

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

ANÁLISIS DE LA PROLIFERACIÓN DE LA LENTEJA DE AGUA (*Lemna Gibba*) EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO UTILIZANDO IMÁGENES

SATELITALES 2013 - 2020

PRESENTADA POR:

WENDY MARILYN CALISAYA CALISAYA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ.

2023



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](#) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](#)

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**ANÁLISIS DE LA PROLIFERACIÓN DE LA LENTEJA DE AGUA (*Lemna Gibba*)
EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES
2013 - 2020.**

PRESENTADA POR:

WENDY MARILYN CALISAYA CALISAYA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE


: _____
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO


: _____
M.Sc. MARLENE CUSI MONTESINOS

SEGUNDO MIEMBRO


: _____
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

ASESOR DE TESIS


: _____
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

Área: Ciencias Naturales.

Disciplina: Oceanografía, hidrología y Recursos del agua.

Especialidad: Evaluaciones y Monitoreos Ambientales, Ecosistemas Acuáticos

Puno, 30 de enero de 2023

DEDICATORIA

A Dios por brindarme toda la sabiduría,
fuerzas, ánimo y paciencia para poder lograr
un reto más en mi vida.

Desde el fondo de mi corazón, a mis queridos
padres Zacarias e Irma, por ser ejemplo de
sacrificio y esfuerzo quienes con gran
paciencia me brindaron sus sabios consejos
para tomar decisiones firmes en todas las
etapas de mi vida.

Este trabajo y en general el título de
ingeniero Ambiental quiero dedicarlo a
quienes creyeron que sería posible pero
aún más a aquellos que dudaron y
creyeron que no lo lograría, pues me
motivaron a dar más de mí, a esforzarme
cada día más y a creer que si era posible
cuando el ánimo y el pesimismo me
invadía y me sentía derrotada en la lucha.

AGRADECIMIENTOS

En momentos de dificultad, de felicidad, de inseguridad, de confianza, de pesimismo y optimismo, siempre estuviste ahí. Siempre me brindaste ánimo y consuelo y encontré en ti una salida a todos los problemas que se presentaron, gracias Dios, gracias Señor por siempre estar ahí.

A la Universidad Privada San Carlos de Puno, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, a su plana docente y administrativa por haber contribuido en mi formación profesional.

Al MSc. Castillo Suaquita Fredy Aparicio, por su apoyo profesional e incondicional en las diferentes etapas del trabajo, por sus valiosos consejos y observaciones como asesor de tesis.

A los miembros del jurado, por la revisión y enriquecimiento de la tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	13
1.1.1 PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.2. ANTECEDENTES.	14
1.2.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.	14
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES.	15
	3

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES.	18
1.3. OBJETIVOS.	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.	21
2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.	21
2.1.1 EL MANEJO DE IMÁGENES SATELITALES.	21
2.1.2 NOCIONES BÁSICAS SOBRE IMÁGENES	22
2.1.3. RESOLUCIÓN ESPACIAL DE UNA IMAGEN SATELITAL.	22
2.1.4. TELEDETECCIÓN.	23
2.1.5. PROCESADO DE INFORMACIÓN DE SATÉLITE.	24
2.1.6. LENTEJA DE AGUA (Lemna Gibba)	25
2.2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.	25
2.2.1 Análisis de Información.	25
2.2.2. Proliferación de Lenteja de Agua.	25
2.2.3. Bahía interior del Lago Titicaca.	26
2.2.3. Utilización de Imágenes Satelitales.	26
2.3 HIPÓTESIS.	26
2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL.	26
2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.	26

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	28
3.1. ZONA DE ESTUDIO.	28
3.1.1 BAHÍA INTERIOR DE PUNO.	28
3.2 TAMAÑO DE MUESTRA.	31
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS.	33
3.3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.	33
3.3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	34
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.	39
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO.	39

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	41
4.1. TEMPORALIDAD DE LA PROLIFERACIÓN DE LA LENTEJA DE AGUA (LEMNA GIBBA) EN LA BAHÍA INTERIOR DEL LAGO TITICACA UTILIZANDO LAS IMÁGENES SATELITALES, DURANTE EL PERIODO 2013 -2020.	41
4.1.1 LAS IMÁGENES ANALIZADAS.	41
4.1.2 ALGORITMO UTILIZADO EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA	43
4.1.2.1 Diseño del Algoritmo.	43
4.1.2.2 Implementación del Algoritmo.	44
4.1.2.3 Conteos de unidades de cobertura en cada imagen satelital de la muestra.	45
4.1.3 ANÁLISIS DE LA TEMPORALIDAD UTILIZADA.	47

4.2. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE PROLIFERACIÓN DE LA LENTEJA DE AGUA (LEMNA GIBBA) EN EL INTERIOR DE LA BAHÍA DEL LAGO TITICACA UTILIZANDO LAS IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2013 – 2020.	47
4.3. DETERMINACIÓN LA RELACIÓN ENTRE LA TEMPORALIDAD Y LA PROLIFERACIÓN DE LA LENTEJA DE AGUA (LEMNA GIBBA) EN EL INTERIOR DE LA BAHÍA DEL LAGO TITICACA UTILIZANDO LAS IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2013 – 2020.	48
4.3.1 Modelo Estadístico de Regresión Utilizado.	48
4.3.2 Regresión respecto a la proliferación de la Lemna Gibba.	50
4.4. Contraste de las Hipótesis Planteadas en la Investigación:	53
4.4.1. Hipótesis Específica 01:	54
4.4.2. Hipótesis Específica 02:	54
4.4.3. Hipótesis Específica 03:	55
4.5. Discusión de Resultados.	56
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS.	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 01: Dia de Adquisición de las Fotografías de las Imágenes Satelitales	32
Tabla N° 02: Valores numéricos de los píxeles de la imagen.	38
Tabla N° 03: Estadísticos descriptivos.	40
Tabla N° 04: Catálogo de imágenes.	42
Tabla N° 05: Conteo de Unidades de cobertura por imágenes satelitales en el periodo 2013 al 2020.	46
Tabla N° 06: Unidades de cobertura anualmente por imágenes satelitales en el periodo 2013 al 2020.	47
Tabla N° 07: Área de cobertura anualmente por imágenes satelitales en el periodo 2013 al 2020.	48
Tabla N° 08: Pruebas de normalidad de las variables en observación.	50
Tabla N° 09: Resumen del Modelo de Regresión Lineal.	51
Tabla N° 10: Coeficientes de la Recta de Regresión.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 01: Visualización Geográfica de la Bahía Interior de Puno.	28
Figura N° 02: Criterio de selección de imágenes para un mismo mes de un año correspondiente.	31
Figura N° 03: Selección del sector para la adquisición de imágenes satelitales.	35
Figura N° 04: Interfaz del software GNU Octave versión: 7.3.0.	36
Figura N° 05: Vectorización de la imagen de satélite.	37
Figura N° 06: Selección en la fotografía satelital de los píxeles que representan la cobertura <i>Lemna Gibba</i> .	38
Figura N° 07: Tabulado de datos en el SPSS.	39
Figura N° 08: Implementación del algoritmo en el entorno de Octave versión 7.3.0.	45
Figura N° 09: Proliferación de la cobertura de la <i>Lemna Gibba</i> durante los años 2013 al 2020.	49
Figura N° 10: Diagrama de Dispersión de los datos.	49
Figura N° 11: Proliferación de la cobertura de la <i>Lemna Gibba</i> durante los años 2013 al 2020.	53

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo N° 01: PROCEDIMIENTO PARA LA DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES DE LA USGS.	63
Anexo N° 02 MATRIZ DE CONSISTENCIA.	67

RESUMEN

La presente investigación titulada análisis de la proliferación de lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior de Puno, utilizando imágenes satelitales, tiene como objetivo principal la evaluación de la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando imágenes satelitales durante el periodo 2013 al 2020. El problema que se ha planteado resolver, es establecer una relación de temporalidad de la proliferación de la *Lemna Gibba* mediante el análisis de la imágenes satelitales las cuales fueron obtenidas de la USGS, organización que cataloga las imágenes satelitales como las del LandSat 7, para lograr ello se han adquirido 96 imágenes satelitales correspondientes al sector de la bahía interior de Puno de la banda 5 del satélite, ésta imágenes corresponden a los 12 meses de cada año, periodo desde el 2013 al año 2020. Una vez analizadas las imágenes se procedió a elaborar un algoritmo matemático que realizaba el conteo de los pixeles de cada imagen que corresponden a un área de cobertura de la *Lemna Gibba*, con dicha información se procedió a establecer un correlación entre la cobertura de *Lemna Gibba* y el periodo en años, obteniendo una ecuación correspondiente a la recta de regresión: Proliferación de cobertura Lemna Gibba = $-696.674 + 0.353(\text{Año})$; donde año es la variable temporal representada, como resultado la tendencia es el incremento de 31.77 m² por año.

