

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica  Investigación Aplicada

**DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUCIÓN:**  
1. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (DICA)

**LINEA(S) DE INVESTIGACION** (nuevas para el DICA comunicadas el 11 de Julio del 2017 por medio de QUIPUX EPN-VIPS-2017-1430-M)

1. Meteorología y climatología aplicada (DICA)
2. Geografía y paisaje (DICA)
3. Hidrología, hidrogeología y recursos hídricos (DICA)

<b>DISCIPLINA CIENTÍFICA</b> ( <i>Marque X, solamente una opción</i> )	
Ciencias Naturales y Exactas	
Ingeniería y Tecnologías	X
Ciencias Médicas	
Ciencias Agrícolas	
Ciencias Sociales	
Humanidades	

<b>OBJETIVO SOCIOECONÓMICO</b> ( <i>Marque X, solamente una opción</i> )	
Exploración y explotación del medio terrestre	
Ambiente	X
Exploración y explotación del espacio	
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras	
Energía	
Producción y tecnología industrial	
Salud	
Agricultura	
Educación	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos	
Defensa	
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU)	
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes	



<b>1</b>	<b>Proyecto de Investigación</b>
<b>Título:</b> <b>LOS PATRONES CLIMÁTICOS GLOBALES Y SU INFLUENCIA EN LA RESPUESTA TEMPORAL Y ESPACIAL DE ÍNDICES ESPECTRALES DE LA VEGETACIÓN DEL PÁRAMO EN EL ECUADOR</b>	
<b>Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)</b> <p>El Ecuador continental se encuentra influenciado por diferentes fuentes de humedad y precipitación como consecuencia de patrones climáticos globales tales como el fenómeno del niño. El clima y particularmente la disponibilidad de agua influyen los ecosistemas, la agricultura, la industria, la infraestructura, la energía, etc. El estudio del clima y las fuentes de humedad del Ecuador se ha realizado fundamentalmente basado en redes de estaciones meteorológicas y modelos computacionales que se caracterizan por tener una resolución espacial gruesa. El objetivo de este estudio es analizar la influencia de los patrones climáticos globales en la respuesta de la vegetación del páramo durante 17 años (2000-2017) a través del análisis de la variabilidad temporal y espacial de los índices espectrales de este ecosistema a una escala espacial no mayor a 250 m. Los índices espectrales son indicadores cuantitativos del vigor de la vegetación y estos serán extraídos de los instrumentos satelitales MODIS y ASTER. Se creará una base de datos de índices espectrales y se correlacionará con los índices globales climáticos. Se espera identificar las regiones del Ecuador que son influenciadas por los diversos patrones climáticos globales. El conocimiento derivado en esta investigación es fundamental para definir estrategias de cambio climático en el país.</p>	
<b>Palabras clave (4-6):</b> <p>Índices espectrales de vegetación, paramos, disponibilidad de agua, NDVI, EVI, Sensores Remotos</p>	

<b>2</b>	<b>Objetivos, limitaciones, hipótesis y resultados esperados de esta propuesta de investigación</b>
----------	---

### 2.1 Objetivos

#### 2.1.1 Objetivo General

- Determinar la influencia de los patrones climáticos globales en la respuesta de la vegetación del páramo durante 17 años (2000-2017) por medio del análisis de la temporalidad y la dinámica de los índices espectrales de la vegetación del páramo.

#### 2.1.2 Objetivos Específicos

- a. Crear una base de datos de los índices espectrales de la vegetación del páramo entre el año 2000 y 2017 derivados de los instrumentos satelitales MODIS y ASTER
- b. Determinar las tendencias de la variabilidad interanual e intraanual de los índices espectrales del páramo, por cuencas hidrográficas y provincias del Ecuador
- c. Determinar la correlación entre índices espectrales de vegetación e índices climáticos globales
- d. Determinar la extensión del páramo que responde a fenómenos como el niño y la niña y que regiones responden a la humedad amazónica o del océano pacífico.

#### 2.2 Limitaciones (Aspectos que quedan fuera del alcance del Proyecto de Investigación)

- a. Se analizará los índices espectrales de la vegetación del páramo solamente. No se incluirá el análisis de los índices espectrales de otro ecosistema terrestre del Ecuador. Esto es debido que otros ecosistemas pueden tener mayor influencia antrópica y la respuesta de los índices espectrales por tanto no ser enteramente natural.



b.

### 2.3 Hipótesis (Responden al problema de investigación)

a. Los índices espectrales de la vegetación del páramo responden fundamentalmente a la disponibilidad del agua, por tanto estos constituyen un buen indicador de la disponibilidad temporal de agua en el suelo y la vegetación.

b.

