



PROYECTO “Gestión Concertada de Cuencas Transfronterizas; promoviendo la paz y la colaboración”

DELIMITACION DE BOFEDALES CON IMÁGENES

SATELITALES LANDSAT 5 TM

MEDIANTE EL NDVI

Ana Paola Castel
Adhemar Conde
Eloy Candia

Enero 2011

Contenido

1.	Objetivos.....	3
2.	Alcance	3
3.	Definición de Bofedal.....	3
4.	Metodología.....	3
	Obtención y tratamiento de imágenes satelitales Landsat 5 TM.....	3
	Corrección Geométrica	4
	Corrección de Radiancia	4
	Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI)	4
	Rangos del NDVI aplicados	5
	Control de calidad y edición.	5
	Vectorización.	5
	Validación.	6
	Levantamiento de puntos GPS de los bofedales e identificación de la vegetación contigua a los bofedales	6
	Reclasificación de rangos NDVI	6
	Depuración de datos de la Etapa I.....	9
	Resultados	9
	Fuente de Bofedales	9
5.	Conclusiones.....	10
6.	Bibliografía.....	12
7.	Anexos.....	13

1. Objetivos

Identificación, delimitación y cuantificación de bofedales asociados a la cuenca del río Mauri mediante el índice normalizado de vegetación (NDVI).

2. Alcance

- Obtención y tratamiento de imágenes satelitales Landsat 5 TM
- Generación NDVI
- Levantamiento de puntos GPS de bofedales e identificación de la vegetación contigua a los bofedales
- Definición de Rangos del NDVI
- Uso de filtros para la eliminación de los píxeles aislados
- Control de calidad y reedición
- Validación de Valores NDVI

3. Definición de Bofedal

Los bofedales ubicados en esta zona del altiplano pertenecen a los bofedales altoandinos de la puna. Estos bofedales son un sistema que agrupan un conjunto de asociaciones vegetales dominadas por especies perennes, subfruticasas con denso crecimiento cespitoso y de morfología muy compacta, plana o almohadillada que están saturados de agua o anegados durante todo el año. Los bofedales son un tipo de pradera natural particular de tierras altas donde se encuentra un tipo de vegetación natural siempre verde, de elevado potencial forrajero con suelo permanentemente húmedo apto para el pastoreo. Su flora está adaptada a las condiciones ambientales extremas de la Puna con un microrelieve ondulado y una red intrincada de canales o cursos de agua con la dominancia de especies herbáceas en cojines compactos. Las condiciones hidrológicas son extremadamente importantes para la manutención estructural y funcional, a pesar de que la altura y duración de inundación varía considerablemente de bofedal en bofedal y de año a año; también se observan fluctuaciones del nivel de agua dentro de un mismo humedal, lo cual se debe a cambios de época seca a época húmeda.

4. Metodología

Obtención y tratamiento de imágenes satelitales Landsat 5 TM

Las imágenes fueron adquiridas previa revisión de la cobertura y nubosidad, por medio FTP realizando un pedido vía web a la página INPE (Instituto Nacional de Investigación Espacial),

los cuales tienen a disposición del público en general un banco de imágenes Landsat 5 TM actuales e históricas.

La compilación o llámese también unión de bandas (Stack layer) se la realiza mediante el procedimiento y la herramienta Stack Layer del software Erdas Imagen, De esta manera se cargan las 7 bandas convirtiéndola en una sola imagen multiespectral, en la cual se realiza combinaciones de bandas para resaltar coberturas de la superficie terrestre. En el trabajo realizado se toma como combinación el falso color (5, 4, 3) donde se puede apreciar los Bofedales con un color verde claro intenso. La resolución espacial de las imágenes es de 30 metros, que es el tamaño del pixel.

Corrección Geométrica

Las imágenes descargadas del INPE si bien poseen datos de proyección asignada a su área y ubicación, nos harían pensar que ya están georeferenciadas, lo cual es totalmente erróneo. En estas imágenes existe un desplazamiento de 400 a 1000 metros, desplazamiento que es necesario corregir utilizando la corrección geométrica.

