

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL
MEDIANTE EL USO DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y S.I.G. EN LA
COLONIA SIEMPRE UNIDOS DEL MUNICIPIO DE CARANAVI, LA PAZ**

Presentado por:

ALEJANDRO PASCUAL QUISPE CAPQUIQUE

La Paz – Bolivia

2014

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA
VEGETAL MEDIANTE EL USO DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y S.I.G.
EN LA COLONIA SIEMPRE UNIDOS DEL MUNICIPIO DE CARANAVI, LA PAZ**

*Tesis de Grado presentado como
Requisito parcial para optar el título de
Ingeniero Agrónomo*

ALEJANDRO PASCUAL QUISPE CAPQUIQUE

Asesores:

Ing. M. Sc. Paulino Ruiz Huanca

Ing. Mirco Johanson Peñaranda Morante

Revisores:

Ing. Ph. D. David Cruz Choque

Ing. Rolando Céspedes Paredes

Ing. Carlos Mena Herrera

Aprobado

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA

A Mis Padres:

*Marcelina María Papquique y Pascual
Quispe, Por su Amor, Confianza, paciencia y
apoyo incondicional hasta el día de hoy por darme la
oportunidad de terminar una carrera Mil gracias..
¡Los Amo!*



A mis Hermanas y Hermanos:

*Lourdes, Carmen, Luisa, Susana, Pablo y
Anthony por los buenos momentos que pasamos juntos y
por el apoyo en momentos difíciles Gracias..*

*A Elvira Ruiz,, Compañera incondicional,
que siempre estuvo conmigo en todo momento, .mil
Gracias amor..*

*Y como Moisés levantó la serpiente en el desierto, es necesario que el Hijo del Hombre sea
levantado, para que todo aquel que en él cree, no se pierda, más tenga vida eterna. Porque de tal
manera amo Dios al mundo, que ha dado a su hijo unigénito, para que todo aquel que en él cree, no se
pierda más tenga vida eterna. Juan 3:14-16.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi guía, por darme el valor para seguir adelante y cumplir con mis metas deseadas en la vida y por darme la bendición de haber sido hijo del Señor Pascual Quispe y la Señora María Capquique por que estuvieron en momentos de tristezas y alegrías.

A la Universidad Mayor de San Andrés, por haberme cobijado en sus aulas y en particular a la Facultad de Agronomía de la Carrera de Ingeniería Agronómica, por haberme permitido y dado las facilidades para la culminación de mi carrera profesional.

Inmensa gratitud hacia mis queridos asesores: Ing. M. Sc. Paulino Ruiz Huanca y al Ing. Mirco Johanson Peñaranda Morante, por su confianza y sugerencias constantes durante desarrollo de la presente tesis, incluso fuera de horarios de trabajo.

De igual manera al comité revisor compuesto por el Ing. Ph. D. David Cruz Choque, Ing. Rolando Céspedes Paredes e Ing. Carlos Mena Herrera, mil gracias por las revisiones y sugerencias en la elaboración del presente trabajo.

Un agradecimiento a Elvia Ruiz, Amiga y compañera incondicional, a mis queridos amigos Daniel Romero, Gonzalo Choque, Freddy Mamani por brindarme su sincera amistad.

Al señor Alejandro Vergara, Secretario General de la Colonia Siempre Unidos de la gestión 2012, a los pobladores de la colonia, por haberme escuchado y prestado atención y dar su tiempo para responder preguntas de encuesta, de igual forma por el apoyo y colaboración durante la realización del trabajo de campo.

De igual forma, agradezco a toda mi familia que alentó en la realización de mi tesis, quienes me apoyaron en forma incondicional durante la formación profesional, para que cumpliera con mi gran sueño de culminar con mi profesionalización.

A todos Gracias!!!

CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO GENERAL.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Cobertura de la tierra y uso del suelo	4
2.2. Cambio de la cobertura Vegetal.....	6
2.3. Evaluación multitemporal	7
2.4. Sistemas de información geográfica y Teledetección.....	9
2.4.1. Sistemas de información geográfica (S.I.G.).....	9
2.4.1.1. Tipos de datos geográficos	9
2.4.1.2. Creación de datos.....	12
2.4.1.3. La representación de datos.....	12
2.4.2. Teledetección o percepción remota	13
2.4.2.1. Elementos de un proceso de teledetección.	13
2.4.2.2. Espectro electro magnético.....	14
2.5. Sensores remotos.....	15
2.6. Imágenes satelitales	16

2.7.	Imágenes Landsat	16
2.7.1.	Análisis visual de imágenes de satélite	19
2.7.2.	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	20
2.8.	Clasificación de imágenes	23
3.	LOCALIZACIÓN.....	25
3.1.	Características fisiográficas	27
3.1.1.	Topografía	27
3.1.2.	Suelos	28
3.1.3.	Vegetación.....	29
3.1.4.	Hidrografía.....	30
3.2.	Características climáticas	31
3.2.1.	Precipitación.....	31
3.2.2.	Temperatura	32
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	33
4.1.	Materiales	33
4.1.1.	Datos digitales	33
4.1.2.	Software	35
4.1.3.	Equipo y material de campo	35
4.2.	Metodología	36
4.2.1.	Obtención de imágenes.....	37
4.2.1.1.	Digitalización del área de estudio	37
4.2.1.2.	Obtención de imágenes satelitales Landsat.....	37
4.2.2.	Pre procesamiento digital	37
4.2.2.1.	Creación de archivos Multiespectrales (Unión de bandas)	37

4.2.2.2.	Fusión de las imágenes	38
4.2.2.3.	Corrección geométrica	38
4.2.2.4.	Creación de Sub Escenas.....	39
4.2.3.	Procesamiento digital	39
4.2.3.1.	Interpretación visual preliminar	39
4.2.3.2.	Elaboración de los mapas de Índice de Diferencias Normalizadas (NDVI)	40
4.2.4.	Mapas preliminares de cobertura vegetal y uso de la tierra (clasificación no supervisada).....	40
4.2.5.	Verificación de campo	41
4.2.6.	Ajuste de clasificación (Clasificación Supervisada).....	41
4.2.7.	Mapa final de cobertura vegetal	41
4.2.8.	Detección de cambios de Cobertura Vegetal	42
4.2.9.	Detección de Factores de cambio de la Cobertura Vegetal e Identificación de impactos socioeconómicos en los pobladores a causa del mismo	42
4.2.9.1.	Preparación, planificación y organización	42
4.2.9.2.	Registro de información en campo	43
4.2.10.	Trabajo de gabinete final	43
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
5.1.	Determinación de la tasa de cambio de la cobertura vegetal.....	44
5.1.1.	Determinación del área de investigación con herramientas de Sistemas de información Geográfica (S.I.G.).....	44
5.1.2.	Análisis del Índice de Vegetación Normalizada (N.D.V.I.).....	44
5.1.3.	Clasificación supervisada	49

5.1.3.1.	Definición de categorías	50
5.1.3.2.	Agrupación de los pixeles de la imagen por categoría (fase de asignación).....	55
5.1.3.3.	Elaboración de mapa final.....	55
5.1.4.	Análisis Multitemporal y detección de la tasa de cambios de la cobertura vegetal	60
5.2.	Identificación de los Factores que determinan el cambio de uso de suelo respecto a la cobertura vegetal	66
5.3.	Identificación de los impactos socioeconómicos del cambio de la cobertura vegetal.....	69
5.3.1.	Cultivos producidos	72
5.3.2.	Vinculación territorial	77
5.3.3.	Servicios básicos.....	77
5.3.3.1.	Agua	77
5.3.3.2.	Energía eléctrica	78
5.3.3.3.	Servicio Sanitario.....	78
5.3.3.4.	Comunicación	78
6.	CONCLUSIONES	79
7.	RECOMENDACIONES.....	81
8.	BIBLIOGRAFÍA CITADA	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formas y relieve de la corteza terrestre, El mapa incorpora datos proporcionados por varios países diferentes de todo el mundo.....	4
Figura 2. Montaje y simulación del proceso de deslizamiento de las laderas en las vertientes de montaña mostradas en dos imágenes (A) Antes (B) Después.	8
Figura 3. Conformación del mundo real a través de datos vectoriales y raster.	10
Figura 4. Elementos de un proceso de Teledetección.....	14
Figura 5. Rangos del espectro electromagnético utilizadas para la discriminación de objetos en percepción remota.	15
Figura 6. Bandas del Sensor landsat 7ETM+ sin contar la banda pancromática. .	18
Figura 7. Fusión de las bandas 4,3 y 2 de imágenes Landsat 7 ETM+ generando una imagen multiespectral con falso color.	20
Figura 8. La vegetación sana (izquierda) absorbe la mayor parte de la luz visible que le llega, y refleja una gran parte de la luz del infrarrojo cercano.	23
Figura 9. Ubicación del área de estudio.....	26
Figura 10. Perfiles Topográficos de cuatro sectores de la Colonia Siempre Unidos.	28
Figura 11. Río Carrasco y principales afluentes de la Colonia Siempre Unidos....	31
Figura 12. Mosaico Bolivia – Perú (Path 001 / Row 071).....	34
Figura 13. Imágenes Vectoriales.....	34
Figura 14. Metodología general para el desarrollo de la investigación.	36
Figura 15. Imágenes multi-espectrales obtenidas.....	38

Figura 16. Izquierda, Perímetro de la Colonia Siempre Unidos. Derecha, División por lotes de la Colonia Siempre Unidos (Área de Estudio)	44
Figura 17. Rango de NDVI	45
Figura 18. Mapa de NDVI de la gestión 1999.	46
Figura 19. Mapa de NDVI de la gestión 2005.	47
Figura 20. Mapa de NDVI de la gestión 2013.	48
Figura 21. Principales Coberturas encontradas en la Colonia Siempre Unidos.	53
Figura 22. Clasificación supervisada de Cobertura para el año 1999.	57
Figura 23. Clasificación supervisada de Cobertura Para el año 2005.....	58
Figura 24. Clasificación supervisada de Cobertura del año 2013.	59
Figura 25. Fotografía de una parcela en producción.....	73
Figura 26. Fotografía de un huerto de naranjas.	74
Figura 27. Fotografías. Izquierda, Carretera Caranavi – Quiquibey en plena construcción. Derecha, Vehículos indocumentados que circulan por el sector de Caranavi.....	77

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Clasificación Supervisada de coberturas para la gestión 1999 en hectáreas.	57
Gráfico 2. Clasificación Supervisada de coberturas para la gestión 2005 en hectáreas.	58
Gráfico 3. Clasificación Supervisada de coberturas para la gestión 2013 en hectáreas.	59
Gráfico 4. Tasa de Cambios de cobertura clasificada como bosque secundario en “ha”, durante los años 1999, 2005 y 2013.....	61
Gráfico 5. Tasa de Cambios de cobertura clasificada como Áreas de bosque intervenido en “ha”, durante los años 1999, 2005 y 2013	62
Gráfico 6. Tasa de Cambios de cobertura clasificada como Áreas de cultivo Permanente en “ha”, durante los años 1999, 2005 y 2013	62
Gráfico 7. Tasa de Cambios de cobertura clasificada como Suelos Semi Descubiertos en “ha”, durante los años 1999, 2005 y 2013.....	63
Gráfico 8. Tasa de Cambios de cobertura clasificada como Suelos Descubiertos en “ha”, durante los años 1999, 2005 y 2013.....	63
Gráfico 9. Comportamiento en la cantidad de superficie/hectárea de las coberturas clasificadas en los años1999, 2005 y 2013.....	64
Gráfico 10. Datos de Superficies por hectárea de las coberturas clasificadas en los años 1999,2005 y 2013.....	65
Gráfico 11. Cantidad de Hombres y mujeres que habitan en la Colonia Siempre Unidos.....	69
Gráfico 12. Habitantes de la Colonia siempre Unidos por edades.	70

Gráfico 13. Comparación de actividad productiva por superficies en los años 1999 y 2013 expresado en porcentaje.	71
Gráfico 14. Principales Cultivos producidos en la Colonia Siempre Unidos.....	72
Gráfico 15. Rendimiento anual en bolivianos por producto.....	75
Gráfico 16. Percepción de cambio en el tiempo.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación de bandas Landsat 7 y Landsat 8	17
Cuadro 2. Datos de precipitación por mes en (mm).....	32
Cuadro 3. Datos de precipitación de los años de estudio en (mm).....	32
Cuadro 4. Datos de Temperatura Media por mes en °C.....	32
Cuadro 5. Datos de las imágenes Landsat usadas para el trabajo de investigación.	33
Cuadro 6. Superficie de coberturas clasificadas por año expresada en ha.	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de Isoyetas del año 1999.....	ii
Anexo 2. Mapa de Isoyetas del año 2005.....	iii
Anexo 3. Mapa de Isoyetas del año 2013.....	iv
Anexo 4. Índice Landsat.....	v
Anexo 5. Imagen Landsat del año 1999.....	vi
Anexo 6. Imagen Landsat del año 2005.....	vii
Anexo 7. Imagen Landsat del año 2013.....	viii
Anexo 8. Fotografías de áreas con cobertura (Suelos Semi Descubiertos).....	ix
Anexo 9. Fotografías de áreas con suelo descubierto, a causa de deslizamientos, zonas alrededor de ríos y camininos.....	ix
Anexo 10. Fotografías de parcelas de coca.....	x
Anexo 11. Fotografía de plantas de coca.....	x
Anexo 12. Banano listo para trasladarlo y posteriormente venderlo	xi
Anexo 13. Validación de campo	xi
Anexo 14. Casas con antenas parabólicas captando señal de T.V.	xi
Anexo 15. Comparación en el tiempo del cambio de las coberturas clasificadas ..	xii
Anexo 16. Diferencia entre cobertura vegetal y áreas descubiertas en las diferentes gestiones de estudio.....	xii

RESUMEN

Los cambios de la cobertura vegetal se dan en todos los lugares donde el hombre ha llegado a tener acceso. Estos cambios se darán en función a la cantidad poblacional, y a las necesidades que tenga cada familia.

La presente investigación se llevó a cabo en la región de los Yungas en la Colonia Siempre Unidos. Tuvo el objetivo de conocer la dinámica en el cambio de la cobertura vegetal durante el periodo de 1999 al 2013 y la relación que existe en función de los factores sociales y económicos. La importancia de estudiar estas relaciones desde un enfoque sistémico radica en tratar de comprender el funcionamiento de la sociedad y su influencia en el cambio de uso de suelo respecto a la cobertura vegetal.

Este trabajo aplica la metodología del análisis multitemporal a partir de imágenes Landsat de los años 1999, 2005 y 2013. Se confrontó la detección de cambios en las dos fechas de interés, a partir de clasificaciones supervisadas con inclusión de análisis NDVI y validaciones en campo, el que posibilitó una mayor precisión en la categorización final del área de estudio que es de suma importancia ecológica y agronómica en estas áreas tropicales.

Los resultados arrojados demuestran que el método de clasificación digital, mostró una buena precisión en la identificación de las categorías discriminadas sirviendo de soporte a posteriores análisis.

En resumen se puede mencionar que existen diferentes estudios similares a nivel usados a nacional, en esta ocasión el presente trabajo, se realizó de forma más detallada, mostrando así cambios de cobertura vegetal usando técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica para posterior análisis sobre los factores que determinaron los cambios cuales fueron los impactos socioeconómicos en las familias que habitan en la Colonia Siempre Unidos.

ABSTRACT

Changes in vegetation cover occur in all places where man has come to have access. These changes will take place according to population size, and the needs of a particular family.

This research was carried out in the region of the Yungas in the Colonia Evermeet. Aimed to understand the dynamics in the change of vegetation cover during the period 1999 to 2013 and the relationship in terms of social and economic factors. The importance of studying these relationships from a systemic approach lies in trying to understand the workings of society and its influence on the change in land use with respect to vegetation cover.

This paper applies the methodology of the analysis based on multitemporal Landsat images of the years 1999, 2005 and 2013 change detection is confronted on the two dates of interest from supervised classifications including NDVI analysis and validation in the field, which enabled greater precision in the final categorization of the study area is of paramount ecological and agronomic importance in these tropical areas.

The results demonstrate that cast digital classification method showed good accuracy in identifying the categories discriminated support serving to further analysis.

In summary it can be mentioned that there are several similar level studies used nationally, this time the present work was carried out in more detail, showing changes in vegetation cover using remote sensing techniques and GIS for further analysis on factors that determine which changes were the socio-economic impacts on families living in the Colonia Evermeet..

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial, las técnicas de teledetección han sido utilizadas en la identificación de cambios en la cobertura y el uso de la tierra; esta valiosa tecnología sirve para el monitoreo de fenómenos naturales u otras modificaciones que experimenta una región, como consecuencia de la intervención del hombre (Chuvienco, 1995).

Los estudios relacionados con el análisis multitemporal de la cobertura vegetal, contribuyen a la identificación sobre las fluctuaciones que puedan existir en diferentes tiempos, para esto se debe proporcionar elementos de estudio adicionales para respaldar este tipo de trabajo.

La conversión humana de los hábitats naturales es la causa más grande de pérdida de diversidad biológica, funciones ecológicas, así como de alteraciones del ciclo hidrológico. El balance entre hábitat natural y el paisaje humano podría determinar el futuro de la conservación de la diversidad biológica en grandes áreas del planeta. Por lo tanto es importante mapear y cuantificar el grado de conversión humana del hábitat natural al perturbado o dominado por el hombre.

Los principales usos de la tierra reportados en la zona yungueña se relacionan con la producción agrícola, las principales especies de la región, por su importancia económica, productividad y área son: los frutales como los cítricos, bananos, mangos, paltas, etc. Con algunos cultivos anuales como el maíz, tomate, arroz, etc.

En la agricultura de corte y quema, el agricultor derriba el bosque secundario con dos a 8 años de edad para sus cultivos. Los mismos autores mencionan que el bosque primario es cada vez más escaso. (FOBOMADE, 2000) El cambio de coberturas y uso de suelo que se sustenta es un proceso dinámico, originado por la acción del hombre sobre el territorio. En áreas de cultivos como la coca (*Eritroxilum coca*) estos procesos de cambio son aún mayores y ocurren con

rapidez generando afectaciones no solo sobre la cobertura vegetal que reemplazan, sino también sobre las especies fáunicas asociadas.

La importancia del presente trabajo, radica principalmente en la utilización práctica de la información generada por tomadores de decisión, como lo menciona Hilari (2010), indica que este proyecto de investigación radica en conseguir información base que pueda ser de utilidad para la toma de decisiones y la implementación de medidas de manejo y protección de estos sitios, asegurando al mismo tiempo la sobrevivencia de las comunidades ancestrales presentes en dichas áreas y que dependen de estos recursos para su subsistencia.

Además, por tratarse de un estudio que contempla lugares poco estudiados, no solo servirá como instrumento para futuras investigaciones sino también, para informar, motivar y crear conciencia acerca de estos valiosos recursos con los que aún cuenta la zona andina de nuestro país.

En los últimos años, se ha venido observando que muchos sitios de la provincia Caranavi, han entrado en un proceso de deterioro de la cobertura vegetal realizando cambios drásticos en la misma, dichos cambios son claramente analizados e identificados en las imágenes satelitales estudiadas.

Los cambios de cobertura vegetal que se generan por diferentes factores, tienen una influencia socioeconómica directa en los pobladores, es por esta razón que el presente estudio se realizó en coordinación con las autoridades y pobladores de la Colonia Siempre Unidos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Evaluar los cambios de la Cobertura Vegetal producidas en la Colonia Siempre Unidos del municipio de Caranavi y la influencia del mismo en su población.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar la tasa de cambio de cobertura vegetal entre los años 1999 y 2013 con imágenes satelitales Landsat, utilizando técnicas de teledetección.
- Analizar los factores que determinan el cambio del uso del suelo respecto a la cobertura vegetal.
- Identificar los impactos socioeconómicos del cambio en cobertura vegetal en la Colonia.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cobertura de la tierra y uso del suelo

La Superintendencia Agraria (2001) indica que es una cobertura biofísica tal cual se observa directamente o a través de sensores remotos y que incluye la vegetación natural o cultivada, construcciones hechas por el hombre y otros como agua, hielo, afloramientos rocosos, depósitos de arena, evaporitas, etc. Como se muestra en la siguiente imagen. Años más tarde, Di Gregorio (2004) menciona que la cobertura de la tierra, es la cobertura bio – física que se observa sobre la superficie de la tierra.

El hombre desde tiempos atrás comenzó a observar la forma y superficie terrestre mediante diferentes técnicas, los más actuales que han ido evolucionando con el tiempo son mediante sensores remotos y con datos que se obtienen de las mismas, se llegan a conformar diferentes tipos de mapas como se muestra en la Figura 1. Con mapas e imágenes de este tipo se pueden llegar a determinar a simple vista las coberturas y relieves que pueden tener diferentes partes del mundo.

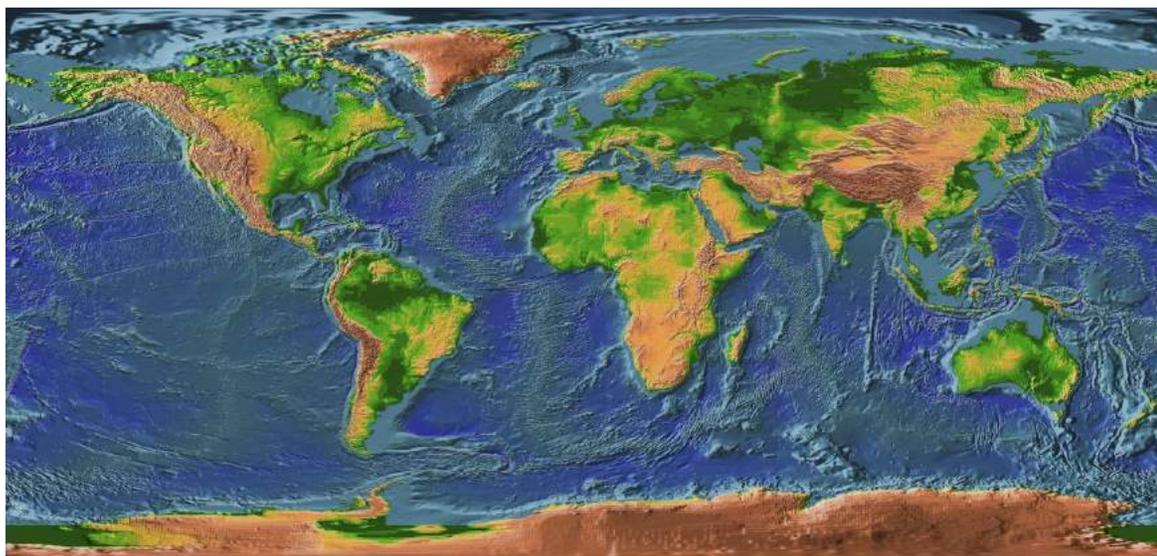


Figura 1. Formas y relieve de la corteza terrestre, El mapa incorpora datos proporcionados por varios países diferentes de todo el mundo.

Fuente: Astronomía Educativa. (2014)

Se observa también que la superficie de la tierra en la actualidad se encuentra cubierta por diferentes tipos de coberturas bióticas y abióticas como lo habían mencionado varios autores, donde la mano del hombre ha cumplido un rol importante en lo que es el cambio de la cobertura en el tiempo.

Las nociones de uso y cobertura del suelo, a pesar de ser conceptos distintos, son utilizadas erróneamente como si significaran lo mismo. La cobertura del suelo se refiere al estado biofísico de la superficie del planeta, mientras que el uso del suelo es cómo y para qué se utilizan esas coberturas. Estos conceptos se encuentran íntimamente relacionados, ya que el uso del suelo depende de que se encuentre disponible sobre la superficie del planeta (Guhl, 2004)

Para esto se debe realizar también un estudio de uso actual del suelo, entonces el análisis nos lleva a buscar su significado para tener un mejor concepto del tema.

El término “uso del suelo” se utiliza para denotar una clasificación de las actividades humanas que ocupan superficie del suelo. El uso del suelo, ya sea para agricultura, recursos forestales, recursos mineros, construcción de viviendas, industria, infraestructuras, pastoreo, etc., conlleva a impactos medioambientales sustanciales, particularmente los que afectan a la biodiversidad y a la calidad del mismo (Garraín, Vidal, & Franco, 2007). El uso del suelo se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan (o desarrollaron) sobre una cobertura. Estas actividades se relacionan con la apropiación de recursos naturales para la generación de bienes y servicios (Bocco, Mendoza, & Masera, 2001). El ser humano se ha dado atribuciones sobre el cómo hacer uso del territorio que adquirió de alguna forma, por eso entonces, podemos decir, que el uso actual de la tierra se refiere a la actividad humana presente al momento de hacer la observación y/o a la descripción de sus características en una época determinada sin tomar en consideración su potencial o uso futuro (Superintendencia Agraria, 2001).

Con respecto al uso actual del suelo en Bolivia, en los últimos años ha ido cambiando. Las ciudades capitales extienden sus fronteras urbanas cada vez más

haciendo de poblaciones aledañas que usaban sus suelos para la producción hoy en día fragmenten su terreno productivo y lo conviertan en tierra lista para ser usada para la construcción de infraestructura civil, etc.

2.2. Cambio de la cobertura Vegetal

El cambio de uso del suelo es una de las actividades humanas cuya influencia es más significativa en la capacidad de los ecosistemas para prestar ciertos servicios ambientales. Por ejemplo, el proceso de deforestación acaba con la capacidad del bosque para prestar servicios ambientales fundamentales para el funcionamiento de ese ecosistema. Adicionalmente, la simplificación de los ecosistemas causada por las actividades humanas como la agricultura hace que los ecosistemas modificados no puedan proveer todos los servicios ambientales que prestaba en su estado natural.

La vegetación es la expresión evolutiva del agregado de especies vegetales en un lugar y en un tiempo determinado, como tal es un elemento indicador del estado o condición que guardan los ecosistemas. Su expresión espacio – temporal es la cobertura vegetal.

La cobertura de vegetación y los usos del suelo constituyen la expresión conjunta de las plantas oriundas o introducidas y la utilización antrópica que se hace del medio biofísico de un área. Es una de las más importantes manifestaciones espaciales de los paisajes naturales y culturales de un territorio (Velásquez, Durán, Larrasábal, López, & Medina, 2010)

A pesar de que el cambio de la cobertura del suelo es un proceso natural, las actividades humanas son responsables de la mayoría de los cambios en el paisaje en el pasado reciente. Cabe notar que el proceso natural de cambio de cobertura del suelo es un proceso gradual marcado por cambios drásticos y súbitos causados por fenómenos como erupciones volcánicas o inundaciones. Con respecto a esto la revista Cenicafé en (2004) menciona que; en los últimos años,

el cambio en los ecosistemas inducido por las actividades humanas ocurre a una velocidad que no tiene precedentes en el pasado geológico del planeta.

La sociedad humana, influenciada por el contexto socioeconómico y ambiental, genera un uso de cobertura del suelo por medio de manipulación de los atributos biofísicos de esas coberturas.

El cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo en el sector de Caranavi como cualquier otro sitio en el mundo ha ido cambiando en los últimos años, el medio ambiente, clima y la mano del hombre han influenciado en estos procesos y es lo que se investiga con la ayuda de una evaluación multitemporal.

2.3. Evaluación multitemporal

El análisis multitemporal se refiere a estudios realizados en diferentes tiempos, en este tipo de estudio se evalúan los diferentes cambios que sufren las coberturas del suelo entre ellos las coberturas vegetales y en el presente estudio ganancia o pérdida de área de cobertura del suelo como consecuencia de un fenómeno natural o de origen antrópico. La mayor parte de los casos, la detección de cambios se realiza comparando, pixel a pixel, los niveles digitales de las distintas imágenes. Lo que involucra que ambas imágenes deben llenar requisitos de ajustes tales como (georreferenciación, orto-rectificación, etc.), lo que permiten realizar el estudio y facilita una comparación objetiva.

Según Fonseca & Gómez (2001) Este tipo de análisis en los cambios de usos del suelo, aportan información importante para la planificación, gestión territorial entre otros y la evaluación del impacto ambiental en determinadas zonas.

Existen varios trabajos a nivel mundial desde hace años pasados que investigadores ambientales, ecologistas, agrónomos y otros, han usado la técnica de estudios comparativos en el tiempo con resultados excelentes. Pudiendo de esta manera mejorar las fluctuaciones de cambio de coberturas vegetales en el suelo.

Un ejemplo es el de la comparación de la cobertura vegetal de nuestros tiempos con la de siglos pasados, los estudiosos obtuvieron resultados alarmantes al descubrir que más del 50% de la cobertura foliar del mundo desapareció en solo unos años, esto los llevó a realizar nuevos estudios proyectando futuras consecuencias en el medio ambiente, y el gran daño que se le estaba haciendo al lugar donde los seres humanos habitamos. Llevando a realizar gigantescas campañas de concientización para el cuidado del medio ambiente y en especial de la cobertura vegetal de nuestra tierra. Una de las causas bruscas y repentinas de cambio en la cobertura de la tierra son los deslizamientos causados por vertientes de agua como se muestra a continuación en la Figura 2. Estos efectos físicos desestabilizan incluso la protección de la cobertura vegetal cuya biomasa es arrastrada por el agua conjuntamente con el suelo (Monedero, 2014).

