

# Índice de Fragilidad Ambiental en las cuencas hidro-geomorfológicas del Lago Peñuelas, Chile y del Lago Amatitlán, Guatemala

Roberto Richardson Varas\*  
Manuel Muñoz Luza  
Flavia Landeros Cáceres  
Víctor Contreras Celis  
Jaime Carranza González\*\*  
Milton Nuñez  
Edson Hernández  
Raul Alfonso Alvarez  
Edvin Ramos  
Jorge Mazariegos  
Joana Girón  
Marlon Velásquez

*Recibido el 30 de enero de 2015; aceptado el 14 de septiembre de 2015*

## **Abstract**

This research is the development of an index Environmental Fragility in digital cartographic support for hydrogeomorphological Peñuelas Lake Basins in Chile and Lake Amatitlan in Guatemala. Which was elaborated to identify whether the fragility Amatitlan Lake and Lake Peñuelas has increased or decreased in the period between the 80'-2014.

For this, the technique of Remote Sensing and GIS processing, field reconnaissance, interpretation of data (satellite images, field data and meteorological data) is used. This methodology is modeling the Landsat image processing in hidrogeomorfológica Lake basin during periods Peñuelas 1989 (March and November), 1995

\* Investigador responsable en Chile, CONA, Errázuriz Echaurren 254, Playa Ancha, Valparaíso, Chile, correo electrónico: roberto.richardson@gmail.com

\*\* Investigador responsable en Guatemala; USAC, Zona 12, Ciudad de Guatemala, Guatemala, correo electrónico: jaimec2002@yahoo.com

(June and December), 2008 (March and September) and finally 2014 (July to November). Well as the results of the basin Amatitlán years 1990, 2000 and 2010. The main conclusion from the results is that the fragility of Lake Peñuelas in Chile between 1980 and 2014 has decreased due to being under the category of National Reserve and Lake Amatitlan in Guatemala has presented a deterioration since the early 1990, for failure to file conservation policies.

Key words: *hydrogeomorphological Watershed, environmental fragility index, Remote Sensing and GIS processing, Environmental Degradation, conservation policies.*

## Resumo

Esta investigação constitui o desenvolvimento de um Índice de Fragilidade Ambiental em suporte cartográfico digital para as Bacias Hidro geomorfológicas do Lago Peñuelas no Chile e Lago Amatitlan na Guatemala. O qual se elabora para identificar se a fragilidade do Lago Amatitlán e o Lago Peñuelas têm aumentado ou diminuído, no período que abrange entre a década de 80 até o ano de 2014.

Para realizar o antes comentado, se utiliza a técnica de Percepção Remota e Processamento GIS, reconhecimento da área, interpretação de dados (imagens satelitais, dados térreos e dados meteorológicos). Dita metodologia resulta na modelação do processamento de imagens Landsat na bacia hidro geomorfológica do Lago Peñuelas dos períodos 1989 (março e novembro), 1995 (junho e dezembro), 2008 (março e setembro) e finalmente 2014 (julho e novembro). Assim também os resultados da bacia de Amatitlán anos 1990, 2000 e 2010. A principal conclusão a partir dos resultados obtidos é que a fragilidade do Lago Peñuelas no Chile, entre os anos 80 ao 2014 tem diminuído, devido a estar sob a categoria de Reserva Nacional e o Lago Amatitlán na Guatemala tem apresentado deterioração desde a década de 90, por não possuir políticas de conservação.

Palavras-chave: *bacias hydrogeomorphological, índice ambiental fragilidade, sensoriamento remoto e processamento GIS, a degradação ambiental, as políticas de conservação.*

## Resumen

Esta investigación constituye el desarrollo de un Índice de Fragilidad Ambiental en soporte cartográfico digital para las Cuencas Hidrogeomorfológicas del Lago Peñuelas en Chile y Lago Amatitlán en Guatemala. El cual se elabora para identificar si la fragilidad del Lago Amatitlán y el Lago Peñuelas ha aumentado o disminuido, en el periodo comprendido entre la década de los ochenta al 2014.

Para lo anterior, se utiliza la técnica de Percepción Remota y Procesamiento GIS, reconocimiento de terreno, interpretación de datos (imágenes satelitales, datos te-

rreno y datos meteorológicos). De dicha metodología resulta la modelación del procesamiento de imágenes Landsat en la cuenca hidrogeomorfológica del Lago Peñuelas en los períodos 1989 (marzo y noviembre), 1995 (junio y diciembre), 2008 (marzo y septiembre) y finalmente 2014 (julio y noviembre). Así también los resultados de la cuenca de Amatitlán años 1990, 2000 y 2010. La principal conclusión a partir de los resultados arrojados es que la fragilidad del Lago Peñuelas en Chile, entre la década de los ochenta al año 2014, ha disminuido, debido a estar bajo la categoría de Reserva Nacional y el Lago Amatitlán en Guatemala ha presentado un deterioro desde la década de los noventa, por no presentar políticas de conservación.

Palabras clave: *Cuencas hidrogeomorfológicas, Índice de fragilidad ambiental, Percepción Remota y procesamiento GIS, Degradación Ambiental, políticas de conservación.*

## **Introducción**

### ***Reserva Nacional Lago Peñuelas***

Se encuentra en la región de Valparaíso en Chile. Fue declarada área protegida en el año 1952 con el fin de preservar la cuenca tributaria Lago Peñuelas, construido a fines del siglo XIX y comienzos del XX. (entre los años 1895 y 1900) en el gobierno de Federico Errázuriz Echaurren, cuyo objetivo principal fue abastecer de agua potable los sectores altos de las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar, en especial en los meses de verano, distantes unos 30 kilómetros al oeste. Ubicado a un costado de la ruta 68 que une Santiago con Valparaíso y Viña del Mar, proporcionando un fácil acceso a él, y a la reserva en sí, tiene una extensión de 9,260 hectáreas. En la actualidad es utilizado como embalse para producción de agua potable para la ciudad de Valparaíso, es alimentado básicamente por las precipitaciones de su cuenca aportante, mostrando grandes cambios en el volumen embalsado de una estación seca a otra lluviosa.