La corrección geométrica se la realiza en base a las imágenes ortorectificadas provistas por la pagina web Global Land Cover Facility GLCF, de tal modo que mediante el software Erdas Image y su extensión AutoSync se busco de 20 a 30 puntos de igual similitud, para luego generar automáticamente entre 200 a 400 puntos, la precisión con la se cuenta es de un RSM de 0,5 y bajo un polinomio de segundo grado.

Corrección de Radiancia

Es la introducción de parámetros constantes de Gains, Offset y Wavelet que posee cada imagen en su metadato cuando se la descarga. Se aplica esta corrección para que los niveles digitales de las distintas coberturas de la superficie asuman su valor real de radiancia.

4.1 Etapa I - Selección de Rangos y generación NDVI.

Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI)

El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) es un indicador estándar del vigor vegetal que permite generar una imagen que nos muestra el verdor (la biomasa relativa). Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un conjunto de datos multiespectrales: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja (banda 3) y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR) (banda 4). La reflexión diferencial entre estas bandas permite monitorear la densidad e intensidad del

crecimiento de la vegetación usando rangos. Estos rangos varían de -1 a 1. En general podemos interpretar los valores del NDVI de la siguiente manera:

El valor cero (0) representa rocas y terreno desnudo

De 0 a 0,1; yermas de rocas, arena y nieve

0,2 a 0,3; arbustos prados

0,6 a 0,8; bosques de zonas templadas (tropicales)

Cuando las hojas están bajo estrés hídrico, enfermas o muertas, toman un color más amarillento y reflejan significativamente menos en el rango del infrarrojo cercano. Nubes, agua y nieve muestran mejor reflectancia en el rango visible que en el infrarrojo cercano, mientras que el valor es casi cero para rocas y suelo desnudo.

La generación del NDVI se lo hizo a partir de la imagen con la corrección atmosférica.

Rangos del NDVI aplicados

Los rangos utilizados para la primera etapa se encuentran en el intervalo de valores que van de **0.2 a 1**, determinados mediante la identificación de bofedales por consulta a usuarios y comunarios de la zona. Luego se realizó la captura de una máscara y se aplicó un filtro medio de 3X3 (suavizado) de esta manera lograr aéreas de concentración y representatividad.

La época de las imágenes se encuentra en el periodo seco que corresponde a los meses de abril y mayo, como se detalla a continuación:

Path	Row	Fecha
001	072	13/05/2010
002	072	04/05/2010
001	073	27/04/2010

Control de calidad y edición.

Una vez que se obtuvo la imagen de los valores NDVI se realizó un control de calidad por medio de una sobre posición con las imágenes Landsat en reflectancia, para adherir o eliminar píxeles mediante un análisis visual.

Vectorización.

Es la migración de información raster a vector (polígono), obteniendo la superficie total de los bofedales en la cuenca.

Validación.

La validación de los bofedales etapa I, generados en base al análisis del NDVI, fue a través de un muestreo aleatorio sobre la cuenca del Mauri tomando 35 puntos sobre imágenes de alta resolución provistas por Google Earth, a pesar que las fechas de dichas imágenes son de los años 2003, 2004, 2005, corresponden a las áreas delimitadas e identificadas de manera satisfactoria, es decir que existe una correspondencia de los bofedales identificados por medio de las imágenes Landsat TM.