Palabras clave: Análisis temporal, imágenes satelitales, *Lemna Gibba*, proliferación.

ABSTRACT

The present investigation entitled analysis of the proliferation of duckweed (*Lemna Gibba*) in the interior bay of Puno, using satellite images, has as its main objective the evaluation of the proliferation of duckweed (*Lemna Gibba*) in the interior bay of Puno. Lake Titicaca using satellite images during the period 2013 to 2020. The problem that has been proposed to solve is to establish a temporal relationship of the proliferation of *Lemna Gibba* through the analysis of satellite images which were obtained from the USGS, an organization that catalogs the satellite images as those of LandSat 7, to achieve this, 96 satellite images corresponding to the sector of the interior bay of Puno of band 5 of the satellite have been acquired, these images correspond to the 12 months of each year, period since 2013 to the year 2020. Once the images were analyzed, a mathematical algorithm was developed that counted the pixels is from each image that corresponds to a coverage area of *Lemna Gibba*, with said information a correlation was established between the coverage of *Lemna Gibba* and the period in years, obtaining an equation corresponding to the regression line: Coverage proliferation *Lemna Gibba* = $-696.674 + 0.353(\text{Year})$; where year is the temporal variable represented, as a result the trend is an increase of 31.77 m² per year.

Keywords: Temporal analysis, satellite images, *Lemna Gibba*, proliferation.

INTRODUCCIÓN

Es muy importante el que se pueda manejar información estadística relacionada a temas de contaminación del medio ambiente, pues dicha información permite una apreciación mucho más técnica y sustentable respecto a los datos de los cuales se origina, información local como el crecimiento de la *Lemna gibba*.

En el Capítulo I, se describe la problemática de la presencia masiva de (*Lemna gibba*) la cual promueve que especies fotosintetizadoras no logren su crecimiento normal, debido a que funciona como si fuese una sombrilla al no dejar pasar los rayos solares a las partes más profundas. La conformación de las algas y fitoplancton vendrían a ser el soporte de las cadenas tróficas del lago” (Medina, 2014).

En el Capítulo II, dentro del marco teórico conceptual, enfocamos la proliferación de la lenteja de agua en la bahía interior del Lago Titicaca en un determinado periodo de tiempo, información que es posible ser analizado utilizando imágenes satelitales pues como antecedentes (2017) utiliza imágenes satelitales proveídas de los satélites LandSat 5,7 para la realizar la estimación y medición de superficies deforestadas a causa de la minería donde claramente detecta las áreas de deforestación llegando a realizar una estimación de ellos; éste tipo de análisis de imágenes satelitales nos permite plantear la Hipótesis de evaluar la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando imágenes satelitales 2013 – 2020.

En el Capítulo III, se describe la metodología utilizada la cual consiste en el análisis de las imágenes satelitales como matrices matemáticas que representan los lugares donde se ubica la lenteja de agua, para el el Capítulo IV toda la información procesada es analizada utilizando el método de regresión lineal.

En las conclusiones mencionamos la relación de temporalidad encontrada, la cual nos permite precisar que para el periodo del 2013 al 2020 la *Lemna Gibba* se incrementa en 0.353 unidades equivalentes a 31.77 m².

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La realidad a nivel ambiental en la ciudad de Puno, aún es un tema relativamente de muy poca difusión, la educación ambiental si bien se inculca en los niveles de formación básica los resultados no los vemos en la actualidad.

En el Capítulo I Según los estudios realizados “Entre los indicadores de la contaminación y eutrofización de la Bahía interior, se tienen la lenteja de agua (*Lemna gibba*.), que desde hace más de 20 años se ha manifestado a través de una gran cantidad de biomasa, que crece en toda la orilla de la bahía. La presencia masiva de (*Lemna gibba*) promueve que especies fotosintetizadoras no logren su crecimiento normal, debido a que funciona como si fuese una sombrilla al no dejar pasar los rayos solares a las partes más profundas. La conformación de las algas y fitoplancton vendrían a ser el soporte de las cadenas tróficas del lago” (Medina, 2014).

La importancia de contar con información cuantitativa relacionado al tema de contaminación y poder a partir de ella establecer diferentes conclusiones que nos permitan establecer parámetros de magnitud temporal la cual vaya ligada al crecimiento de la *Lemna Gibba*, creemos es indispensable.

En la actualidad el seguimiento realizado al crecimiento de la *Lemna Gibba* no es suficiente para poder realizar proyecciones y estimaciones, pues al no contar con dicha información se tiene un desconocimiento de la masa en crecimiento, así es difícil abordar los temas de proyecciones de comportamiento y de preparación de eventualidades futuras.

Por lo cual se plantean las siguientes interrogantes que expresan el problema de investigación:

1.1.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo será la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando imágenes satelitales 2013 - 2020?

1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Será factible estimar la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020?
- ¿Será posible estimar el área de proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el período 2013 - 2020?
- ¿Existirá relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 - 2020?

1.2. ANTECEDENTES.

1.2.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.

Achicanoy et al. (2018), expone los resultados siguientes: Al estudiarse el movimiento urbano utilizando métricas como la del paisaje e índice de entropía de Shannon. Los hallazgos encontrados son que: las zonas urbanas se incrementó en un 432% y la zona de árboles y arbustos decreció en un 56% desde los años de 1985 hasta 2015. El cálculo de la entropía resultó igual a 0.92 para 2015, mostrando así una inclinación a la expansión urbana agresiva. También ha utilizado el modelo de las cadenas de Markov para determinar el cambio de cobertura de terrenos, proyectando así hacia el año 2020, modelo que ha sido

validado exitosamente utilizando variaciones de Kappa. Como conclusión se han encontrado que las tendencias muestran una clara proyección a que las coberturas vegetales disminuyan.

Gonzaga (2014), en su investigación utiliza tres índices de vegetación, los cuales le sirven en estimación de los cambios de tipo de cobertura vegetal de la provincia de Loja en el Ecuador. Estos índices utilizados como menciona el autor fueron: Vegetación de Diferencia Normalizada cuyo acrónimo es NDVI, Estrés Hídrico denominado MSI y el SAVI o índice de Vegetación ajustado al suelo, todos ellos aplicados a fotografías obtenidas de los sensores de los satélites Landsat 7 ETM+ y ASTER. También menciona la utilización de análisis espacial denominado “kriging” y así determinar las áreas climáticas, las cuales son obtenidas de información como precipitación y temperatura, estableciendo una relación de vigor vegetal de cobertura, como resultado también menciona que entre los 3 índices de vegetación no han mostrado diferencias significativas y para la determinación del estado de las coberturas el Estrés Hídrico mostró ligeramente una mejor correspondencia respecto a sus resultados.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES.

Sanjurjo y Kalliola (2004), como resultado de su investigación nos dice: Con el objetivo de fortalecer el conocimiento sobre el ambiente y la vegetación de la Amazonía Peruana por medio de la utilización de las imágenes satélite Landsat TM. Así pues el autor ha creado un mosaico de decenas de estas imágenes con resolución de 50 metros, cubriendo toda la Amazonía del Perú. Durante la elaboración de este proceso se desarrollaron varios métodos y procedimientos de trabajo, los que se describen en el presente documento.

Medina (2014a), nos indica que en la ciudad de Puno se tiene un problema muy grande el cual es la cantidad presente de la denominada lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en

su bahía interior de donde ellos viven alrededor, que según lo que explica se debe a un proceso denominado eutrofización que se produce a raíz de la mala forma de tratar las aguas residuales que provienen de la ciudad de Puno. Hace mención a que a pesar de las propuestas realizadas para la disminución de la biomasa de *Lemna Gibba* no se han encontrado resultados satisfactorios, pues que muchos de ellos plantean que se debe exterminar el organismo y en cambio se debe de plantear ideas orientadas a utilizar éste organismo como recurso; dentro de sus objetivos alcanzados se obtuvo la biomasa de la *Lemna Gibba* y el otro es un planteamiento de cómo poder utilizar la lenteja de agua, así se logró calcular que la biomasa fue de 6.94 kg/m², junto con ello se determinó también la temperatura y el grado de acidez siendo los valores del pH de 6.3 y 13.8 °C; así es necesario aclarar que bajo ésta información se verifica que éste organismo puede fácilmente crecer en condiciones difíciles, también se encontró altos niveles de Nitrógeno y Fósforo como metales pesados, siendo estos últimos de importancia, porque podría ser la clave para el manejo de éste problema.

