la cobertura pastos.


Elaborado por: Autores

Figura 8.29 Informe de laboratorio de carbono en suelos del área A.



OBSERVACIÓN: Los valores de materia orgánica se obtuvieron mediante un factor de transformación ( $f = 2,49$ ), el cual fue proporcionado por el mismo laboratorio.

Figura 8.30 Informe de laboratorio de materia orgánica y carbono en suelos del área B



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL**

**LABFIGEMPA**  
**INFORME DE RESULTADOS**

Cliente: Ing Sergio Torres Dirección: Teléfono: (080587151) Atención: Sr Javier Yepes	Número de informe: 12-118 Fecha de informe: 12-08-08 Recop. Laboratorio: 12-08-08 Nº de muestras entregadas: 11 suelos
--	---

**1. RESULTADOS ANALÍTICOS:**

Identificación de la muestra:		SUELO : PA-13-00			
Parámetros:	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fecha de ensayo	
				Inicial	Final
* Carbono Total	%	3.0	Método interno Walkley Black	12-08-08	12-08-11
*Materia Orgánica	%	8.5	Método interno Walkley Black	12-08-08	12-08-11

Identificación de la muestra:		SUELO : PA-25-00			
Parámetros:	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fecha de ensayo	
				Inicial	Final
* Carbono Total	%	3.9	Método interno Walkley Black	12-08-08	12-08-11
*Materia Orgánica	%	11.5	Método interno Walkley Black	12-08-08	12-08-11


Identificación de la muestra:		SUELO : PA-35-00			
Parámetros:	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fecha de ensayo	
				Inicial	Final
* Carbono Total	%	4.3	Método interno Walkley Black	12-08-08	12-08-11
*Materia Orgánica	%	12.8	Método interno Walkley Black	12-08-08	12-08-11

Identificación de la muestra:		SUELO : PA-45-00			
Parámetros:	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fecha de ensayo	
				Inicial	Final
* Carbono Total	%	3.6	Método interno Walkley Black	12-08-08	12-08-11
*Materia Orgánica	%	10.6	Método interno Walkley Black	12-08-08	12-08-11

Identificación de la muestra:		SUELO : PA-55-00			
Parámetros:	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fecha de ensayo	
				Inicial	Final
* Carbono Total	%	3.8	Método interno Walkley Black	12-08-08	12-08-11
*Materia Orgánica	%	11.4	Método interno Walkley Black	12-08-08	12-08-11

Los ensayos realizados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE  
 en Ecuador  
 El presente informe es válido a los efectos correspondientes a ensayos. Muestras almacenadas según especificación del cliente.  
 No nos responsabilizamos adelantado de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.  
 Documento válido únicamente con el sello seco de la institución. EL LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

**2. RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:** Quím. Gabriel Cevallos, Ing. Verónica Rodríguez



Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
 Director encargado LABFIGEMPA

---

Ciudad Universitaria – Carretera Latacunga y Azuay - La Graciosa – Casilla 870-A – Teléfonos: 2550-588 2566-726  
 Fax: 2500-306 2566-738 – E-mail: direccion@figempa@ucae.com – Quito-Ecuador





Fig. 1.0005A



Figura 8.30 CONTINUACIÓN



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL**

**LABFIGEMPA**  
**INFORME DE RESULTADOS**

Cliente: Ing Sergio Torres	Número de Informe: 12-028
Dirección: OBOSB7151	Fecha de informe: 12-08-08
Atención: Sr Javier Yepez	Equip. Laboratorio: 12-08-08
	Nº de muestras entregadas: 11 cueltos

**I. RESULTADOS ANALÍTICOS**

Identificación de la muestra:		SUBID - PA-45-80			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fecha de ensayo	
				Inicial	Final
* Carbono Total	%	3,7	Método interno Walkley Black	12-08-30	12-08-31
* Materia Orgánica	%	11,1	Método interno Walkley Black	12-08-30	12-08-31

Identificación de la muestra:		SUBID - PA-75-80			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fecha de ensayo	
				Inicial	Final
* Carbono Total	%	4,3	Método interno Walkley Black	12-08-30	12-08-31
* Materia Orgánica	%	12,8	Método interno Walkley Black	12-08-30	12-08-31


Identificación de la muestra:		SUBID - PA-85-80			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fecha de ensayo	
				Inicial	Final
* Carbono Total	%	4,4	Método interno Walkley Black	12-08-30	12-08-31
* Materia Orgánica	%	13,2	Método interno Walkley Black	12-08-30	12-08-31

Identificación de la muestra:		SUBID - PA-95-80			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fecha de ensayo	
				Inicial	Final
* Carbono Total	%	4,6	Método interno Walkley Black	12-08-30	12-08-31
* Materia Orgánica	%	13,4	Método interno Walkley Black	12-08-30	12-08-31

Identificación de la muestra:		SUBID - PA-105-80			
Parámetros	Unidad	Valor	Método Aplicado	Fecha de ensayo	
				Inicial	Final
* Carbono Total	%	4,3	Método interno Walkley Black	12-08-30	12-08-31
* Materia Orgánica	%	12,7	Método interno Walkley Black	12-08-30	12-08-31

Los ensayos realizados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OMI  
 Dr. Ines Membre  
 El presente informe está afecto a los derechos reservados e impresos. Muestras destruidas según especificación del cliente  
 No responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.  
 Documento válido únicamente con el visto bueno de la institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.


**EL RESPONSABLE DEL ANÁLISIS:** Quím. Gabriel Gavarró, Ing. Verónica Rodríguez



Quím. GABRIEL GAVARRÓ GONZÁLEZ  
 Director encargado LABFIGEMPA

---

Ciudad Universitaria – Gerónimo Lantón y Av. La Gasca – Casilla 872-A – Telfs.: 2550-588 2566-726  
 Fax: 2560-106 2566-738 – E-mail: deca@ata.fgempas@yahoo.com – Quito-Ecuador



IN 140026