...

### 2.3 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

a. Creación de una base de datos de los índices espectrales de la vegetación del páramo entre el año 2000 y 2017 a una escala espacial no mayor de 250 m

b. Mapas y figuras de la variabilidad interanual e intraanual de los índices espectrales del páramo resumidos a nivel de cuencas hidrográficas y provincias del Ecuador.

c. Análisis de las relaciones entre los índices espectrales de la vegetación del páramo y los índices climáticos globales.

d. Determinar la extensión del páramo que responde a fenómenos como el niño, la niña y regiones que están controladas por la humedad proveniente de la región amazónica o del océano pacífico.

<b>3</b>	<b>Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación</b>
----------	--

Las regiones naturales del Ecuador, Costa, Sierra y Amazonía se caracterizan por una complejidad del clima con una alta variabilidad espacial y temporal de las fuentes de humedad y precipitación [1]. Esta variabilidad responde principalmente a la presencia de la cordillera de los Andes y los patrones de circulación atmosférica globales que conjuntamente determinan el clima, la disponibilidad de agua y definen los ecosistemas [1,2]. Los factores de circulación oceánicos - atmosféricos y fuentes de humedad más importantes para el Ecuador son el desplazamiento periódico de la zona de convergencia intertropical (CZIT), los vientos alisios con dirección occidental sobre la cuenca amazónica, El Niño - Oscilación del sur (ENSO) entre otros con menor influencia en el territorio [1,3,4].

El conocimiento actual sobre clima, las fuentes de origen de la humedad y la precipitación en el país, se ha desarrollado primordialmente en base a información de redes de estaciones meteorológicas, y modelos computacionales que se caracterizan por una resolución espacial gruesa [1,2]. Estos estudios no permiten determinar la influencia de los patrones globales de circulación atmosférica en unidades espaciales más pequeñas como cuencas hidrográficas, divisiones políticas o ecosistemas específicos, como el páramo, bosque nublado, entre otros. Por lo tanto desconocemos la respuesta dinámica de los ecosistemas en el Ecuador ante la variabilidad del clima a una escala territorial que nos permita tomar decisiones sobre el manejo de los recursos naturales y el cambio climático.

Existen varios factores que limitan la productividad y definen las características de un ecosistema entre ellos la energía solar, los nutrientes y el agua [5,6]. De todos estas variables, la disponibilidad del agua ha sido identificada en múltiples regiones como la de mayor influencia en la productividad vegetal [5]. Por lo tanto, la variabilidad en los indicadores espectrales de la vegetación de un ecosistema puede ser usada para comprender la influencia de los patrones climáticos predominantes y las fuentes de humedad disponible sobre un área geográfica [7,8]. El panel intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC) reconoce que el estudio de la respuesta de los ecosistemas tiene el potencial de llegar a ser un poderoso indicador de los cambios climáticos actuales y futuros en una región [9]. Esta investigación selecciona y estudia al páramo, ecosistema andino de montaña, como un indicador de la variabilidad climática. Investigaciones anteriores han demostrado que los patrones de clima globales influyen en la vegetación de las estribaciones de los Andes en Chile y Argentina [8], y además la productividad del páramo incrementa durante las épocas con mayor disponibilidad de agua [10].

Los cambios en el clima tienen el potencial de influenciar los ecosistemas, la agricultura, industria, infraestructura, producción de energía, salud, etc. [11]. Por tanto el conocimiento derivado en esta



investigación es fundamental para definir estrategias de cambio climático en el país ya que los patrones de circulación atmosférica influyen de manera diversa en el Ecuador [4]. Es decir, la adaptación al cambio climático dentro del país debe ser formulada a nivel regional y determinada de acuerdo al sistema climático global predominante.

Esta propuesta de investigación es relevante y transversal para las siguientes líneas de investigación del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental: (i) Meteorología y climatología aplicada, (ii) Geografía y paisaje e (iii) Hidrología, hidrogeología y recursos hídricos. Los patrones climáticos globales son estudiados por la climatología aplicada e influyen fundamentalmente la disponibilidad del agua en una región. A su vez, las escalas temporales y espaciales de la disponibilidad del agua requieren de un estudio geográfico ya que influyen los procesos hidrológicos. Esta investigación proveerá datos de la respuesta de la vegetación del páramo para todo el Ecuador. El páramo es un ecosistema que ha sido reconocido por su provisión abundante y sostenida de agua y es un ecosistema que provee de agua a las poblaciones de altura.