4.2 Etapa II - Validación de rangos NDVI

Levantamiento de puntos GPS de los bofedales e identificación de la vegetación contigua a los bofedales

Para cumplir con la tarea de delimitación de los bofedales asociados a la cuenca del río Mauri era preciso realizar el levantamiento de puntos GPS que son representativos de los bofedales en diferentes grados de vigorosidad de la vegetación según lo identificado en la imagen satelital Landsat TM 5 en falso color infrarrojo, como los valores rojos claros a rojos oscuros (con tendencia a negro como supuestos bofedales inundados) y llegar a establecer su correspondiente valor NDVI para validar los rangos utilizados durante la **Etapa I**. Es por eso que en el trabajo de gabinete se identificaron y seleccionaron un total de 13 puntos que representaban las tonalidades de rojo encontrados en los bofedales de la cuenca en territorio boliviano, que en teoría pertenecían a bofedales permanentes, que son los bofedales de vegetación densa y con un acceso a agua constante (en muchos casos inundados), los bofedales con vegetación poco densa y llanuras de inundación en la rivera de los ríos.

El trabajo de campo se realizó los días 21 y 22 de enero del 2011, donde además de levantar los puntos identificados en gabinete se hicieron transectos como parte de los bofedales identificados en gabinete.

El falso color infrarrojo es la combinación de las bandas multiespectrales 4, 3, 2 (la banda cuatro perteneciente a el infrarrojo cercano) en el que la biomasa vegetal es resaltada en distintas tonalidades de rojo según la densidad y su estado de vigorosidad, ya sea que estén bajo estrés hídrico, enfermas o muertas y reflejan significativamente menos en la tonalidad del infrarrojo cercano.

Reclasificación de rangos NDVI

Para la obtención de los valores del NDVI en los puntos de control levantados en campo se utilizó una imagen satelital próxima al periodo de su levantamiento para que los valores obtenidos representen la vegetación en la misma época.

Época húmeda	Fecha
002/072	11/12/2009
001/072	07/12/2010
001/073	07/12/2010
Época seca	Fecha
002/072	23/07/2010

En esta etapa se han obtenido los valores de **0,3 a 1** en todo el rango para identificar bofedales durante la época húmeda, y de **0,1 a 1** para todo el rango durante época seca. De esta manera podemos clasificar dos etapas por época de los bofedales debido al grado de vitalidad de la vegetación manifestada durante la época seca con tonalidades claras, y tonalidades oscuras durante época húmeda; por lo que se puede considerar que existe una superficie de los bofedales que son sensibles a disponibilidad del agua marcada distintamente por la época del año. Examinando ambos periodos finalmente se clasificaron los valores obtenidos en dos grupos que representan los dos estados de los bofedales:

- De 0,2 a 0,3 para bofedales sensibles a la disponibilidad del agua y,
- 0,3 a 1 para bofedales permanentes o que no varían considerablemente de época húmeda a época seca.