Reátegui (2017), concluye que se lograron clasificar los tipos de bosque de la superficie de estudio, ésta información resultante fué realizada interpretando visualmente cada imagen del satélite en órbita denominado Landsat, como resultado se interpretaron doce bloques de bosques denominados puros, una bloque homogéneo de plantas tipo palmeras de aguaje llamadas también Aguajales, otro bloque de pantanos del tipo herbáceos y arbustivos, una del tipo pantanos con vegetación arbórea, y completando el grupo con un bloque de bosque el cual presenta intervención o deforestación. Dentro de ellos los bosques que presentaron más superficie en el área observada son: Aguajal, igual a 303 588 ha equivalentes al 15.15 %, el bosque denominada “húmedo”, el cual tiene colinas bajas ligera tendiendo a una moderada disectada igual a 283 809 ha equivalente a 14.16 %, los llamados bosques húmedos de terraza media igual a 278 101 ha equivalente a 13,88 %,

los bosques húmedos de terraza baja inundable igual a 04 825 ha, equivalente a 10,22%. El trabajo concluye con un mapa forestal donde se puede observar las áreas deforestadas que alcanzan un área de 240 411 ha lo cual hace un 11,99% del área total que se ha observado.

Salazar (2017), en su investigación el cual fue realizada en la provincia de Hualgayoc, tiene como objetivo resolver el problema de cómo interpretar las firmas espectrales utilizando el software ENVI versión 5, para ello aplicó el sensoramiento de forma remota a través de imágenes satelitales y sus respectivas firmas espectrales, como muestra de su trabajo se ha analizado el impacto Geoambiental de los Pasivos Ambientales provocados en la ciudad de Hualgayoc, la forma en la que se hizo es empleando un diseño de investigación descriptivo - analítico el cual ha permitido obtener el análisis de los cambios de tipo hidrológico, geomorfológico como de la vegetación de la zona en cuestión, los cuáles menciona que fueron ocasionados por pasivos ambientales de la provincia de Hualgayoc, éstos resultados han sido relacionados con puntos los cuales representan a las firmas espectrales. En líneas generales se ha logrado mejorar la visión e interpretación de cambios geográficos desde el año de 1984 a el 2015.

Rojas (2017) nos muestra lo necesario de manejar imágenes satelitales en la detección, estimación y medición de superficies deforestadas por culpa de la minería aurífera, la investigación se realizó en la Quebrada Guacamayo situada en Madre de Dios, en nuestro país, las imágenes que se utilizaron fueron de los sensores TM, ETM+ y OLI, proveídas por los satélites Landsat 5, 7, para el procesamiento de las imágenes se utilizó eos software ENVI versión 5.2, como resultado se ha obtenido la reflectancia del área de terreno, también se calculó el NDVI logrando con esta información los datos de los umbrales a través de su segmentación, se explica ésta metodología la cual agrupa los píxeles (puntos de imagen) y permite percibir y delimitar las áreas que representan la deforestación, suelos que no tienen vegetación natural, zonas de cultivo e incluso masas de agua, luego de

aplicada ésta técnica se obtuvo los siguiente resultados: el umbral superior igual a 0.52, e inferior igual a -0.28, de donde se concluye que la deforestación a causa de la minería aurífera en la Quebrada de Guacamayo inició en 2006 y 2007.

Ramírez et al (2017), nos resume que: El objetivo a alcanzar en la investigación la identificación de Pasivos Ambientales Mineros, la metodología se realiza a través de las firmas espectrales de los minerales las masas de agua y las formas de vegetación, el área de estudio fué los cuadrángulos 14F y 14G de Hualgayoc ubicada en el departamento de Cajamarca de nuestro país; las imágenes utilizadas provenientes del satélite Landsat 8, imágenes que tuvieron que ser tratadas con corrección atmosférica, geométrica y radiométrica descomponiendo las imágenes en valores de niveles digital; posteriormente se llegó a recortar la zona de estudio y proceder a elegir las partes que significaban la ubicación de minerales, los que representaban el agua y la vegetación, todas las imágenes tuvieron un tratamiento de formas espectrales en el software ENVI versión 5.3.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES.

Canales (2010), como resultado de su trabajo expone que: Uno de los mayores problemas que enfrenta la ciudad de Puno es la presencia de la lenteja de agua (*Lemna Gibba.*) dentro de la bahía interior del Lago Titicaca, en ella ocurre la eutrofización la cual sucede por el mal tratamiento de las aguas residuales, a pesar de las buenas ideas por evitar ésto, la biomasa de la lenteja de agua a seguido creciendo, el calculado de la biomasa de la lenteja de agua es igual a 7.00 Kg. por metro cuadrado, pues se ha demostrado que la lenteja de agua puede desarrollarse en un medio agresivo y condiciones casi extremas, pues así se propone estrategia basada en un contexto social, ambiental y económico la cual sea sostenible para superar ésta situación.

Ortega (2017), nos resume en su investigación un estudio correlacional, cuyo principal objetivo fue determinar la relación que existe entre la carga de nutrientes y el

estado trófico en la bahía interior del lago Titicaca, Puno. La evaluación de la carga de nutrientes se desarrolló de manera específica en sus componentes como: fósforo total, clorofila total y turbiedad; los valores obtenidos de estos parámetros fueron recogidos a través de monitoreo en la zona cercana al malecón eco-turístico, de la bahía interior de Puno, donde existen efluentes de aguas servidas procedentes de la ciudad, que son puntos clandestinos que contienen una alta carga de contaminantes y nutrientes, los resultados obtenidos muestran una correlación alta entre la carga de nutrientes y el estado trófico y el autor concluye que: la bahía interior del lago Titicaca Puno, se encuentra en un estado eutrófico considerable con una tendencia a ser hipertrófico.

Apaza (2014), nos explica en su trabajo de investigación el cual fué ejecutado en el departamento de Puno, tuvo como objetivo proponer una solución al deficiente método de selección del valor de inicialización del algoritmo K-medias de una imagen (algoritmo que identifica una imagen tomando un punto inicial) al tomar un número de conglomerados al inicio aleatoriamente, la solución planteada se basa en una metodología que utiliza Algoritmos Genéticos (AGs) y K-medias al buscar el inicio de una imagen a ser identificada, la velocidad de la mejora de los resultados fueron evaluados mediante pruebas estadísticas los cuales indicaron que se llegó a incrementar muy ligeramente la velocidad de identificación del inicio de la imagen, concluyendo al final que el AGKM ofrece una ligera mejora con respecto al algoritmo K-medias tradicional en la segmentación de imágenes satelitales para la Región Puno

Torres (2016) en su investigación hace hincapié en la necesidad de identificar la zona que afecta la Lemna en la Bahía interior de la ciudad de Puno, para ello hace uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes y el software Matlab, software que incluye librerías propias de procesamiento de imágenes, las imágenes que utilizó como muestras fueron descargadas de Google Earth del mes de agosto de 2013, así logró distribuir la bahía

interior en 8 zonas obteniendo para las mismas los siguientes resultados: Zona 1 con un área de Lemna de 25406.3 m² , Zona 2 : 53196.3 m² , Zona 3: 55966.6 m² , Zona 4: 79748.2 m² , Zona 5: 31255.5 m² , Zona 6: 3555.49 m² , Zona 7: 6932.81 m² y por último el área en la Zona 8: 3298.99 m² , dentro de ellas destaca que la zona 4 es la de mayor área y la 8 es la de menor área de cobertura.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando imágenes satelitales durante el periodo 2013– 2020.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la temporalidad de la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020.
- Determinar el área de proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.
- Establecer la relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

2.1.1 EL MANEJO DE IMÁGENES SATELITALES.

Las imágenes satelitales como evidencia fotográfica en un inicio y posteriormente como registro de eventos que nos permitían observar de manera más precisa: objetos, superficies del planeta, capas de la atmósfera a mucha distancia, han ido evolucionando junto con la tecnología que lo hacía posible.

“Recientemente las capacidades de las computadoras y equipos de tratamiento digital han crecido bastante, pues muy pocas áreas de la ciencia están preparadas para éste cambio ” (Torres, 2016). La utilización de diferentes tipos de programas se restringe a solamente algunas áreas dedicadas a la investigación que se limitaba a utilizar software el cual necesitaba bastante presupuesto.

En la actualidad existen diferentes servicios de satélites que ponen a disposición imágenes de gran calidad y de diferentes características a los cuales se les puede dar diferentes tipos de aplicaciones, también podemos ver en el medio diferentes aplicaciones de software de propósito específico para atender las diversas necesidades de los especialistas.