Desde un punto de vista académico este proyecto se vinculará y generará nuevos conocimientos académicos e insumos educativos para la cátedra de hidrología aplicada y sistemas de información geográfica que se dictan en el pregrado de la carrera de ingeniería civil e ingeniería ambiental, en las dos maestrías en gestión e ingeniería de recursos hídricos y el Doctorado en Recursos Hídricos, todos estos programas que lleva adelante el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Desde un punto de vista de aporte al desarrollo de nuevos conocimientos este proyecto se articula con el proyecto ARES: "Global Change and Soil and Water Conservation in the High Andes (ParamoSuS)" financiado por la cooperación Belga y que se desarrolla en el páramo oriental de la provincia de Pichincha y occidental de Napo. El proyecto ARES tiene como objetivo estudiar los procesos hidrológicos, geoquímicos y la respuesta de la vegetación del páramo. Por último, la presente propuesta de investigación en el caso de ejecutarse tiene el objetivo de financiar la educación de un estudiante dentro de nuestros programas académicos mencionados arriba tales como la maestría de investigación. Se seleccionará un estudiante, el/la cual desee especializarse en la aplicación de sensores remotos para identificar fuentes de humedad y la respuesta de la vegetación a la disponibilidad de agua en zonas de montaña. Desde un punto de vista práctico y de vinculación con la sociedad, este proyecto contribuirá con información fundamental de las extensiones del páramo que responde a fenómenos como el niño, la niña y regiones que están controladas por la humedad proveniente de la región amazónica o del océano pacífico. Esta información es fundamental para detallar las estrategias de cambio climático en diversas zonas del país.

#### 4 Productos esperados

Tipo de Producto:	Marcar con una "X"
a. Publicaciones científicas (obligatorio);	<input checked="" type="checkbox"/>
b. Disertación a la comunidad politécnica;	<input checked="" type="checkbox"/>
c. Trabajo de titulación de acuerdo a lo que establece el Reglamento de Régimen Académico y la Normativa Interna de la EPN;	<input checked="" type="checkbox"/>
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	
e. Patente presentada;	
f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	<input checked="" type="checkbox"/>

#### 5 Descripción, metodología y diseño del proyecto

##### 5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)

##### 5.1 Área de estudio

El páramo es un ecosistema localizado en la parte alta de los Andes entre elevaciones promedio de 3500 y 5000 m [12]. La temperatura media diaria es de 8°C a 3500 metros de elevación y con precipitaciones que varían



entre 1000 y 3000 mm anuales. Se encuentra dominado por una vegetación compuesta por rosetas caulescentes, rosetas acaules, arbustos esclerófilos, cojines, gramíneas en macolla, hierbas no graminoides entre otras [13]. Este ecosistema se caracteriza por su capacidad de regulación y como fuente de agua para zonas más bajas [12]. Para la delimitación del páramo se utilizará el mapa de cobertura de uso del suelo a escala 1:100,000 desarrollado por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y presentado en el año 2015. En este mapa de cobertura de uso del suelo, el páramo representa 6.1% del territorio nacional con una extensión de 1'524.000 hectáreas (Figura 1). Las gradientes de humedad en las zonas montañosas generan diferencias en las respuestas de la vegetación en el tiempo y en el espacio [14]. Por tanto, para el análisis de la respuesta espectral, la extensión de páramo será dividida por regiones como son las cuencas hidrográficas más grandes del país y por provincias (Figura 1).

### 5.2 Índices espectrales de vegetación

Los índices espectrales de la vegetación son indicadores del verdor o vigor de la vegetación dentro un píxel de una imagen satelital. Estos índices se derivan de los valores espectrales registrados por los sensores espectrales de los satelitales. Los índices espectrales de vegetación tales como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y EVI (Enhanced Vegetation Index) se han usado exitosamente como indicadores de la producción primaria de la vegetación en diversos ecosistemas [7,15]. Esta investigación incorpora series de tiempo durante 17 años (2000-2017) de los índices de vegetación NDVI y EVI derivados de la plataforma MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer; <http://modis.gsfc.nasa.gov/>) con una resolución espacial de 250 m y temporal de 16 días [16]. Por tanto son aproximadamente 1600 imágenes MODIS que cubren el Ecuador continental que deben ser procesadas durante el tiempo de estudio estipulado. En cada imagen MODIS, solo los píxeles clasificados de alta calidad serán incorporados en el análisis. Las series de tiempo de NDVI y EVI serán extraídas para el páramo del Ecuador y analizadas con el procesador de datos MATLAB. Además se derivarán otros indicadores fenológicos como el máximo NDVI/EVI, la respuesta de NDVI/EVI integrada en el tiempo y duración de temporada de crecimiento vegetal de acuerdo a la propuesta metodológica de Reed et al. (1994) [17]. En los lugares que se requiera mayor detalle de estos índices espectrales se utilizarán imágenes ASTER de las cuales se pueden derivar índices espectrales a resoluciones espaciales de 15m.