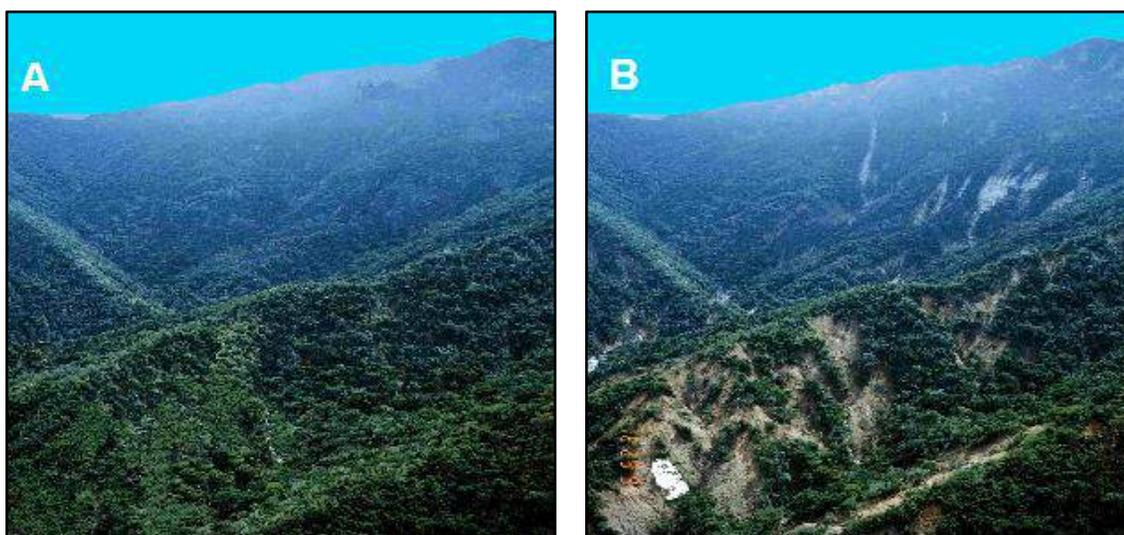


Figura 2. Montaje y simulación del proceso de deslizamiento de las laderas en las vertientes de montaña mostradas en dos imágenes (A) Antes (B) Después.

Fuente: Extracto del documento Una visión geoecológica. (2014)

Al respecto, en Bolivia se ha realizado estudios multitemporales referidos al cambio de uso de suelos de todo el país llegando a obtener resultados interesantes que llevaron a tomar decisiones de cuidar la flora y fauna en todo nuestro país.

Ante tal realidad, y en el deseo de proporcionar alguna explicación, a través de nuestra visión y de su comportamiento, para obtener estos resultados es necesario hacer uso de técnicas de teledetección y herramientas de Sistemas de Información Geográfica. Haciendo clasificaciones de las diferentes coberturas que tiene la superficie terrestre.

Los resultados obtenidos una clasificación supervisada permiten generar el análisis correspondiente a las variaciones en el tiempo de las coberturas o clases definidas. Es decir, a partir de las clasificaciones generadas para cada periodo se calcula la diferencia píxel a píxel, para evaluar los cambios significativos en el tiempo (Mendoza & Paola, 2011).

2.4. Sistemas de información geográfica y Teledetección

2.4.1. Sistemas de información geográfica (S.I.G.)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés (Geographic Information System) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión (Langlé, 2010).

La base de un Sistema de Información Geográfica es una serie de mapas digitales representando diversas variables, o bien mapas que representan diversos objetos a los que corresponden varias entradas en una base de datos. Esta estructura permite combinar, en un mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos lo que permite incrementar el grado de conocimiento (Hilari, 2010).

2.4.1.1. Tipos de datos geográficos

Maygua en el (2012) señala que la mayoría de los elementos que existen en la naturaleza pueden ser representados mediante formas geométricas (puntos, líneas o polígonos, esto es, vectores) o mediante celdillas con información

(Raster). Son formas de ilustrar el espacio: intuitivas y versátiles, que ayudan a comprender mejor los elementos objeto de estudio según su naturaleza.

En función de la forma de representar el espacio de la que hacen uso podemos clasificar los SIGs en dos grandes modelos o formatos que se muestran a continuación en la Figura 3.

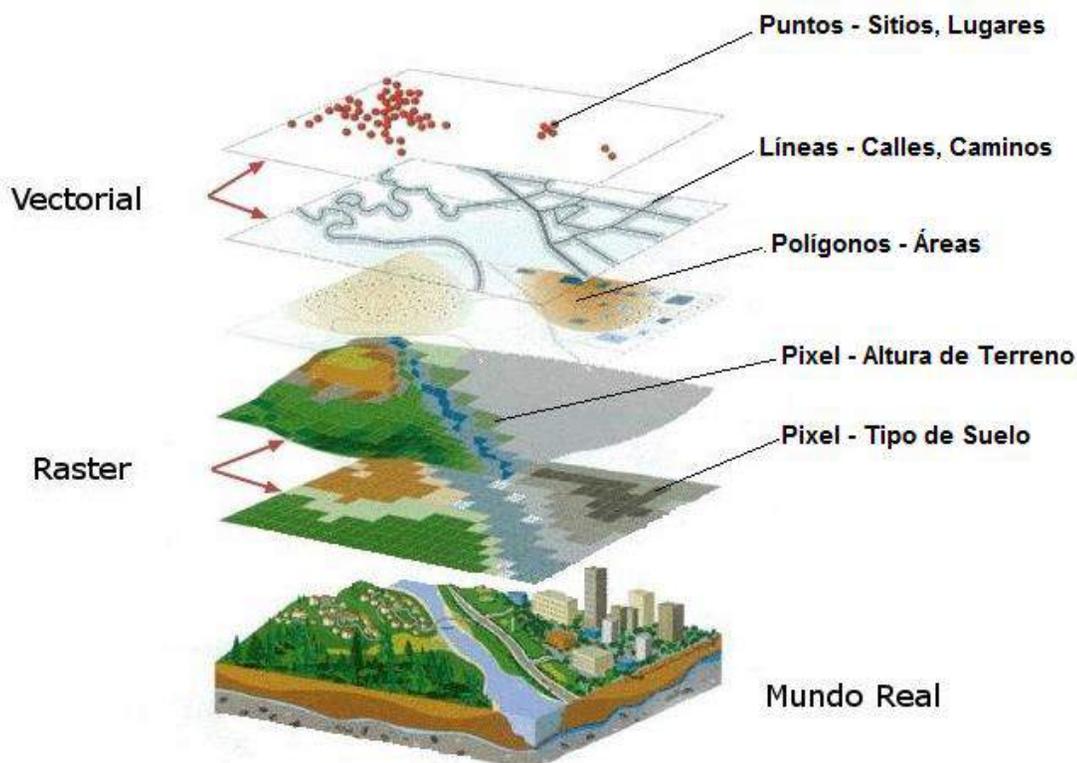


Figura 3. Conformación del mundo real a través de datos vectoriales y raster.

Fuente: Blog sobre Sistemas de Información Geográfica, Maygua. 2012.

2.4.1.1.1. Raster

Un tipo de datos raster es, en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Se trata de un modelo de datos muy adecuado para la representación de variables continuas en el espacio.

Los datos raster se compone de filas y columnas de celdas, cada celda almacena un valor único. Los datos raster pueden ser imágenes (imágenes raster), con un valor de color en cada celda (o píxel). Otros valores registrados para cada celda puede ser un valor discreto, como el uso del suelo, valores continuos, como temperaturas, o un valor nulo si no se dispone de datos. Si bien una trama de celdas almacena un valor único, estas pueden ampliarse mediante el uso de las bandas del raster para representar los colores RGB (rojo, verde, azul), o una tabla extendida de atributos con una fila para cada valor único de células. La resolución del conjunto de datos raster es el ancho de la celda en unidades sobre el terreno.

2.4.1.1.2. Vectorial

En un SIG, las características geográficas se expresan con frecuencia como vectores, manteniendo las características geométricas de las figuras.

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Cada una de estas geometrías está vinculada a una fila en una base de datos que describe sus atributos.

Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono.

- **Puntos**

Los puntos se utilizan para las entidades geográficas que mejor pueden ser expresadas por un único punto de referencia. En otras palabras: la simple ubicación. Por ejemplo, las localizaciones de los pozos, picos de elevaciones o puntos de interés. Los puntos transmiten la menor cantidad de información de estos tipos de archivo y no son posibles las mediciones. También se pueden utilizar para representar zonas a una escala pequeña. Por ejemplo, las ciudades en un mapa del mundo estarán representadas por puntos en lugar de polígonos.

- **Líneas o polilíneas**

Las líneas unidimensionales o polilíneas son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos, ferrocarriles, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel. De igual forma que en las entidades puntuales, en pequeñas escalas pueden ser utilizados para representar polígonos. En los elementos lineales puede medirse la distancia.

- **Polígonos**

Los polígonos bidimensionales se utilizan para representar elementos geográficos que cubren un área particular de la superficie de la tierra. Estas entidades pueden representar lagos, límites de parques naturales, edificios, provincias, o los usos del suelo, por ejemplo. Los polígonos transmiten la mayor cantidad de información en archivos con datos vectoriales y en ellos se pueden medir el perímetro y el área.

2.4.1.2. Creación de datos

Las modernas tecnologías SIG trabajan con información digital, para la cual existen varios métodos utilizados en la creación de datos digitales. El método más utilizado es la digitalización, donde a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo se transfiere a un medio digital por el empleo de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (DAO o CAD) con capacidades de georreferenciación.

Dada la amplia disponibilidad de imágenes orto-rectificadas (tanto de satélite y como aéreas), la digitalización por esta vía se está convirtiendo en la principal fuente de extracción de datos geográficos. Esta forma de digitalización implica la búsqueda de datos geográficos directamente en las imágenes aéreas en lugar del método tradicional de la localización de formas geográficas sobre un tablero de digitalización.

2.4.1.3. La representación de datos

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones:

objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial, como se mencionaron anteriormente.

Los SIG que se centran en el manejo de datos en formato vectorial son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias para realizar estudios como una evaluación multitemporal de cobertura vegetal.

2.4.2. Teledetección o percepción remota

Es la adquisición de información sobre un objeto a distancia, esto es, sin que exista contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador (Sobrino, 2000). Por su parte, Arbelo Holds (1999), en su manual recalca que la teledetección es la ciencia y arte de obtener información acerca de la superficie de la Tierra sin entrar en contacto con ella, e incluye diciendo que esto se realiza detectando y grabando la energía emitida o reflejada y procesando, analizando y aplicando esa información.

2.4.2.1. Elementos de un proceso de teledetección.

El proceso de teledetección involucra una interacción entre radiación incidente y los objetos de interés. Un ejemplo de este proceso, con el uso de sistemas de captura de imágenes puede verse en la figura 4. Nótese, sin embargo, que la teledetección también involucra la percepción de energía emitida y el uso de sensores que no producen imágenes.

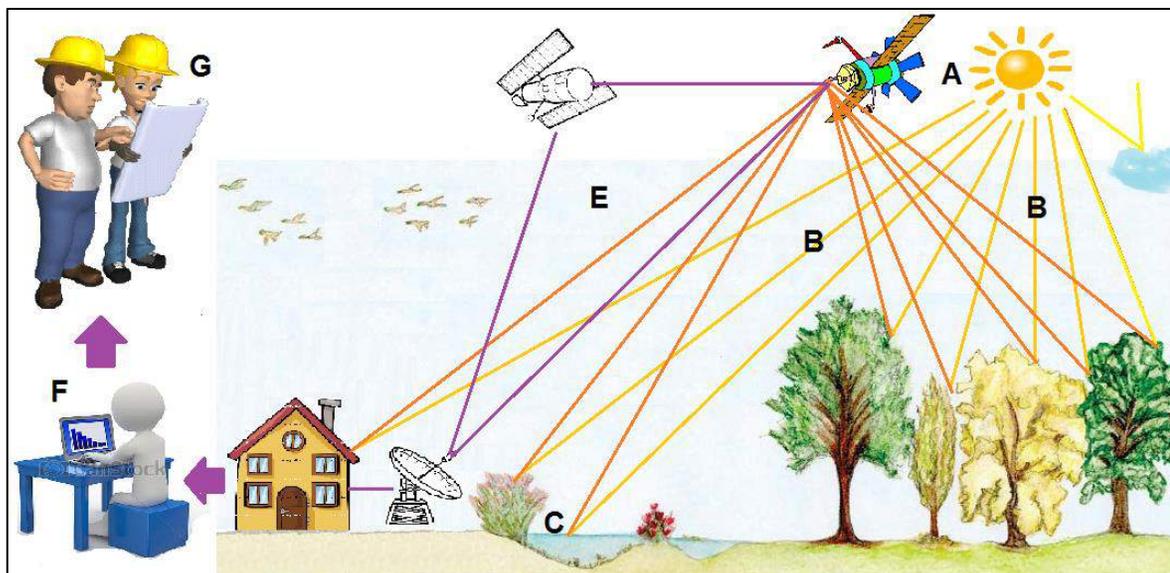


Figura 4. Elementos de un proceso de Teledetección.

Los componentes de la figura 4 son: **A.** Fuente de energía e iluminación, **B.** Radiación y la atmosfera, **C.** Interacción con el objeto, **D.** Detección de energía por el sensor **E.** Transmisión recepción y procesamiento, **F.** Interpretación y análisis **G.** Aplicación. Nótese, sin embargo, que la teledetección también involucra la percepción de energía emitida y el uso de sensores que no producen imágenes. Fuente: Elaboración propia en base a teorías sobre los elementos de un proceso de teledetección.

En nuestro medio, varios Ministerios y Viceministerios del estado Plurinacional han hecho uso de la teledetección en beneficio de las comunidades principalmente. Los mapas de uso actual de suelo que se tiene en el ministerio de Tierras, viene a ser muy general, incluso los datos que se manejan a nivel municipio son muy generales.

2.4.2.2. Espectro electro magnético

El espectro electromagnético se divide en regiones que se basan en longitudes de onda, que pueden ir desde los Rayos Gamma con longitudes de onda corta 10-12 μm , hasta las ondas de radio con longitudes de hasta kilómetros. Esas regiones antes nombradas se les denomina bandas, las cuales tienen sus propias frecuencias medidas en Hertz y longitudes de ondas que van desde los micrómetros hasta los kilómetros.

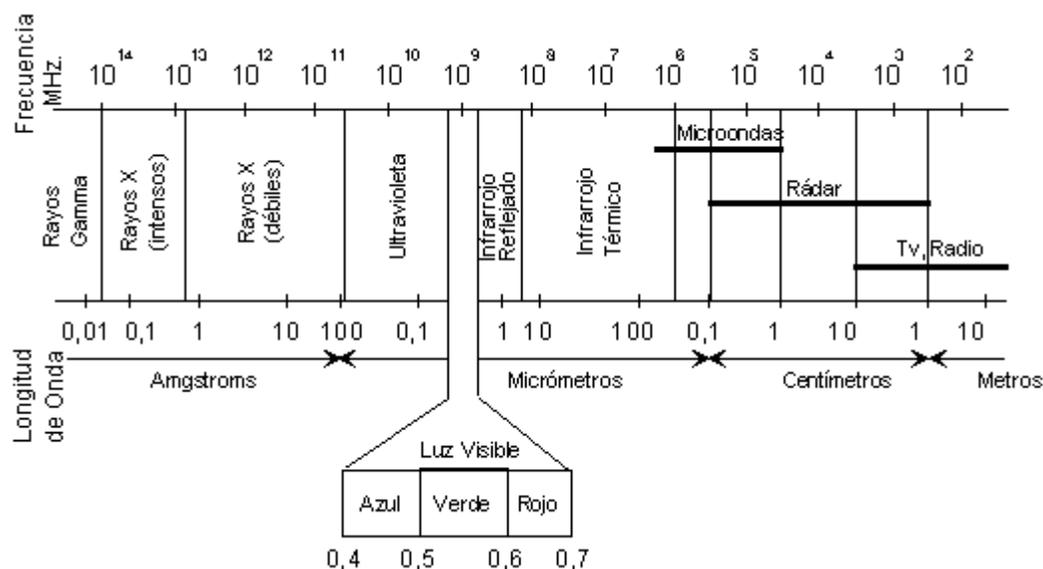


Figura 5. Rangos del espectro electromagnético utilizadas para la discriminación de objetos en percepción remota.

Fuente: Principios y aplicaciones de Sensoriamento remoto (2002)

2.5. Sensores remotos

Puerta, Rengifo, y Bravo en (2013) indican que un sensor remoto es el instrumento que se encuentra en la plataforma satelital capaz de captar la energía procedente de la cubierta terrestre. Existen dos tipos de sensores:

Sensores Pasivos, están limitados a recopilar y almacenar la energía electromagnética emitida por las cubiertas terrestres, que son reflejadas por los rayos solares o provenientes de su propia temperatura. Estos sensores se clasifican en: sensores fotográficos (cámaras fotográficas), sensores óptico-electrónicos (exploradores de barrido y empuje, y las cámaras de vidicon), y los sensores de antena (radiómetros de micro-ondas). Y los sensores Activos, que tienen la capacidad de emitir su propio haz de energía, el que luego de la reflexión sobre la superficie terrestre es recibido por el satélite. El sensor más conocido es el Radar (radiómetro activo de micro-ondas), el que puede trabajar en cualquier condición atmosférica.

2.6. Imágenes satelitales

Las Imágenes Satelitales están confeccionadas por matrices, en las que cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependerá de la Resolución espacial del sensor. Los sensores registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar (Puerta, Rengifo, & Bravo, 2013).

Las imágenes satelitales son del modelo ráster que divide el área de estudio en una agrupación de celdas cuadradas ordenadas en una secuencia específica. Cada una de estas celdas recibe un único valor que se considera representativo para toda la superficie abarcada por la celda, por tanto se considera que el modelo ráster cubre la totalidad del espacio, como se mencionó en un punto anterior en el presente documento.

2.7. Imágenes Landsat

La constelación de satélites LANDSAT (LAND=tierra y SAT=satélite), que inicialmente se llamaron ERTS (Earth Resources Technology Satellites), fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. La forman 8 satélites de los cuales sólo se encuentran activos el 5 y el 8. Su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Los satélites LANDSAT llevan a bordo diferentes instrumentos. Su evolución buscó siempre captar más información de la superficie terrestre, con mayor precisión y detalle, de ahí las mejoras radiométricas, geométricas y espaciales que se incorporaron a los sensores pasivos; el primero, conocido como Multispectral Scanner Sensor (MSS), seguido de Thematic Mapper (TM) que tiene mayor sensibilidad radiométrica que su antecesor, le sigue el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) que entre sus mejoras técnicas destaca una banda espectral

(pancromática) con resolución de 15 metros y por último un satélite que cuenta con dos sensores: el primero de ellos denominado Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo Thermal Infrared Sensor (TIRS). OLI y TIRS que recogen los datos de forma conjunta para proporcionar imágenes coincidentes de la superficie terrestre, incluyendo las regiones costeras, hielo polar, las islas y las zonas continentales (INEGI, 2013).

Las imágenes LANDSAT están compuestas por 7, 8 u 11 bandas espectrales, que al combinarse producen una gama de imágenes de color que incrementan notablemente sus aplicaciones. Dependiendo del satélite y el sensor se incluye un canal pancromático y/o uno térmico; asimismo las resoluciones espaciales varían de 15, 30, 60 y 120m.

Cada escena cubre 180*175 Km². Las principales aplicaciones de estas imágenes se centran en la identificación y clasificación de las distintas cubiertas que existen en la superficie terrestre, determinación de humedad del suelo, clasificación de la vegetación, mapas hidrotermales y estudios multitemporales. Existen imágenes de archivo desde 1982.

En el siguiente cuadro, veremos la comparación entre las bandas que proporciona el Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI y TIRS.

Cuadro 1. Comparación de bandas Landsat 7 y Landsat 8

Landsat 7			Landsat 8		
Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)	Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
			Band 1 Coastal	0.43 – 0.45	30
Band 1 Blue	0.45 – 0.52	30	Band 2 Blue	0.45 – 0.51	30
Band 2 Green	0.52 – 0.60	30	Band 3 Green	0.53 – 0.59	30
Band 3 Red	0.63 – 0.69	30	Band 4 Red	0.64 – 0.67	30
Band 4 NIR	0.77 – 0.90	30	Band 5 NIR	0.85 – 0.88	30
Band 5 SWIR1	1.55 – 1.75	30	Band 6 SWIR1	1.57 – 1.65	30
Band 7 SWIR2	2.09 – 2.35	30	Band 7 SWIR2	2.11 – 2.29	30
Band 8 Pan	0.52 – 0.90	15	Band 8 Pan	0.50 – 0.68	15
			Band 9 Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 6 TIR	10.40 – 12.50	30/60	Band 10 TIRS1	10.6 – 11.19	100
			Band 11 TIRS2	11.5 – 12.51	100

Fuente: Combinación de Imágenes para Landsat 8 de Franz Pucha (2013)

Como se observa, en su mayor parte, las bandas se alinean con algunos ajustes menores de los rangos espectrales. A continuación en la Figura 5, mostraremos como se acomodan las bandas del sensor Landsat 7 ETM+ con el espectro electromagnético.

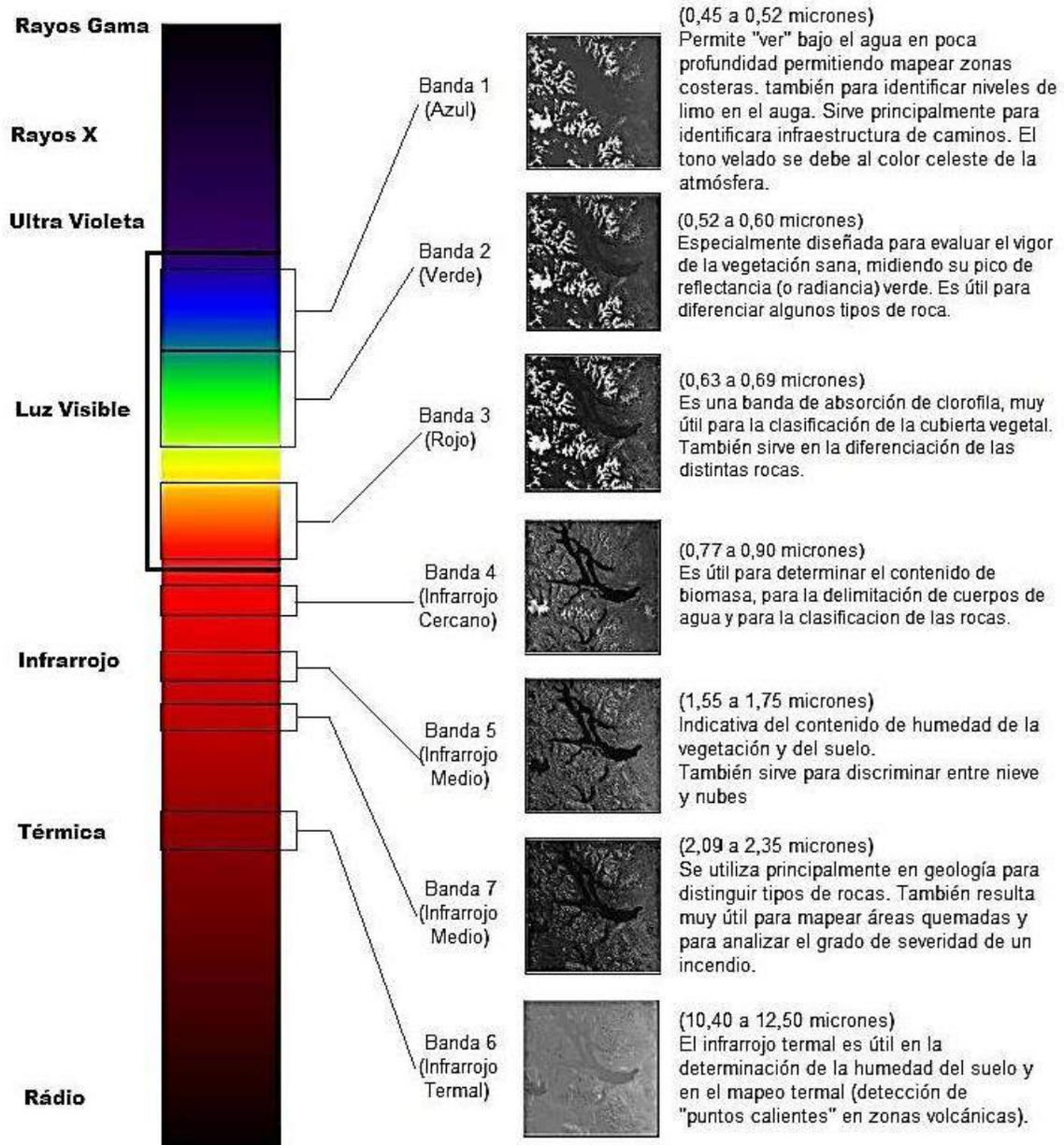


Figura 6. Bandas del Sensor landsat 7ETM+ sin contar la banda pancromática.

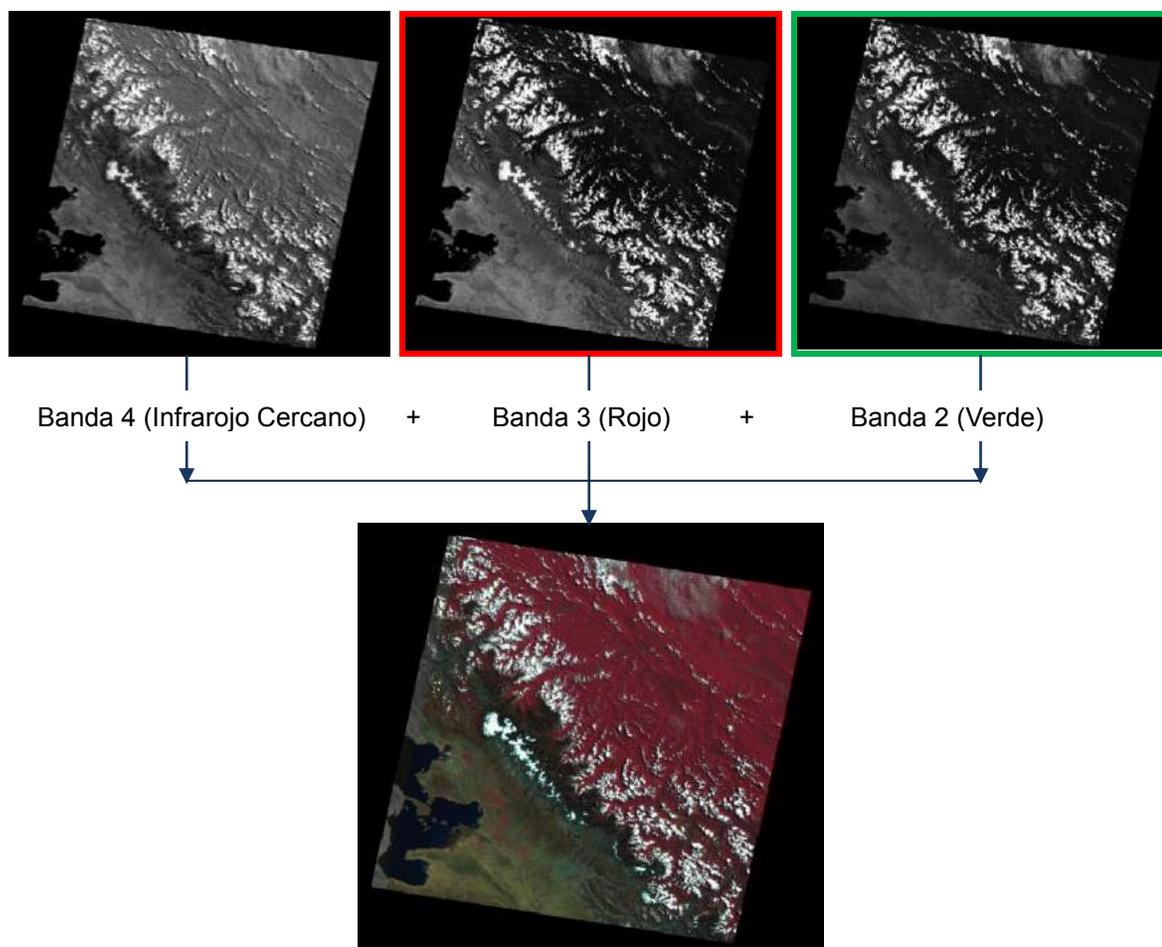
Fuente: Elaboración propia en base a bibliografía comparativa de imágenes Landsat con el espectro electromagnético.

2.7.1. Análisis visual de imágenes de satélite

La técnica más utilizada para formar una composición en falso color, consiste en mezclar tres imágenes del mismo sitio y fecha correspondientes a distintas bandas (Cuadro 1), representando a cada una de ellas con alguno de los colores rojo, verde o azul.

Los 256 niveles digitales de cada banda, representables como una imagen monocromática, se combinan para formar otra imagen en colores. Estos colores y tonos se emplean para la interpretación visual de las imágenes, combinando las bandas de manera que dar un primer acercamiento al contenido de la imagen. La combinación de colores permite discriminar aspectos geológicos, de vegetación, uso del suelo y morfología de zonas urbanas.

En la figura 6, se muestra la fusión de tres bandas para generar una imagen multiespectral.



Composición de Bandas (Falso Color)

Figura 7. Fusión de las bandas 4,3 y 2 de imágenes Landsat 7 ETM+ generando una imagen multiespectral con falso color.

Fuente: Elaboración propia en base a teoría del análisis visual.

La Banda 4 (infrarrojo cercano) es útil para identificar los límites entre el suelo y el agua. Los cuerpos de agua con sedimentos en suspensión aparecen en tonos azul claro y los que poseen pocos sedimentos en suspensión en azul oscuro. Las áreas urbanas y el suelo expuesto aparecen en tonos azules. También la banda 4 es sensible a la clorofila, permitiendo que se observen variaciones de la vegetación, que aparecen en tonos rojos.