Hoy en día es de uso masivo y común la utilización de procesamiento de imágenes a través de software como ArcGis o NVID, y con ellas se puede obtener conclusiones que nos permitan el análisis y la toma de decisiones.

2.1.2 NOCIONES BÁSICAS SOBRE IMÁGENES

La creciente utilización de las computadoras y los softwares especializados, el uso masivo de internet nos permiten compartir información no solo de archivos de gran tamaño si no en los formatos más variados, por ende el procesamiento de imágenes digitales debe ser diferenciado del tratamiento de otro tipo de información digital.

Una imagen geoméricamente es una función bidimensional expresado en el plano $I(x,y)$, donde (x, y) son coordenadas que representan un espacio físico. El tamaño de I denominado amplitud o intensidad o nivel de gris. En un formato de archivo los valores de (x, y) pueden tomar valores muy grandes por ende estos deben pasar por un proceso de discreción es decir deben ser expresados en otra escala, el resultado de todo esto es una imagen digital. Cada punto (x, y) recibe el nombre de pixel y es la unidad básica de cada imagen. Cada píxel está asociado a un valor que significa el brillo, así un valor bajo es una luminosidad baja, en cambio un valor alto, una luminosidad alta (Rafael et al., 2002).

2.1.3. RESOLUCIÓN ESPACIAL DE UNA IMAGEN SATELITAL.

Se denomina resolución espacial al tamaño de un píxel de una imagen que representa el suelo. De ésta forma el píxel se convierte en el “punto” o unidad básica que forma una imagen satelital y de ésta forma se puede determinar que tan detallada llega a ser la imagen (EOS, 2020).

Para el caso de la presente investigación los datos del Landsat 8, por explicarlo mejor tienen una resolución de 30 [metros], lo que se puede interpretar que cada punto o su representación en la imagen como píxel, es la dimensión de un área de 30 x 30 [metros] en la superficie.

2.1.4. TELEDETECCIÓN.

La teledetección es la captación de información a gran o pequeña escala de un objeto determinado, ya sea utilizado en herramientas que permiten grabación o escaneo de datos. De forma práctica, cuando hablamos de teledetección podemos decir que es recopilar información a través de diferentes instrumentos de un punto específico. Ejemplo de ello es la observación del planeta tierra a través de satélites meteorológicos.

En la actualidad, la principal fuente de donde se obtienen datos son con el apoyo de plataformas aéreas y espaciales.

“Hay dos clases de teledetección principalmente:

- Teledetectores pasivos: Localiza radiación natural reflejada o emitida por la zona que en el instante está visualizada, las formas de radiación medidos que son más frecuentes en ésta clase de proceso es la simple luz solar reflejada. Ejemplos de éste tipo de teledetectores son los sensores charge-coupled devices, “dispositivo de cargas eléctricas interconectadas” (CCD); las clásicas fotos, radiómetros, y la escala de onda del infrarrojo.
- Teledetectores activos: Irradian energía con el objetivo de escanear puntos específicos y que posteriormente se mide la radiación que ha reflejado cada objeto. Ejemplo de ello es un radar teledetector activo, donde se mide el tiempo de emisión que tarda en viajar de ida y vuelta la señal, fijando así su localización, velocidad, altura y orientación de un punto determinado.

El proceso de teledetección nos da la oportunidad de recibir datos de zonas no accesibles e inclusive peligrosas. La forma de utilizar esta herramienta suelen ser monitorizar un desastre, un evento de devastación forestal e inclusive cambios del clima, etc. todo lo anterior mencionado se realiza sin intervenir en el área de trabajo lo cual garantiza que el proceso no intervenga el área de estudio” (Abanto et al., 2017).

2.1.5. PROCESADO DE INFORMACIÓN DE SATÉLITE.

El principal objetivo de la teledetección es observar objetos que sean de interés utilizando una computadora, la cual interpreta información recogida de imágenes que se realizaron a distancia, las cuales tienen una calidad denominada resolución espectral, radiométrico y de tiempo.

- a) **Resolución Espectral:** Se denomina así al rango de la frecuencia de longitud de onda, la cual es almacenada en imágenes, de ésta manera el número y el ancho de banda el cual es detectado por un sensor, de tal forma que mientras más angostas sea la banda , más alta será su resolución en su espectro.
- b) **Resolución Espacial:** Al igual que una televisión mientras más calidad tiene la imagen, podemos decir que la resolución de la imagen es mayor, así los detalles de la zona que se haya fotografiado aumentan en detalles y lo que se pueda captar será también de más calidad.
- c) **Resolución Radiométrica:** Es el tamaño de los niveles digitales los cuales se necesitan para representar la información las cuales son recopiladas por un sensor. Es decir si se incrementa la cantidad de niveles, se incrementa las especificaciones de los datos.
- d) **Resolución Temporal:** Es la escala en la que se interpreta la frecuencia, proviene del satélite el cual adquiere imágenes de un sector determinado, también lo podemos denominar intervalo de revisita. Para ejemplo: la alta resolución temporal significa que se realizaron las imágenes en periodos más cortos, así el incendio en un bosque, una inundación, el efecto de supervisar el agua que está contaminando, y otros más.
- e) **Corrección Radiométrica:** Son los valores que se les asigna a un grado por unidad de píxel, el cual se alterado por el efecto del movimiento de la atmósfera, de tal manera que que su interpretación tendrá una variación de la información recibida directamente del sensor que observa un sector ubicado en la superficie.
- f) **Corrección Atmosférica:** En la atmósfera existe el aerosol o la nubosidad el cual altera

los resultados de las imágenes obtenidas por los satélites, de e´sta forma es necesario corregir valores que se tiene en las imágenes, todo ello en concordancia del nivel de gris para que las imágenes sean más útiles y observables, así se requiere recuperar el valor verdadero de la zona digitalizada (Abanto et al., 2017).

2.1.6. LENTEJA DE AGUA (*Lemna Gibba*)

La Lemna la cual denominamos “Lenteja de agua” flota y crece sobre la parte superficial de los lagos, cauce de aguas que transitan lentamente y los pantanos, ésta especie de planta denota una capacidad de absorción de Fósforo y Nitrógeno muy grande, su crecimiento es un gran problema de índole contaminante en la bahía del Lago Titicaca de la ciudad de Puno, debido a que impide el ingreso de la luz solar a las profundidades de sus aguas reduciendo el crecimiento de las especies fotosintetizadoras (Canales, 2010).

2.2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

2.2.1 Análisis de Información.

De forma general es la decodificación de datos contenidos en un documento, normalmente es ejecutada por alguien que conoce un área de especialización en relación con las operaciones de su procesamiento, con lo cual se recupera y se puede acceder a la misma (EcuRed, 2021). En la presente investigación la fuente de información a acceder será las imágenes satelitales producidas por el satélite Norteamericano de observación de la tierra LandSat 8.

2.2.2. Proliferación de Lenteja de Agua.

La palabra proliferación según la RAE (2020) se define como “Acción y efecto de proliferar, y la palabra proliferar se define como “Reproducirse en formas similares”, por lo que la forma en la que se comporta la Lenteja de Agua o denominada científicamente como *Lemna Gibba* respecto a su reproducción o crecimiento será el objeto de análisis de la presente investigación.

2.2.3. Bahía interior del Lago Titicaca.

La bahía interior es la porción de agua que se encuentra ubicada alrededor de las orillas occidentales del distrito de Puno, provincia de Puno, departamento de Puno, al extremo Nor-Este del Lago Titicaca, entre las coordenadas 15°48'57" y 15°51'352" de latitud Sur y 69°57'13" y 70°01'15".

2.2.3. Utilización de Imágenes Satelitales.

Se puede decir que una imagen satelital es en realidad la fotografía registrada por los instrumentos de un satélite de tipo artificial, éstas imágenes muestran la geografía de una área específico de territorio, la cual puede ser una ciudad, país o un cuerpo de agua, ésta imagen se registra interpretando un espectro específico de rangos de ondas electromagnéticas, la utilización que tiene se utiliza en la meteorología para analizar los fenómenos de tiempo o periodos significativos (Universidad Continental, 2015), éstas imágenes son digitalizadas y dependiendo del formato en el que se disponga, se puede realizar la utilización de las mismas.

2.3 HIPÓTESIS.

2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL.

- Es posible evaluar la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando imágenes satelitales 2013 – 2020.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

- Es factible estimar la temporalidad de la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020.
- Es factible estimar el área de proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.
- Existe relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna*

Gibba) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. ZONA DE ESTUDIO.

3.1.1 BAHÍA INTERIOR DE PUNO.

UBICACIÓN.