En 1952 la zona del Lago Peñuelas fue convertida en la Reserva Nacional Lago Peñuelas, bajo la administración de la Corporación Nacional Forestal. En 1985 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) declaró la zona Reserva de la Biósfera. En la actualidad es una unidad del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) de Chile.<sup>1</sup> Esta unidad, junto al Parque Nacional La Campana, constituye una Reserva de la biósfera, se ha estudiado la flora de esta reserva, cuyo estudio registró 150 especies aproximadas de origen nativo, también se registró una rica flora comparada con los otros bosques nativos de la zona. En Chile existe el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, el cual comprende tres categorías: Parques Nacionales,

<sup>1</sup> CONAF, Plan de Manejo Reserva Nacional Lago Peñuelas, Ministerio de Agricultura Corporación Nacional Forestal Quinta Región de Valparaíso, Chile, 1999.

Reservas Nacionales y Monumentos Naturales. Actualmente la Reserva Nacional Lago Peñuelas se encuentra en la protección de Reserva Nacional.

### ***Cuenca del Lago de Amatitlán***

El Lago Amatitlán en Guatemala es el resultado de una caldera de colapso formada en el Cuaternario superior de los volcanes Pacaya, Fuego y Agua, y rellenada por aguas pluviales.<sup>2</sup>

La cuenca del Lago Amatitlán tiene una extensión de 381.31km<sup>2</sup> y está formada por 14 de los municipios de Amatitlán, algunos del Departamento de Guatemala y otros de Sacatepéquez, de ellos siete tienen influencia directa en el lago (Villa Nueva, Villa Canales, Santa Catarina; Pinula; San Miguel Petapa; Mixco; Amatitlán y Guatemala) en la parte sur de la ciudad Capital. La población de la cuenca según datos proporcionados por el INE es de 1,500,000 habitantes.

El Lago Amatitlán se encuentra ubicado en el Departamento de Guatemala, a sólo 25km de la capital, colindando con los municipios de Villanueva, Villa Canales, San Miguel Petapa y Amatitlán, y en él desemboca el río Villalobos. Está situado a una altura de 1,188msnm.

El volcán Pacaya es parte del entorno ecológico del área y las aguas termales que alimentan el lago provienen precisamente de los cerros y las faldas que lo rodean. La forma del lago se asemeja al número ocho; en la parte más estrecha lo atraviesa un relleno artificial, sobre el cual pasa la vía del ferrocarril —abandonada desde hace años— y divide al lago en dos lagunas.

Un hecho histórico que marcó un rumbo decadente para el lago fue el traslado de la capital, en 1776, a su ubicación actual. Esto dio origen a una irracional explosión demográfica, con el consiguiente desorden en la utilización de los recursos: deforestación, mala utilización del suelo con fines agrícolas, distribución desordenada en el régimen de tenencia de la tierra e instalación dentro de la cuenca que desemboca en el lago de más de 700 industrias de diversa índole, sin plantas de tratamiento funcionando.

La construcción del relleno en 1881, con el propósito de dar paso al ferrocarril, dividió físicamente al lago en dos partes, limitando el flujo natural de sus aguas. La apertura de la planta de generación de energía eléctrica en la parte del sur y el uso de sus aguas para hacer funcionar la central hidroeléctrica de Jurún Marinalá, han afectado considerablemente el comportamiento natural del lago. Esta planta utiliza el lago como embalse mediante la colocación de compuertas, haciendo oscilar el nivel del agua de acuerdo a sus necesidades, hecho que afecta especialmente las riberas y edificaciones instaladas en sus márgenes, causando igualmente diversos e irreparables daños a su cuerpo hídrico, con repercusiones en la flora y la fauna del lugar (Ernesto

<sup>2</sup> J.P., Bergoeing, *Geomorphology of Central America*, Elsevier, New York, 2015.

Chinchilla Aguilar, *Historia del lago de Amatitlán*, Editorial José Pineda Ibarra, 1961).

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Desarrollar Índice de Fragilidad Ambiental en soporte cartográfico digital para las cuencas hidrogeomorfológicas del Lago Peñuelas en Chile y Lago Amatitlán en Guatemala.

### ***Objetivos específicos***

- Determinar el deterioro de los ecosistemas de la cuenca en lo que respecta a los recursos suelo y vegetación.
- Evaluar el nivel de erosión y el nivel de cobertura superficial en los sitios detectados en cada subcuenca como parámetros indicadores del deterioro.
- Clasificar el uso actual de los recursos suelo y vegetación para resaltar aquellos inadecuados como variable indicadora del deterioro progresivo.
- Establecer un balance y las tendencias de la degradación de los ecosistemas naturales en ambos ambientes lacustres, con un grado de intervención alto, medio o bajo, fundamentado en regiones morfoclimáticas y de aptitud de los suelos.

## **Metodología**

En el presente proyecto de investigación, se tiene como principal objetivo el identificar si la fragilidad del Lago Amatitlán y el Lago Peñuelas ha aumentado o disminuido, en el periodo comprendido entre la década de los ochenta al 2014 (véase Figura 1).

Para lo anterior, se utiliza la técnica de Percepción Remota y Procesamiento GIS, reconocimiento de terreno, interpretación de datos (imágenes satelitales, datos terreno y datos meteorológicos).