2.7.2. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

El Índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y

desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. (Pedreros, Aguilar, & Senay, 2004)

El cálculo de índices de vegetación es una técnica de uso habitual en teledetección y es comúnmente utilizada para mejorar la discriminación entre dos cubiertas que presenten un comportamiento reflectivo muy distinto en dos o más bandas, por ejemplo para realzar suelos y vegetación en el visible e infrarrojo cercano, y para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas (Chuvieco, Fundamentos de teledetección Espacial, 1995)

En un esfuerzo por controlar las grandes fluctuaciones en la vegetación y comprender cómo afectan al medio ambiente, hace 20 años, los científicos de la Tierra comenzaron a utilizar sensores remotos satelitales para medir y mapear la densidad de la vegetación verde sobre la Tierra. Los científicos han estado recogiendo imágenes de la superficie de nuestro planeta. Midiendo cuidadosamente las longitudes de onda y la intensidad de la luz visible y del infrarrojo cercano reflejadas por la superficie de la tierra de vuelta al espacio, los científicos utilizan un algoritmo llamado "Índice de Vegetación" para cuantificar las concentraciones de la hoja verde de la vegetación de todo el mundo. Luego mediante la combinación de los índices de vegetación diarias en 8 -, 16 - compuestos, o de 30 días, los científicos a crear mapas detallados de la densidad de la vegetación verde de la Tierra que identifican donde las plantas están prosperando y cuando están bajo estrés (es decir, debido a la falta de agua). Para determinar la densidad de color verde sobre un pedazo de tierra, los investigadores deben observar los distintos colores (longitudes de onda) de la luz solar visible y casi infrarroja reflejada por las plantas. Como se puede ver a través de un prisma, muchas longitudes de onda diferentes componen el espectro de la luz solar. Cuando la luz solar incide objetos, ciertas longitudes de onda de este espectro son absorbidos y otras longitudes de onda se reflejan. El pigmento en las

hojas de plantas, clorofila, absorbe fuertemente la luz visible (desde 0,4 hasta 0,7 micras) para su uso en la fotosíntesis. La estructura celular de las hojas, por otra parte, refleja fuertemente la luz en el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 micras). El mayor número de hojas de una planta tiene, más las longitudes de onda de la luz se ven afectados, respectivamente (Weier & Arenque, 2000).

En general, si hay mucha más radiación reflejada en longitudes de onda del infrarrojo cercano que en longitudes de onda visibles, a continuación, la vegetación en ese píxel es probable que sea densa y puede contener algún tipo de bosque. Si hay muy poca diferencia en la intensidad de las longitudes de onda visibles y del infrarrojo cercano reflejado, a continuación, la vegetación es escasa y probablemente puede consistir en praderas, tundra, o el desierto.

Weier y Arenque en (2000) indican que casi todos los índices de vegetación satélite emplean esta fórmula diferencia de cuantificar la densidad de crecimiento de las plantas en la tierra menos la radiación del infrarrojo cercano, menos radiación visible dividido por la radiación del infrarrojo cercano más radiación visible. El resultado de esta fórmula se llama el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Escrito matemáticamente, la fórmula es:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

DONDE:

NIR = Infrarrojo Cercano

VIS = Rojo Visible

Ejemplo:

En la siguiente imagen podremos obtener datos para demostrar la función del Índice de Vegetación Normalizada.

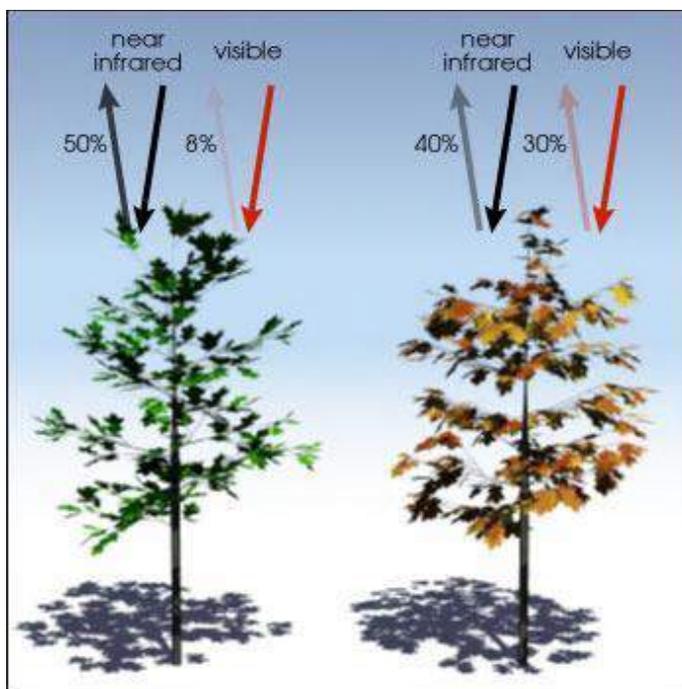


Figura 8. La vegetación sana (izquierda) absorbe la mayor parte de la luz visible que le llega, y refleja una gran parte de la luz del infrarrojo cercano.

Vegetación poco saludables o escasa (a la derecha), refleja más luz visible y menos luz en el infrarrojo cercano. Los números en la figura de arriba son representativos de los valores reales, pero la vegetación real es mucho más variada. Fuente: Weier & Arenque, (2000)

$$\frac{(0,50-0,08)}{(0,50+0,08)} = 0,72 \quad \frac{(0,40 - 0,30)}{(0,40 + 0,30)} = 0,14$$

Cálculos de NDVI para un píxel dado siempre resultan en un número que varía de menos uno (-1) a más uno (1); Sin embargo, no hay hojas verdes dan un valor cercano a cero. Un cero significa que no hay vegetación y cerca de 1 (0,8-0,9) indica la mayor densidad posible de hojas verdes.

El NDVI, está directamente relacionado con la capacidad fotosintética y, por tanto, con la absorción de energía por la cobertura arbórea.

2.8. Clasificación de imágenes

Rial y Gonzales (2001) sobre la clasificación mencionan que es el proceso de agrupar píxeles en un número finito de clases individuales o de categorías de

datos con base en los niveles digitales de los datos. Si un píxel satisface cierto criterio, entonces el píxel es asignado a la clase que corresponda a este criterio.

Como fruto de la clasificación digital se obtiene una cartografía e inventario de las categorías objeto de estudio. La imagen multibanda se convierte en otra imagen, del mismo tamaño y características de las originales, con la importante diferencia de que el ND que define cada píxel no tiene relación con la radiancia detectada por el sensor, sino que se trata de una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese píxel. A partir de una imagen como ésta puede fácilmente generarse cartografía temática, así como un inventario estadístico del número de píxeles —y por tanto de la superficie— asignados a cada categoría (Chuvieco, 2006).

3. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo se realizó en la Colonia Siempre Unidos, situado a 182 km al noreste de la ciudad de La Paz, en la parte de la zona subandina, en el sector conocido como faja de Yungas Alto, cuyo referente natural es la Cordillera Oriental o Real, que atraviesa Bolivia desde el norte hasta el sudeste, regulando el clima de las fajas altitudinales, cuenta con una extensión aproximada de 883,8 hectáreas. Al este limita con la Colonia Sabaya, Al Oeste Con la Colonia Alto Siempre Unidos y la Colonia Moscovia, Norte Con la colonia Moscovia y al Sur con la Colonia Fiscal Bartos.

En el sistema de referencia WGS-84, Proyección UTM, Zona 19 Sur. Se encuentra en los cuadrantes: $X= 654.000 - 661.000$ (metros) y $Y= 8.259.000$ a $-8.266.000$ (metros). Como se muestra a continuación en la figura 9.

Evaluación Multitemporal de Cambio de Cobertura Vegetal – Colonia Siempre Unidos

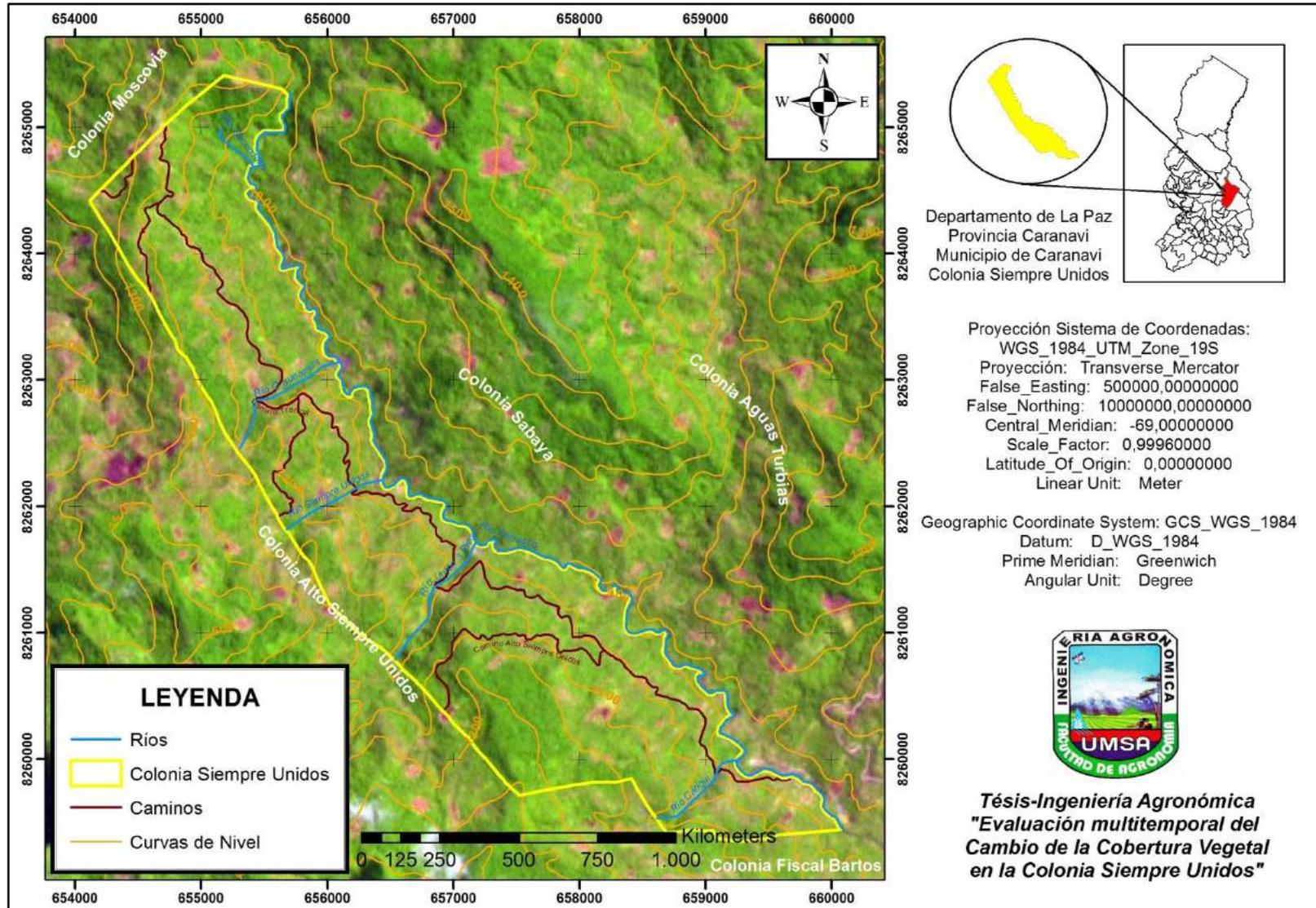


Figura 9. Ubicación del área de estudio.

3.1. Características fisiográficas

De acuerdo a la conformación y características físicas, naturales, climatológicas, etc., el Municipio de Caranavi se divide en tres zonas agroecológicas, estas propiedades están definidas por su altura; la distribución de suelos, humedad, fauna, flora, temperatura e hidrología, diferencian de las zonas existentes en el territorio, por ejemplo, existen bosques con niebla donde la humedad relativa es muy alta y se caracteriza por la existencia de helechos arbóreos, aspecto que es repetitivo en las tres zonas agroecológicas, esto significa que en la división agroecológica existen microrregiones con características iguales pero geográficamente divididas.

La colonia Siempre Unidos y el Cantón Carrasco la Reserva, se encuentran en la zona Agroecológica media, Las propiedades fisiográficas de esta zona se acentúan con la presencia de serranías medias y bajas altamente dispersas, con bosques y cultivos aislados. (Plan de desarrollo Municipal de Caranavi, 2006)

3.1.1. Topografía

El territorio del Municipio de Caranavi presenta una topografía muy accidentada, sus elevaciones influyen en gran manera en el comportamiento climatológico del sector, aspectos que se hacen notables al presentarse una variabilidad en los ecosistemas y la diversidad natural.

La colonia Siempre Unidos es parte de la microcuenca que da origen al río Carrasco, las parte más alta de la colonia se encuentran entre los 1350 msnm y la más baja se encuentra a 850 msnm aproximadamente. Las pendientes varían entre los 40 y 70 grados de inclinación.

En la siguiente figura observamos algunos perfiles topográficos extraídos de cuatro sectores del área de estudio.

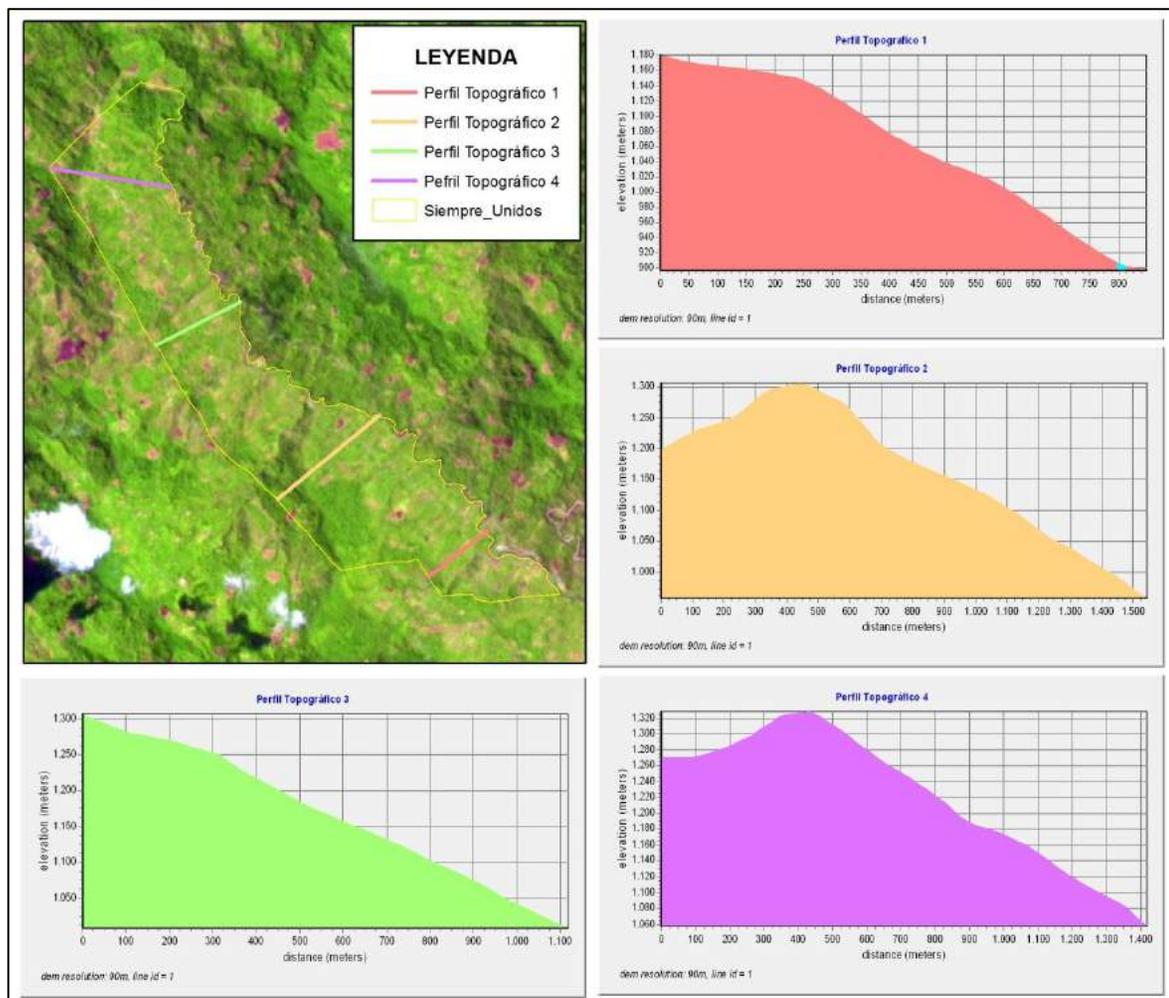


Figura 10. Perfiles Topográficos de cuatro sectores de la Colonia Siempre Unidos.

Como se pudo observar en la figura 10, toda el área de estudio es un territorio con pendientes elevadas, que sin embargo no evitan que los pobladores no puedan habitar ni producir en estos sectores. Más aún son lugares muy adecuados para producir frutales como los cítricos y también el café.

3.1.2. Suelos

Los suelos del municipio y de la Colonia Siempre Unidos son poco profundos y presentan texturas medias moderadamente finas con escasa presencia de fragmentos rocosos, en algunos sectores generalmente son áridos y su fertilidad corresponde a pobre y moderadamente fértiles (Plan de desarrollo Municipal de Caranavi, 2006).

En los últimos años debido a la baja profundidad efectiva del suelo las propiedades nutritivas del mismo han ido disminuyendo por la intensiva producción y también por la pérdida del suelo debido a la erosión hídrica en el sector.

3.1.3. Vegetación

Existe una muy baja porción de terreno que ha sido poco explorada por el hombre, la mayor parte de la vegetación en el área de estudio se encuentra intervenida, presentando diferentes formaciones vegetales secundarias, generalmente de menor diversidad y complejidad estructural.

Las actividades agrícolas son la actividad perturbadora más intensa en la actualidad y la responsable de la existencia de formaciones de bosque intervenido. Básicamente, la actividad agrícola lleva a deforestar un área, cultivarla y más tarde – de unos pocos años a más de una década, dependiendo de los cultivos – abandonarla para dejarla en barbecho¹. Así, dependiendo del tiempo desde el cual se abandonaron las actividades agrícolas o se deforestó la zona, aparecen diversos estadios de bosque secundario o en recuperación donde pueden ocasionalmente reconocerse especies de las actividad agrícola pasada como frutales o la extensión de algunas matas de café (Navarro & Maldonado, 2002).

Sobre las tierras en barbecho la estructura inicial es de un matorral denso de entre los 3 y 5 m de altura donde abunda el helecho *Pteridium aquilinum*, la *Melastomatácea Miconia clathrantha* y otras como *Piper psilophyllum* (Piperaceae), *Vernonia ferruginea* (Vernoniaceae) y *Mimosa spp* (Fabaceae).

Las áreas abandonadas de entre 10 y 20 años presentan un dosel arbóreo cuyas copas ya pueden alcanzar los 15 m como máximo, y está compuesto por una asociación de especies muy característica de *Cecropia angustifolia*, *Cecropia peltata*, *Piper semimetrale*, *Inga spp*, *Urtica spp* y *Hyeronima alchornooides* (Euphorbiaceae).

¹ Áreas que en algún momento fueron utilizadas para la agricultura o ganadería, pero que en el momento se encuentran en descanso o fueron abandonadas.

En aquellas zonas donde el bosque lleva recuperándose más de 20 años, se observa una mayor altura del dosel con algunas especies como *Ceiba salmonea* (Malvaceae), *Cavendishiabracteata* (Ericaceae), *Acalypha mapirensis* (Euphorbiaceae), *Palicourea guianensis* (Rubiaceae). También se encuentran individuos jóvenes de *Ficus spp* (Moraceae) y *Myroxylon balsamum*, o *Cinchona calisaya* (Rubiaceae) – afamada quina, cuyos principios activos son empleados como remedio contra la malaria –. En estos sectores se dan rodales de vegetación en un estadio sucesional más avanzado, y que se asemejan fisonómicamente al bosque primario.

La dinámica geomorfológica natural y la actividad humana puntual que potencia a la anterior dan lugar a áreas de deslizamientos y derrumbes deforestados sobre la que se instalan o comienzan a desarrollarse formaciones vegetales características. Estas zonas se encuentran, por tanto relacionadas con las zonas de más elevada pendiente y aquellas fuertemente intervenidas por la actividad antrópica. En estas áreas se encuentran formaciones sucesionales similares a las descritas anteriormente organizadas en formas de parches o manchones en las laderas y en las que destacan especies pioneras de crecimiento rápido y altamente dinámico y competitivo frente a otras. En las áreas más altas cerca al límite de la colonia denominado “la cumbre” por ejemplo, en un principio se encuentran los helechos, y en la inmensa mayoría de estas zonas se presentan algunas gramíneas como las del género *Imperata*.

3.1.4. Hidrografía

La Colonia, siendo parte de una micro cuenca, cuenta con varios afluentes de agua, entre los más importantes desde hace tiempo hasta la actualidad son 5 que se juntan en el río Carrasco, éstos se muestran a continuación en la figura 11.

Cabe mencionar también que de un tiempo a esta parte, la cantidad de agua en los ríos ha ido disminuyendo, pero que en épocas del año (época de lluvias) los ríos se incrementan.



Figura 11. Río Carrasco y principales afluentes de la Colonia Siempre Unidos.

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en campo.

El río Carrasco, es el delimitante entre las colonias Siempre Unidos y Sabaya, de esta manera se conocen los linderos entre una y otra colonia o comunidad. Generalmente el agua es transparente, pero sin embargo en épocas lluviosas tiende a tornarse turbio.

3.2. Características climáticas

3.2.1. Precipitación

La precipitación en el sector se da por temporadas, existen épocas lluviosas y épocas secas, a continuación se muestran datos de precipitación de las gestiones en estudio.

Cuadro 2. Datos de precipitación por mes en (mm)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1999	223,9	341	300,6	410	30,5	26	26,9	32	55,3	93,5	119,3	103,5
2005	128,2	128,6	43,6	111,2	38,5	0	93	33,5	101	138	89,7	92,5
2013	96	136,5	112	63	49	2,5	12,5	50	92,7	107,7	63	121,9

Fuente: (SENAMHI, 2013)

Se obtuvo los datos de tres de las estaciones climáticas más cercanas a la colonia Siempre Unidos. Los datos de precipitación anual expresados en mm. Se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Datos de precipitación de los años de estudio en (mm)

ESTACIÓN	X	Y	Z	pp_anual_1999	pp_anual_2005	pp_anual_2013
CARANAVI	625.750	8.248.828	600	1.487,90	974,10	906,90
SAPECHO	679.615	8.278.415	410	1.233,80	1.180,20	782,60
COVENDO	719.587	8.248.797	500	1.201,20	814,90	1428,10

Fuente: (SENAMHI, 2013)

Según a los datos mostrados en el cuadro 3, se realizó mapas de isoyetas² para los tres años como se muestra en anexos.

3.2.2. Temperatura

Debido a las diferentes altitudes en la zona de estudio, las temperaturas varían de un sitio a otro entre 22°C y 28°C, sin ser tan significativas entre una altitud y otra, las temperaturas promedio por mes de las gestiones de estudio son las que se observan en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Datos de Temperatura Media por mes en °C.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1999	24,8	26,8	26,3	----	23,8	22,9	22,2	22,8	26,1	25,7	25,7	27,00
2005	27,3	26,6	27,6	25,5	25,2	24,00	22,1	25,0	24,8	26,00	26,8	27,1
2013	26,7	26,9	26,9	26,5	27,4	24,6	---	27,1	27,0	27,2	27,0	27,8

Fuente: (SENAMHI, 2013)

² Línea curva que une los puntos, en un mapa, que presentan las mismas precipitaciones en la unidad de tiempo considerada (Jérez, 2011)

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Datos digitales

- *Imágenes raster (Landsat 7 ETM y Landsat 8 OLI)*

Las imágenes del satélite Landsat 7, se obtuvieron de la página del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)³ – Global Land Cover Facility, (GLCF) de Earth Science Data Interface, (ESDI)⁴. Las imágenes del satélite landsat 8, se obtuvieron de la página del United States Geological Survey (USGS)⁵. Sus características se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Cuadro 5. Datos de las imágenes Landsat usadas para el trabajo de investigación.

IMÁGENES		FECHA	SENSOR	BANDAS	TAMAÑO DEL PIXEL	PROYECCIÓN
Path	Row					
001	071	12/09/1999	ETM+	1,2,3,4,5,7 y PAN	15X15 (m)	UTM, Zona 19 WGS 84
001	071	27/08/2005	ETM+	1,2,3,4,5,7 Y PAN	15x15 (m)	UTM, Zona 19 WGS 84
001	071	19/04/2013	OLI_TIRS	1,2,3,4,5,6,7 Y PAN	15X15 (m)	UTM, Zona 19 WGS 84

Fuente: Elaboración propia 2013.

Las imágenes satelitales Landsat vienen por Mosaicos clasificados por Path y Row (fila y Columna) y el mosaico donde se encuentra el área de interés tiene el path 001 y Row 071 que contempla los países de Bolivia y parte del Perú como se muestra en la siguiente figura.

³ <http://glcfapp.glcfc.umd.edu:8080/esdi/>

⁴ <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

⁵ <http://earthexplorer.usgs.gov/>

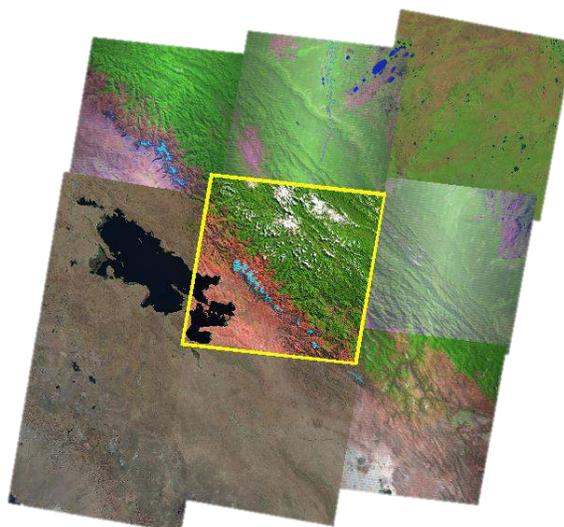


Figura 12. Mosaico Bolivia – Perú (Path 001 / Row 071).

Fuente: (Earth Resources Observation and Science Center).

- *Imágenes vectoriales*

Se utilizó imágenes vectoriales con base de datos de la colonia siempre Unidos, y del municipio de Caranavi. Entre estos se encontraban: El área de la Colonia, los ríos, Caminos y curvas de nivel y puntos con datos geográficos.

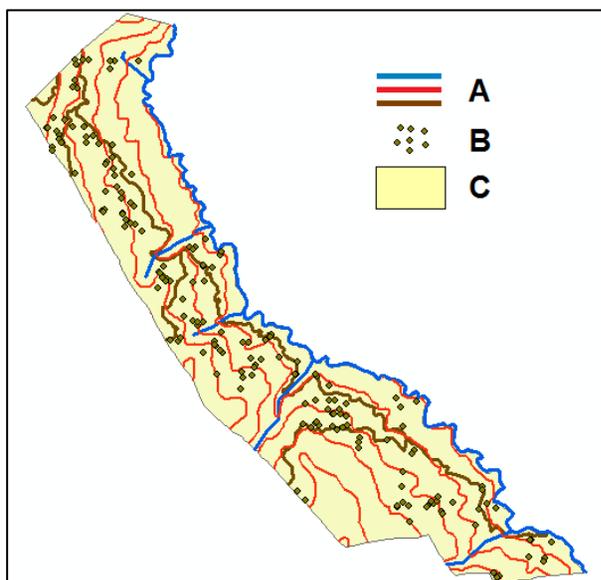


Figura 13. Imágenes Vectoriales.

(A): Ríos, Curvas de Nivel, Caminos; (B): puntos geográficos; (C). Polígono de la Colonia Siempre Unidos. Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Software

- *ArcGis 10.1*

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario.

- *Erdas Imagine 2013 – 2014*

ERDAS IMAGINE permite crear información de imagery. In Además, con ERDAS IMAGINE, puede visualizar sus resultados en 2D, 3D, películas, y en el mapa compositions. ERDAS calidad cartográfica IMAGINE realiza avanzado análisis de teledetección y modelización espacial para crear nueva información.

4.1.3. Equipo y material de campo

- Cámara fotográfica
- GPS (Global Positioning System) – GARMIN *Etrex VENTURE HC*
- Carta Topográfica 6046 – I (Esc.: 1:50.000)
- Encuestas
- Cuaderno de apuntes

4.2. Metodología

El esquema de la siguiente Figura, ilustra los procesos metodológicos realizados para alcanzar los objetivos trazados en la investigación.