Época seca

Época húmeda

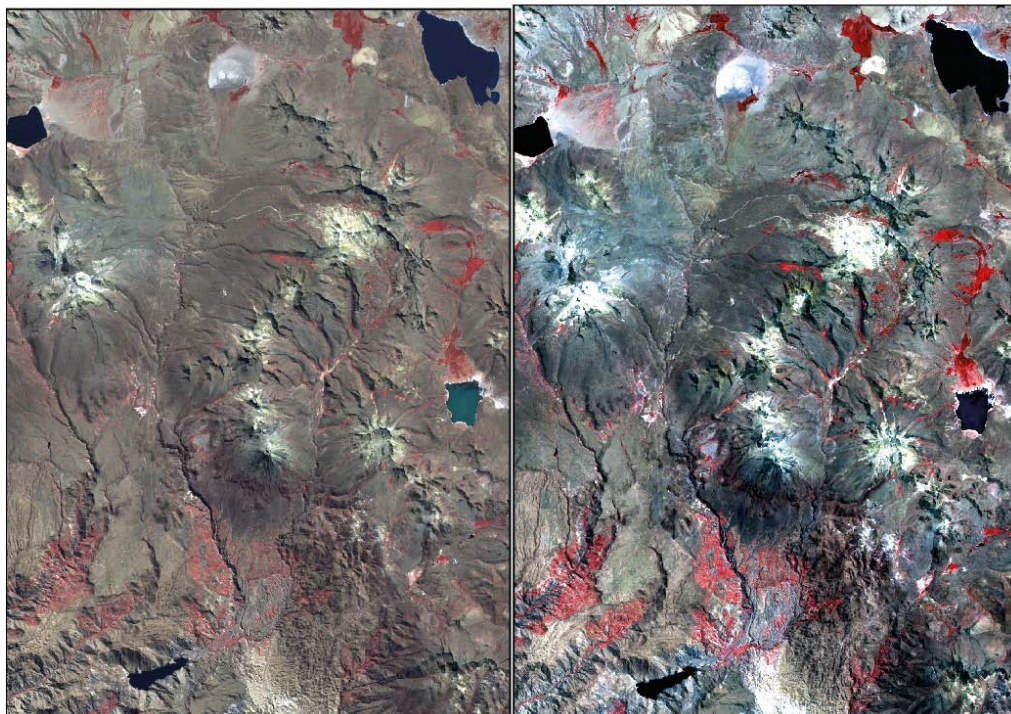
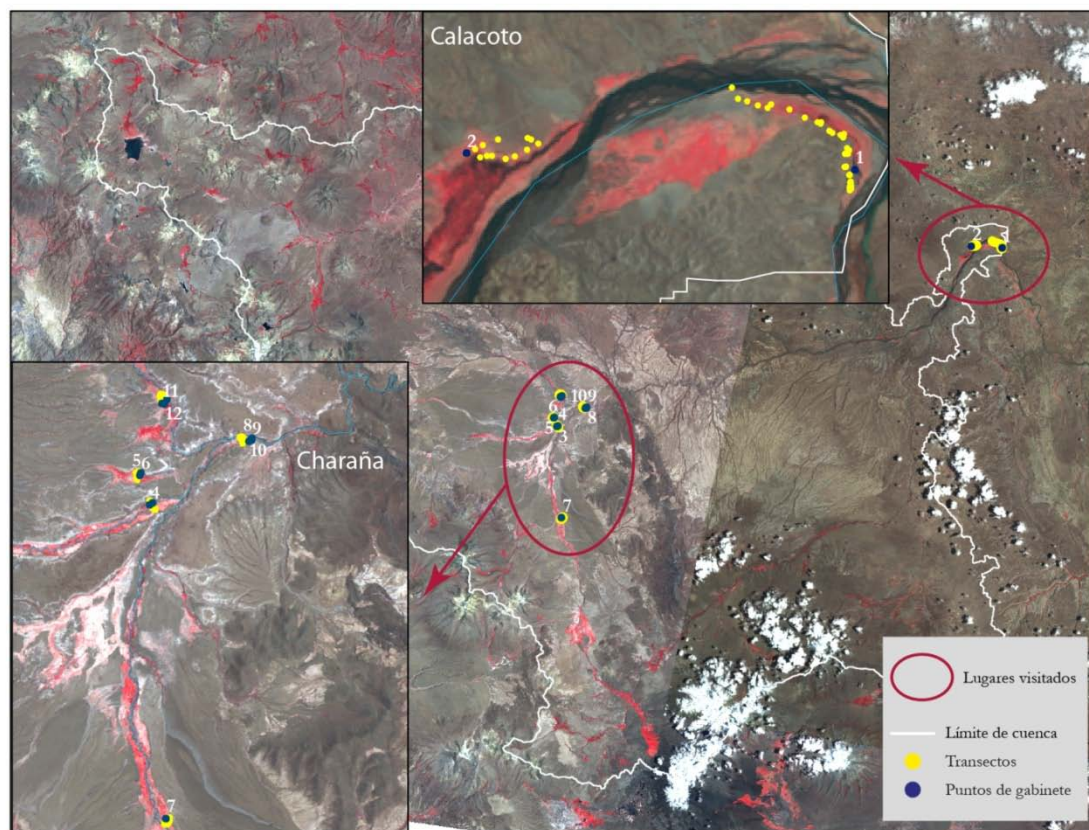


Figura 1 - Comparación entre época seca y época húmeda, combinación falso color infrarrojo.