A continuación se listan los pasos metodológicos desarrollados en esta investigación:

- Obtención de datos e interpretación de imágenes satelitales
- Trabajo de campo
- Pre-procesamiento de la información
- Ensamble de las bandas espectrales
- Creación de una Sub-escena (Subset) con las imágenes ensambladas
- Corrección geométrica
- Proceso de clasificación supervisada, para la identificación de la variable vegetación

- Generación de modelo de elevación, mapas de pendientes, fusión de las coberturas, y generación de categorías
- Limpieza de las coberturas y ajustes finales para la determinación del índice de fragilidad
- Procesamiento de los datos para la obtención de los valores de índice de fragilidad de la cuenca del Lago Peñuelas
- Creación de rangos para el índice de fragilidad interdecadales y cálculo de superficies en hectáreas
- Subproductos DEM, espejo de agua y datos meteorológicos
- Interpretación de datos

## Resultados

A continuación, se describen los resultados de la modelación realizada con el procesamiento de imágenes Landsat en la cuenca hidrogeomorfológica del Lago Peñuelas en los periodos 1989 ( marzo y noviembre), 1995 (junio y diciembre), 2008 (marzo y septiembre ) y finalmente 2014 ( julio y noviembre). Así también los resultados de la cuenca de Amatitlán años 1990, 2000 y 2010.

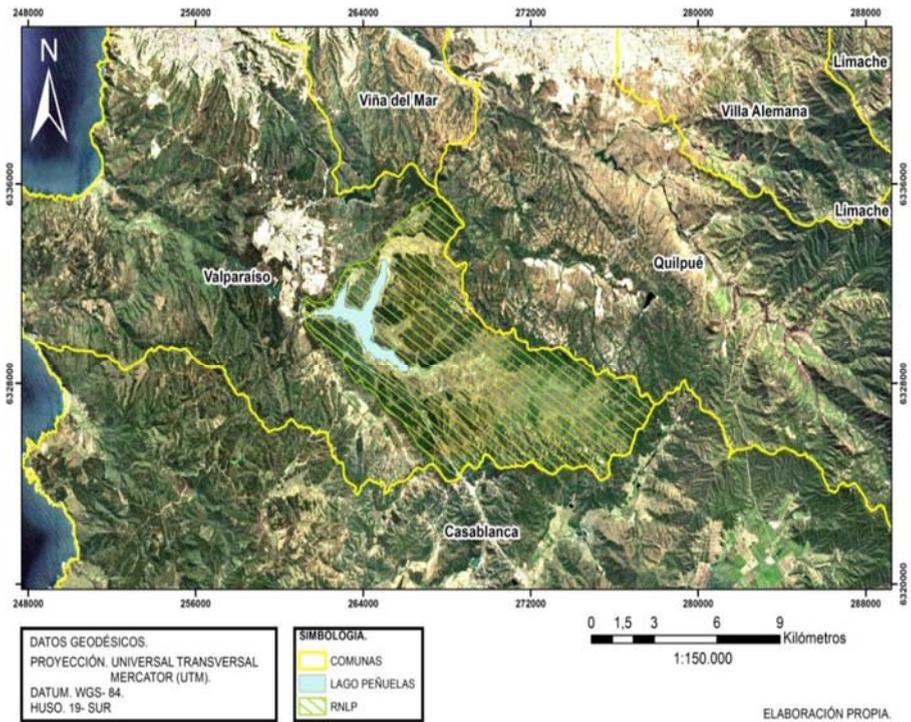
### *Curvas índice fragilidad*

Los resultados de la modelación del Índice de Fragilidad se muestran en la Tabla 1 en porcentaje. Las mayores valores se dan en el rango medio y bajo en todos los periodos observados y modelados. Predominan en la hoya del embalse bajo estudio los valores de rango 1.78-2.17. Escasas son las unidades con Índice de Fragilidad muy alto y alto con valores de rango 2.57 – 2.97 y 2.17-2.57 respectivamente. No son predominantes. Ocupan la tercera y cuarta jerarquía, en 5 y 3 observaciones respectivamente.

**Tabla 1**  
**Valores índice fragilidad decadal en porcentaje**

| <i>Rango</i>       | <i>3/89</i> | <i>11/89</i> | <i>06/95</i> | <i>12/95</i> | <i>03/08</i> | <i>09/08</i> | <i>07/14</i> | <i>11/14</i> |
|--------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Muy bajo 0.99-1.38 | 15.71       | 19.74        | 11.55        | 10.86        | 13.40        | 26.18        | 11.55        | 14.48        |
| Bajo 1.38-1.78     | 20.10       | 20.59        | 28.69        | 27.61        | 24.15        | 19.79        | 26.22        | 27.88        |
| Medio 1.78-2.17    | 28.07       | 28.32        | 26.43        | 27.85        | 31.53        | 26.71        | 28.73        | 25.11        |
| Alto 2.17-2.57     | 17.03       | 12.75        | 18.19        | 16.36        | 13.25        | 11.42        | 15.93        | 14.98        |
| Muy alto 2.57-2.97 | 18.60       | 18.60        | 15.14        | 17.32        | 17.68        | 15.90        | 17.57        | 17.54        |

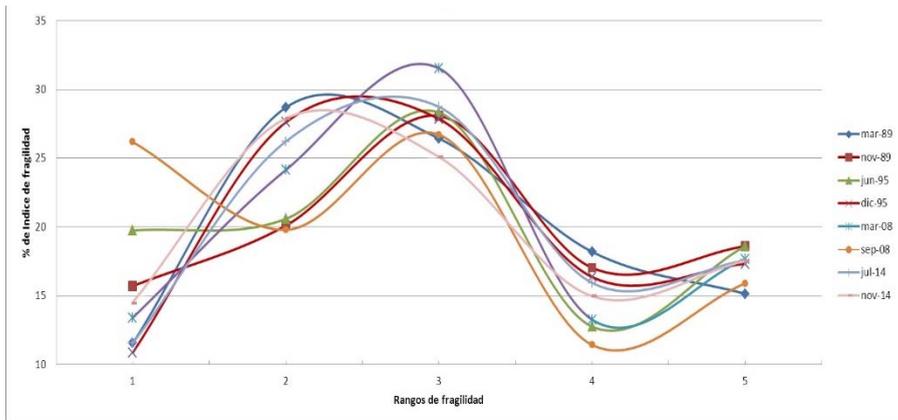
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 1.** Áreas en estudio. Cuenca del Lago Peñuelas a la izquierda y cuenca Amatitlán a la derecha.