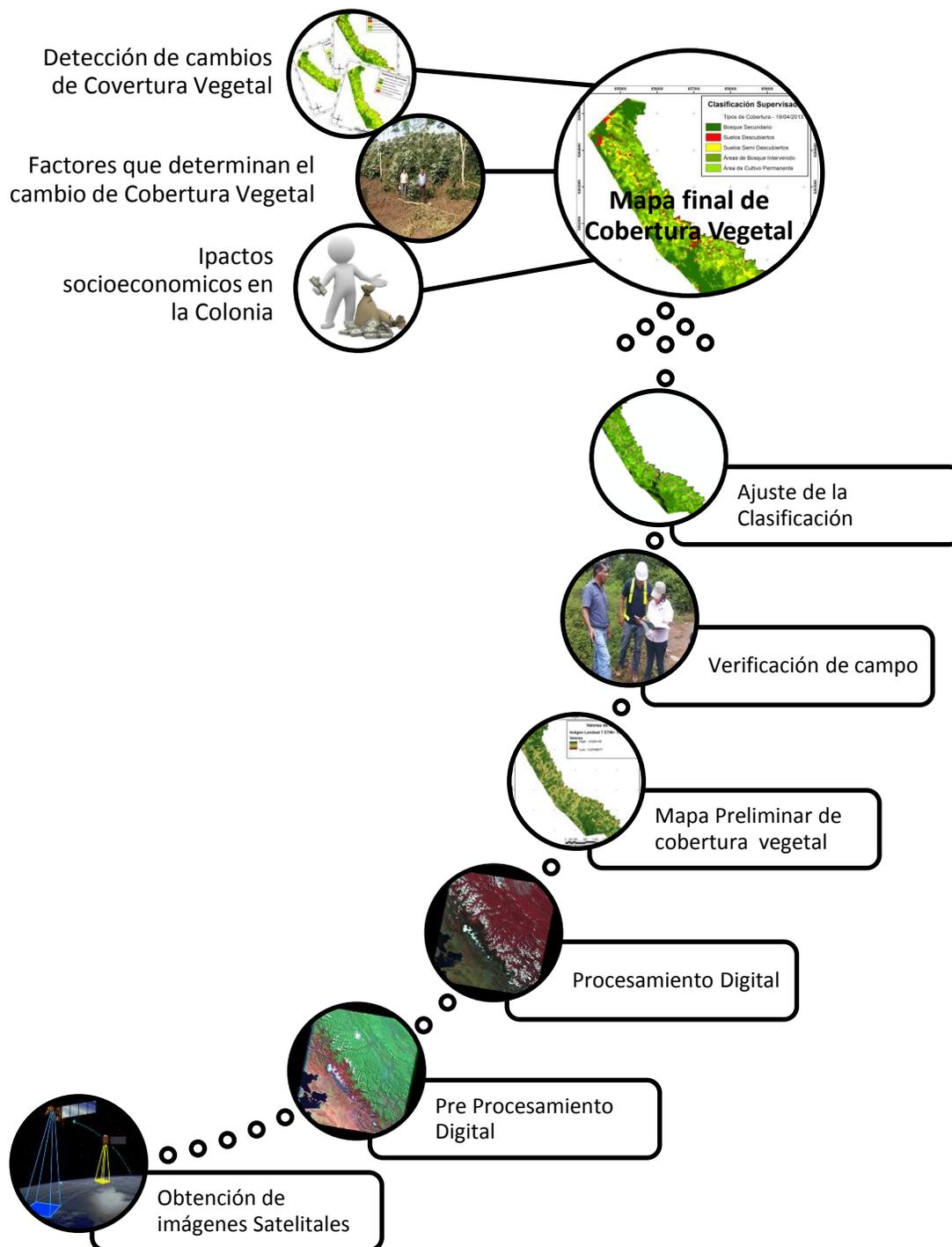


Figura 14. Metodología general para el desarrollo de la investigación.

Para la obtención de las respuestas a los objetivos planteados, se realizaron los siguientes pasos

4.2.1. Obtención de imágenes

4.2.1.1. Digitalización del área de estudio

Existe gran cantidad de documentos impresos como mapas, planos, cartas topográficas, etc., esta información requiere ser digitalizada para poder integrarla dentro de un SIG, uno de los principales problemas a enfrentar es el gran esfuerzo para efectuar dicho trabajo, todo este proceso de integrar un documento impreso (previamente escaneado) a un medio digital de forma manual se conoce como digitalización (Pucha, 2013). Del plano de socialización realizado por el Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA) para la Colonia Siempre Unidos del Cantón Carrasco la Reserva, se realizó la digitalización del perímetro del área de estudio con el programa ArcGIS 10.1.

4.2.1.2. Obtención de imágenes satelitales Landsat

Las tres imágenes satelitales se obtuvieron de páginas de internet donde se las pueden descargar de forma gratuita para ser usados con fines de investigación. Las páginas y las características de las imágenes raster se describen en la parte de materiales, el procedimiento mencionado a continuación fue el mismo para todas las imágenes.

4.2.2. Pre procesamiento digital

4.2.2.1. Creación de archivos Multiespectrales (Unión de bandas)

La unión de bandas se realizó con la ayuda del programa **ERDAS IMAGINE 2013** y su función **“Layer Stack⁶”**, que por lo general se usa para la unión de varias imágenes en bandas o capas en un archivo de imagen multi-banda única, para mejorar la precisión de la clasificación.

⁶ Capa Pila, Pila múltiple (por lo general una sola banda) imágenes como bandas / capas en un archivo de imagen multibanda de salida única. Las capas apiladas se guardan en un archivo. Img.

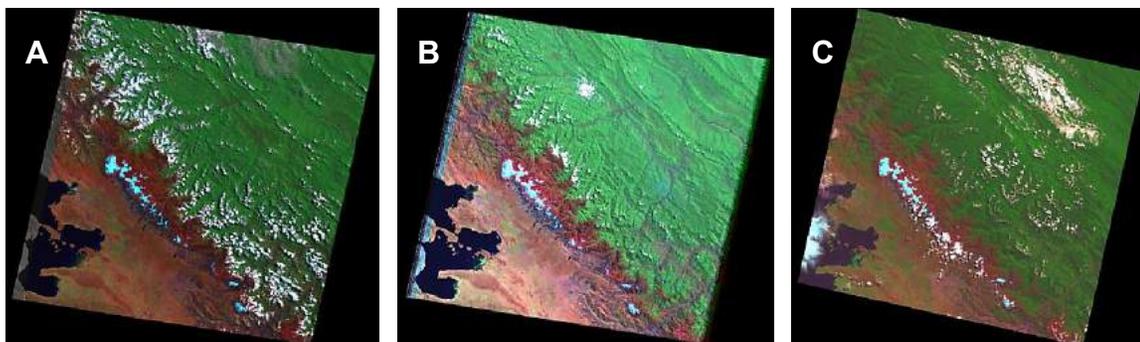


Figura 15. Imágenes multi-espectrales obtenidas.

Imágenes: (A: Landsat 7ETM/1999; B: Landsat 7ETM/2005; C: Landsat 8OLI/2013)

4.2.2.2. Fusión de las imágenes

Este procedimiento se realizó con la ayuda del programa **ERDAS IMAGINE 2013** con la función “**Resolution Merge⁷**”. La fusión de imágenes es una técnica digital que pretende mejorar una imagen multi-espectral y así potenciar su uso en diversas aplicaciones, para ello se convino los datos de una imagen pancromática de tamaño de pixel de 15x15 metros con una imagen multi-espectral de tamaño de pixel de 30x30 metros. El resultado fue una nueva imagen en la cual se conservó una buena parte de la riqueza espectral original y se ganó una resolución espacial.

4.2.2.3. Corrección geométrica

El proceso de georeferenciación consiste en dar a cada pixel su localización en un sistema de coordenadas estándar (UTM, Lambert, coordenadas geográficas) para poder, de este modo, combinar la imagen de satélite con otro tipo de capas en un entorno SIG. Tras la georeferenciación se obtiene una nueva capa en la que cada columna corresponde con un valor de longitud y cada fila con un valor de latitud.

Las fuentes de error de las distorsiones geométricas pueden ser provocadas por la plataforma (aleteo, cabeceo giro lateral), por el sensor que genera distorsión al alejarse del nadir, por la rotación terrestre inclinándose la imagen o por el cambio

⁷ Combinar la Resolución, Integrar las imágenes de diferentes resoluciones espaciales (tamaño de pixel). Esto mejora la interpretación de los datos por tener información de alta resolución que también es en color.

de escala por la altitud. (Fernandez Freire, Gonzales Cascón, Gómez Domínguez, & Gómez Nieto, 2011).

Para el presente trabajo, la georeferenciación se realizó mediante puntos de control de una imagen a otra con la ayuda del programa ERDAS IMAGINE 2013. Este programa también nos ayudó a realizar la reproyección de dos imágenes que no se encontraban con datos geográficos correctos.

4.2.2.4. Creación de Sub Escenas

Cuando finalmente obtuvimos las imágenes multiespectrales, se procedió a realizar los cortes (clip) de la zona de estudio con la ayuda del programa Erdas Imagine 2013 con sus herramientas “Subset & Chip – Create Subset Image” y ArcGis 10.1 (ArcToolbox – Data Management Tools – Raster – Raster processing – Clip) El resultado de las imágenes obtenidas, fueron guardadas para el posterior trabajo en formato “Img”⁸.

4.2.3. Procesamiento digital

4.2.3.1. Interpretación visual preliminar

Para conocer la variación general de la cobertura de la tierra en el área de estudio, se procedió a interpretar los macro patrones de cobertura. Esta interpretación visual se fundamentó en los estándares de interpretación como son la textura, el tono, el color, así como la variabilidad de realce. Esto nos ayudó en la comprensión de nuestra área de estudio, pero principalmente en la generación de nuestra leyenda preliminar a nivel jerárquico.

⁸ Formato usado comúnmente y creado con el software de procesamiento de imagen IMAGINE de ERDAS. Los archivos IMAGINE pueden almacenar datos de banda única y multibanda tanto continuos como discretos.

4.2.3.2. Elaboración de los mapas de Índice de Diferencias Normalizadas (NDVI)

Los cálculos del Índice de Vegetación se realizaron con el programa ArcGis 10.1 y su herramienta “*Raster calculator*”, esta herramienta nos ayudó a procesar los datos de la imagen, para lo cual usamos dos bandas de cada imagen el rojo visible y el infrarrojo cercano.

Siguiendo la fórmula:

$$NDVI = \frac{\text{Float (Infrarrojo Cercano - Rojo visible)}}{\text{Float (Infrarrojo Cercano + Rojo visible)}}$$

En las imágenes Landsat 7 ETM el infrarrojo cercano es la banda número 4 y el rojo visible es la banda número 3. Y en la imagen Landsat 8 OLI, el infrarrojo cercano es la banda número 5 y el rojo visible la banda número 4.

Una vez realizado el procedimiento se obtuvo los resultados de tres imágenes con NDVI (Índice de Vegetación en Diferencias Normalizadas) en distintos años con valores numérico entre -1 y 1. Para una interpretación más fácil y entendible se llevó a un nuevo formato que en lugar de los valores numéricos nos muestra valores descriptivos en base a colores.

Posterior a eso se realizó el cálculo del índice de vegetación para un análisis previo a la clasificación de la cobertura vegetal y así poder determinar primero las superficies que se encuentran con cobertura sea espesa rala, etc.

4.2.4. Mapas preliminares de cobertura vegetal y uso de la tierra (clasificación no supervisada)

Sólo requiere la definición del número de clases, nombre de la imagen a clasificar y nombre de archivo de salida. Como resultado de la clasificación se obtuvo 3 nuevas imágenes en diferentes épocas, cuyos niveles digitales corresponden a cada una de las clases identificadas. Este trabajo se realizó con la ayuda del programa Erdas imagine 2013 y su herramienta “*Unsupervised*”.

Luego se procedió a asignar colores a cada clase mediante el comando: View – Raster- Attributes. Y de esta manera se obtuvo los mapas de clasificación de cobertura y uso de la tierra.

4.2.5. Verificación de campo

El chequeo de campo permitió ajustar las categorías temáticas de cobertura/uso de la tierra tanto desde el punto de vista de la denominación como del espacio ocupado evitando, así, errores de omisión y/o comisión. Consistió en la toma de puntos GPS en terreno, se realizó una descripción en campo de los tipos de cobertura y uso de la tierra más representativa y que puedan ser los criterios descriptores de las clases identificadas a través de la interpretación visual y creadas en la leyenda. Para ello se llevó a campo los mapas preliminares de cobertura de la tierra generados para comparar su detalle categórico, es decir se vio si las unidades cartográficas correspondían a la realidad y si la descripción que se hizo a través de la leyenda correspondía a la realidad.

4.2.6. Ajuste de clasificación (Clasificación Supervisada)

La clasificación supervisada se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento. Estas deben ser áreas lo más homogéneas posibles y en las que sepamos lo que había el día que se tomó la imagen, para esto usamos los datos de validación de campo, los mapas de NDVI y también las imágenes resultantes de la clasificación no supervisada.

Este ajuste se lo realizó con los programas Erdas Imagine 2013 y ArcGis 10.1., llegando a resultados similares y posterior elaboración de mapas finales

4.2.7. Mapa final de cobertura vegetal

Este tipo de procedimientos metodológicos tienen como objetivo fundamental la captura de datos tipo numérico y geográfico, para crear una base de datos a escala sobre la cobertura del territorio, mediante la interpretación visual de imágenes satelitales. Para esto se hizo el uso de los ya elaborados mapas de

cobertura en diferentes tiempos. El análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la colonia Siempre Unidos se realizó con base a dos imágenes de satélite tipo Landsat, una imagen landsat 7 ETM+ de 1999 y otra imagen landsata 8 OLI DE 2013 además de una tercera interacción entre los años mencionados con una imagen landsat 7 ETM+ del año 2005. El procesamiento digital se realizó con el software Erdas IMAGINE 2013 y Arc Gis 10.1, se aprovechó los datos en formato GRID de la clasificación en base a los datos calculados del NDVI.

Después de obtener los mapas de cobertura de las tres imágenes se realizó la elaboración de un mapa final de comparación de cobertura vegetal, con este dato obtenido se procedió a responder el primer objetivo del trabajo de investigación detectando visualmente los cambios que surgieron desde la gestión 1999 hasta la gestión 2013.

4.2.8. Detección de cambios de Cobertura Vegetal

Con la elaboración de mapas concluida se realizó el análisis visual y la detección de los cambios existentes entre una y otra gestión, se extrajo cantidades de las superficies que cubrían uno y otro tipo de cobertura vegetal para mostrarlos estadísticamente.

4.2.9. Detección de Factores de cambio de la Cobertura Vegetal e Identificación de impactos socioeconómicos en los pobladores a causa del mismo

Teniendo los datos obtenidos, se procedió a realizar encuestas en los pobladores, para poder determinar los factores del cambio de la cobertura vegetal en el lugar, además de cómo influyó socioeconómicamente estos cambios en las familias de la colonia Siempre Unidos.

4.2.9.1. Preparación, planificación y organización

Después de haber realizado el trabajo previo en gabinete, se realizó la planificación para el ingreso al lugar de estudio, se aprovechó una reunión de la

comunidad para poder realizar las encuestas a los pobladores. Se preparó todo el material necesario y de forma organizada se realizó el trabajo.

4.2.9.2. Registro de información en campo

a) Diseño de la encuesta

Se diseñó una sola encuesta con preguntas sencillas, estas fueron cerradas y abiertas. Las preguntas cerradas tienen categorías o alternativas que han sido delimitadas, es decir, se presentan a los sujetos las posibilidades de respuesta. Mientras que las preguntas abiertas no delimita de antemano las alternativas de respuestas, por lo cual el número de categorías de respuestas es muy elevado.

La encuesta se dividió en dos partes: Una exclusivamente para la obtención de datos sociales de los pobladores y la otra con preguntas que nos ayudaron a obtener datos económicos. Todos estos datos haciendo referencia a la comparación de tiempo desde la gestión 1999 hasta la gestión 2013.

b) Encuestas formales e informales a pobladores

La realización de encuestas según consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir. Para la obtención de datos se estructuraron entrevistas, las mismas fueron aplicadas a los pobladores de la colonia Siempre Unidos. Para realizar las entrevistas se coordinó con autoridades de la colonia, en este caso se realizó una carta al secretario general de la colonia solicitando permiso para realizar las entrevistas a productores, otra forma de realizar las entrevistas fue visitando lote por lote a productores de la colonia quienes apoyaron con su tiempo e información al acceder a las entrevistas.

4.2.10. Trabajo de gabinete final

Los datos de las encuestas realizadas fueron digitalizados para su posterior análisis e interpretación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Determinación de la tasa de cambio de la cobertura vegetal

La tasa de cambio de cobertura vegetal se determinó con el uso de herramientas S.I.G. y el procedimiento descrito anteriormente, siendo los resultados obtenidos los siguientes:

5.1.1. Determinación del área de investigación con herramientas de Sistemas de información Geográfica (S.I.G.)

El área de investigación cuenta con una superficie de 883,8 ha, como ya se mencionó, pertenece a la Central Carrasco la Reserva de la Federación Intercultural Agropecuaria de Comunidades Carrasco la Reserva, 1ra sección del Municipio de Caranavi, la misma se puede apreciar en la siguiente figura.

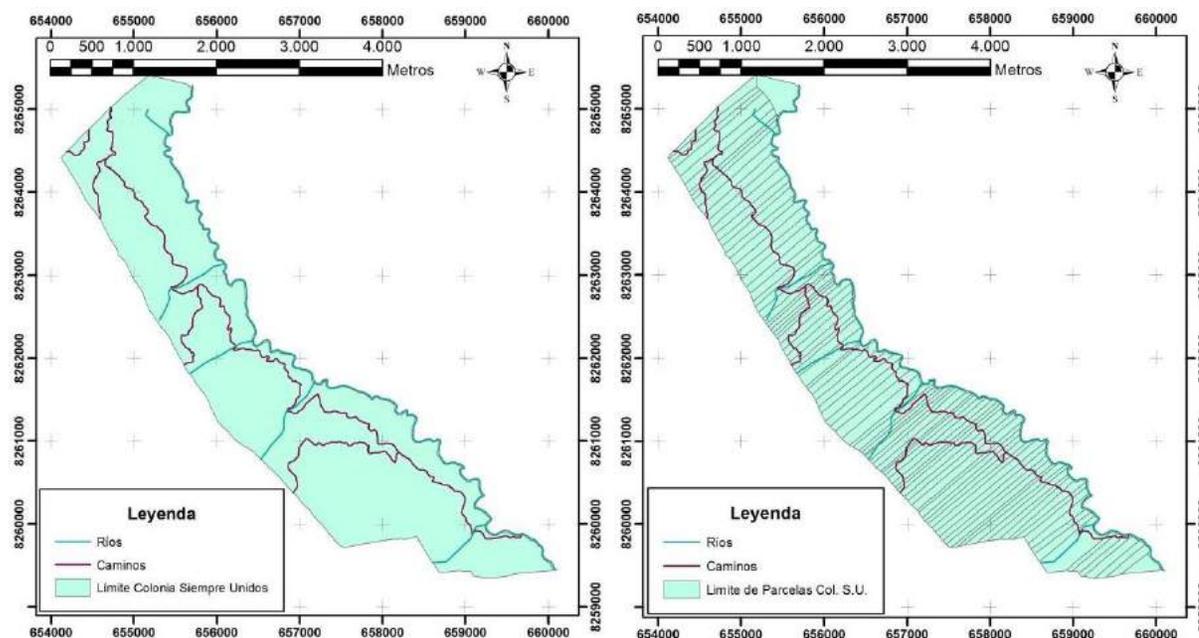


Figura 16. Izquierda, Perímetro de la Colonia Siempre Unidos. Derecha, División por lotes de la Colonia Siempre Unidos (Área de Estudio)

5.1.2. Análisis del Índice de Vegetación Normalizada (N.D.V.I.)

El índice normalizado de vegetación o NDVI, permite estimar el desarrollo de la vegetación en base a sensores remotos según la intensidad de las bandas del

espectro electromagnético, en relación directa a lo que la vegetación puede emitir o reflejar. Se puede detectar con el cálculo del NDVI los cambios que ha sufrido la vegetación en ciertos periodos, debido al cambio de respuesta espectral de la vegetación (Hilari, 2010). Éste se calcula aprovechando las características únicas del reflejo de la vegetación que muestran las imágenes de satélite con sus bandas Roja e Infrarroja Cercana, la representación convencional es una variación de colores representativos entre un rojo y verde intenso con una escala de valor que va desde el (-1 a 1) como se puede apreciar en la siguiente figura.

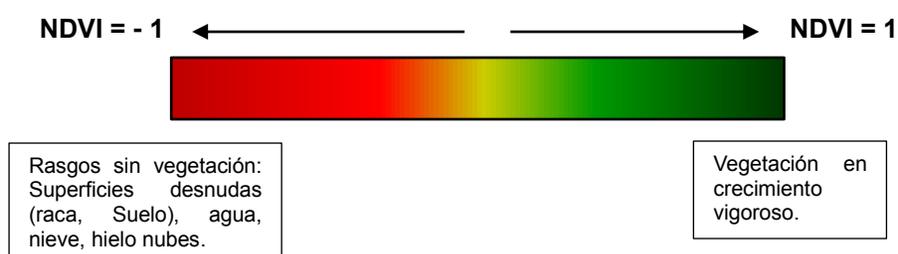


Figura 17. Rango de NDVI

Fuente: Elaboración propia en base a bibliografía citada.

De esta manera, se procedió a la elaboración de mapas digitales que nos muestran las diferentes facetas del comportamiento de la vegetación durante los últimos 14 años (desde 1999 hasta 2013), tomando como punto medio el año 2005.

A continuación se muestra las imágenes Landsat trabajadas con resultados de NDVI, que van desde 0 – 1 como se muestra a continuación en las figuras: 18, 19 y 20.

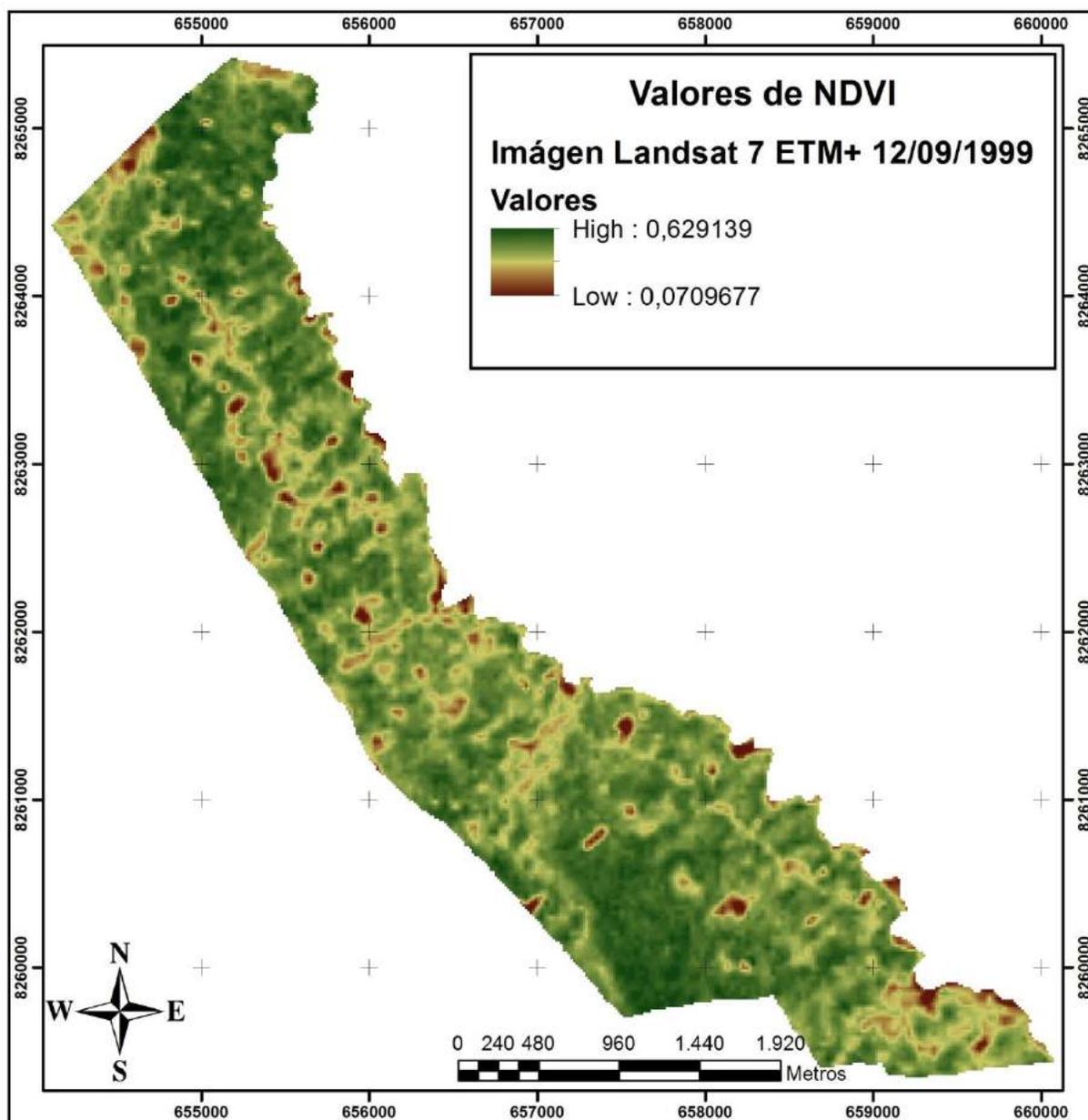


Figura 18. Mapa de NDVI de la gestión 1999.

Según se observa en la imagen de la figura 18, los datos de NDVI se encuentran en el rango de: 0,0709677 (siendo el dato más bajo), y de 0,629139 (el dato más alto) en el año 1999.

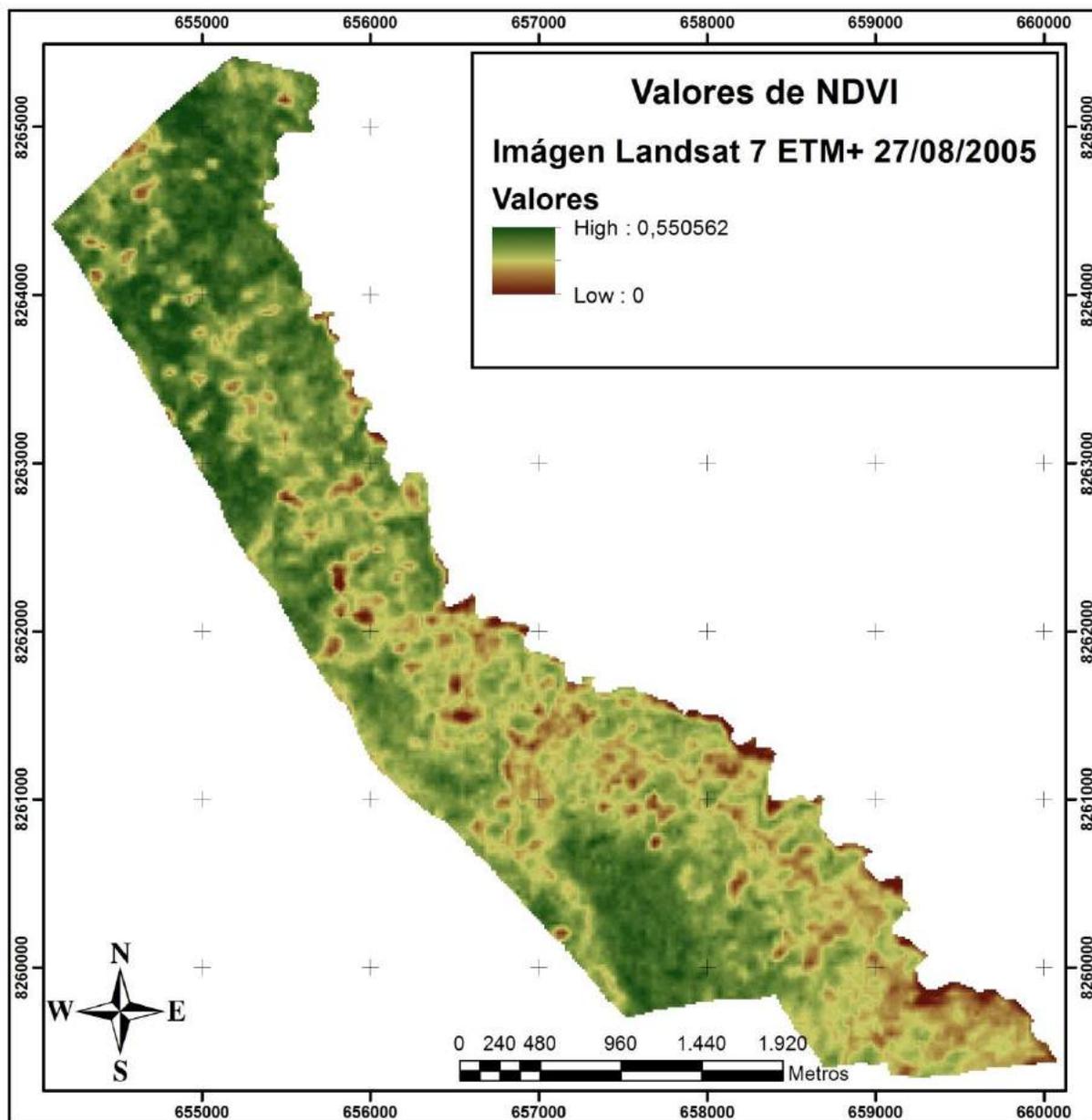


Figura 19. Mapa de NDVI de la gestión 2005.

La imagen de la figura 19, muestran datos de NDVI, y los mismos se encuentran en el rango de: 0,00 (siendo el dato más bajo), y de 0,550562 (el dato más alto) en el año 2005.