### 5.3 Índices atmosféricos globales

La variabilidad climática que influencia la parte tropical de América del sur es capturada por índices atmosféricos como el MEI (Multivariate ENSO Index), AAO (Antarctic Oscillation Index), NAO (North Atlantic Oscillation), MJO (Madden-Julian Oscillation) y PDO (Pacific Decadal Oscillation) [4], (tabla 1). El Niño – Oscilación del Sur (ENSO) integra múltiples variables de los fenómenos oceánicos y atmosféricos con fluctuaciones irregulares de sus fases caliente (El niño) y fría (la niña) con una periodicidad que varía entre 2 y 7 años [18]. La variabilidad por décadas del PDO produce también cambios en los patrones de humedad de América del Sur. Todos los valores mensuales de los índices atmosféricos arriba indicados serán convertidos a valores promedios trimestrales y anuales.

### 5.4 Correlación entre los índices espectrales de vegetación e índices atmosféricos globales.

La respuesta de la vegetación de páramo debido a fenómenos climáticos globales se realizará por medio de una regresión entre los índices de vegetación y los índices atmosféricos. Coeficientes de correlación Pearson serán calculados entre índices de clima y vegetación para cuantificar la relación entre estas variables. Los 17 años de estudio (2000-2017) incluyen años con fuerte presencia del fenómeno del niño 2002/2003 y la niña 2007/2008 [19]. Los análisis de correlación se realizarán a nivel de píxel lo que permitirá determinar mapas de zonas de alta y poca correlación a nivel espacial con los índices atmosféricos globales.

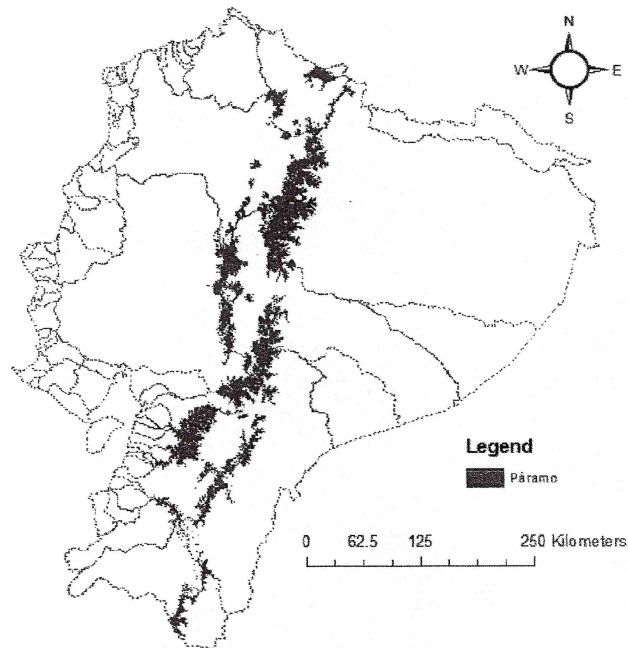


Figura 1. Extensión del páramo en el Ecuador y principales cuencas hidrográficas

Tabla 1. Fuentes de información de los índices atmosféricos globales

Índices atmosféricos	Fuente de Información
Multivariate ENSO Index (MEI)	<a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html">http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html</a>
Antarctic Oscillation Index (AAO)	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/</a>
Madden-Julian Oscillation (MJO)	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjo.shtml">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjo.shtml</a>
Pacific Decadal Oscillation (PDO)	<a href="http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest">http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest</a>

### 5.5 Plan de análisis de datos

Para el análisis de datos, se propone entrenar al menos 3 estudiantes (uno de maestría y 2 de pregrado) con intereses en clima y recursos hídricos para el procesamiento de imágenes de satélite MODIS y ASTER, obtención y procesamiento de índices climáticos y análisis estadístico. Como recursos se necesita acceso a computadores con Sistemas de Información Geográfica y MATLAB para procesamiento de las imágenes. La Escuela Politécnica Nacional cuenta con las licencias necesarias de estos programas computacionales.

### 5.6 Presentación de resultados

Los resultados se diseminarán a través de una publicación en una revista indexada como *Sensors*, *ecohydrology*, *hydrological processes*, una disertación a la comunidad politécnica, y a través de presentaciones en conferencias nacionales e internacionales

### CITAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Pourrut P., O. Róvere, I. Romo, H. Villacrés (1995). Factores condicionantes de los regímenes climáticos e hidrológicos. In, P. Pourrut (ed) *El Agua en el Ecuador*. Corporación Editora Nacional. Quito, 7-12.