Véase la Figura 2 que ilustra las curvas de fragilidad correspondiente a los 8 periodos interanuales expresados en porcentaje para cada rango de valores del índice modelado, esto es, 1 Muy Bajo (0.99-1.38), 2 Bajo (1.38-1.78), 3 Medio (1.78-2.17), 4 Alto (2.17-2.57) y 5 Muy Alto (2.57-2.59).

El comportamiento de las curvas en 25 años es muy semejante y se ajusta a una simetría isoesquema muy propio de la dinámica de sistemas complejos con inestabilidad dinámica gatillada por perturbaciones como sucede en la hoya hidrogeomorfológica en exploración. Los mayores valores porcentuales corresponden al rango 3, es decir, fragilidad media y con marcada acumulación de valores en los rangos 2 y 3 (Fragilidad Baja a Media).



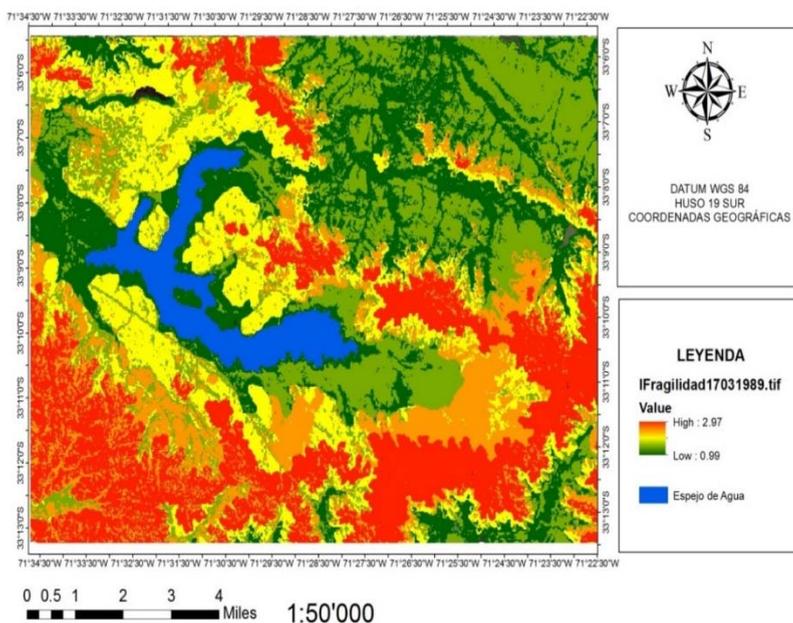
**Figura 2.** Curvas de fragilidad ambiental decadal.

Fuente: elaboración propia.

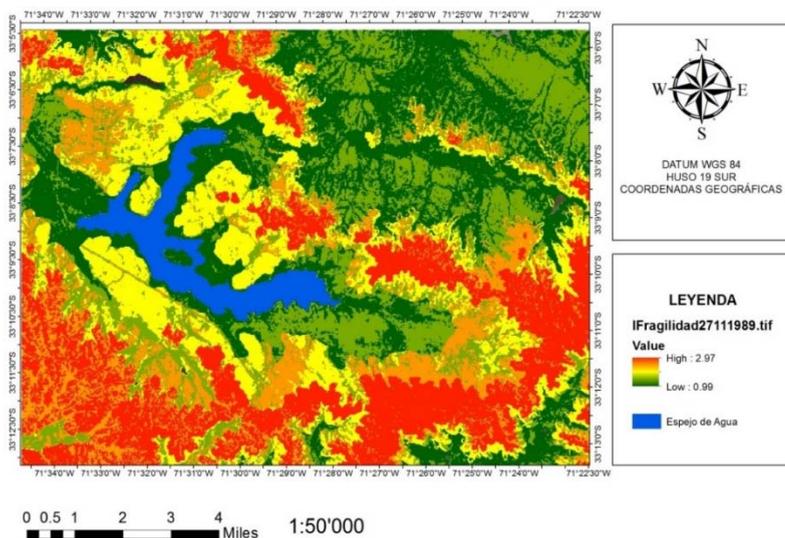
### Mapas Fragilidad

Los Mapas de Fragilidad obtenidos ilustran la distribución espacial de los valores de fragilidad en el rango 0.99 a 2.97 obtenidos con la modelación en cinco rangos codificados en unidades mapeables en un espectro de colores que van del verde (índice de rango muy bajo de fragilidad) al rojo (índice de rango muy alto de fragilidad). Las unidades homogéneas de mapeo correspondientes a cada rango de valores de fragilidad modelado resultante, se distribuyen principalmente en patrones de disposición agregada o agrupada. En la Figura 3 se presenta Mapa de Fragilidad del Lago Peñuelas de fecha 17 de marzo de 1989; en la Figura 4, Mapa de Fragilidad Lago Peñuelas de fecha 27 de noviembre de 1989; en la Figura 5, Mapa de fragilidad Lago Peñuelas de fecha 27 de julio de 2014 y Figura 6, Mapa de fragilidad Lago Peñuelas de fecha 16 de noviembre de 2014.