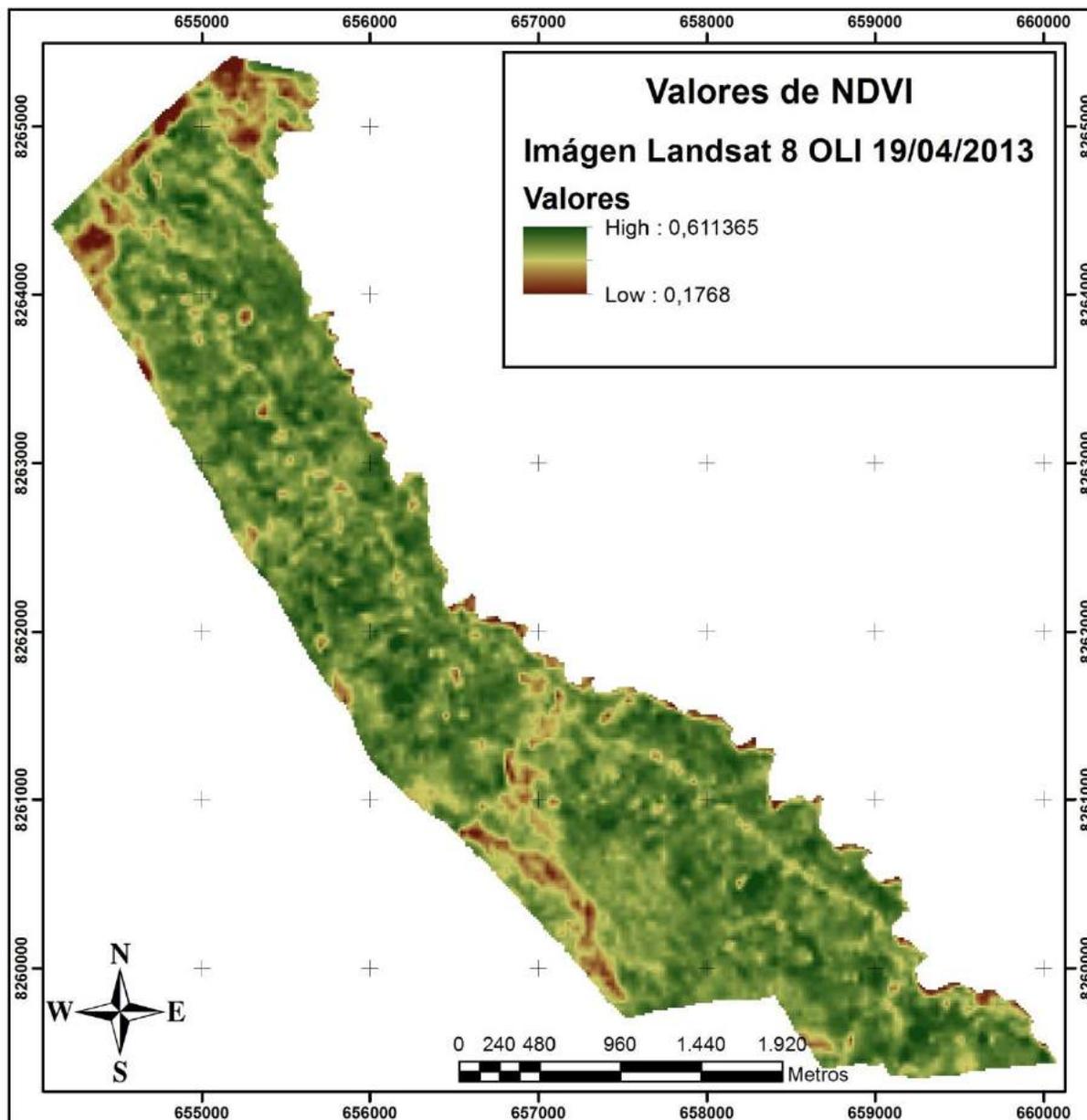


Figura 20. Mapa de NDVI de la gestión 2013.

Por último, la imagen de la figura 20, muestran datos de NDVI, y éstos se encuentran en el rango de: 0,1768 (siendo el dato más bajo), y de 0,611365 (el dato más alto) en el año 2013.

Al hacer un análisis visual rápido en las tres imágenes, se puede observar claramente los cambios de cobertura que sufren diferentes sectores en el área de

estudio. Como ya se había mencionado, los lugares que presentan un tono Verde más intenso, son sectores con vegetación densa. Y en los sectores donde existe una mínima presencia de vegetación o prácticamente ninguna, se muestra con una tonalidad de rojo Oscuro e intenso, al respecto González en (2010), menciona que existen numerosas variables que se pueden derivar de este índice (refiriéndose al NDVI) como por ejemplo: contenido de agua en las hojas, productividad neta de la vegetación, contenido de clorofila en la hoja, dinámica fenológica, evapotranspiración potencial, etcétera. A esto debe añadirse además que los datos que muestran, no excluyen sombras que pueda existir según a la topografía del terreno, en esta situación hay sectores donde la tonalidad de Rojo intenso muestra lugares con sombra debido a la topografía y a sombras que generan algunas nubes presentes en la imagen específicamente en la del año 2013.

Según los resultados obtenidos en los datos y plasmados en las imágenes, Weier y Arenque el (2000) en un trabajo realizado mencionan algunos rangos de clasificación, los valores muy bajos de NDVI (0.1 y más adelante) corresponden con las zonas áridas de roca, arena o nieve. Valores moderados representan suelos con pastos (0,2 a 0,3), mientras que los valores altos indican desde suelos cubiertos hasta bosques templados y tropicales (0,4 a 0,8).

Teniendo base en lo mencionado anteriormente, para tener una clasificación de cobertura más exacta, se realizó la clasificación supervisada.

5.1.3. Clasificación supervisada

La clasificación implica categorizar una imagen multibanda en términos estadísticos, esto supone reducir la escala de medida de una variable continua (niveles digitales), a una escala nominal o categórica. La imagen multibanda se convierte en otra imagen en donde los números digitales que definen cada píxel no tienen relación con la radiancia detectada, sino se trata de una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese píxel (Chuvieco, 1996).

Se trabajó combinando la clasificación digital de imágenes en el programa Erdas Imagine 2013 y una clasificación visual.

Se utilizó la combinación de bandas 6,5,4; para la imagen Landsat 8 y la combinación 5,4,3 en el caso de las imágenes Landsat 7 para una clasificación visual, y aspectos temporales. Esta combinación de bandas nos permitió identificar en colores rojos y discriminar zonas con suelo desnudo y áreas de expansión urbana, además es posible identificar formaciones de bosques y su estado de intervención en diferentes tonalidades de color verde.

Respecto a la clasificación visual Luna en (2011), menciona que para llevar a cabo el análisis visual de las imágenes se considera diferentes criterios de identificación como el tono, color, textura, forma, tamaño, patrones, localización. Este proceso de interpretación se divide en 4 fases: 1) Detección, reconocimiento e identificación, 2) Análisis, 3) Clasificación, 4) Deducción.

Se decidió realizar una clasificación visual, ya que esta técnica nos permitió no solamente estudiar la respuesta espectral de los píxeles, sino también la forma, textura y patrones.

5.1.3.1. Definición de categorías

Normalmente, la clasificación se realiza con un conjunto de clases predefinidas en mente. Tal conjunto es llamado esquema de clasificación (o sistema de clasificación). El propósito de este esquema es proporcionar una estructura para organizar y categorizar la información que puede extraerse de los datos (Rial & González, 2006) citando a (Jensen 1983).

El esquema de clasificación utilizado para la elaboración de los mapas de cobertura vegetal se basó únicamente en su fisonomía, es decir su estructura. Por tal motivo se dividió la cobertura vegetal natural en:

- Bosques y Áreas semi Naturales
 - Bosque Secundario
 - Asociación de vegetación Intervenida
 - Espacios Abiertos con poca o sin vegetación

- Áreas Agrícolas
 - Cultivos permanentes
 - Áreas heterogéneas de cultivo

En cuanto a las unidades correspondientes a ocupación del suelo se clasificaron en:

Bosque secundario.- Específicamente bosques secundarios residuales, son esencialmente primarios – bosques altos, maduros o densos – que aún conservan la estructura y la composición florística de un bosque primario no intervenido, ya que la extracción de madera – como producto principal – no los ha modificado drásticamente.

Áreas de Bosque intervenido.- Son bosques fragmentados, sectores con una vegetación leñosa de carácter sucesional que se desarrolla sobre tierras, originalmente destruida por actividades humanas.

Aquí, entran las áreas denominadas barbecho que son áreas que se dejan sin sembrar o cultivar durante uno o varios ciclos vegetativos, también en algunos casos, zonas reforestadas con diversos tipos de plantas maderables.

Áreas de cultivo permanente heterogéneo.- Zonas de producción principalmente de árboles, arbustos y plantas permanentes o perennes, entre estos se encuentran principalmente arbustos del género *Coffea*, Plantas del género *Citrus* como la naranja, mandarina, lima, pomelo y limón, plantas arbóreas como el

mango (*Mangifera indica*) con algunas variedades, la palta (*Persea americana*) y plantas herbáceas perennes del género *Mussa*.

Estas áreas de cobertura van desde densas a no muy densas, los cafetos en su totalidad son producidos bajo sombra de árboles de *inga spp*. Y los cultivos ya mencionados anteriormente solo en algunos sectores son producidos en huertos, los demás siempre mezclados entre unos y otros haciendo de las coberturas muy densas.

Espacios Abiertos con poca o sin vegetación.- Éstos espacios de cobertura son aquellos que después de haber realizado un chaqueo⁹ son Utilizados para la siembra de cultivos anuales como el *Tomate (Lycopersicon esculentum)*, Maiz (*Zea mays*), Frutales que fueron mencionados anteriormente y en los últimos años (*Erythroxylum coca*), que ha sido muy difundido en el sector de estudio.

Sin embargo no solo presentan áreas cultivadas, también son sectores que fueron habilitados para la siembra y que por alguna razón, dejaron de cultivarla y comenzaron a emerger hierbas de diferentes especies y helechos cubriendo el suelo pero a una altura no mayor a 1, 50 metros.

Suelos descubiertos y desnudos.- Áreas que no cuentan con cobertura vegetal o de tal modo son tan inferiores que el sensor no los distingue. Son sectores donde existieron deslizamientos, desbordes de ríos, y chaqueos con quema.

Las coberturas son muy diversas y de éstas se lograron extraer principalmente las ya mencionadas y que se muestran en algunas fotografías en la siguiente figura.

⁹ El chaqueo es utilizado para limpiar terrenos de cobertura forestal y vegetal (barbecho), y “recuperar” pastizales para el alimento del ganado. El chaqueo es una práctica antigua y barata por su fácil aplicación y tiene la ventaja de fijar micronutrientes en el suelo, lo cual asegura buenas cosechas en los primeros años después del chaqueo (Díaz, 2012)



Figura 21. Principales Coberturas encontradas en la Colonia Siempre Unidos.



Figura 21. (Continuación) Principales Coberturas encontradas en la Colonia Siempre Unidos.

Después de determinar el sistema de clasificación, se procedió a determinar áreas de entrenamiento, para una clasificación digital, el método consiste en establecer numerosas “clases” o firmas espectrales, las mismas que contienen píxeles con un comportamiento espectral similar, a continuación éstas se agruparon hasta obtener el número de “clases” acorde con las exigencias del nivel de detalle y escala del estudio.

Además de la clasificación digital se realizó una combinación con una digitalización visual, en unidades que presentaban una importante confusión en la clasificación digital.

5.1.3.2. Agrupación de los píxeles de la imagen por categoría (fase de asignación)

La selección de muestras se realizó con el método de “Polígonos definidos por el usuario”. Este método se basa en el reconocimiento de patrones en la respuesta espectral de los píxeles, posteriormente se dibuja un polígono (AOI) el cual se usa para crear la firma.

Para llevar a cabo la clasificación supervisada bajo la plataforma ERDAS IMAGINE 2013, de imágenes landsat con resolución de 15 metros por 15 metros en cada pixel y con la función de clasificación de vecino más cercano (nearest neighbor).

5.1.3.3. Elaboración de mapa final

Una vez que se contaba con la información de cobertura vegetal y uso actual del suelo de la zona se procedió a elaborar el mapa preliminar el cual nos permitió realizar una visita programada a la zona, para afinar y confirmar las unidades cartográficas obtenidas.

5.1.3.3.1. Verificación de campo

La verificación se realizó de forma estratificada, con énfasis en aquellas unidades cartográficas, donde la respuesta espectral de las clases no permitió su completa identificación y con menor detalle en aquellas unidades que no presentaban confusión espectral.

Las salidas de campo se realizaron en tres etapas, dividiendo a la zona de estudio en alta y baja.

Para las salidas de verificación se desarrollaron desde el 11 de julio hasta 10 de agosto del año 2013.

La información colectada se hizo a partir de una identificación visual a lo largo de los transectos, donde se estimaron los siguientes parámetros: estructura, altura, cobertura y especies dominantes.

5.1.3.3.2. Ajuste de la Clasificación

Para el ajuste de la clasificación se asignó nuevas áreas de entrenamiento a las categorías con confusión espectral utilizando la técnica de la clasificación supervisada. Posteriormente, se procedió a la aplicación de filtros de generalización.

Cabe señalar que los mapas generados pasaron por una revisión y análisis por parte de algunos pobladores del lugar mediante encuestas informales sobre su parcela productiva.

5.1.3.3.3. Edición de los mapas finales

La edición final de la cartografía temática se realizó de acuerdo al color que podría distinguir a las distintas clases de cobertura y uso de la tierra.

Se prepararon tres (3) mapas correspondientes a la cobertura vegetal y ocupación del suelo respecto a la cobertura vegetal de los años 1999, 2005 y 2013. Los mismos que se muestran a continuación.

Figura 22. Clasificación supervisada de Cobertura para el año 1999.

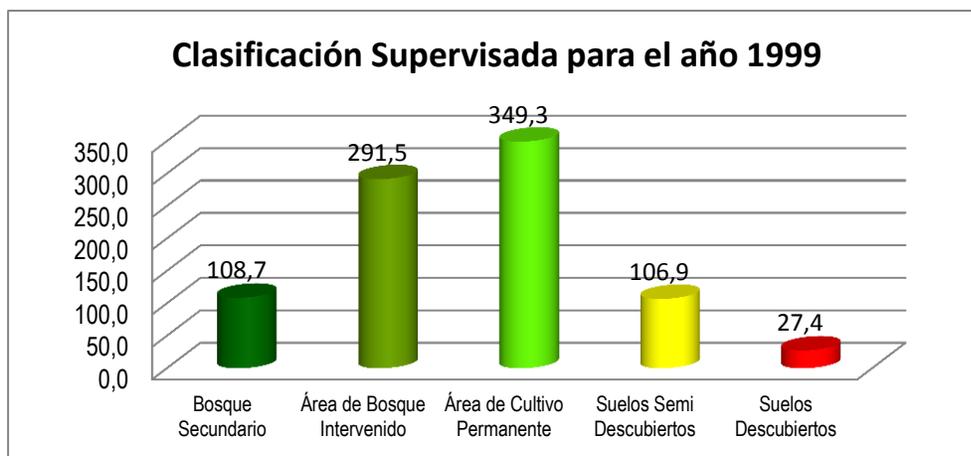
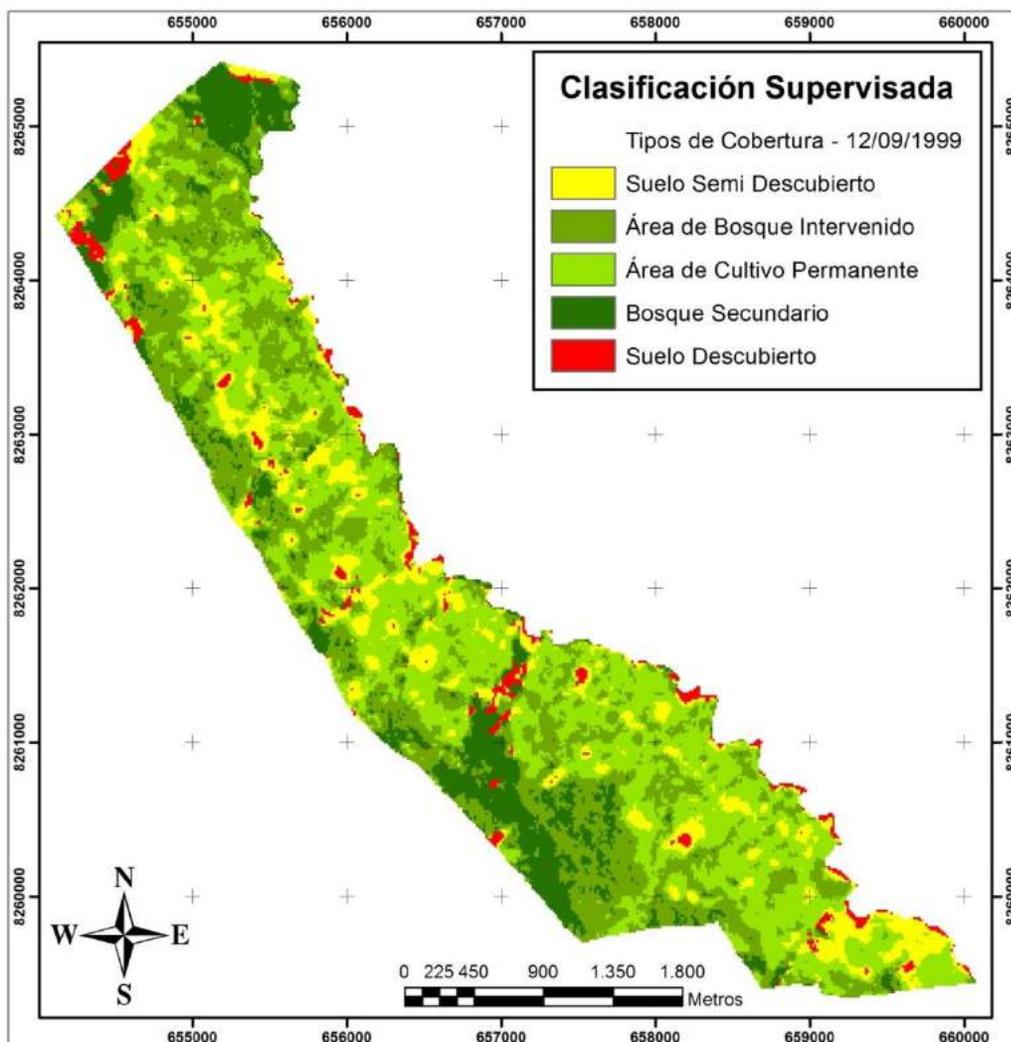


Gráfico 1. Clasificación Supervisada de coberturas para la gestión 1999 en hectáreas.

Figura 23. Clasificación supervisada de Cobertura Para el año 2005.

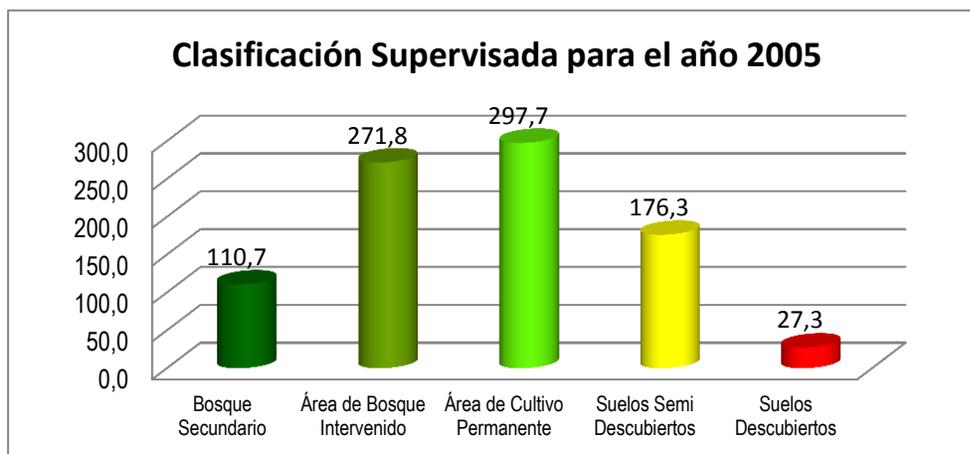
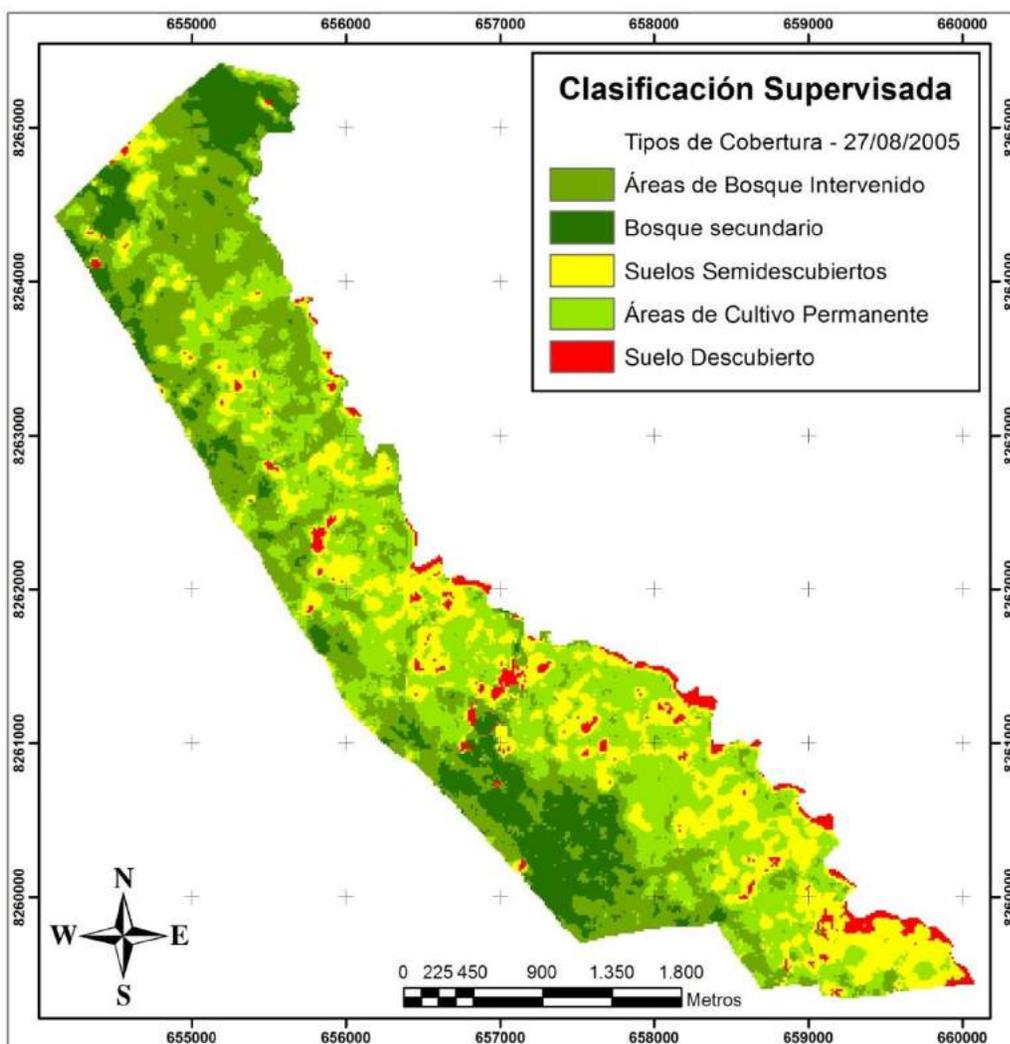


Gráfico 2. Clasificación Supervisada de coberturas para la gestión 2005 en hectáreas.

Figura 24. Clasificación supervisada de Cobertura del año 2013.

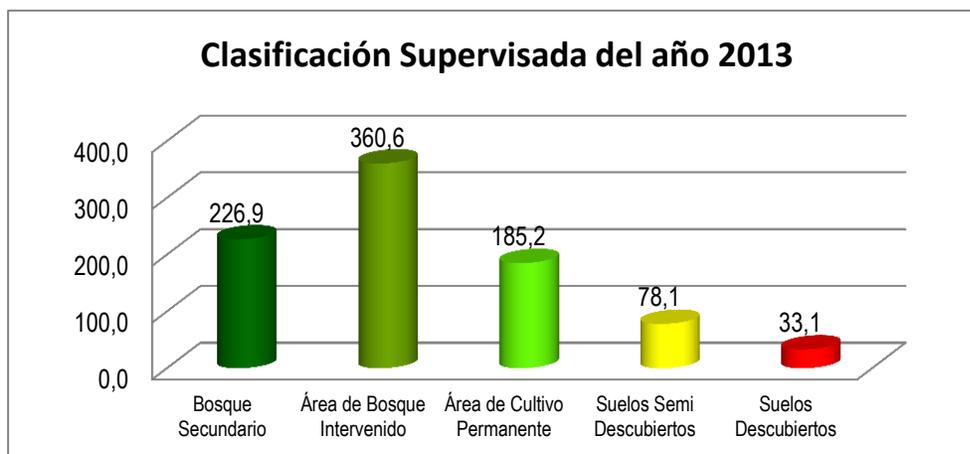
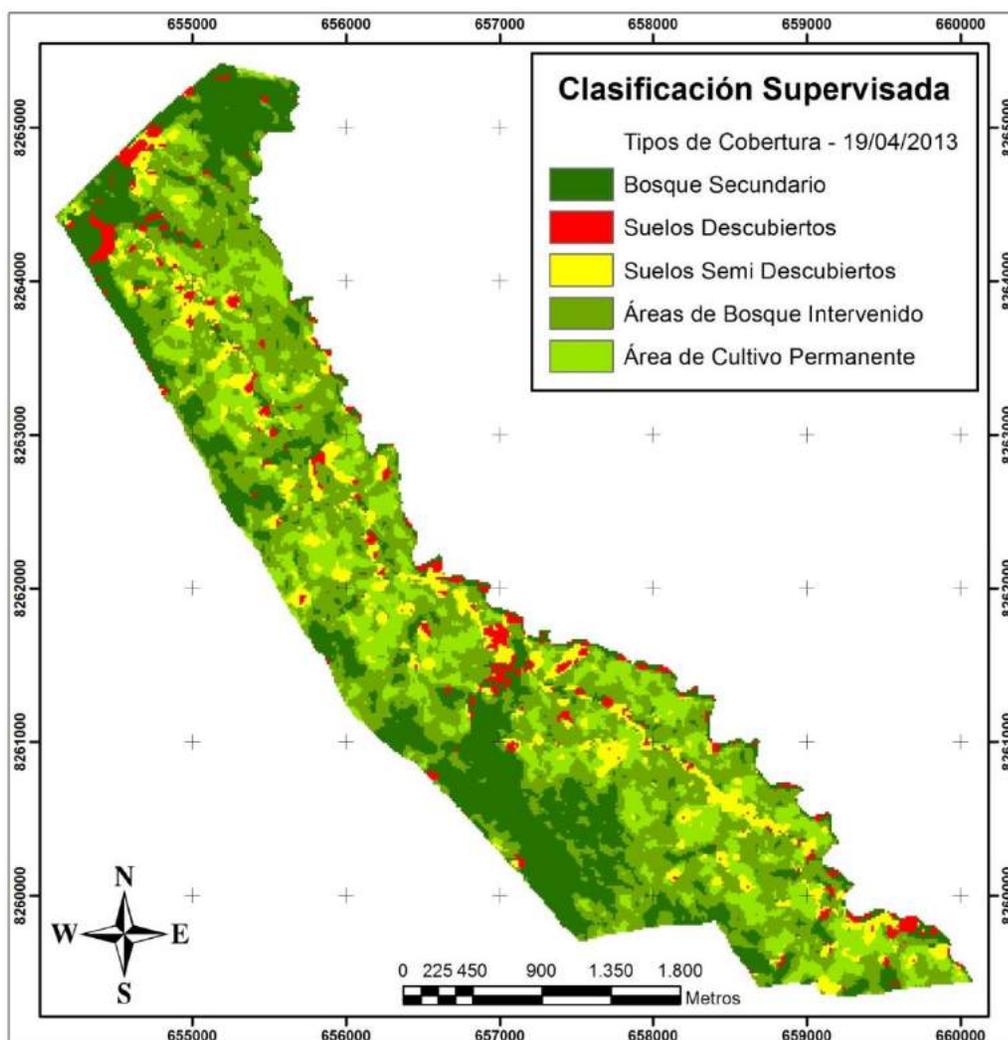


Gráfico 3. Clasificación Supervisada de coberturas para la gestión 2013 en hectáreas.

5.1.4. Análisis Multitemporal y detección de la tasa de cambios de la cobertura vegetal

Documentar los procesos de cambio, expresarlos espacialmente y entender el ritmo al que ocurren estos cambios, son las tareas fundamentales de la investigación. Como resultado, las tasas son estimaciones que nos permiten comparar de manera anual cómo se modifican las superficies y en qué dirección lo hacen (ganancia o pérdida) (Velásquez, Durán, Larrasábal, López, & Medina, 2010).

Los tres resultados que se muestran anteriormente en las figuras, los presentamos a continuación en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Superficie de coberturas clasificadas por año expresada en ha.

Tipo de Cobertura	1999	2005	2013
Bosque Secundario	108,7	110,7	226,9
Área de Bosque Intervenido	291,5	271,8	360,6
Área de Cultivo Permanente	349,3	297,7	185,2
Suelos Semi Descubiertos	106,9	176,3	78,1
Suelos Descubiertos	27,4	27,3	33,1

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las fechas se aprecia un incremento y disminución de una y otra superficie ocupada. Al respecto el (2009) en un estudio similar realizado por GeoPlaDes (Geografía, Planificación y Desarrollo) de Quito Ecuador, se menciona que la cobertura vegetal no es constante en el tiempo, ya que depende de la época cuando se realice el estudio; la interpretación de ésta depende de si el análisis es efectuado en temporada seca o lluviosa, en la fase del ciclo productivo que se encuentre, la presencia de fenómenos climáticos y el grado de intervención humana a la fecha del estudio. Sin embargo este dato puede darse más en regiones de altiplano y valles donde la vegetación es afectada por el clima, pero en el mencionado trabajo también se indica que la intervención humana influye en los cambios de la cobertura vegetal en diferentes sectores donde pueda habitar el hombre.

Para tener un mejor detalle sobre los cambios existentes en las coberturas clasificadas durante los últimos catorce años en el área de estudio se procedió a la muestra gráfica para poder realizar un análisis más detallado.

Análisis multitemporal de la cobertura clasificada como Bosque secundario.