La ciudad de Puno, se ubica alrededor de las orillas occidentales de la Bahía interior, en el Departamento, Provincia y Distrito de Puno, a 3,810 msnm.; geográficamente la Bahía Interior de Puno se encuentra-ubicada al; extremo Nor-Este del Lago Titicaca, entre las coordenadas 15°48'57" y 15°51'352" de latitud Sur y 69°57'13" y 70°01'15' de longitud Oeste (ver figura 01).



Figura N° 01: Visualización Geográfica de la Bahía Interior de Puno.

Fuente: Elaborado a partir de la imágenes obtenidas de Google Maps.

TOPOGRAFÍA, GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.

La cuenca hidrográfica está compuesta de numerosas quebradas y montañas que se elevan hasta los 4,500 msnm., algunas de ellas hasta los 700 m sobre la Bahía Interior, En la cuenca de Puno existen 123 ríos, arroyos y canales de agua que descargan hacia la Bahía Interior de Puno, la cual es "separada virtualmente de la Bahía exterior de Puno, conformada por las penínsulas de Chulluni y Chimú. Las montañas y quebradas de Puno son principalmente de origen volcánico, pero también existen áreas considerables de sedimentos y rocas metamórficas.

Las partes más bajas del área de estudio están ocupadas por sedimentos aluviales y lacustres (de lagos), la menor estabilidad son: los lodos lacustres alrededor del perímetro de la Bahía Interior de Puno (Medina M et al., 2015).

HIDROLOGÍA.

El área total de la cuenca del Lago Titicaca, hasta la salida del río Desaguadero es de 57.500 km², con una parte ubicada en Bolivia y tres cuartas partes en Perú. El área de captación de la Bahía Interior de Puno es de aproximadamente 40 km este nivel depende de los flujos de los ríos grandes y de las precipitaciones de lluvia (Medina, 2014).

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

La Bahía interior de Puno, puede convertirse en una amenaza creciente debido a que la ciudad de Puno no cuenta con un sistema de tratamiento eficaz para las aguas servidas, por lo que ingresa al lago con un tratamiento deficiente que acelera el proceso de eutrofización antropogénica lo que perjudica el ecosistema acuático.

En los afluentes de la Bahía Interior del Lago Titicaca traen también consigo relaves mineros y aguas servidas de otras zonas. También arrastra los residuos del uso indiscriminado de agroquímicos, a esta situación se le suma la acumulación de los residuos

sólidos. La pésima calidad del agua, presencia de lodos, malos olores, contaminación física y biológica de las áreas, inundables, etc., han alterado los servicios ambientales del ecosistema.

CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS Y CULTURALES

Hace tiempo muchas zonas de la bahía interior eran utilizadas como zonas de recreación, pesca, paseos, etc. Hoy ya no es posible realizar casi ninguna actividad, excepto como áreas de recreación de niños que viven cerca, constituyendo un verdadero peligro a la salud, o como áreas de cultivos, cuando los niveles del lago Titicaca son alrededor de 3815 msnm.

La belleza del paisaje lacustre es un servicio ambiental importante, el cual ha sido afectado por la presencia de lenteja de agua, la coloración verde del agua, que ha modificado la transparencia; presencia de lodos orgánicos en las orillas que dan el aspecto de empantanamiento. Los mayores efectos se verifican en una longitud aproximada de 4,5 km, comprendida entre San José, muelle Puno hasta la Isla Espinar.

Efectos sobre el turismo; años atrás era común observar turistas alquilar botes para pasear en bote por la Bahía Interior, hoy ya no se observa, la posible causa es el mal aspecto ambiental, Pero quizá los efectos más importantes sobre el turismo, sea la mala Imagen que se genera en los visitantes, quienes luego al retornar a sus lugares de origen, es posible la difusión de la mala impresión ambiental no sólo de la Bahía Interior de Puno, si no del Lago Titicaca, que finalmente puede traducirse en una disminución del arribo de turistas, generando pérdidas económicas. La única forma de verificar este efecto es a través de un estudio. Disminución de la pesca, verificada en la disminución de la población pesquera, la cual ha disminuido en 59% desde 1982. (Medina, 2014).

3.2 TAMAÑO DE MUESTRA.

POBLACIÓN.

La población en estudio está definida por todas las imágenes satelitales tomadas con el satélite Landsat-8 durante el periodo del 2013 al 2020, estas imágenes son descargadas de la USGS (USGS, 2021), puede ver en Anexo 01 la forma en la que se realiza las descargas.

MUESTRA.

El tipo de muestreo es selección directa y se basa específicamente en las imágenes de las 8 bandas de las fotografías del Landsat 8 de los años 2013 al 2020, las cuales no tienen nubosidad; para la selección de las imágenes se tomó el criterio de elegir una por cada mes, pues para poder realizar una mejor lectura se eligió entre las imágenes más nítidas, esto significa que se eligió entre la que tiene menos nubosidad, para ello debemos observar las siguientes imágenes:

Imagen con nubosidad

Fecha: 28/01/2013

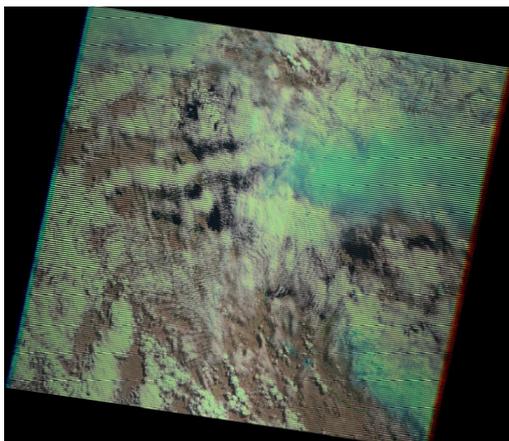


Imagen más nítida

Fecha: 12/01/2013

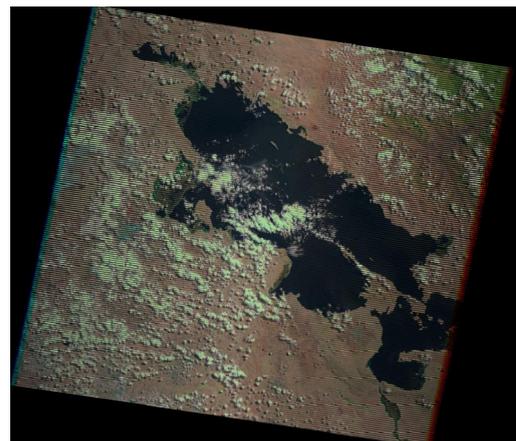


Figura N° 02: Criterio de selección de imágenes para un mismo mes de un año correspondiente.

Como resultado de la selección de las imágenes del catálogo de la USGS, se han seleccionado las imágenes más nítidas de los años del 2013 al 2020 de ciertos días, los cuales se detallan en el cuadro a continuación.

Tabla N° 01: Dia de Adquisición de las Fotografías de las Imágenes Satelitales.

MESES	AÑO							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ENERO	12	5	23	14	5	11	17	11
FEBRERO	2	1	5	17	23	17	20	8
MARZO	26	24	2	12	18	17	15	19
ABRIL	12	26	5	24	25	18	10	21
MAYO	15	24	17	17	30	1	5	10
JUNIO	17	4	5	12	16	20	22	12
JULIO	26	14	6	25	13	2	11	8
AGOSTO	26	15	27	26	9	3	11	11
SETIEMBRE	12	15	11	13	8	21	7	21
OCTUBRE	14	16	20	17	24	3	12	13
NOVIEMBRE	15	24	15	26	21	9	10	2
DICIEMBRE	16	15	11	29	29	18	7	12

Por lo tanto la muestra está constituida por 96 imágenes satelitales.

UNIDAD DE ANÁLISIS.

La unidad de análisis son cada una de las 96 imágenes en formato TIFF.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS.

3.3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

En la presente investigación se utilizó el método empírico; es decir, fue realizado a través de la observación, medición y experimento, por ende para la presente investigación y a efectos de cumplir con los objetivos planteados se ha utilizado la metodología por objetivos específicos que se describen a continuación:

DETALLANDO LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Objetivo Específico 1: Analizar la temporalidad de la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020.

Por la forma en que la investigación es usada: “La investigación fundamental o básica, es la que tiene como objetivo esencial, ampliar, intensificar y aclarar los campos de la ciencia. La investigación aplicada o Técnica tiende a la resolución de problemas o al desarrollo de ideas, dirigidas a conseguir innovaciones, mejoras de procesos o productos, etc.” (CEGARRA, 2004, p. 42). La investigación desea averiguar si las imágenes utilizadas pueden corroborar o verificar la proliferación de la lenteja de agua en la bahía del lago Titicaca y así contribuir como una fuente de información verificable. Por lo mencionado el presente trabajo es considerado como una investigación **APLICADA**.