Partiendo de esta premisa, existe correlación estadística entre la heterogeneidad del paisaje hidrogeomorfológico y su cobertura biótica expresada en la riqueza de fitoformaciones en el ejemplo de una hoya hidrográfica en la zona mediterránea con influencia marítima. La hipótesis planteada es que un aumento en la heterogeneidad de los paisajes debe estar relacionado con un incremento en la riqueza de flora y, por ende, es posible predecir de manera aproximada, pero estadísticamente significativa, la cobertura fitogeográfica de este territorio a partir de la heterogeneidad de los paisajes geográficos. En consecuencia cuando hay ausencia de suelos y vegetación, dada esas condiciones, alguna perturbación es factor forzante en su degradación en función de su fragilidad.



**Figura 3.** Mapa de fragilidad Lago Peñuelas de fecha 17 de marzo de 1989.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 4.** Mapa de Fragilidad Lago Peñuelas de fecha 27 de noviembre de 1989.  
Fuente: elaboración propia.

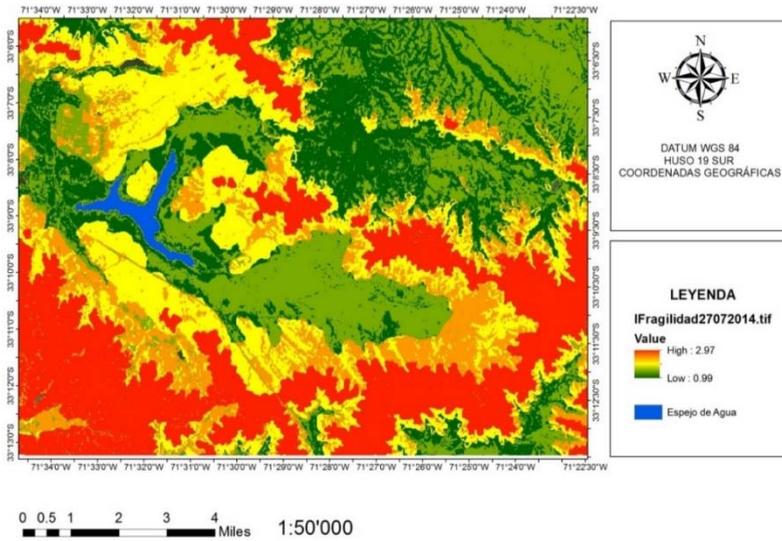


Figura 5. Mapa de fragilidad Lago Peñuelas de fecha 27 de julio de 2014.  
Fuente: elaboración propia.

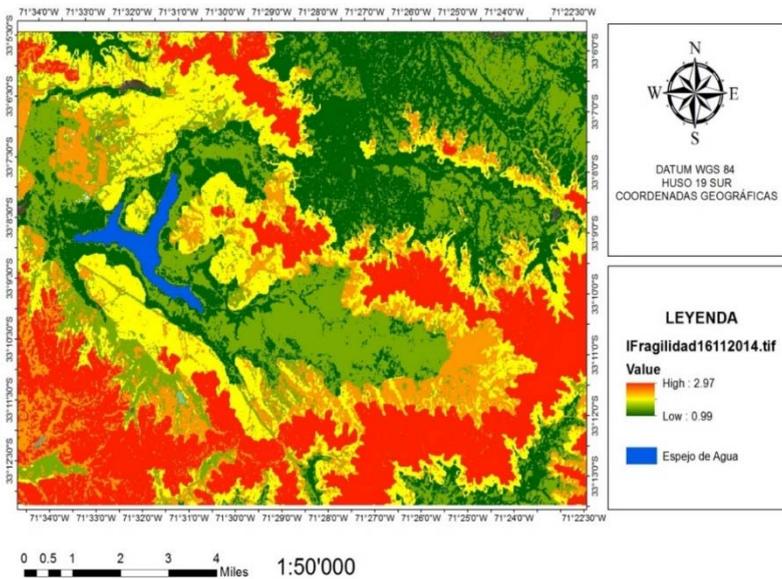


Figura 6. Mapa de fragilidad Lago Peñuelas de fecha 16 de noviembre de 2014.  
Fuente: elaboración propia.

### ***Cuenca del Lago Amatitlán***

Características y evolución de la actividad son observables en los mapas decadales de los años 1990, 2000 y 2010, se aprecia que las áreas de máxima fragilidad ambiental, son:

- a) El lago de Amatitlán: especialmente en la desembocadura y un lugar dentro del lago denominada Playa de oro, donde se puede apreciar en el primer caso: cambios en la profundidad del lago, ocasionado por el asolvamiento de áridos en la desembocadura, los cuales son confirmados por estudios batimétricos realizados en los años 2001 y 2012 (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago Amatitlán —AMSA, 2012), donde se aprecian el grado de pérdida de profundidad en dicha área. En el segundo caso, el lugar denominado Playa de Oro, es el lugar del lago con la mejor calidad de agua, gracias a una barrera de saneamiento (biofiltro) que al inicio era de jacintas acuáticas, pero poco a poco se ha ido asolvando por áridos y muerte de las jacintas lo que ha provocado reducción en la profundidad del mismo (véase Tabla 2).
- b) Río Villalobos: específicamente en el cauce que se encuentra en el complejo de puentes, donde convergen los ríos Molino, San Lucas, La Palin y el Arenal. En esta área se ha visto afectada por la actividad minera artesanal y erosión hídrica (caídas de agua de drenajes a más de 25 metros de altura) y erosión eólica, provocada por descargas de aguas residuales (de diferentes fuentes).
- c) Sector denominada Peronia: aquí se realizan actividades de extracción minera de arena, donde se puede observar erosión antropológica, aumentada con la erosión hídrica y eólica.