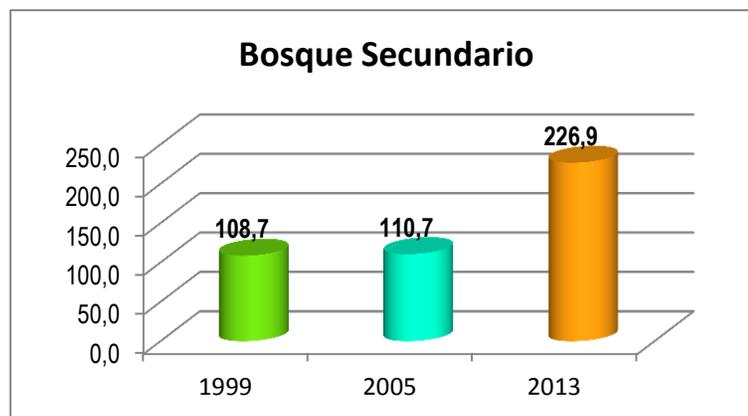


Gráfico 4. Tasa de Cambios de cobertura clasificada como bosque secundario en "ha", durante los años 1999, 2005 y 2013

Las áreas con bosque denso (secundario) como se muestra en el gráfico 4, entre los años 1999 a 2005 se incrementaron en 2 hectáreas (12,5 % de la superficie total). Entre el año 2005 y 2013 los bosques secundarios se incrementan mucho más haciendo un total de 116,2 hectáreas (13,1 % de la superficie total), y cuando realizamos la comparación entre los datos del año 1999 y 2013 existe un incremento de 118,2 hectáreas que es el 13,4% de la superficie total del área en estudio.

Análisis multitemporal de la cobertura clasificada como Área de Bosque intervenido.

Las áreas clasificadas como bosque intervenido, y sus datos según muestran el gráfico 5, disminuyen de 291,5 hectáreas a 271,8 hectáreas en el transcurso del año 1999 al 2005, esto es una disminución del 2,2 % de la superficie total. Sin embargo, los datos resultantes que nos muestra la imagen del año 2013, dan a conocer un incremento de esta cobertura, de 271,8 hectáreas a 360,6 hectáreas. Haciendo un total de 88,8 hectáreas de cobertura semi densa como las áreas de

bosque intervenido que se incrementaron en el transcurso de los últimos 8 años (del 2005 al 2013).

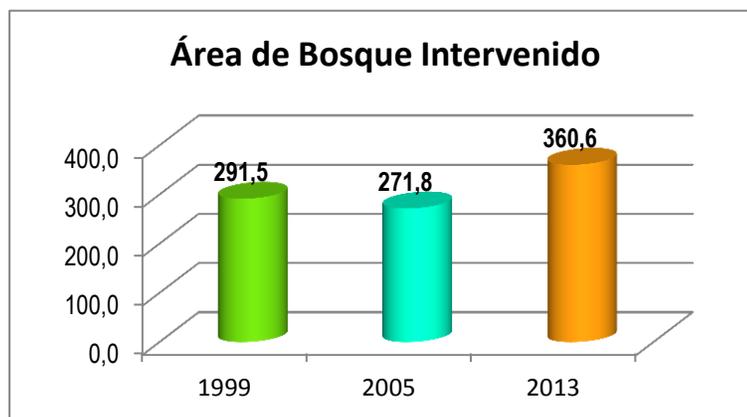


Gráfico 5. Tasa de Cambios de cobertura clasificada como Áreas de bosque intervenido en "ha", durante los años 1999, 2005 y 2013

Análisis multitemporal de la cobertura clasificada como Área de Cultivo Permanente.

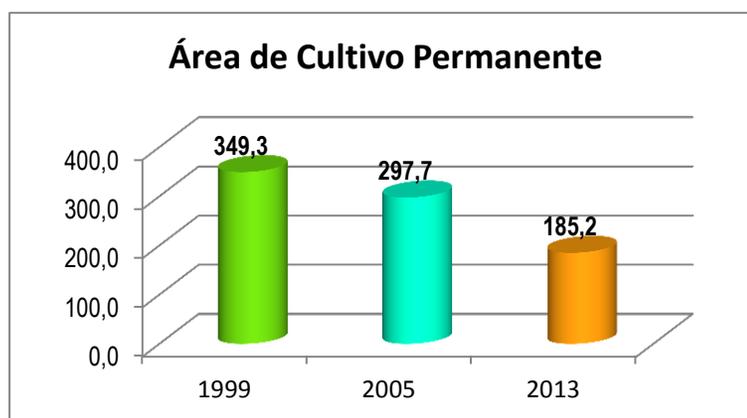


Gráfico 6. Tasa de Cambios de cobertura clasificada como Áreas de cultivo Permanente en "ha", durante los años 1999, 2005 y 2013

Las zonas con cultivos, claramente disminuyen de 349,3 hectáreas en 1999, a 297,7 hectáreas en el año 2005. Sin embargo esto continúa, de las 297,7 hectáreas con cultivos que se tenía en el año 2005 disminuye a 185,2 hectáreas en el año 2013. Teniendo una decadencia de 164,1 hectáreas desde el año 1999 hasta el año 2013, haciendo un total de 18,6 % de la superficie total del área de estudio.

Análisis multitemporal de la cobertura clasificada como Suelos Semi Descubiertos.

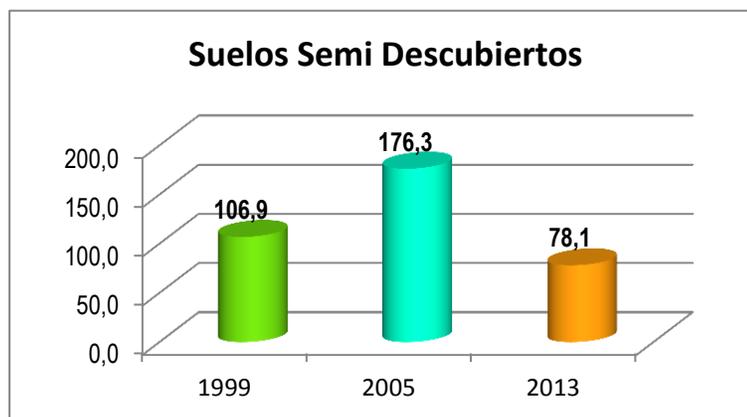


Gráfico 7. Tasa de Cambios de cobertura clasificada como Suelos Semi Descubiertos en “ha”, durante los años 1999, 2005 y 2013

Los suelos semi descubiertos se incrementan en el transcurso del año 1999 de 106,9 hectáreas a 176,3 en el año 2005. Sin embargo se puede notar también en el gráfico, que después de una notable ampliación, éste decrece a 78,1 hectáreas en el año 2013. Y haciendo una comparativa entre los años de inicio y fin del estudio, se aprecia que se tuvo una disminución del área con poca cobertura (suelos semi descubiertos) de 28, 8 hectáreas (3,3% de la superficie total).

Análisis multitemporal de la cobertura clasificada como Suelos Descubiertos.

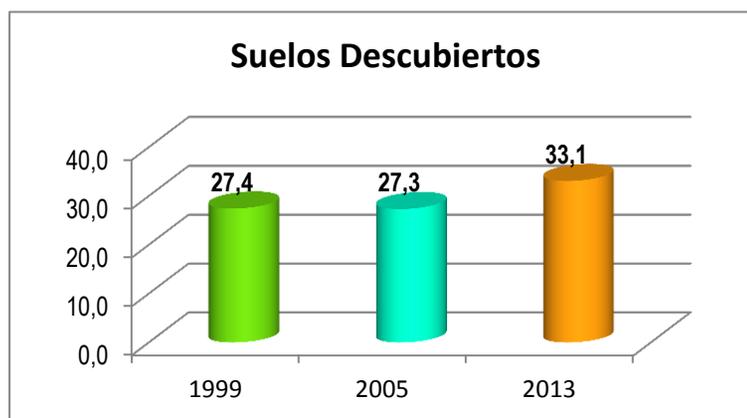


Gráfico 8. Tasa de Cambios de cobertura clasificada como Suelos Descubiertos en “ha”, durante los años 1999, 2005 y 2013

Las áreas con suelo descubierto, son las que no varían mucho entre sí a comparación de las demás coberturas clasificadas, teniendo un porcentaje de 0,01 de variación de suelo descubierto entre los años 1999 y 2005. Donde sí se observa un incremento en áreas con suelo descubierto de 27,4 hectáreas a 33,1 hectáreas del año 1999 al 2013, existiendo un incremento de suelos descubiertos de 0,6% en los últimos 14 años.

Para tener un análisis de los cambios de la cobertura vegetal en la Colonia siempre Unidos en los últimos 14 años, presentaremos el siguiente gráfico donde se puede observar el comportamiento que cada cobertura clasificada tuvo en los tres años de estudio con imágenes satelitales.

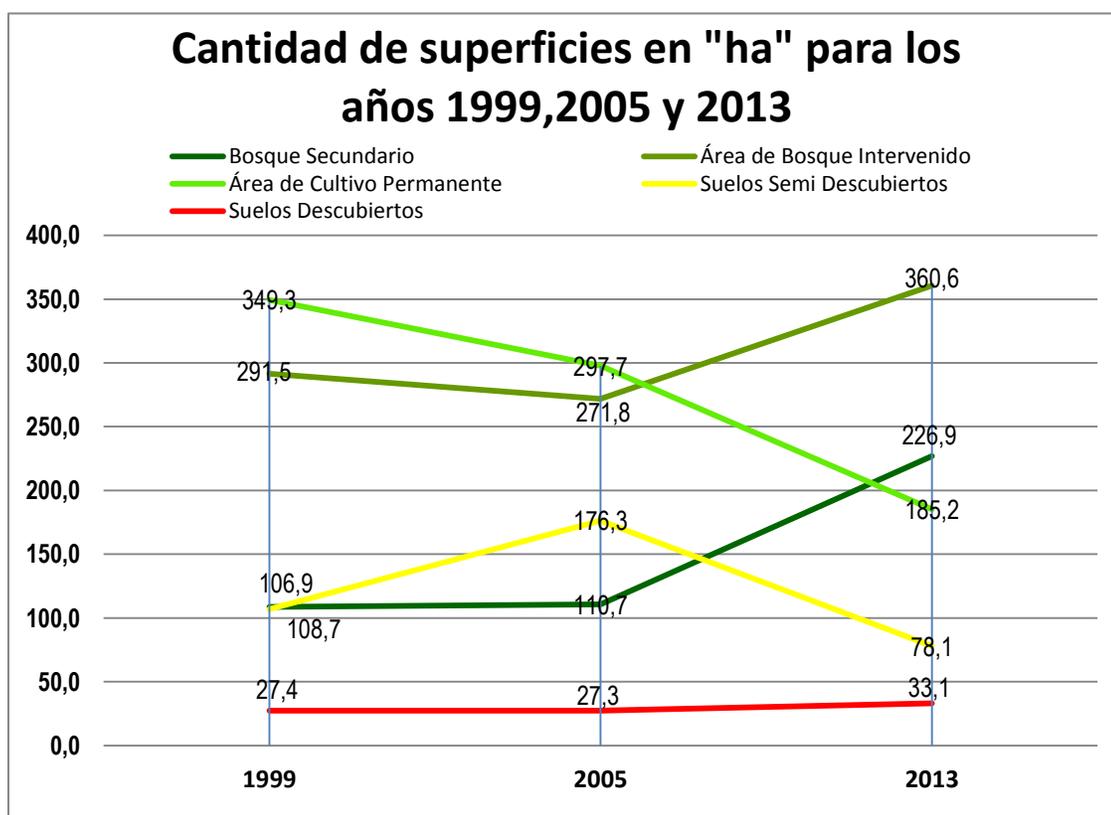


Gráfico 9. Comportamiento en la cantidad de superficie/hectárea de las coberturas clasificadas en los años 1999, 2005 y 2013.

Los resultados arrojan valores en superficie y porcentuales de las coberturas y usos entre una fecha y otra. Los datos muestran las tendencias expresadas en estadísticas que además son espacialmente explícitas. A grandes rasgos cabe

destacar que la tendencia ha sido hacia una disminución de la agricultura temporal con cultivos anuales (maíz y tomate) y de la agricultura de temporal con cultivos perennes (Cítricos, Bananos, Cafetos, Paltas, Mangos, etc.). Se tiende a la Conservación de bosques incrementando la superficie claramente en los años de estudio, sin embargo también hay un incremento de áreas con suelo descubierto y/o desnudo, tal como se muestra en el gráfico 9 y en los mapas de procesos de cambio. Estos también se muestran en matrices de transición que describen las superficies ocupadas por los cinco grupos de coberturas (cuadro 5).

Las coberturas nativas ya comienzan a predominar, las áreas de bosque intervenido se están regenerando en la actualidad en una alta proporción. Por otra parte, los usos del suelo relacionados con las actividades antrópicas en general se han intensificado en sectores accesibles y fáciles para el traslado de productos. Sin embargo, cabe recalcar que se ha registrado una disminución de la agricultura de cultivos anuales y también de cultivos permanentes. El modelo de procesos de cambio da idea de la ampliación que experimentan las coberturas oriundas en la región de los yungas y su tendencia se describe mejor a partir de las tasas de cambio calculadas resumidas en el siguiente gráfico.

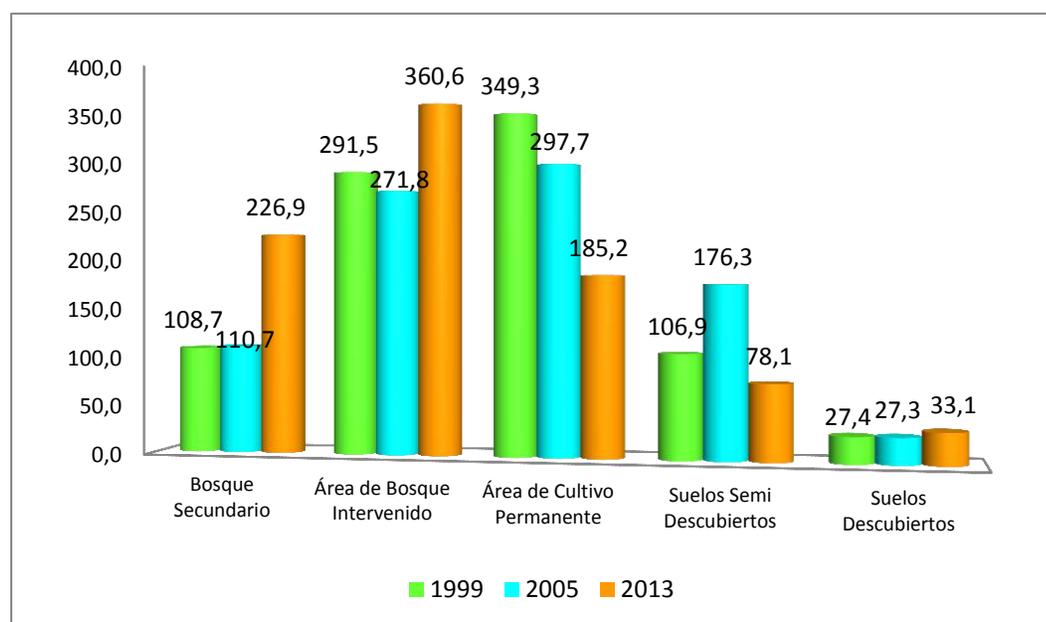


Gráfico 10. Datos de Superficies por hectárea de las coberturas clasificadas en los años 1999, 2005 y 2013.

5.2. Identificación de los Factores que determinan el cambio de uso de suelo respecto a la cobertura vegetal

Los trabajos en los que se analiza el cambio de uso de suelo son diferentes, cada uno muestra enfoques con objetivos e intereses particulares. De los cuales si hacemos una extracción de las temáticas podemos ubicar los estudios que han sido abordados desde una perspectiva socioeconómica, la política y/o ecológica.

Al respecto, (Márquez, Jong, & Ochoa, 2005) contribuyen a llenar este vacío a través de la identificación y el análisis de los principales factores que condicionan el uso actual del suelo por parte de los pobladores de comunidades rurales, así como las implicaciones que tienen para conservar sus recursos naturales y las estrategias productivas que a futuro se instrumenten en la región.

Por otra parte, en el estudio de (Ochoa & González, 2000), intentan relacionar el uso del suelo y las tasas deforestación a los factores medioambientales como son el ángulo de la pendiente y el tipo de suelo, además en dicho estudio se toman en cuenta los aspectos económicos y sociales. Es importante mencionar que el cambio en el uso del suelo así como la deforestación son independientes del ángulo de la pendiente, tal como lo reportan Ochoa y Gonzáles, sin embargo, estos cambios no son independientes del tipo de suelo, es decir, las propiedades del suelo determinan en gran medida la localización y la tasa de deforestación en una región determinada. Estos procesos parecen estar relacionados con la historia del uso de la tierra, así como a los factores ambientales y socioeconómicos. Cabe mencionar, que estos cambios conllevan a la degradación de la estructura y composición de la vegetación aunada al empobrecimiento y agotamiento de los recursos naturales.

De la misma manera, (Levi, 1971) en la década de los 70's, menciona que las características físicas, históricas y socioeconómicas de una determinada zona están directamente relacionadas con el uso del suelo, y la variación de este último en el tiempo y en el espacio depende de varios factores (altitud, pendiente, clima, suelo, tenencia de la tierra, población, vías de comunicación, sociales y

económicas). Levi hace referencia que el relieve, puede ejercer una influencia directa e indirecta sobre el uso del suelo, a través del desnivel total y de los grados de pendiente. De esta manera, la influencia directa se encuentra relacionada con: las zonas agrícolas de vegetación natural que pueden sostenerse en pendientes muy pronunciadas, estos cambios los atribuyen a diversos factores, entre ellos la población así como las pérdidas de vegetación mismas que se dan en áreas boscosas más próximas a las zonas agrícolas, lo que de alguna manera confirma el fenómeno de la expansión agrícola. Lo anterior revela que la pérdida de bosque se presenta en áreas con alta fragilidad ecológica. (Pineda & Plata, 2009) Sugieren que el uso de los Sistemas de Información Geográfica sirve para conocer y explicar de manera histórica la pérdida de la masa forestal, intentando aproximarse un poco más a la realidad geográfica de este tipo de procesos, donde la interrelación de factores físicos y humanos se presenta de manera conjunta.

Los estudios sobre cambio de uso del suelo son diversos y han sido abordados en diferentes regiones de Bolivia y del mundo, sin embargo, no es sencillo determinar cuáles son los factores socioeconómicos que más inciden en los procesos de estos cambios, algunos estudios consideran como principal causa los aspectos demográficos (Lambin, 1997), otros señalan el avance agrícola y ganadero como factor principal de este fenómeno (Mahar & Schneider, 1994); (Diaz, García, O., & March, 2001); (García, Schmook, & Espejel, 2005), mientras que (Reyes, Aguilar, Aguirre, & Trejo, 2006) consideran que las políticas gubernamentales y los programas de subsidio al campo son parte del problema. Estos cambios no solo afectan al ecosistema sino también en las adaptaciones humanas sobre todo cuando el medio ambiente ha sido alterado o se encuentra en proceso de transformación (Moran, Brondizio, & VanWey, 2005).

En este sentido a nivel local o regional, la pendiente de la Colonia Siempre Unidos (de 40 a 70%), determina en gran medida el uso del suelo para diversas actividades que van desde lo agrícola, pecuario, forestal, etc., haciendo que la actividad principal (agrícola) sea de manera más extensiva en un determinado tiempo (1999 – 2005) y de alguna manera más intensiva durante los últimos 8

años (2005 – 2013) como se puede apreciar en las imágenes de las figuras 22,23 y 24.

La baja producción debido al alto grado de plantaciones con más de 15 años, la baja producción, pocos ingresos económicos de lo producido, son los principales factores que impulsaron a que los pobladores y productores amplíen la frontera agrícola, así lo manifiestan personas entrevistadas en una encuesta informal.

Esas veces ya no se producía nada siempre, ya no había dinero, teníamos que plantar en monte siempre, ahí nomás producía. (Don Benigno Calle, Don Segundino Choconapi, Don Paulino Choquemiza, Don Gonzalo Calle Triguero)

Esta situación se plasma claramente hasta los años 2005 y 2006. Sin embargo después de acontecimientos sociales marcados, como la elección del Señor Evo Morales como presidente del actual Estado Plurinacional de Bolivia, la migración de personas jóvenes en busca de mejores ingresos económicos disminuyendo la mano de obra para la producción, sumados a los anteriores factores, han hecho que la mayoría de los habitantes de la Colonia Siempre Unidos se dediquen a una producción más intensiva, manteniendo áreas productivas disminuidas, y de cultivos que les generen más ingresos.

Ya no hay caso de trabajar, el suelo está cansado, nosotros también, además los jóvenes (refiriéndose a su hijos) se van a Caranavi con el auto, de choferes están trabajando, otros están estudiando también, ya no quieren trabajar la tierra con nosotros, se aburren, y con lo que “el Evo” nos ha permitido poner coquita, entonces con eso estamos subsistiendo, más liviano es el trabajo pues.

Es el comentario que la mayoría de las personas hace en cuanto se le consulta sobre el por qué ya no cultivan y producen como antiguamente lo hacían al respecto, los resultados de las imágenes clasificadas muestran respaldan el hecho de la disminución en la producción agrícola.

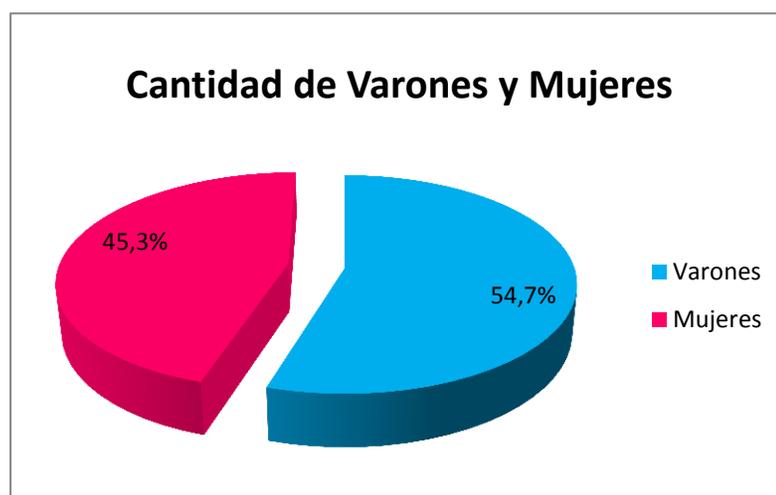
5.3. Identificación de los impactos socioeconómicos del cambio de la cobertura vegetal

Para poder identificar los impactos socioeconómicos que se han producido en el transcurso de los últimos 14 años en la Colonia Siempre Unidos, se hizo el uso de encuestas realizadas a sus familias.

Es necesario mencionar que la población asentada es mayormente Aymara, teniéndola también como lengua nativa, los descendientes de los primeros pobladores desde su tercera generación han ido perdiendo lo que es la identidad y su lenguaje, adoptando el castellano como lengua principal.

Se observó un marcado predominio de habitantes del sexo masculino con relación al femenino, las encuestas muestran datos de 54,7% de varones y 45,3% de mujeres de todas las edades, como se muestra en el siguiente gráfico.

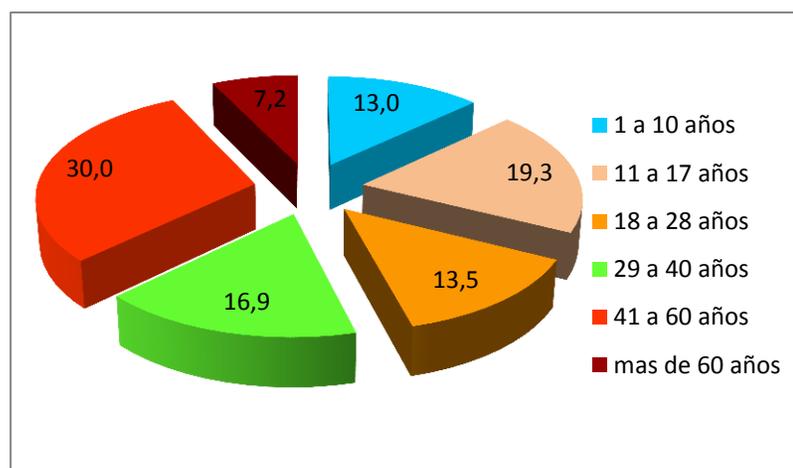
Gráfico 11. Cantidad de Hombres y mujeres que habitan en la Colonia Siempre Unidos.



Fuente. Elaborado con datos de encuesta.

Los integrantes por familia tienen un promedio de 3 personas, de diferentes edades, siendo las personas entre los 41 y 60 años de edad quienes se encuentran en mayor cantidad. Se puede notar una baja cantidad de jóvenes que habitan en el lugar, como se observa en el siguiente gráfico.

Gráfico 12. *Habitantes de la Colonia siempre Unidos por edades.*



Fuente: Elaboración con dato de encuestas

Los pobladores han tenido una fuerte tendencia a la migración por motivos de mejorar las oportunidades de vida. Las migraciones temporales o permanentes han servido para incrementar sus ingresos entre otros motivos. Las migraciones dependen según a la edad de la población.

Después de salir del colegio, los jóvenes tienden a salir de sus casas en busca de ingresos económicos a poblaciones cercanas como Caranavi, en otros casos a las ciudades de El Alto y La Paz, en una escala menor, los jóvenes entre varones y mujeres migran a las ciudades para continuar con sus estudios.

Están en La Paz estudiando, se han ido a trabajar a la Mina, Están estudiando en Caranavi, se ha ido a trabajar al exterior, tiene su auto está trabajando como chofer.

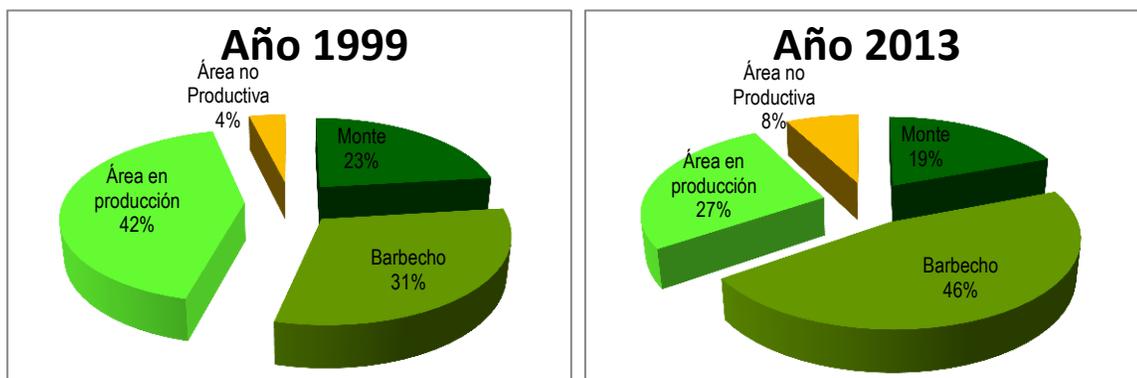
Son algunas respuestas que dan los padres de familia que son mayores a 50 años al preguntarles sobre la ubicación de sus hijos que no se encuentran con ellos en la parcela.

Las personas que habitan la colonia y a su vez trabajan sus tierras son personas que van desde los 40 años en adelante, con hijos en etapa escolar y de colegio.

Sabiendo que la actividad económica principal es la agricultura, se procedió a investigar cuál es la situación económica y social actual de las familias de la

Colonia Siempre Unidos a diferencia de años anteriores. Para este efecto, se realizó una consulta a la población sobre la superficie que tiene en producción, barbecho, monte y área no productiva, hace catorce años y en el presente.

Gráfico 13. Comparación de actividad productiva por superficies en los años 1999 y 2013 expresado en porcentaje.



Fuente: Elaboración en base a encuestas

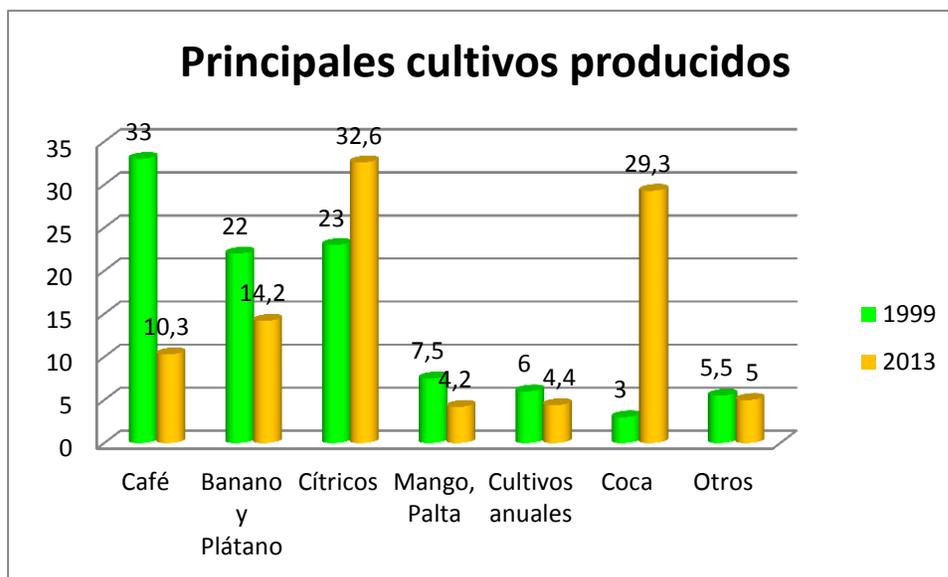
Los resultados de la encuesta reflejan que en el año 1999, la mayor cantidad de áreas se encontraban en producción con el 42% a diferencia del año 2013 que refleja una clara disminución de la superficie productiva con un 27%.

Las superficies en descanso (Barbecho) se incrementaron en la gestión 2013 a un 46% de un 31 % que se tenía en el año 1999.

5.3.1. Cultivos producidos

Mediante consultas personales se pudo identificar los principales cultivos que las familias de la colonia Siempre Unidos cuentan en sus terrenos. El siguiente gráfico nos muestra los datos obtenidos.