Objetivo Específico 2: Determinar el área de proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.

En un estudio de tipo descriptivo es necesario mencionar las propiedades, características y detalles importantes del tema de investigación los cuales al final se deben interpretar, analizar y llevarnos a diversas conclusiones.

Objetivo Específico 3: Establecer una relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.

Para el cumplimiento de éste objetivo se utilizará la técnica paramétrica “Regresión Lineal”, la cual se utiliza para predecir variables del tipo continua y que sean dependientes a partir de un conjunto de datos de variables independientes; debemos acotar que la variable independiente en éste caso es la temporalidad la cual está expresada en términos anuales (por año) y la variable dependiente constituida por la proliferación del lemna gibba la cual está expresada en puntos de cobertura (número de pixels).

NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación está relacionado con el grado de profundidad y alcance que se pretende con la misma. Conforme a los propósitos del presente proyecto de investigación, se ha determinado que el nivel de investigación es DESCRIPTIVO debido a que se describe la proliferación de la lenteja de agua en la bahía interior del Lago Titicaca..

3.3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS

De acuerdo a la investigación del presente trabajo de investigación se desarrollaron las siguientes técnicas de análisis.

- **Descarga de imágenes para análisis.**
- **Adquisición de Imágenes:** La adquisición de imágenes se realiza de la USGS (USGS, 2021), el cual es un servidor que almacena un catálogo de imágenes satelitales realizadas por diferentes satélites, dentro de ello las del satélite LandSat, para la

selección de las imágenes se debe de poseer una cuenta de acceso al servidor <https://earthexplorer.usgs.gov/> y en su entorno debemos seleccionar las imágenes que deseamos. (una explicación de la forma de descargar imágenes la puede ver en Anexos 01.)

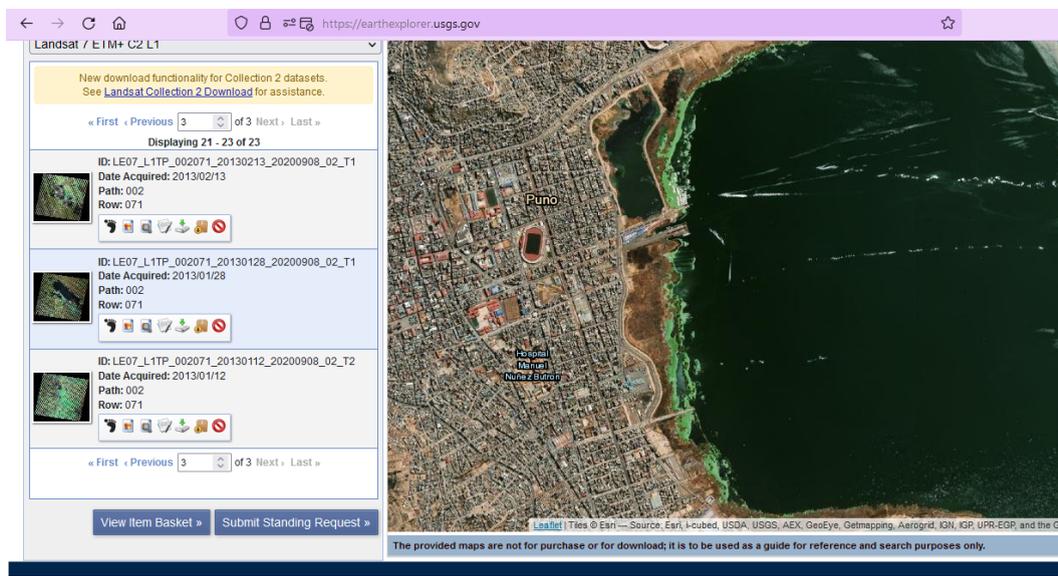


Figura N° 03: Selección del sector para la adquisición de imágenes satelitales.

○ **Vectorización de la Información:**

Para poder utilizar la información de las imágenes, ésta la tenemos que vectorizar, es decir convertir la información visual en información numérica, para ello se utilizó el software GNU Octave en su versión 7.3.0.

Eaton (2020), cuya interfaz de desarrollo la podemos observar en la siguiente imagen:

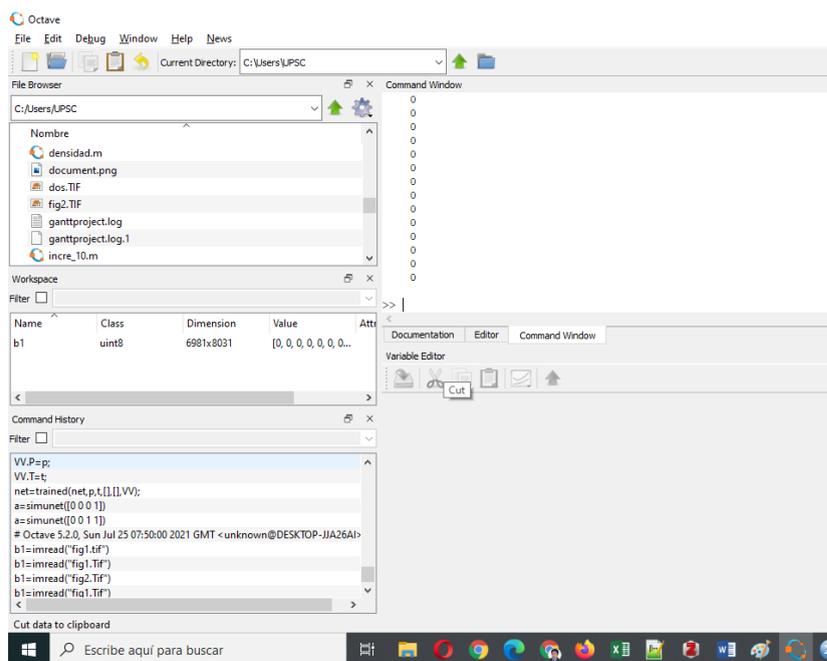


Figura N° 04: Interfaz del software GNU Octave, versión: 7.3.0.

El software tiene un editor de comando denominado “Command Window” donde se puede ingresar el comando :

```
>> A=imread("imagen2013_1.tif")
```

donde:

A= Variable asignada para almacenar la información vectorizada.

imread = Es el comando que convierte una imagen de formato TIFF en un vector matricial de datos.

imagen2013_1.tif = Nombre del archivo con el que se almacenó en el ordenador, para ello se vió por conveniente utilizar el número del año seguido de un subguión del número del mes.

El resultado de la vectorización de cada una de las imágenes se puede observar en la siguiente figura.

Imagen Visible

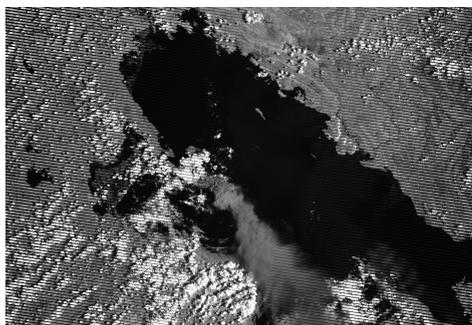


Imagen Vectorizada (matriz de números).

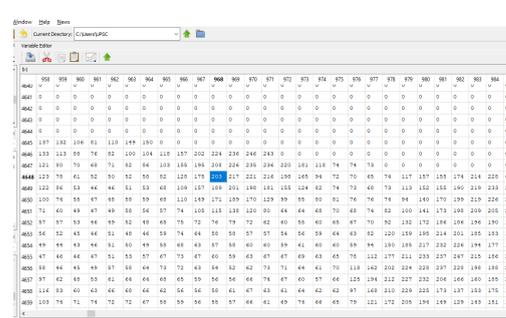


Figura N° 05: Vectorización de la imagen de satélite.

- **Elaboración de los algoritmos para la determinación de la cobertura de la *Lemna Gibba*.**
- **Unidad de Cobertura.** Tal como se muestra en la figura anterior, una imagen puede verse como una matriz de número, donde cada elemento de la matriz A_{ij} representa un punto de la imagen satelital, por ende la unidad de cobertura es aquella cuyo valor sea entre 1 al 255, para determinar el área de cobertura se ha seleccionado 5 puntos representativo de un punto de la imagen satelital que corresponde a una área cubierta por *lemna gibba*, la selección visual de los puntos puede observar se en la siguiente figura.



Figura N° 06: Selección en la fotografía satelital de los píxeles que representan la cobertura *Lemna Gibba*.

Los puntos visuales seleccionados son marcados en la matriz de datos que la representan, y cuyos valores que toman son los siguientes:

Tabla N° 02: Valores numéricos de los píxeles de la imagen.