[2] Insel N., C.J. Poulsen y T.A. Ehlers (2010), Influence of the Andes Mountains on South American moisture transport, convection and precipitation. *Clim Dyn*, 35, 1477-1492.



- [3] Lenters J.D. y K.H. Cook (1995), Simulation and diagnosis of the regional summertime precipitation climatology of South America. *J. Climatology*, 8, 2988-3005.
- [4] Garreaud R.D., M. Vuille, R. Compagnucci, J. Marengo (2009), Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281, 180-195.
- [5] Nemani R.R., C.D. Kelling, H. Hashimoto, W.M. Jolly, S.C. Piper, C.J. Tucker, R.B. Myneni, S.W. Running (2003), Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999, *Science*, 300,1560-1563.
- [6] Brooks P.D., P.A. Troch, M. Durcik, E. Gallo, M. Schlegel (2011), Quantifying regional scale ecosystem response to changes in precipitation: not all rain is created equal. *Water Resources Research*, 47, W00J08
- [7] Van Leeuwen W.J.D., B.J. Orr, S.E. Marsh, S.M. Herrman (2006), Multi-sensor NDVI data continuity: uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. *Remote Sensing of Environmental*, 100, 67-81.
- [8] Van Leeuwen W.J.D., K. Hartfield, M. Miranda y F.J. Meza (2013), Trends and ENSO/AAO driven variability in NDVI derived productivity and phenology alongside the Andes Mountains. *Remote Sens*, 5, 1177-1203
- [9] IPCC (2007), climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK, p.996.
- [10] Oliveras I., C. Girardin. C.E. Doughty, N. Cahuana, C.E. Arenas, V. Oliver, W. Huaraca Huasco, Y. Malhi (2014), Andean grasslands are as productive as tropical cloud forest. *Environmental research letters*, 9, doi:10.1088/1748-9326/9/11/115011.
- [11] Chen, W.Y., J. Seiner, T. Suzuki y M. Lackner (2012), *Handbook of climate change mitigation*, doi 10.1007/978-1-4419-7991-9\_17. Springer.
- [12] Buytaert W., V. Ifigüez, R. Celleri, B. De Bievre, G. Wyseure, J. Deckers (2006), Analysis of the water balance of small paramo catchments in south Ecuador. In: J. Krecek and M. Haigh. *Environmental Role of Wetlands in Headwater*, Springer. Netherlands. 271-281.
- [13] Llambi L. D., F. Cuesta (2014), La diversidad de los páramos andinos en el espacio y en el tiempo. In: Cuesta F, Sevink J, Llambi LD, De Bievre B, Posner J (Ed). *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*, CONDESAN.
- [14] Sklenar P., Laegaard S (2003), Rain-shadow in the high Andes of Ecuador evidenced by paramo vegetation. *Artic, Antarctic and Alpine Research*, 35,1, 8-17.
- [15] Ruimy A., B. Saugier, G. Dedieu (1994), Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *J. Geophys. Res.-Atmos*, 99, 5263-5283.
- [16] Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao, y L.G. Ferreira (2002), Overview of the radiometric and biophysical performance fo the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing in the Environment*, 83, (1-2), 195-213.
- [17] Reed B.C., J.F. Brown, D. VanderZee, T.R. Loveland, J.W. Merchant, D.O. Ohlen (1994), Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of Vegetation Science*, 5,5, 703-714.
- [18] Diaz, H.F., V. Markgraf (1992), *El Niño*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [19] Eichler T. P., y A.C. Londoño (2013), South American Climatology and impacts of el Niño in NCEP's CFSR Data. *Advances in Meteorology*, 492630, pp15.



**6 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.**

**6.1 Infraestructura y equipos**

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Infraestructura	Equipos	
Laboratorio ZZ	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Laboratorio de aerofotogrametría y sensores remotos – LAFSER	Computador con el software ERDAS y MATLAB	Laboratorio de aerofotogrametría y sensores remotos – LAFSER, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
	GPS Garmin	

**6.2 Breve justificación del equipo requerido**

- Justificar la infraestructura y equipos **solicitados** para la ejecución del proyecto e indicar el departamento en el cual se ubicará dicho equipamiento.

Se ha solicitado un computador portátil de gran capacidad de procesamiento que permita almacenar y procesar más de 1600 imágenes de satélite. Además se ha solicitado equipos de almacenamiento externo para mantener respaldos de la información obtenida y procesada.

**6.3 Fondos Adicionales**

- Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)

No se cuenta con fondos adicionales para este proyecto.