Gráfico 14. Principales Cultivos producidos en la Colonia Siempre Unidos.



Fuente: Elaboración propia en base a encuestas

Como se observa en el gráfico anterior, el cultivo que más ha sido producido por las familias de la colonia en el año 1999 era el café con el 33%, seguido por los cítricos con el 22% y el banano ocupaba el tercer lugar con un 22%. Sin embargo el año 2013 cambia rotundamente todo, se observa que los cultivos predominantes son los cítricos con un 32,6% y el cultivo de hoja de coca con un 29,3%. el interés por continuar produciendo café disminuye considerablemente. Al respecto, Don Eulogio Pampa, Don Celestino Carrasco y Doña Julia Mamani indican:

Bien era la producción de café, el precio alto también estaba, por eso se producía, ahora ya no, los árboles ya no dan como antes ya están viejos, más bien mandarina, naranja eso seguimos produciendo. El problema no solo es que las plantas ya no producen igual que antes, sino también las personas ya no trabajan su lote, se van a trabajar como

jornaleros para pellizcar coca, otros están trabajando en el ARBOL¹⁰. Mucho trabajo es el café, hay que estar recogiendo, pelando, lavando secando, mientras que la naranja y la mandarina se cosecha, traslada y luego a vender nomas es.

Los cultivos que se producen en la colonia Siempre Unidos, se encuentran en su gran mayoría de forma conjunta, es decir, un cato¹¹ en producción puede estar compuesto de arbustos de café, plantaciones de cítricos, arboles de palta, arboles forestales (en algunos casos), etc.



Figura 25. Fotografía de una parcela en producción.

En la fotografía se puede observar la existencia de plantas de Banano y Plátano, arbustos de café, plantas de papaya, más al fondo un árbol de mango, y plantaciones de naranja. Sin embargo en la actualidad ya se están mejorando las formas de producción haciéndolas más intensivas, principalmente con los cítricos, que se están cultivando en huertos como se puede apreciar en la fotografía de la figura 26.

¹⁰ Empresa constructora, que realizan obras camineras en varios tramos de los Yungas de La Paz

¹¹ Unidad de medida de superficie, un cato es la cuarta parte de una hectárea y consta de 2.500m²



Figura 26. Fotografía de un huerto de naranjas.

Esta situación también afecta al cambio de la cobertura vegetal como se muestra en los resultados obtenidos, la producción se está convirtiendo más intensiva, sin embargo este sistema de producción solo da en determinados cultivos como la naranja, coca y el café en algunos casos.

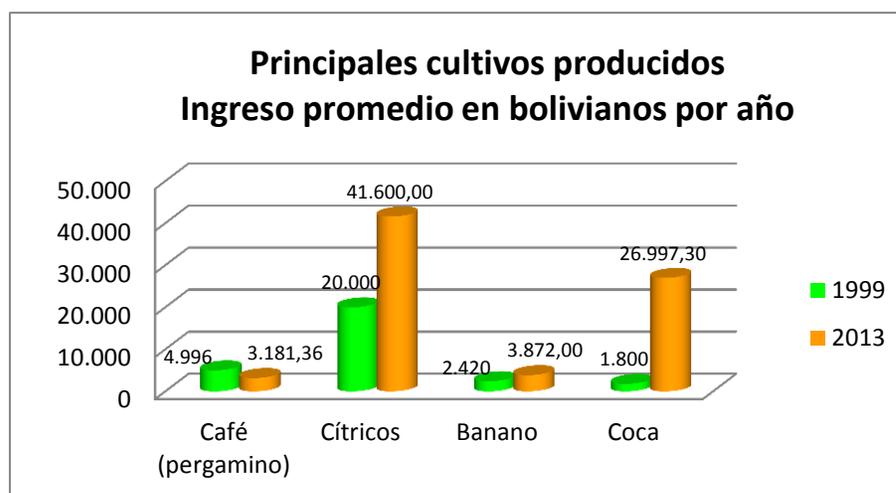
También se realizó consultas sobre los ingresos económicos anuales que perciben por la venta de sus principales productos.

Antes con lo que vendíamos naranja, mandarina, plátano, con eso vivíamos en el año, el dinero del café venia completito a fin de año, eso nos ayudaba arto. Antes.... El café nos ayudaba arto pues, con eso yo me compré mi otro terrenito, y un autito para trasladar y vender mis productos. Yo con lo que ganaba del café hice estudiar a mis hijos, ahora ellos son profesionales y están trabajando en La paz. Ahora la gente vendiendo naranja, mandarina nomas casi siempre ya estamos, los que tienen tenemos coca eso también nos vendemos.

(Maruja Cuno, Cosca Callisaya y Rosa Kapquique)

Sin embargo en la actualidad para la mayoría de las familias productoras el cultivo que más ingresos les genera es la Coca, dejando de producir los cultivos como el banano y el café. Esto se refleja claramente en el siguiente gráfico que nos muestra los ingresos promedio anuales de las familias que producen café, cítricos banano y coca.

Gráfico 15. Rendimiento anual en bolivianos por producto.



Fuente: elaboración en base a datos de encuesta.

Más del 50 % de las familias tiene en su terreno plantaciones de cítricos, esto debido a que es un cultivo rentable, a este en la gestión 2013 se le suma el cultivo de hoja de coca, sin embargo éste cultivo no es producido por todos los pobladores pero sí por una gran mayoría de las familias de la colonia.

Respecto a los resultados de los datos obtenidos, al consultarles sobre del por qué dejaron de producir cultivos como el café, banano, etc. Varios respondieron de forma similar pero la respuesta de don Zacarías Callisaya fue muy contundente.

Seguimos produciendo, pero ya no mucho, se necesita mano para el trabajo, ahora producimos más la coca siempre, sino fuera por la coca creo que moriríamos de hambre.

(Zacarías Callisaya)

Otro aspecto analizado fue referente a determinar si los pobladores perciben una mejora económica a comparación de años anteriores. La consulta planteada fue: ¿creen que económicamente se encontraban mejor por el año 1999 que en la actual gestión (2013)?

Los resultados fueron; el 38% piensa que sí, otro porcentaje menciona que se encuentra en la misma situación (35%), que la economía se ajusta de acuerdo al tiempo y el 27% indica que no, antes se tenía mayores ingresos por la producción agrícola. Datos que se pueden apreciar a continuación en el siguiente gráfico.

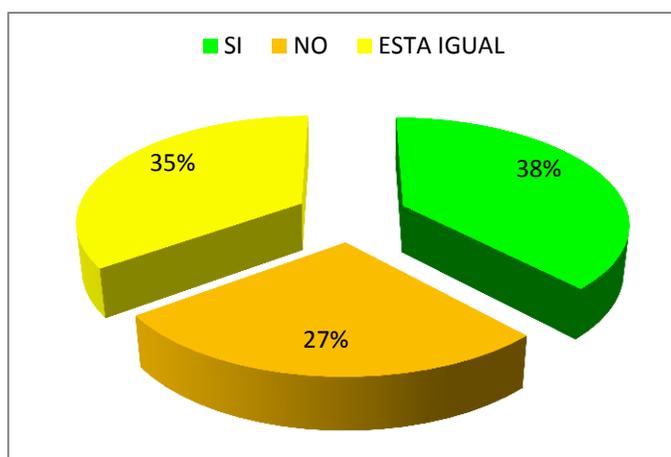


Gráfico 16. Percepción de cambio en el tiempo.

Las respuestas concretas fueron:

Estamos igual que antes nomas, antes los frutos grandes daban pues, arto daba, en cosechar dos plantas de café nomas sabemos tardar casi todo un día. Si, hemos mejorado nomas ahora ya tenemos más cositas. No, antes nos encontrábamos mejor, ahora las plantas no rinden igual que antes, los frutos son pequeños el suelo ya no es el mismo, aunque sea nueva planta igual nomás no rinde igual que antes, en monte nomas rinde bien, pero hasta chaquear lejos ya son pues los montes, para trasladar es difícil.

(Don Teodoro Callisaya, Don Zacarías Callisaya)

Es necesario mencionar, que son pocas las personas que habitan en el lugar desde hace 14 años o más, otras son personas que con su familia llegaron a establecerse en la colonia hace no más de 10 años. Sin embargo ellos también aciertan en que la producción en la colonia no es alta pero por otro lado cultivos como la coca ayudan a solventar a la familia.

5.3.2. Vinculación territorial

Anteriormente las carreteras de acceso a la colonia tenían problemas principalmente en las épocas de lluvia. En la actualidad se cuentan con carreteras mejoradas, la nueva ruta Caranavi Quiquibey es la principal vía para llegar a la colonia Siempre Unidos.

Por otra parte, los ingresos económicos de los últimos años han permitido a algunos productores de coca la adquisición de vehículos, éstos en su mayoría son de segunda mano e indocumentados (chutos), y se les da el uso para transporte personal y también para el traslado de productos hasta los mercados existentes.



Figura 27. Fotografías. Izquierda, Carretera Caranavi – Quiquibey en plena construcción. Derecha, Vehículos indocumentados que circulan por el sector de Caranavi.

5.3.3. Servicios básicos

5.3.3.1. Agua

El agua es captada y reunida en dos lugares estratégicos de vertientes que existen en la colonia. En la actualidad el 100% de las familias que habitan en la

colonia Siempre Unidos cuenta con el servicio de Agua en sus viviendas, esto desde principios del año 2000, gracias a la ayuda de instituciones no gubernamentales como la Alianza de Desarrollo Integral de los Yungas y Norte de La Paz (ADYLAP) financiado por USAID¹².

5.3.3.2. Energía eléctrica

Toda la colonia cuenta con energía eléctrica, desde finales del año 2012 a principios del año 2013.

5.3.3.3. Servicio Sanitario

Desde el año 2010, los servicios sanitarios se han implementado en la mayoría de los hogares de las familias de la colonia, existiendo una baja cantidad de familias que aún no cuentan con este servicio, sin embargo todo esto va mejorando gracias a los proyectos del municipio que incentiva en la elaboración de letrinas en cada sector habitado.

5.3.3.4. Comunicación

Antes del año 2012, la colonia contaba como medio de comunicación la radio. En la actualidad, se cuenta con medios de comunicación como radio, y televisión por satélite que es captado con la ayuda de antenas parabólicas. También se cuenta con señal de servicio telefónico celular de la Empresa Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL), con cobertura en el 90% de la colonia.

¹² United States Agency for International Development (USAID) que traducido al Español, vendría a ser la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, nos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

Los cambios ocurridos a lo largo de 14 años en la colonia Siempre Unidos se pueden apreciar e interpretar de manera visual con diferentes imágenes de satélite, dependiendo de la composición de bandas se puede identificar diferentes tipos de cobertura existente en el sector y como estos cambian con el tiempo. Estos cambios representan un primer acercamiento cualitativo-explicativo de la situación de la región, a esto se suma también la determinación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que nos muestra específicamente sectores con cobertura vegetal y de esta manera poder evaluar el seguimiento del desarrollo de la vegetación o en otro caso la deforestación. Este análisis mediante series de tiempo ha permitido evaluar la dinámica del cambio de uso de suelo respecto al incremento o pérdida de la vegetación en la colonia Siempre Unidos.

Por otra parte el análisis multitemporal del cambio de la cobertura vegetal, permitió evaluar y medir la complejidad de los procesos de cambio en la colonia Siempre Unidos, la cual tiene una clara manifestación sobre la cobertura de la vegetación y los diferentes usos de suelo, estando dichos cambios determinados principalmente por una red de complejas interacciones de factores socioeconómicos y en poca proporción medio ambientales. Se pudo observar que el crecimiento de las áreas con cobertura más densa clasificadas como Bosques secundarios y Bosques intervenidos, tienen una estrecha relación con las actividades agrícolas.

Con este análisis multitemporal se pudo observar que en los últimos 14 años, la cobertura vegetal en su conjunto tuvo una disminución de 856,4 has en el año 1999 a 850,8 has en el año 2013. Por su parte, la cobertura vegetal los sectores no productivos acrecentaron sus zonas ocupacionales, las áreas clasificadas como Bosques secundarios de 108,7 has en el año 1999 a 226, 29 has en el año 2013 y áreas de Bosque Intervenido de 291,5 has en 1999 a 360,6 has en el 2013. Las áreas con coberturas que disminuyeron su superficie fueron las zonas abiertas con baja cobertura vegetal clasificado como suelos semi descubiertos de 106,9

has en el año 1999 a 78,1 has en el año 2013, las coberturas con producción agrícola, fueron las que más decrecieron en superficie durante los últimos 14 años de 349,3 has en el año 1999 a 185,2 has en el 2013. Estos cambios muestran la transformación del uso de suelo de una agricultura extensiva a una intensiva, dejando en barbecho áreas que antes eran activamente productivas y a su vez ampliando nuevas áreas productivas en sectores que anteriormente no se encontraban en producción como Bosques secundarios y Bosques intervenidos que fueron dejados como barbecho.

Es importante mencionar que los factores sociales presentan un papel fundamental dentro de la transformación del uso del suelo. Sin embargo, como en muchos otros lugares las personas que actualmente siguen dedicados a la actividad agrícola son personas con una edad promedio de 57 años. Los jóvenes al no ver futuro en la actividad primaria prefieren dedicarse a otras actividades del sector secundario y terciario, o en última instancia migrar a otro lado en busca de mejores oportunidades.

Los factores más importantes por el cual se está dejando de trabajar el campo son los bajos rendimientos de los cultivos y el bajo interés en realizar operaciones que requieran un alto esfuerzo físico, esto ha influido en el abandono de áreas productivas. Esta baja dedicación a la agricultura se muestra claramente en los resultados expuestos anteriormente.

La situación económica de las familias de la Colonia Siempre Unidos, se encuentra estable, incluso algunas familias aseguran encontrarse económicamente mejor en la actualidad a comparación de hace 14 años, al respecto es necesario mencionar que la razón fundamental por la que ellos perciben esta mejora se debe a la mejora e introducción de servicios básicos como el agua, energía eléctrica comunicación y medios accesibles a la zona, esto ha permitido mejorar sus condiciones de vida.

7. RECOMENDACIONES

Debido a los buenos resultados obtenidos mediante este tipo de metodologías, se recomienda su aplicación para la determinación de cambios de cobertura vegetal y uso de suelo en otros estudios, al respecto se recomienda también, el uso de imágenes satelitales en las mismas épocas, esto para obtener resultados específicos.

En vista a los resultados obtenidos, se recomienda socializar, involucrar y concientizar a partir del presente estudio a las instituciones político administrativas dentro de los municipios a la regulación del crecimiento agrícola estableciendo normas sociales para evitar la ampliación exagerada de la frontera agrícola para la producción de coca, demostrando mediante trabajos de investigación las consecuencias que pueden ocurrir en caso de darse esta situación.

A su vez se recomienda la implementación de un modelo económico que en un futuro, no degrade más el entorno natural y que incentive el desarrollo de políticas que resulten en un mejor uso y manejo de la tierra, mismas que estén encaminadas al mejoramiento, fortalecimiento de sistemas de planeación, manejo y evaluación de los usos del suelo, así como fortalecimiento de instituciones y mecanismos de coordinación que faciliten la inclusión y participación activa de comunidades y personas del ámbito local, en donde el desarrollo económico y social de la región descansa en la base fundamental de la búsqueda de la satisfacción de necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades. En este sentido es importante considerar dos principios básicos que están ligados con el aprovechamiento de los recursos naturales: Satisfacer las necesidades básicas del hombre y la capacidad de soporte de los recursos del ambiente para absorber los efectos de las actividades de los seres humanos.

Se recomienda iniciar un proceso de facilitación de la asignación de la tierra a los usos que proporcionen los mayores beneficios tanto económicos y sociales de la colonia, así como la promoción de un proceso de transición hacia un manejo integral de los recursos, para lo cual, deben considerarse los aspectos ambientales, sociales y económicos con un enfoque sistémico y endógeno de desarrollo. Es importante que la toma de acciones al respecto implique la participación de la población, el desarrollo de nuevas tecnologías y que estas queden enmarcadas bajo criterios de equidad y de justicia. Estas acciones deben encausarse mediante políticas claras y eficientes que acepten como premisa básica la responsabilidad y el costo del aprovechamiento duradero de los recursos naturales, con miras a la superación de la pobreza y mejora la calidad de vida de la población.

8. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- A., D. G. (2004). *Sistemas de Clasificación de la Cobertura de la Tierra*. Roma, Italia: FAO.
- Arbelo, M. (1999). Tutorial de teledetección. En M. Arbelo, *Tutorial de teledetección* (págs. 1-3). Islas Canarias: Department of Physics of University of La Laguna.
- Astronomía Educativa. (2014). *Astronomía Educativa*. Recuperado el 5 de Junio de 2014, de <http://www.astromia.com/fotostierra/reletierra.htm>
- Audidores, C. (25 de Febrero de 2006). Plan de desarrollo Municipal de Caranavi. *Plan de desarrollo Municipal de Caranavi*. Caranavi, Caranavi, Bolivia: CADES S.R.L.
- Bhagawart, R. (2011). Application of remote sensing and GIS, Land use/Land cover Change in Kathmandu Metropolitan City. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Nepal.
- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O. (2001). La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. *Investigaciones Geográficas*, 18-38.
- Burel, F., & Baudry, J. (2002). Ecología del paisaje. *conceptos, métodos y aplicaciones*. Mundi Prensa Libros SA.
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección Espacial. Madrid: RIALP, SA.
- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial. En E. Chuvieco, *Fundamentos de Teledetección Espacial* (págs. 305-308). Madrid: España.
- Chuvieco, E. (2006). Teledetección Ambiental. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Díaz, G. J., García, G., O., C., & March, I. (2001). Suelo y transformación de selvas en un ejido de la Reserva de la Biosfera Calakumul,. Campeche, Mexico: Investigaciones Geográficas.

- Díaz, R. (22 de Octubre de 2012). *La Contaminación Acústica. Los Chaqueos*. Recuperado el 30 de Agosto de 2014, de Blogger, La contaminación Acústica: <http://chio2995.blogspot.com/2012/10/los-chaqueos.html>
- Earth Resources Observation and Science Center, (. (3 de Marzo de 1879). *USGS Global Visualization Viewer*. Recuperado el 30 de Junio de 2013, de <http://glovis.usgs.gov/>
- FAO. (1997). *Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 7 de Noviembre de 2013, de <http://www.fao.org/home/es/>
- Fernandez Freire, C., Gonzales Cascón, V., Gómez Domínguez, A., & Gómez Nieto, I. (2011). *Introducción a la teledetección con ERDAS Imagine*. Madrid: Unidad SIG.
- FOBOMADE. (2000). *Quemas, chaqueos e incendios forestales, ¿Quién es culpable?* 6.
- Fonseca, J., & Gómez, S. (2001). *Análisis multitemporal mediante imágenes Landsat*. Tesis de Maestría, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia.
- García, R., Schmook, B., & Espejel, C. (2005). *Dinámica en el uso del suelo en tres ejidos cercanos a la ciudad de Chetumal, Qunitana Roo*. México: *Investigaciones Geográficas* 58.
- Garraín, D., Vidal, R., & Franco, V. (2007). *Ocupación y transformación del suelo de las carreteras españolas. Proyecto: Indicadores de impacto y vulnerabilidad de las infraestructuras de transporte*.
- GEOPLADES CIA. LTDA. (Abril de 2009). *Estudio Multitemporal del Nor-Oriente del Ecuador. Memoria técnica Estudio Multitemporal, de la cobertura vegetal y uso del suelo en los años 1990 - 2008 y proyección al 2030*. Quito, Ecuador: Producto Contrato The Nature Conservancy - NTA 0216 09.

- González, J. C. (2010). Análisis Territoriales con SIG. En J. C. González, *Análisis Territoriales con SIG* (págs. 12-61).
- Guhl, A. (2004). Café y Cambio del Paisaje en la zona cafetalera Colombiana. *Cenicafé*, 34-59.
- Hilari, V. (2010). *Identificación y análisis multitempora de cuatro bofedales en el altiplano norte del departamento de La Paz (Ulla Ulla, Ancoraimes, Peñas y Tuni Condoriri)*. Tesis de Licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz, Bolivia.
- INEGI. (2013). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática*. Recuperado el 4 de Agosto de 2013, de Imágenes del Territorio: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/landsat.a.spx>
- Jérez, Ó. (Julio de 2011). *Blog*: Recuperado el 6 de Abril de 2014, de Blogger de Óscar Jérez: <http://vocabulariogeografico.blogspot.com/2011/09/isoyeta.html>
- Lambin, E. F. (1997). Modelling and Monitoring land-cover process in tropical Regions. *Progress in Physical Geography Vol 213*, 375-393.
- Langlé, R. (20 de Agosto de 2010). *Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado el 30 de 10 de 2013, de Sistemas de Información Geográfica: <http://langleruben.wordpress.com/%C2%BFque-es-un-sig/>
- Levi, S. (1971). *Acomodación del Territorio en Atlixco, Puebla*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Mexico, México, D.F.
- Luna, V. (2011). *Análisis Multitemporal de la Dinámica en el Cambio de uso del suelo rural - urbano en la región de Atlixco, Puebla*. Tesis Presentada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Puebla.

- Mahar, D., & Schneider, R. (1994). *"Incentives for tropical deforestation: some examples from Latin America"*. University College London, London, England.
- Márquez, I., Jong, D., & Ochoa, G. (2005). Estrategias productivas campesinas. En *Un análisis de los factores condicionantes del uso del suelo en el oriente de Tabasco* (págs. 56-72). Tabasco: Universidad y Ciencia 2142.
- Maygua. (4 de Noviembre de 2012). *Blogger de maygua SIG*. Recuperado el 3 de Julio de 2014, de Sistemas de Información Geográfica: <http://sigmaygualida.blogspot.com/2012/11/sistemas-de-informacion-geografica.html>
- Mendoza, G., & Paola, K. (2011). *Análisis multitemporal de Uso y cobertura de Suelo en el Municipio de Manaure - Guajira - Colombia, Implementando Imágenes Landsat*. Tesis de Doctorado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Mendoza, M., López, E., & Bocco, G. (2001). Regionalización ecológica, conservación de recursos naturales y ordenamiento territorial en la cuenca del lago de Cuitzeo. *Resultados de Proyecto*. Michoacán, México.
- Monedero, C. (2014). *Una visión geoecológica del Avila y de su "comportamiento"*. Recuperado el 4 de Febrero de 2014, de http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/cenamb/feb00_unavision.htm
- Moran, E., Brondizio, E., & VanWey, I. (2005). Population and Environment in Amazonia. (L. U. Population, Ed.) *National Research Council*, 344.
- Navarro, G., & Maldonado, M. (2002). *Geografía Ecológica de Bolivia: Vegetación y Ambientes Acuáticos*. Cochabamba, Bolivia: Centro de Ecología Simón I. Patiño.
- Novo, E. (2002). Sensoriamento Remoto. En *Principios y Aplicaciones*. Sao Paulo: Edgar Bucher.

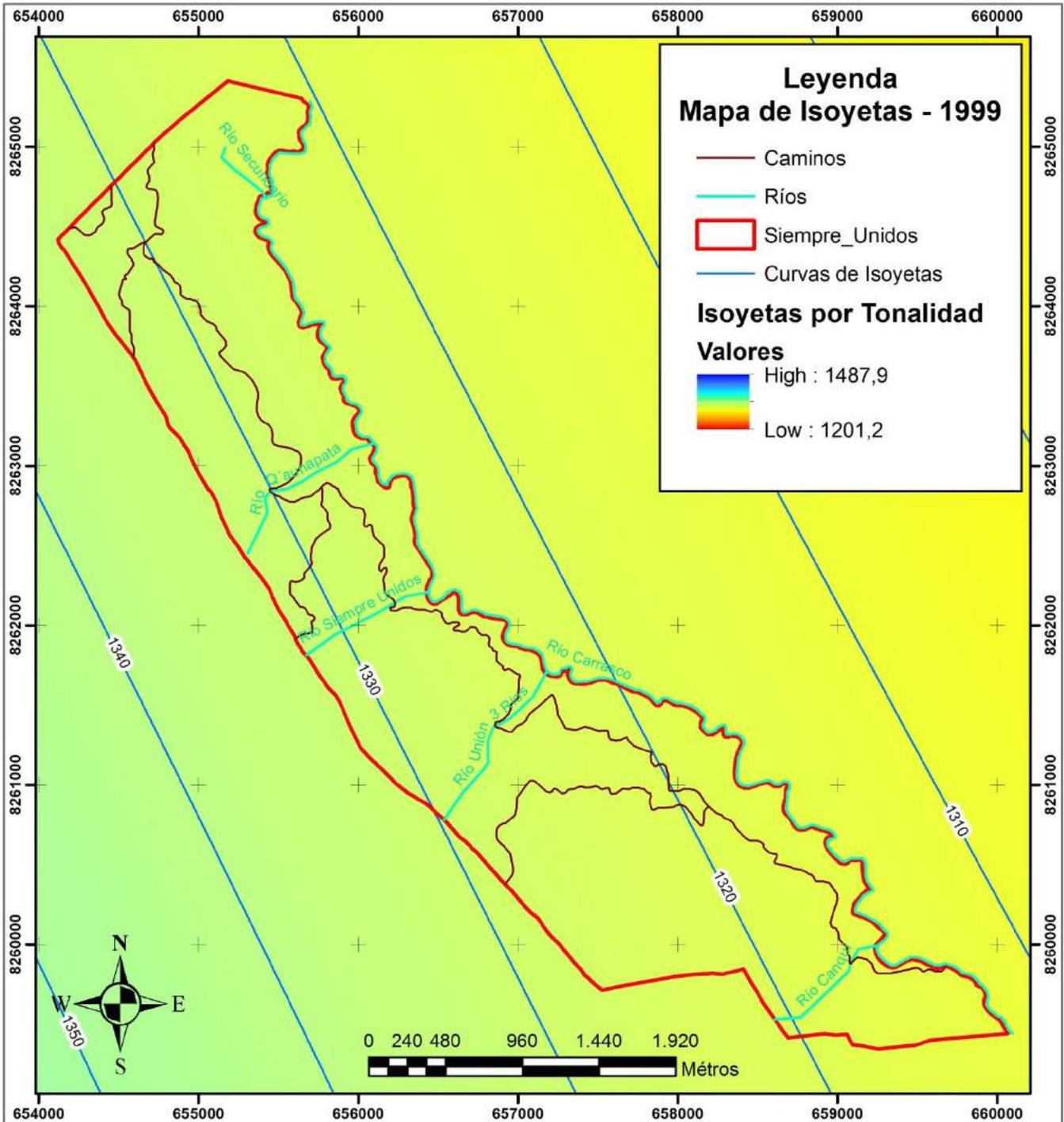
- Ochoa, G., & González, E. (2000). Land use and deforestation in the highlands of Chiapas. Chiapas: Applied Geography. 20.
- Pedrerros, D., Aguilar, G. L., & Senay, G. (Agosto de 2004). Reporte decadal sobre balanceo hídrico para el maíz, segunda decada, Septiembre 2004. Guatemala, Guatemala. Obtenido de Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana para Seguridad Alimentaria.
- Pineda, J. G., & Plata, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*. 69, 33-52.
- Pucha, F. (28 de Julio de 2013). *El Blog de Franz*. Recuperado el 3 de Agosto de 2013, de Combinación de Bandas para Landsat 8: <http://acolita.com/combinacion-de-bandas-para-landsat-8/>
- Pucha, F. (6 de Agosto de 2013). *El Blog de Franz*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2013, de <http://acolita.com/vectorizar-digitalizar-curvas-nivel-una-carta-topografica-en-arccgis/>
- Puerta, R., Rengifo, J., & Bravo, N. (2013). Manual de ArcGis 10 Intermedio. Tingo María: Departamento de de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables.
- Reyes, H., Aguilar, M., Aguirre, J. R., & Trejo, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto PUjal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *UNAM*(59), 26-42.
- Rial, P., & González, L. (2001). ERDAS IMAGINE® 8.4 Tour Guide. En *Capítulo 4, Clasificación*. United States of America.
- Rial, P., & González, L. (2006). Clasificación. En E. Inc, *ERDAS IMAGINE® 8.4 Tour Guide* (págs. 214-215).