El siguiente cuadro muestra los puntos de control levantados en campo y sus correspondientes valores NDVI organizados según los rangos identificados:

Punto	Foto	NDVI
1	1	0,0986
2	2	0,1392
3	3	0,1739
4	4	0,1757
5	5	0,1839
6	6	0,1954
7	7	0,2164
8	8	0,2887
9	9	0,2991
10	10	0,3300
11	11	0,3373
12	12	0,3757
13	13	0,4286

Puntos de control Cuenca del río Mauri



Depuración de datos de la Etapa I

En la revisión de los polígonos de las superficies resultantes de la etapa I se identificaron algunas superficies que no correspondían a la selección de la vegetación que pertenece a los bofedales. Por ejemplo, se ha identificado vegetación acuática clasificada por el NDVI de la primera etapa como bofedal. Esta identificación se la ha realizado en base a dos escenas que corresponden una a época seca y la otra a época húmeda, esta tarea se la realizó con el objetivo de identificar el tipo de vegetación a la que correspondía y descartar su tipificación como bofedal.

Resultados

Después de haber empleado toda la metodología descrita podemos definir que existe 22319,38 ha que corresponden a bofedales en la cuenca del Mauri. De esta superficie podemos distinguir dos grupos de bofedales que están diferenciados por su estado y densidad de la vegetación, 12547,62 ha corresponden a bofedales permanentes y aproximadamente 9771 ha corresponden a bofedales sensibles a la disponibilidad de agua.

Fuente de Bofedales

En el siguiente cuadro se detallan los bofedales de las comunidades de Calacoto y Charaña, identificados durante el estudio físico-químico de Jorge Coronel en 2009.

Charaña

Charaña				
Bofedal	Fuente	Río	Piezometros	Obs.
Bofedal Jalaro 2,3	Canal	Ulla Uta		El Bofedal jalaro 2,3 es regada por el canal 1 , denominamos como jalaro 2,3 por que usan las comunidades de Jalaro 2 y Jalaro 3.
Bofedal Picaña	Canal	Ulla Uta		Abastecido con la toma 2
Bofedal Picañani	Vertiente			Abastecido por vertiente, según los del lugar el bofedal se esta secando.
Patacapuchu	Vertiente			Patacapucho significa 100 ojos o vertientes
Bofedal Jalaro 1(Florentina Cutipa)	Vertiente		2	Bofedal con varios ojos de vertientes en la parte donde se inicia el bofedal, en parte baje del bofedal esta apoyada con escurrimientos del ultimo canal del Péru, perteneciente a la familia Yujra,
Sucanavi toma 5 y 6	Canal	Ulla Uta		
Comaravi toma 4	Canal	Ulla Uta		
Choquecota 7	Canal y Vertiente	Ulla Uta		Estan abastecidos por el canal 7, por otro parte tienen varios ojos de agua (Vertientes), en epocas de estiaje el agua del río Ulla Uta no llega y se abastecen solo con las vertientes
Bofedal Curanpuchu	Vertiente		4	Abastecido con puro vertientes
Caripe, Amachuma y Rosapata	Canal		3	
Juntuna 1	Canal	Juntuma		
Juntuma 2	Canal	Juntuma		

Juntuma 3	Vertiente	Juntuma	1	
Bofedal Calacalani	Toma rustica	Putani		Por estar en la frontera no tienen tialomas de material
Bofedal Capilluni	Vertiente			Sus aguas bajan al río caquena
Bofedal Umapalca 4,5	Canal	Putani		Tiene dos tomas
Bofedal Umapalca 6	Canal	Putani		una toma
Bofedal Ticani	Canal	Putani		una toma
Bofedal Lupirana 1, 2, y 3	Canal	Putani	5,6,7	Tiene 5 tomas
Bofedal Lluta	Canal	Putani		una toma
Bofedal Laruta	Canal	Putani		una toma
Bofedal Japuma	Canal	Putani		una toma
Bofedal Achamoco	Toma rustica	Putani		Por estar en la frontera no tienen tialomas de material
Bofedal Culuta	canal	Putani		Tiene dos tomas