N°	Denominación	Valor
1	Pixel 1	34
2	Pixel 2	35
3	Pixel 3	36
4	Pixel 4	34
5	Píxel 5	32

Del cuadro anterior se establece que el valor matemático para la *Lemna Gibba* es entre 32 y 36.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.

Variable Independiente: Valores de cobertura en las imágenes satelitales del 2013 -2020.

Variable Dependiente: La proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior de Puno.

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO.

- **Tabulación de Datos a software estadístico:**

El software utilizado para el tratamiento de los resultados, fué el IBM SPSS Statistics Versión 25, y para la primera etapa del análisis estadístico se realizó el volcado de datos del cuadro N° 07 al editor del SPSS tal como se muestra en la siguiente figura:

*Sin título3 [ConjuntoDatos2] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

	Años	@2013	@2014	@2015	@2016	@2017	@2018	@2019	@2020
1	Enero	13	16	16	20	13	11	15	16
2	Febrero	10	19	15	16	16	21	17	20
3	Marzo	21	10	13	14	20	14	19	18
4	Abril	13	14	10	11	17	15	21	12
5	Mayo	20	10	17	15	20	17	10	15
6	Junio	16	10	11	20	19	11	10	18
7	Julio	12	13	18	21	10	11	19	17
8	Agosto	13	13	13	18	13	16	17	15
9	Setiembre	10	11	20	15	14	21	17	12
10	Octubre	13	16	20	21	10	17	20	18
11	Noviembre	12	18	17	18	18	20	14	15
12	Diciembre	10	13	11	16	16	18	13	15
13									

Figura N° 07: Tabulado de datos en el SPSS.

- **Cálculo de los Estadísticos Descriptivos.**

Tabla N° 03: Estadísticos descriptivos.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
@2013	12	10	21	13,58	3,655
@2014	12	10	19	13,58	3,118
@2015	12	10	20	15,08	3,476
@2016	12	11	21	17,08	3,118
@2017	12	10	20	15,50	3,529
@2018	12	11	21	16,00	3,717
@2019	12	10	21	16,00	3,668
@2020	12	12	20	15,92	2,429
N válido	12				
(por lista)					

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. TEMPORALIDAD DE LA PROLIFERACIÓN DE LA LENTEJA DE AGUA (*LEMNA GIBBA*) EN LA BAHÍA INTERIOR DEL LAGO TITICACA UTILIZANDO LAS IMÁGENES SATELITALES, DURANTE EL PERIODO 2013 -2020.

Con la finalidad de alcanzar el objetivo general de la investigación: “Evaluar la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando imágenes satelitales durante el periodo 2013– 2020”, debemos explicar que para realizar ésta evaluación se realizará dimensionando la cobertura de la *Lemna Gibba* a través del análisis de la imágenes satelitales de acuerdo a los expuesto en las técnicas a utilizar el el punto 3.3.2, del presente documento, para ello expondremos los resultados de éste procedimiento.

4.1.1 LAS IMÁGENES ANALIZADAS.

Como resultado de la muestra se han obtenido un catálogo de 96 imágenes la actuales mostramos a continuación; debe entenderse que dicha imagenes son el resultados de la Banda 5 del satélite LandSat 7.

Tabla N° 04. Catálogo de imágenes.

MESES	AÑO							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ENERO	 Dia 12	 Dia 5	 Dia 23	 Dia 14	 Dia 5	 Dia 11	 Dia 17	 Dia 11
FEBRERO	 Dia 2	 Dia 1	 Dia 5	 Dia 17	 Dia 23	 Dia 17	 Dia 20	 Dia 8
MARZO	 Dia 26	 Dia 24	 Dia 2	 Dia 12	 Dia 18	 Dia 17	 Dia 15	 Dia 19
ABRIL	 Dia 12	 Dia 26	 Dia 5	 Dia 24	 Dia 25	 Dia 18	 Dia 10	 Dia 21
MAYO	 Dia 15	 Dia 24	 Dia 17	 Dia 17	 Dia 30	 Dia 1	 Dia 5	 Dia 10
JUNIO	 Dia 17	 Dia 4	 Dia 5	 Dia 12	 Dia 16	 Dia 20	 Dia 22	 Dia 12
JULIO	 Dia 26	 Dia 14	 Dia 6	 Dia 25	 Dia 13	 Dia 2	 Dia 11	 Dia 8
AGOSTO	 Dia 26	 Dia 15	 Dia 27	 Dia 26	 Dia 9	 Dia 3	 Dia 11	 Dia 11

SETIEMBRE								
	Dia 12	Dia 15	Dia 11	Dia 13	Dia 8	Dia 21	Dia 7	Dia 21
OCTUBRE								
	Dia 14	Dia 16	Dia 20	Dia 17	Dia 24	Dia 3	Dia 12	Dia 13
NOVIEMBRE								
	Dia 15	Dia 24	Dia 15	Dia 26	Dia 21	Dia 9	Dia 10	Dia 2
DICIEMBRE								
	Dia 16	Dia 15	Dia 11	Dia 29	Dia 29	Dia 18	Dia 7	Dia 12

La tabla anterior explica la cantidad de imágenes utilizadas por cada mes de los años que pertenecen al periodo del 2013 al 2020.

4.1.2 ALGORITMO UTILIZADO EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA .

4.1.2.1 Diseño del Algoritmo.

Debemos de tener en claro que la entrada de datos será una matriz (vector) de números y como salida de datos tenemos el número de pixels (unidad de la que se compone la imagen satelital) que coincida con una imagen que represente una cobertura de *Lemna Gibba*.

De acuerdo al Tabla N° 02, el valor de que representa a la *Lemna Gibba* es entre 32 y 36; por ende el algoritmo de conteo de áreas de cobertura en cada imagen analizada será la siguiente:

1. Inicio.
2. Para la matriz A_{ij} desde que $i=0$ hasta $i=\text{largo}$ de la imagen en pixels.

 Para la matriz A_{ij} desde que $j=0$ hasta $j=\text{ancho}$ de la imagen en pixels:

 Si $A_{ij} \leq 36$ y $A_{ij} > 32$ entonces

 Contador = Contador + 1

 Fin SI

 Fin Para

Fin Para
3. Imprimir Contador.
4. Fin.

4.1.2.2 Implementación del Algoritmo.

El algoritmo de conteo de áreas de cobertura de *Lemna Gibba*, se implementó en el software Octave, versión 7.3.0, utilizando su editor de código, el cual se muestra en la siguiente figura:

Tabla N° 05. Conteo de Unidades de cobertura por imágenes satelitales en el periodo 2013 al 2020.

Meses	Años							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<i>Enero</i>	13	16	16	20	13	11	15	16
<i>Febrero</i>	10	19	15	16	16	21	17	20
<i>Marzo</i>	21	10	13	14	20	14	19	18
<i>Abril</i>	13	14	10	11	17	15	21	12
<i>Mayo</i>	20	10	17	15	20	17	10	15
<i>Junio</i>	16	10	11	20	19	11	10	18
<i>Julio</i>	12	13	18	21	10	11	19	17
<i>Agosto</i>	13	13	13	18	13	16	17	15
<i>Setiembre</i>	10	11	20	15	14	21	17	12
<i>Octubre</i>	13	16	20	21	10	17	20	18
<i>Noviembre</i>	12	18	17	18	18	20	14	15
<i>Diciembre</i>	10	13	11	16	16	18	13	15

En la tabla anterior se muestra la cobertura de *Lemna Gibba*, explicándose de la siguiente manera, por ejemplo: en el mes de Enero tenemos 13 unidades de cobertura, eso significa que se han encontrado 13 unidades de cobertura (píxeles) que coinciden con la imagen de *Lemna Gibba*.

4.1.3 ANÁLISIS DE LA TEMPORALIDAD UTILIZADA.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la Tabla N° 05, podemos determinar anualmente la cobertura de la lenteja de agua:

Tabla N° 06. Unidades de cobertura anualmente por imágenes satelitales en el periodo 2013 al 2020.

	Años							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ACUMULADO	163	163	181	205	186	192	192	191
PROMEDIO	13.58	13.58	15.08	17.08	15.50	16.00	16.00	15.92

Observamos que de la tabla anterior podemos obtener dos tipos de resultados, un acumulado anual: el cual es la suma de todos los meses para cada año desde el 2013 al 2020 y un promedio mensual el cual también corresponde al mismo periodo; observamos que el valor promedio de todos los meses es más representativo para el análisis de la presente investigación, por ende la temporalidad para la presente se considera en base a los **promedios anuales** de cobertura de la *Lemna Gibba* para cada año desde el 2013 al 2020.