- SENAMHI. (30 de 12 de 2013). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia*. Recuperado el 10 de 11 de 2013, de <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/>
- Sobrino, J. A.-G. (2000). Teledetección. En J. A. Sobrino. Valencia, España: Servicio de Publicaciones Universidad de Valencia.
- Superintendencia Agraria. (2001). *Mapa de cobertura y uso actual de la tierra*. La Paz, Bolivia.
- Velásquez, A., Durán, E., Larrasábal, A., López, F., & Medina, C. (2010). La Cobertura Vegetal y los Cambios e Uso de Suelo. *Publicación México*, 5.
- Verburg, P., De Koning, G., Kok, K., Velkamp, A., & Bouma, J. (1999). A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological modelling*, 45-61.
- Weier, & Arenque, D. (30 de Agosto de 2000). *Earth Observatory*. Recuperado el 12 de Agosto de 2013, de <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>

ANEXOS

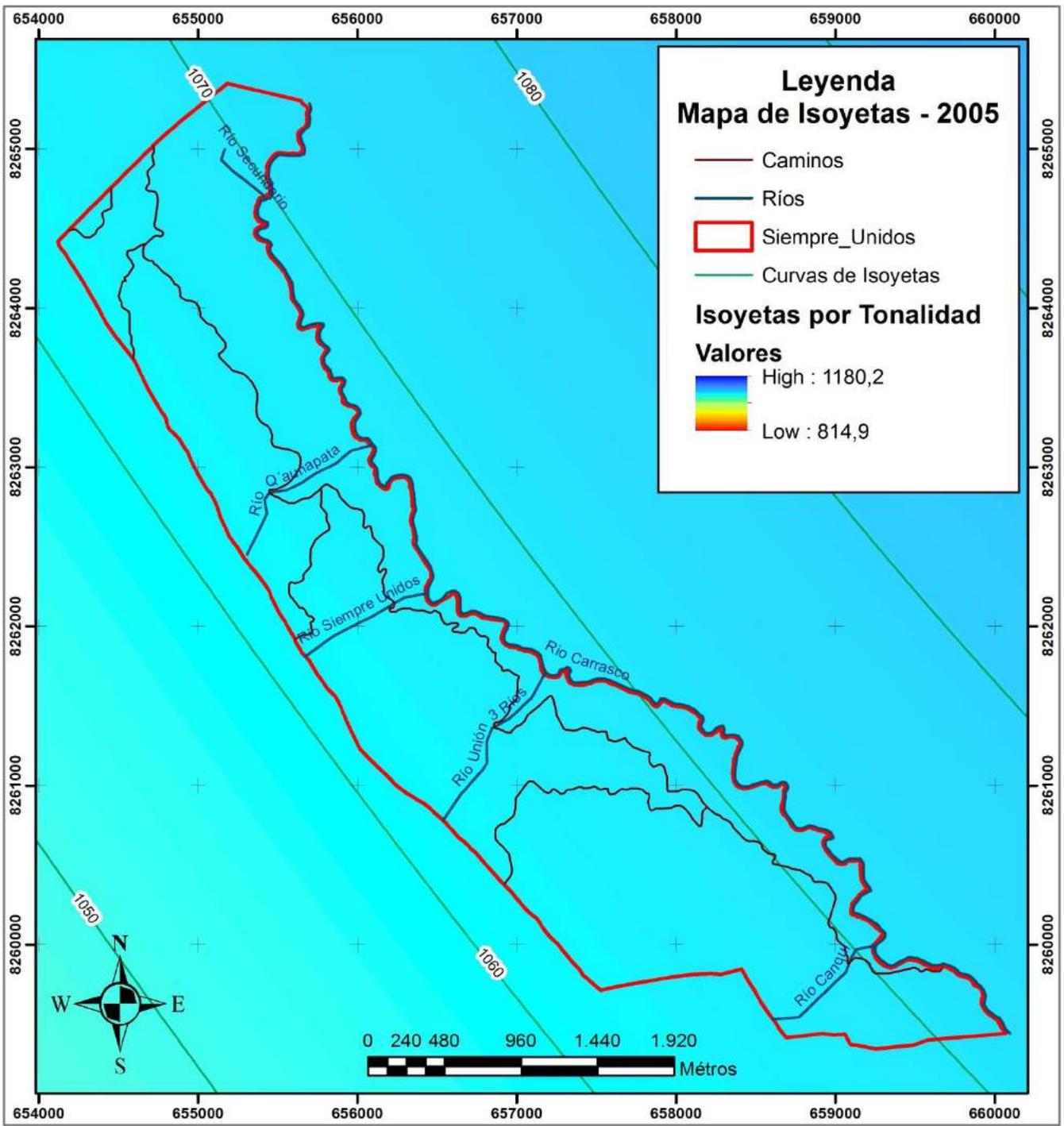
Anexo 1. Mapa de Isoyetas del año 1999.

 <p>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE AGRONOMÍA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA</p>	<p align="center">MAPA DE ISOYETAS</p> <p align="center">SISTEMA DE COORDENADAS WGS_1984_UTM_ZONA_19_SUR Proyección: Transverse Mercator Falso Este: 500.000,00 Falso Norte: 10.000.000,00 Meridiano Central: -69 Latitud de Origen: 0,00</p> <p align="center">Elaborado por: Alejandro P. Quispe Capquique</p>	 <p align="center">"Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal mediante el uso de técnicas de Teledetección y S.I.G. en la Colonia Siempre Unidos del Municipio de Caranavi, La Paz"</p>
---	---	--



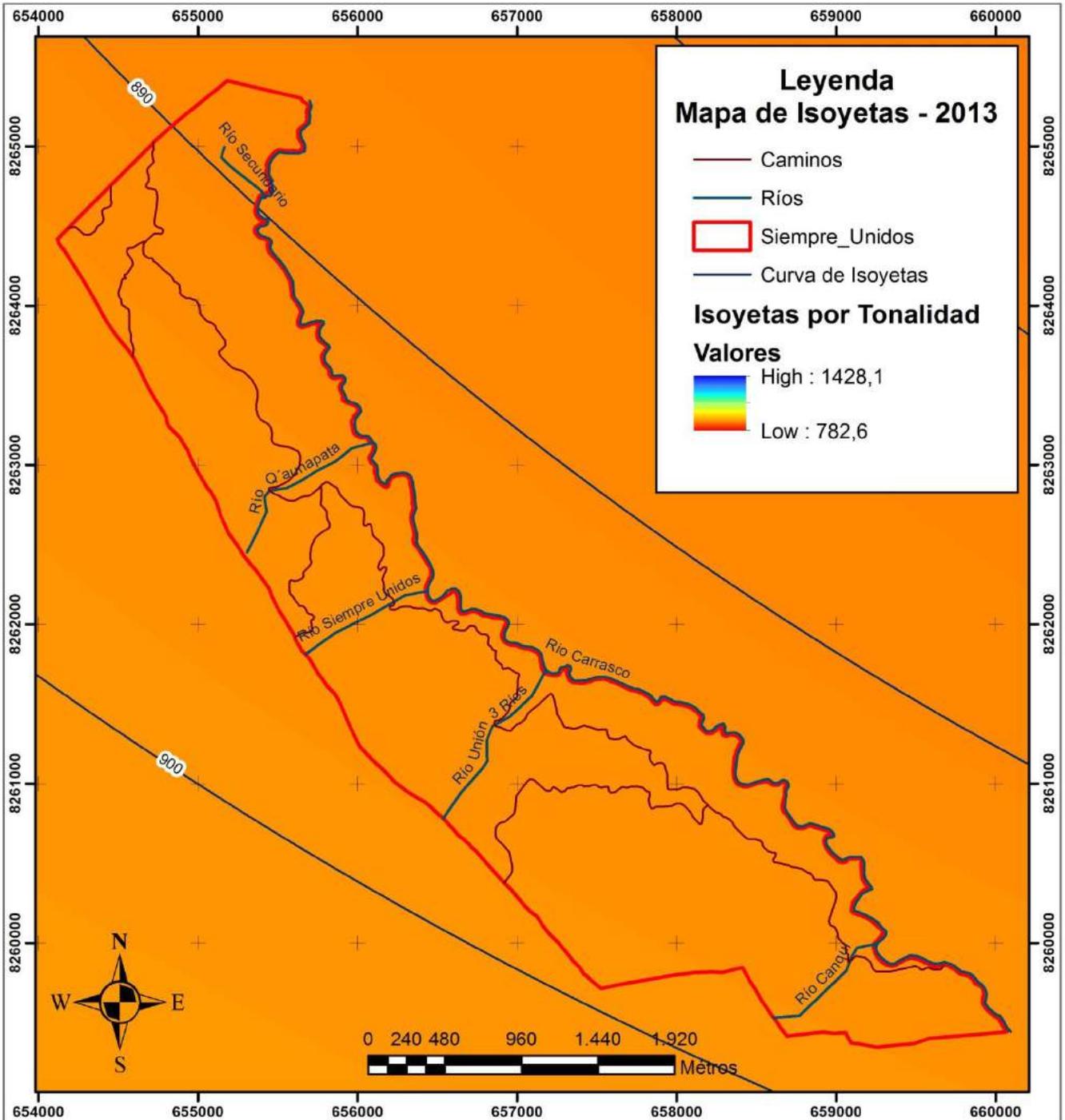
Anexo 2. Mapa de Isoyetas del año 2005.

 <p>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE AGRONOMÍA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA</p>	<p align="center">MAPA DE ISOYETAS</p> <p align="center">SISTEMA DE COORDENADAS</p> <p align="center">WGS_1984_UTM_ZONA_19_SUR Proyección: Transverse Mercator Falso Este: 500.000,00 Falso Norte: 10.000.000,00 Meridiano Central: -69 Latitud de Origen: 0,00</p> <p align="center">Elaborado por: Alejandro P. Quispe Capquique</p>	 <p align="center">"Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal mediante el uso de técnicas de Teledetección y S.I.G. en la Colonia Siempre Unidos del Municipio de Caranavi, La Paz"</p>
---	---	--



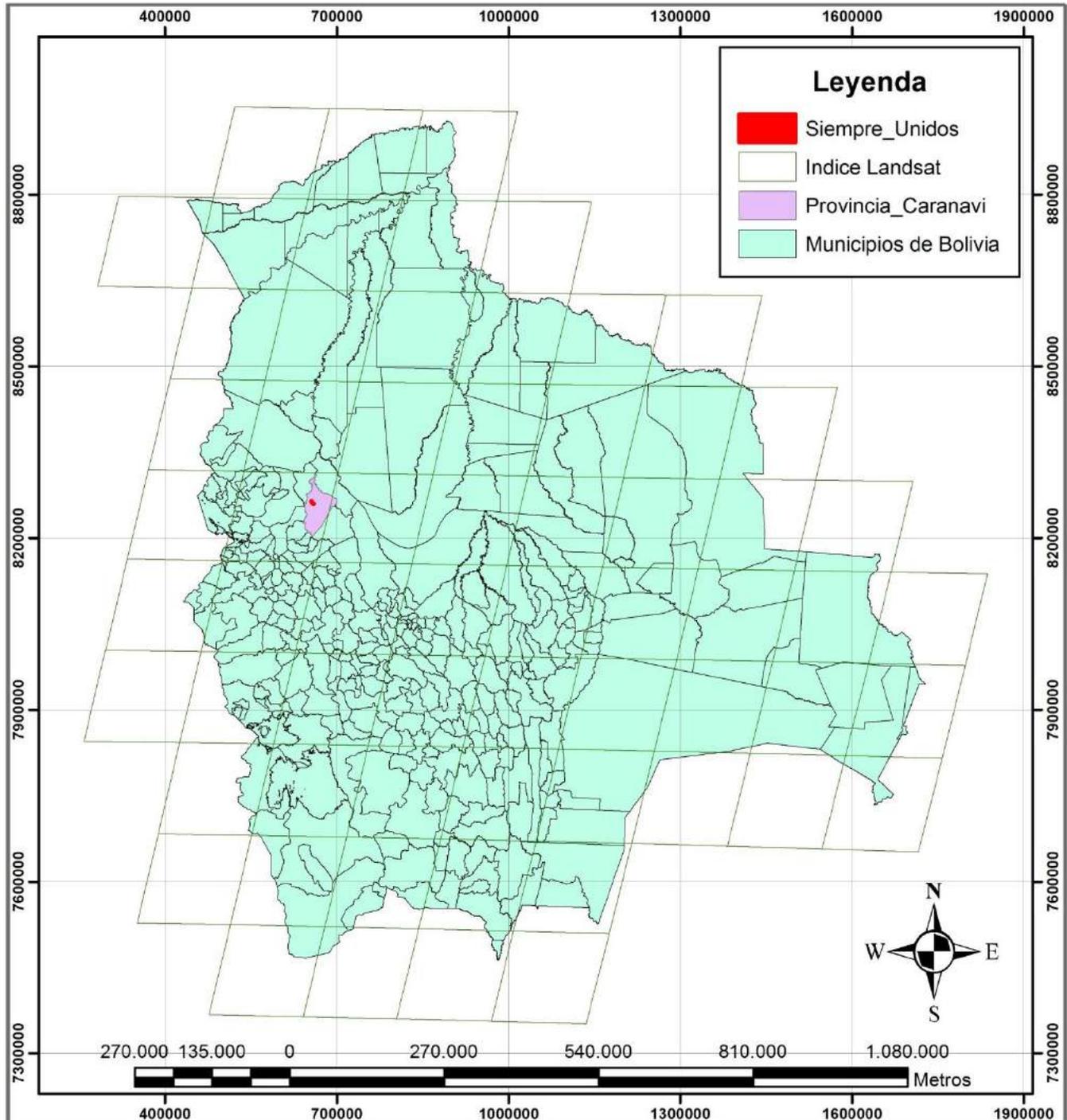
Anexo 3. Mapa de Isoyetas del año 2013.

 <p>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE AGRONOMÍA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA</p>	<p align="center">MAPA DE ISOYETAS</p> <p align="center">SISTEMA DE COORDENADAS WGS_1984_UTM_ZONA_19_SUR Proyección: Transverse Mercator Falso Este: 500.000,00 Falso Norte: 10.000.000,00 Meridiano Central: -69 Latitud de Origen: 0,00</p> <p align="center">Elaborado por: Alejandro P. Quispe Capquique</p>	 <p>*Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal mediante el uso de técnicas de Teledetección y S.I.G. en la Colonia Siempre Unidos del Municipio de Caranavi, La Paz*</p>
---	---	---



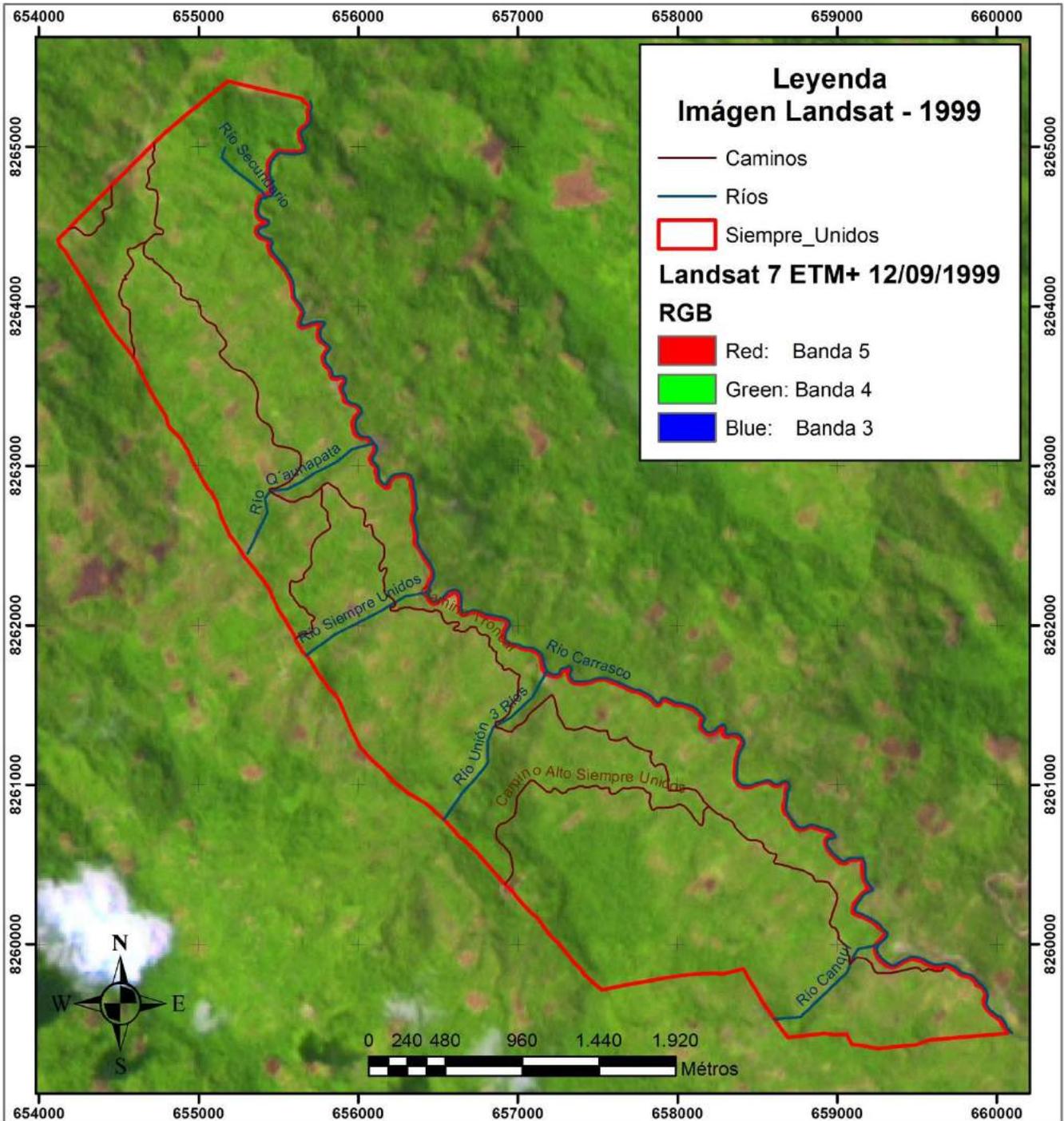
Anexo 4. Índice Landsat

 <p>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE AGRONOMÍA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA</p>	<h3>INDICE DE IMÁGENES LANDSAT</h3> <p>SISTEMA DE COORDENADAS WGS_1984_UTM_ZONA_19_SUR Proyección: Transverse Mercator Falso Este: 500.000,00 Falso Norte: 10.000.000,00 Meridiano Central: -69 Latitud de Origen: 0,00</p> <p>Elaborado por: Alejandro P. Quispe Capquique</p>	 <p>"Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal mediante el uso de técnicas de Teledetección y S.I.G. en la Colonia Siempre Unidos del Municipio de Caranavi, La Paz"</p>
---	---	---



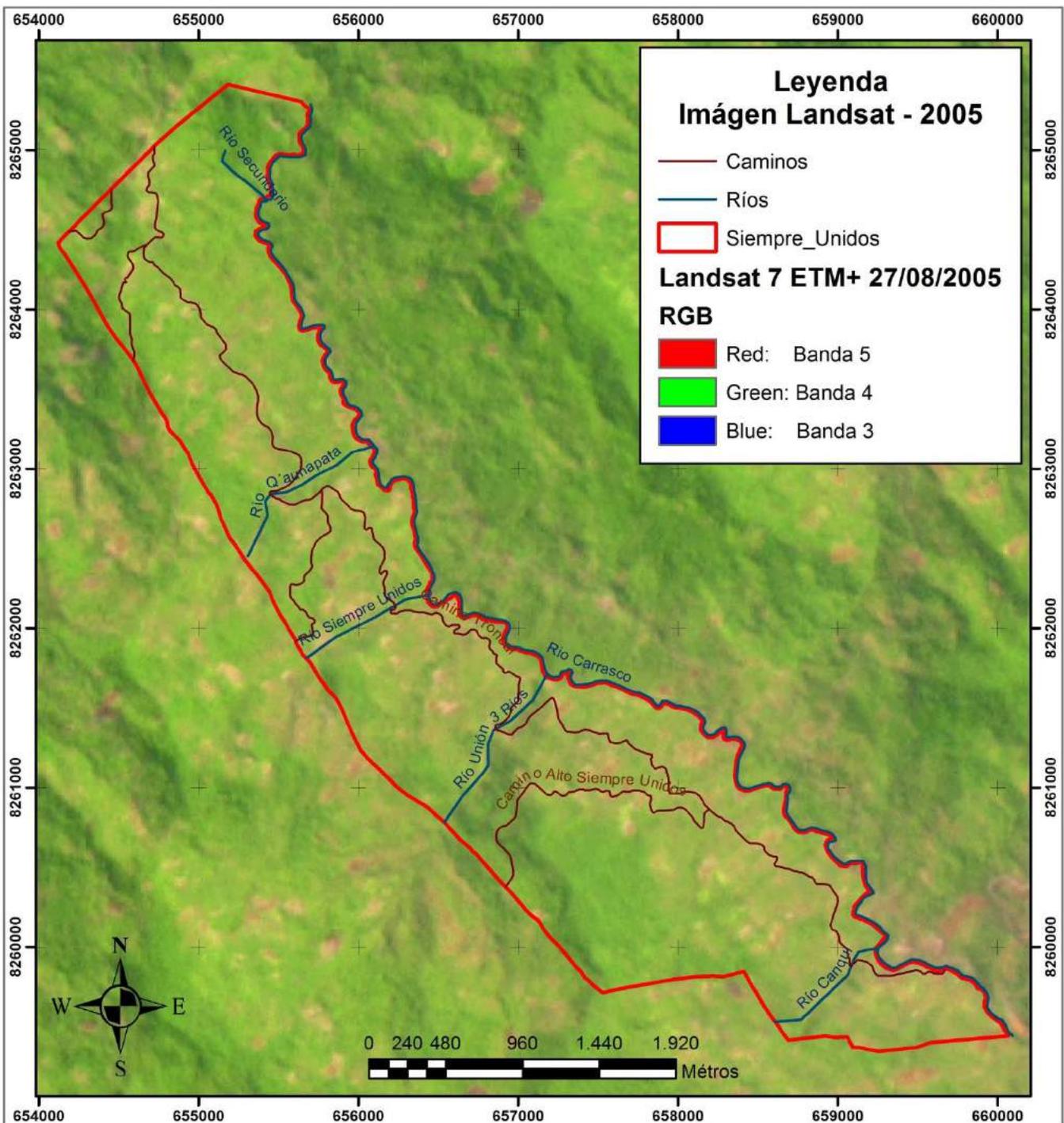
Anexo 5. Imagen Landsat del año 1999.

 <p>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE AGRONOMÍA CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA</p>	<p style="text-align: center;">IMAGEN LANDSAT</p> <p style="text-align: center;">SISTEMA DE COORDENADAS WGS_1984_UTM_ZONA_19_SUR Proyección: Transverse Mercator Falso Este: 500.000,00 Falso Norte: 10.000.000,00 Meridiano Central: -69 Latitud de Origen: 0,00</p> <p style="text-align: center;">Elaborado por: <i>Alejandro P. Quispe Capquique</i></p>	 <p style="text-align: center;">"Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal mediante el uso de técnicas de Teledetección y S.I.G. en la Colonia Siempre Unidos del Municipio de Caranavi, La Paz"</p>
---	--	---



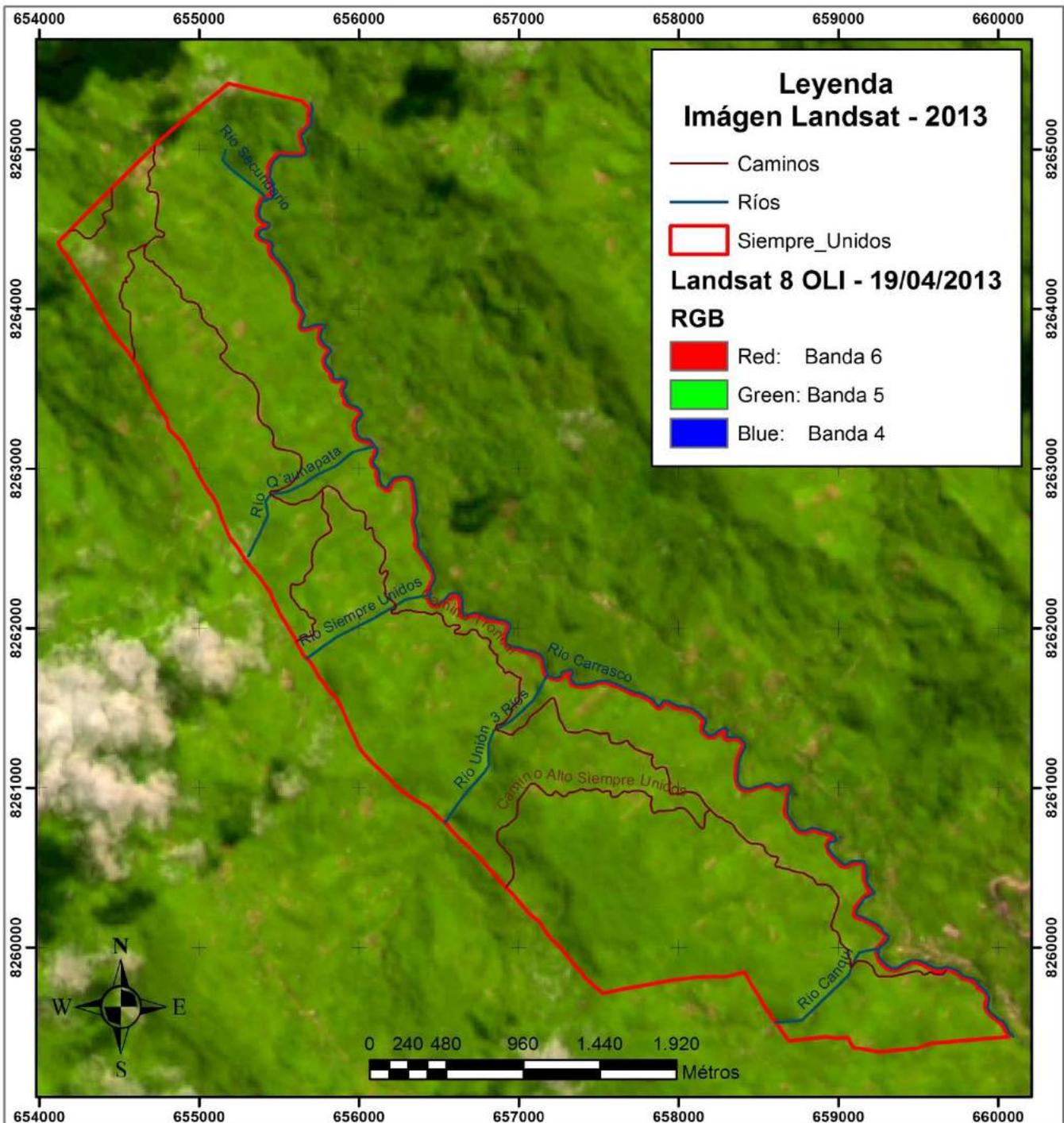
Anexo 6. Imagen Landsat del año 2005.

 <p>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE AGRONOMÍA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA</p>	<p style="text-align: center;">IMAGEN LANDSAT</p> <p style="text-align: center;">SISTEMA DE COORDENADAS</p> <p style="text-align: center;">WGS_1984_UTM_ZONA_19_SUR Proyección: Transverse Mercator Falso Este: 500.000,00 Falso Norte: 10.000.000,00 Meridiano Central: -69 Latitud de Origen: 0,00</p> <p style="text-align: center;">Elaborado por: Alejandro P. Quispe Capquique</p>	 <p style="text-align: center;">"Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal mediante el uso de técnicas de Teledetección y S.I.G. en la Colonia Siempre Unidos del Municipio de Caranavi, La Paz"</p>
---	---	---



Anexo 7. Imagen Landsat del año 2013.

 <p>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE AGRONOMÍA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA</p>	<p style="text-align: center;">IMAGEN LANDSAT</p> <p style="text-align: center;">SISTEMA DE COORDENADAS WGS_1984_UTM_ZONA_19_SUR Proyección: Transverse Mercator Falso Este: 500.000,00 Falso Norte: 10.000.000,00 Meridiano Central: -69 Latitud de Origen: 0,00</p> <p style="text-align: center;">Elaborado por: Alejandro P. Quispe Capquique</p>	 <p style="text-align: center;">"Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal mediante el uso de técnicas de Teledetección y S.I.G. en la Colonia Siempre Unidos del Municipio de Caranavi, La Paz"</p>
---	--	---



Anexo 8. Fotografías de áreas con cobertura (Suelos Semi Descubiertos)



Anexo 9. Fotografías de áreas con suelo descubierto, a causa de deslizamientos, zonas alrededor de ríos y camininos.



Anexo 10. Fotografías de parcelas de coca.



Anexo 11. Fotografía de plantas de coca.



Anexo 12. Banano listo para trasladarlo y posteriormente venderlo



Anexo 13. Validación de campo



Anexo 14. Casas con antenas parabólicas captando señal de T.V.



Anexo 15. Comparación en el tiempo del cambio de las coberturas clasificadas

COBERTURA	1999		2005		DIFERENCIA		2005		2013		DIFERENCIA		1999		2013		DIFERENCIA	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Bosque Secundario	108,7	12,3	110,7	12,5	-2,0	-0,2	110,7	12,5	226,9	25,7	-	-	108,7	12,3	226,9	25,7	-	-
Área de Bosque Intervenido	291,5	33,0	271,8	30,7	19,7	2,2	271,8	30,7	360,6	40,8	-88,8	10,1	291,5	33,0	360,6	40,8	-69,1	-7,8
Área de Cultivo Permanente	349,3	39,5	297,7	33,7	51,6	5,8	297,7	33,7	185,2	21,0	112,5	12,7	349,3	39,5	185,2	21,0	164,1	18,6
Suelos Semi Descubiertos	106,9	12,1	176,3	20,0	-69,4	-7,9	176,3	20,0	78,1	8,8	98,3	11,1	106,9	12,1	78,1	8,8	28,8	3,3
Suelos Descubiertos	27,4	3,1	27,3	3,1	0,1	0,0	27,3	3,1	33,1	3,7	-5,7	-0,7	27,4	3,1	33,1	3,7	-5,6	-0,6
TOTAL	883,8	100,0	883,8	100,0	0,0	0,0	883,8	100,0	883,8	100,0	0,0	0,0	883,8	100,0	883,8	100,0	0,0	0,0

Anexo 16. Diferencia entre cobertura vegetal y áreas descubiertas en las diferentes gestiones de estudio.

	1999		2005		Diferencia		2005		2013		Diferencia		1999		2013		Diferencia	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Áreas con cobertura densa	400,2	45,3	382,5	43,3	17,7	2,0	382,5	43,3	587,5	66,5	-	-	400,2	45,3	587,5	66,5	-	-
Áreas con actividad agrícola	456,2	51,6	474,0	53,6	-17,8	-2,0	474,0	53,6	263,3	29,8	205,0	23,2	456,2	51,6	263,3	29,8	187,3	21,2
áreas no productivas	27,4	3,1	27,3	3,1	0,1	0,0	27,3	3,1	33,1	3,7	-5,7	-0,7	27,4	3,1	33,1	3,7	-5,6	-0,6
	883,8	100,0	883,8	100,0	0,0	0,0	883,8	100,0	883,8	100,0	0,0	0,0	883,8	100,0	883,8	100,0	0,0	0,0