Calacoto

Calacoto		
Bofedal	Fuente	Ayllu
Bofedal Sora Abajo	vertiente	Ayllu Sora Abajo
Bofedal Sora Arriba	vertiente	Ayllu Sora Arriba
Bofedal Río Blanco	vertiente	Ayllu Pahaza
Bofedal Rosario 2	vertiente	Ayllu Pahaza
Bofedal Rosario 1	vertiente	Ayllu Pahaza
Bofedal antes del puente	vertiente	Ayllu Pahaza
Bofedal con su Laguna	vertiente	Ayllu Pahaza
Bofedal Transredes	vertiente	Ayllu Pahaza
Bofedal General Pérez 1	vertiente	General Pérez

5. Conclusiones

Se ha considerado importante distinguir entre los bofedales con acceso a agua permanente; lo que en la imagen satelital con una combinación falso color (infrarrojo) se reconoce como vegetación densa y sana del bofedal, que en distintas épocas del año no varía considerablemente en superficie y densidad de biomasa. Y por otro lado, existen partes del bofedal que presentan cambios considerables según la época del año debido a que no tienen un acceso constante al agua, por lo que su permanencia depende casi exclusivamente del agua de lluvia. En una primera etapa estos cambios han sido identificados visualmente en las imágenes satelitales (con una combinación falso color infrarrojo), de tal forma que se ha podido confirmar este comportamiento con la aplicación del NDVI.

En las imágenes, cuando se compara época seca con época húmeda, se puede observar, para la época seca, que estas superficies corresponden a vegetación de menor densidad, por lo tanto en la imagen satelital se las puede distinguir porque presentan una tonalidad menor. En época seca la vegetación pierde su grado de humedad y vigorosidad, llegando a disminuir en densidad, pero volviendo a recuperarse hasta cierto grado durante la época húmeda; por lo

que los límites del bofedal no tienen una variación importante; pero si la vegetación dentro de sus límites.

Las superficies identificadas como permanentes pueden tener acceso al agua por encontrarse próximas al río y o al caudal subterráneo, disponible en su proximidad, o bien tienen alguna vertiente en alguna zona que la sostiene. Sin embargo, las superficies donde se observa la degradación de los bofedales son sensibles a la disponibilidad de agua. Estas superficies en muchos casos sobreviven casi exclusivamente del agua subterránea a la que tienen acceso. Entonces los bofedales son afectados directamente por la disponibilidad de agua en la napa freática y por la época de lluvia, donde podemos notar que por la falta de estas fuentes el bofedal está perdiendo densidad y finalmente puede llegar a disminuir en superficie.

6. Bibliografía

- NAVARRO, Gonzalo; FERREIRA, Vanderley
2007 "Leyenda explicativa de las unidades del mapa de vegetación de Bolivia a escala 1:250000". Rumbol. Bolivia.
- CARAFA, Tania
2009 "Evaluación Ecológica de la cuenca circundante al nevado Illimani"
- CORONEL, Jorge
2009 "Bofedales de la Cuenca del Río Mauri: Vegetación y características físico – químicas". Informe. Agua Sustentable. La Paz – Bolivia.

7. Anexos



Foto 1 – Punto 1

Foto 2 – Punto 2



Foto 3 – Punto 3



Foto 4 – Punto 4



Foto 5 – Punto 5





Foto 6 - Punto 6

Foto 7 – Punto 7



Foto 8 – Punto 8



Foto 9 – Punto 9



Foto 10 – Punto 10



Foto 11 – Punto 11



Foto 12 – Punto 12



Foto 13 – Punto 13