### ***Evolución de la superficie***

Las principales superficies evolucionadas observadas en los tres escenarios decadales se pueden apreciar en la Tabla 2 (resaltando la clasificación de los suelos).

### ***Análisis respecto a la expresión del paisaje frente a los cambios***

Véase la Figura 7, resalta el comportamiento decadal (1990-2010) de los factores más importantes de la Fragilidad Ambiental desde el punto de vista del suelo con cobertura vegetal, agua, suelo agrícola y suelo con infraestructura.

### ***Perfiles***

Los resultados muestran que la configuración morfo-estructural de la cuenca reflejada en los ocho perfiles tiene una relación muy estrecha entre la masa de sedimentos (suelos y formaciones superficiales) y las áreas montañosas que la circundan y que constituyen el perímetro de esta. Dos depresiones alargadas en el sentido sureste (L1) noroeste (L2) probablemente controladas por un lineamiento tectónico, visible en las

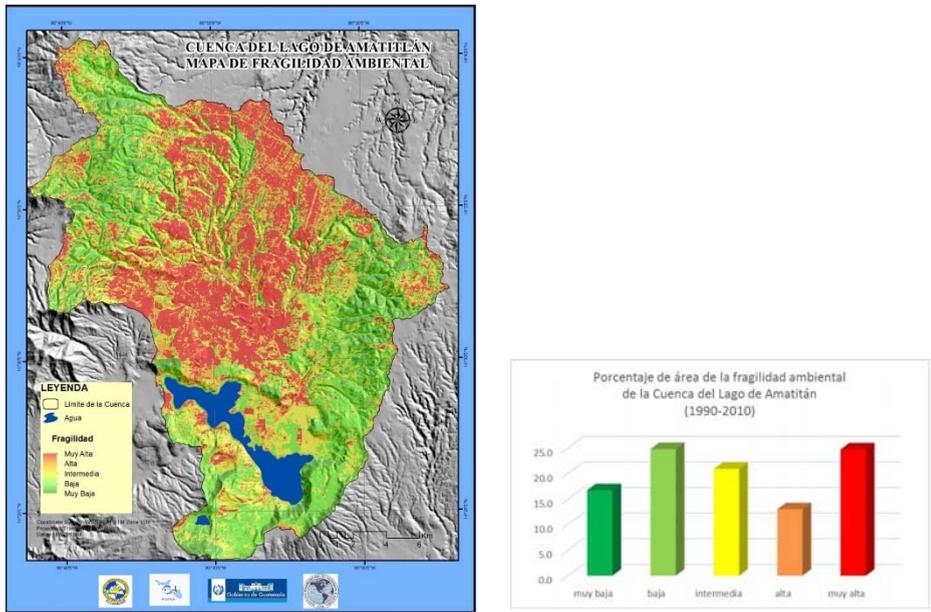
imágenes analizadas y su correspondiente perfil, véase la Figura 8 (DEM 1998), dan forma al paisaje. Ambas separadas parcialmente por control litológico de una estribación interfluvial en la vertiente norte (tramo km 8 a km 13) remanente del desmantelamiento de la cordillera de la costa.

Los ocho perfiles son significativos para definir la morfología de la Hoya y por ende determinan la morfometría y el tamaño del lago. Esto es importante dado que la estabilidad de un lago está determinada por su tamaño y morfometría. Por ejemplo, estudios documentan que la cantidad de trabajo con que contribuye el viento a la distribución del calor aumenta en forma proporcional al disminuir el tamaño y volumen del lago.

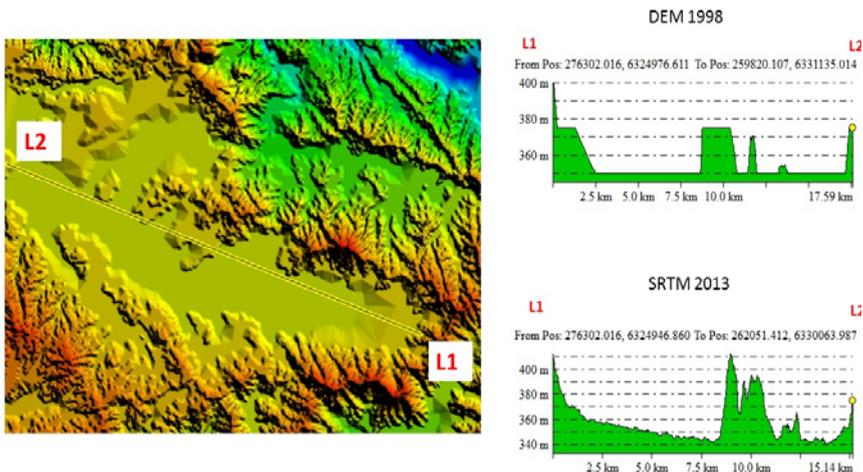
**Tabla 2**  
**Criterios y niveles de Índice de fragilidad ambiental en la cuenca del Lago de Amatitlán**

| <i>Criterio</i>              | <i>Nivel de fragilidad ambiental</i> | <i>Descripción</i>  |
|------------------------------|--------------------------------------|---|
| Suelo con cobertura forestal | Muy alta                             | Suelo descubierto e infraestructura en laderas o ríos   |
|                              | Alta                                 | Cultivos agrícolas e infraestructura en pendientes  |
|                              | Media                                | Graminias, matorrales e infraestructura   |
|                              | Baja                                 | Bosques arbustivos  |
|                              | Muy baja                             | Bosques   |
| Agua superficial             | Muy alta                             | Aumento de cauce de ríos por erosión, pérdida de profundidad y eutrofización del lago                                       |
|                              | Alta                                 | Descarga de drenajes a ríos o lago  |
|                              | Media                                | Ubicación de basureros clandestinos a orilla de río o lago  |
|                              | Baja                                 | Ubicación de plantas de tratamiento   |
|                              | Muy baja                             | Ríos y áreas de recarga   |
| Suelo agrícola               | Muy alta                             | Avance de la frontera agrícola  |
|                              | Alta                                 | Suelo con monocultivos  |
|                              | Media                                | Mecanización agrícola   |
|                              | Baja                                 | Rotación de cultivos  |
|                              | Muy baja                             | Sistema agroforestales  |
| Suelo con infraestructura    | Muy alta                             | Crecimiento de zona industrial  |
|                              | Alta                                 | Suelo descubierto: carretera de terracería, suelos sin siembras ocosas, carretera de asfalto, edificaciones a orilla de río |
|                              | Media                                | Crecimiento de mancha urbanística   |
|                              | Baja                                 | Zona de urbanización de baja densidad   |
|                              | Muy baja                             | Uso del suelo óptimo para la construcción   |

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 7.** Mapa índice de fragilidad cuenca Lago Amatitlán a la izquierda. A la derecha Grafico de porcentaje de área en cada una de las categorías de la fragilidad ambiental cuenca Lago Amatitlán (1990-2010).



**Figura 8.** Imagen DEM. Se ven dos depresiones alargadas en el sentido sureste (L1) noroeste (L2). Y modelo SRTM 2013 indicativo del modelado fluvial de ambas depresiones. Fuente: elaboración propia.

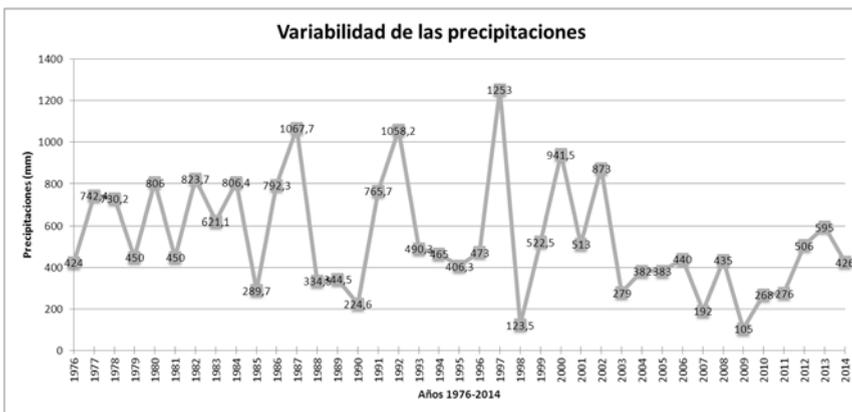
**Variación superficie espejo agua embalse**

Se analiza el espejo de agua para los años 1989, 1995, 2008 y 2014. Después de una fase de lluvias > 600mm desde 1976 hasta la crecida de 1987 con un máximo de 1,067.7mm, valor máximo de la serie en observación que generó inundación generalizada, el embalse mostró su mayor expansión para el periodo de estudio. La recta inclinada hacia el comienzo de los meses secos (noviembre) indica la pérdida, ya sea por evaporación y extracción de aguas y a la brusca caída de las precipitaciones en los años siguientes 1988, 1989, 1990 (224.6mm) el segundo valor más bajo de la serie (Véase Tabla 3).

**Tabla 3**  
**Hectáreas de espejo de agua del Lago Peñuelas, de la década de los ochenta al 2014**

| <i>Fecha</i>             | <i>Hectáreas</i> |
|--------------------------|------------------|
| 17 de marzo de 1989      | 1,316.676781     |
| 27 de noviembre de 1989  | 1,147.205329     |
| 21 de junio de 1995      | 95.061947        |
| 7 de diciembre de 1995   | 176.200348       |
| 4 de marzo de 2008       | 330.977205       |
| 21 de septiembre de 2008 | 612.916583       |
| 27 de julio de 2014      | 275.757656       |
| 16 de noviembre de 2014  | 332.018134       |

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 9.** Gráfica de la serie 1976 a 2014 de las precipitaciones de la cuenca del Lago Peñuelas.

### ***Ritmo de las precipitaciones***

El examen de la serie 1976 a 2014 de las precipitaciones de la cuenca del Lago Peñuelas refleja un clima mediterráneo con influencia marítima. Las precipitaciones son ocasionales con máximas en invierno y, se inician a fines de otoño extendiéndose hasta el mes de agosto. El agua caída en promedio es circa 686mm al año y, se concentran el 80% de estas entre los meses de mayo y agosto.

Para este estudio serial decadal (con cuarenta años) se considera un valor crítico de recuperación post contracción de 450mm de años continuos en la fase de precipitación, con actual uso de las funciones del ecosistema natural y humano. De aquí que hay 17 años (43.6%) por debajo de este valor. Superan este valor crítico 22 años (56.4%). De estos ocho años superan el valor umbral mayor a 800mm (20.5%) y 12 años (30.8%) están por debajo de 400mm. Esta variabilidad marcada en umbrales muestra una fragilidad intermedia. Las fluctuaciones son patrones muy comunes en muchos sistemas, hidrogeomorfológicos de tipo mediterráneo con influencia marítima. Se trata de oscilaciones repetitivas y estables en el tiempo que aseguran la longevidad del sistema. En muchos sistemas las fluctuaciones surgen como resultado de simples demoras en el crecimiento de los componentes del sistema, como es el caso del modelo lago-cuenca (véase Figura 9).

### **Conclusiones**

A partir de la investigación realizada, se concluye lo siguiente:

- La fragilidad del Lago Peñuelas en Chile, entre la década de los ochenta al año 2014, ha disminuido.
- La fragilidad del Lago Peñuelas ha disminuido por incremento de sistemas forestales.
- La fragilidad del Lago Peñuelas ha disminuido por el Manejo de Quebradas y por estar bajo la categoría de Conservación.
- Lo anterior se sustenta en los resultados obtenidos en los mapas decadales de fragilidad ambiental para el caso de Chile, en donde se interpreta que el comportamiento de las curvas en 25 años es muy semejante y se ajusta a una simetría isoesquema muy propio de la dinámica de sistemas complejos con inestabilidad dinámica gatillada por perturbaciones como sucede en la hoya hidrogeomorfológica en exploración. Los mayores valores porcentuales corresponden al rango 3, es decir, fragilidad media y con marcada acumulación de valores en los rangos 2 y 3 (Fragilidad Baja a Media). Los extremos, esto es, los rangos de valores de fragilidad muy baja (1) y muy alta (5) alcanzan menos del 20 % de ocurrencia.
- En el Lago Amatitlán ha aumentado la fragilidad, por causa de no existir un plan de manejo, pues no está en una categoría de conservación.

- Se determinó que los ecosistemas de la cuenca del lago de Amatitlán tiene un deterioro en lo que respecta al recurso suelo y vegetación con un porcentaje de área de alto a muy alto en fragilidad ambiental.
- Los niveles altos de erosión y el crecimiento urbanístico son los factores que influyen en mayor cantidad al deterioro ambiental dentro de la cuenca. Se determinó que las áreas con mayor erosión son el cauce del río Villa Lobos y sus tributarios, desde el complejo de puentes hasta su desembocadura, cantera el Carmen (ubicada entre Peronia y Barcnas, Villa Nueva). Y las áreas de mayor crecimiento urbano son la ciudad de Guatemala, Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Amatitlán.

## Bibliografía

- Andrade, B., Arenas, F. y Lagos M., “Incorporación de criterios de fragilidad ambiental y riesgo en la planificación territorial de la costa de Chile central”, *Revista de Geografía Norte Grande*, núm. 45, pp. 5-20, 2010.
- Ayala; Cabrera y Asociados Ltda., Diagnóstico actual del riego y drenaje en Chile y su proyección. Informe final diagnóstico del riego y drenaje en la V Región, 2002.
- Bailey, R.M., “Spatial and temporal signatures of fragility and threshold proximity in modelled semi-arid vegetation”, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278 (1708), pp. 1064-1071. doi:10.1098/rspb.2010.1750.
- Barrantes, G., “Deficiencias del Índice de Fragilidad Ambiental en la valoración de las amenazas naturales para la planificación territorial: parte I propuesta metodológica para su corrección”, *Revista Entorno a la prevención*, núm. 11, diciembre, 2013.
- Campos, L.; Astorga A., “La metodología del IFA (Índice de Fragilidad Ambiental) como herramienta de introducción integral de la dimensión ambiental en el ordenamiento del territorio en Costa Rica”, Segundo Congreso Internacional sobre Geología y Minería en la ordenación del territorio y en el desarrollo”, Utrillas, pp. 153-158, Universidad Nacional de Costa Rica, 2009.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal), *Plan de Manejo Reserva Nacional Lago Peñuelas*, Ministerio de Agricultura Quinta Región de Valparaíso, Chile, 1999.
- Hauenstein, E.; Muñoz, A.; Yáñez, J.; Sánchez, P.; Möller, P.; Guíñez, B.; Gil, C., “Flora y vegetación de la Reserva Nacional Lago Peñuelas, Reserva de la Biósfera, Región de Valparaíso, Chile”, *Bosque*, vol. 30, núm. 3, pp. 159-179, 2009.
- Muñoz, M.; Contreras, V., Variabilidad interanual de la superficie de exposición del embalse Peñuelas y su relación con el comportamiento de las precipitaciones locales, Comuna de Valparaíso entre los años 1976-2011, Valparaíso, Chile, 2012.

- Naveas Leiton, Ana Maria (D.E.A. en Ecología); Muñoz Luza, M.; Reyes Morande, J.P.; Garcia Sandoval, J., “Fragilidad de los ecosistemas naturales de Chile. Informe N° 40”, Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales-Corfo, Santiago de Chile, 1979.
- Nilsson, C. and G. Grelsson, “The fragility of ecosystems: a review”, *Journal of Applied Ecology*, vol. 32, pp. 677-692, 1995.
- Richardson; Arazá; Icaza, “Análisis multitemporal de la variabilidad fitogeográfica y estado de fragmentación actual, en la Cuenca Lago Peñuelas, Región de Valparaíso, Chile”, Congreso SOCHIGEO 2011 Valparaíso, 2011.
- Richardson Varas, R.; Muñoz Luza, M.; Araza Astudillo, B.; Icaza Pulgar, D., “Análisis multitemporal de la variabilidad fitogeográfica y estado de fragmentación actual, en la cuenca Lago Peñuelas, Región de Valparaíso, Chile”, *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, Santiago de Chile, 2012.
- Richardson, Arazá, *Cambios en la estructura fitogeográfica del paisaje, cuenca Lago Peñuelas, Región de Valparaíso*, Universidad de Playa Ancha, Valparaíso, 2013.
- Richardson, R.; Contreras, F.; Peña, I.; Sepúlveda, K., *Estudio Preliminar método de evaluación multicriterio para identificar áreas susceptibles al deterioro ambiental en la Reserva Nacional Lago Peñuelas, Región Valparaíso*, Chile, 2013.
- Thallita Isabela, Silva, “Diagnóstico e Análise da fragilidade ambiental da Bacia do Médio-baixo curso do rio Araguari, Minas Gerais”, Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Geografia, Brasil, 2010.
- Toradji Uraoka Orlandini, *Modelacion Hidrodinamica del Lago Peñuelas*, memoria para optar al título Ingeniero Civil, Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, 2003.