4.2. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE PROLIFERACIÓN DE LA LENTEJA DE AGUA (LEMNA GIBBA) EN EL INTERIOR DE LA BAHÍA DEL LAGO TITICACA UTILIZANDO LAS IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2013 – 2020.

Para la determinación del área de cobertura utilizaremos los resultados de la temporalidad, es decir los resultados promedios de la cobertura de *Lemna Gibba* por año (determinados en la Tabla N° 06) y el concepto de resolución espacial expuesto en el punto 2.1.3 del Marco Conceptual de la presente investigación, que explica que un píxel es igual 30x30 [metros], por ende cada unidad de cobertura calculada en la Tabla N° 06 debe ser multiplicada por la resolución espacial, obteniendo como resultado la siguiente tabla:

Tabla N° 07. Área de cobertura anualmente por imágenes satelitales en el periodo 2013 al 2020.

Meses	Años							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Área [m ²]	1222.5	1222.5	1357.5	1537.5	1395.0	1440.0	1440.0	1432.5

En la tabla anterior se observa que la cobertura llega a cubrir un área de 1,222 m² en los años 2013 y 2014 lo que ha significado los años donde se puede interpretar que hubo menor cantidad de lenteja de lago y como máximo valor se puede interpretar que el año 2016 se produjo la máxima proliferación de *Lemna Gibba* con 1,537 m² en la bahía interior del Lago Titicaca.

4.3. DETERMINACIÓN LA RELACIÓN ENTRE LA TEMPORALIDAD Y LA PROLIFERACIÓN DE LA LENTEJA DE AGUA (*LEMNA GIBBA*) EN EL INTERIOR DE LA BAHÍA DEL LAGO TITICACA UTILIZANDO LAS IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2013 – 2020.

4.3.1 Modelo Estadístico de Regresión Utilizado.

Para el cálculo del mejor modelo, o en todo caso el que más pueda representar los datos obtenidos en la Tabla N° 06: Cantidad de *Lemna Gibba* por año, primero mostraremos la disposición de los datos.

*Sin título5 [ConjuntoDatos4] - IBM SPSS Statistics Editor

Archivo Editar Ver Datos Transformar Ana

3 :

	Años	Cobertura	var
1	2013	13,6	
2	2014	13,6	
3	2015	15,1	
4	2016	17,1	
5	2017	15,5	
6	2018	16,0	
7	2019	16,0	
8	2020	15,9	
9			

Figura N° 09: Disposición de los datos de cobertura por año, en el Software SPSS.

Para poder ejemplificar mejor realizaremos el diagrama de dispersión de los datos anteriores.

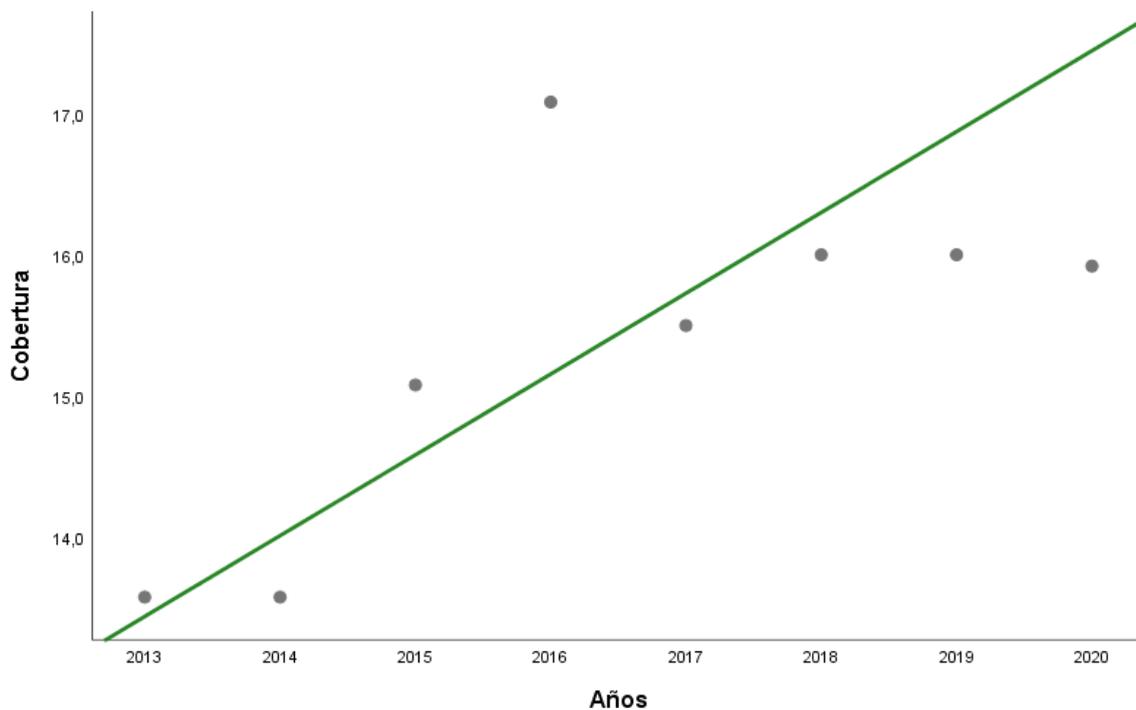


Figura N° 10: Diagrama de Dispersión de los datos.

Como puede observarse en la figura 10, la dispersión de los datos no es lineal, pero sin embargo, puede observarse que en el transcurso del tiempo asciende la proliferación desde el 2013 hasta alcanzar su pico en el 2016 y luego desciende, lo que nos hace suponer que pueda existir un modelo que más se adapte a nuestros datos.

4.3.2 Regresión respecto a la proliferación de la *Lemna Gibba*.

Para poder encontrar un modelo matemático que represente una proyección de los datos obtenidos, realizaremos un prueba de regresión lineal, para ello primero debemos probar que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto planteamos dos hipótesis:

- H_0 = Los datos de las variables siguen una distribución normal.
- H_a = Los datos de las variables NO SIGUEN una distribución normal.

Por lo tanto si el valor de significancia (sig) es mayor a 0.01 se acepta la H_0 .

Tabla N° 08: Pruebas de normalidad de las variables en observación.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Años	,105	8	,200*	,975	8	,933
Cobertura	,181	8	,200*	,894	8	,257

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

De acuerdo a la tabla 08 vemos que para ambas pruebas (KS y SW) el valor de Sig es menor a 0.01, es decir $0.200 > 0.01$ y $0.933 > 0.01$, por lo tanto aceptamos la H_0 y afirmamos que la distribución de datos *sigue una distribución normal*.

Lo anterior significa que podemos utilizar nuestros estadísticos paramétricos.

La Regresión Lineal aplicada.

El modelo planteado es la regresión lineal, por lo que obtenemos el siguiente modelo:

Tabla N° 09. Resumen del Modelo de Regresión Lineal.

Mo del o	R	R		Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				Sig. en F
		cua dra do	R cuadrado ajustado		Cambio en R cuadrado	Cam bio en F	gl 1	gl 2	
1	,705 ^a	,498	,414	,9387	,498	5,942	1	6	,051

a. Predictores: (Constante), Años

b. Variable dependiente: Cobertura

De acuerdo a la tabla anterior la **bondad de ajuste** expresada en R^2 expresa la proporción de la varianza de la variable dependiente que está explicada por la variable independiente, se denomina coeficiente de determinación, cuyo valor en nuestra regresión es igual a **0.498** por lo tanto esto explica que el 49.8 % de la variación de la proliferación de la lenteja de agua está explicada por la cobertura observable en la imágenes satelitales.

También podemos observar que el **Coefficiente de correlación múltiple R** cuyo valor en los resultados obtenidos es igual a **0.705**, éste valor no es más que el coeficiente de Pearson y sus valor absoluto explica que debe de estar lo más cercano a 1, por lo tanto ya que éste valor está entre 0.70 y 1 podemos decir que **existe un alto grado de correlación.**La Ecuación de la Regresión:

Tabla N° 10. Coeficientes de la Recta de Regresión.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	-696,674	292,085		-2,385	,054
	Años	,353	,145	,705	2,438	,051

a. Variable dependiente: Cobertura

De acuerdo a la tabla anterior el coeficiente correspondiente a CONSTANTE es el origen de la recta de regresión, para nuestro caso $a=-696.674$, el coeficiente correspondiente a AÑOS es la pendiente de la recta, es decir $b=0.353$, y ésta indica el cambio medio que corresponde a la cobertura de *Lemna Gibba* por cada unidad de cambio de la variable año.

Segun lo descrito anteriormente la ecuación de proliferación sería la siguiente:

Proliferación de cobertura Lemna Gibba = $-696.674 + 0.353$ (Año).

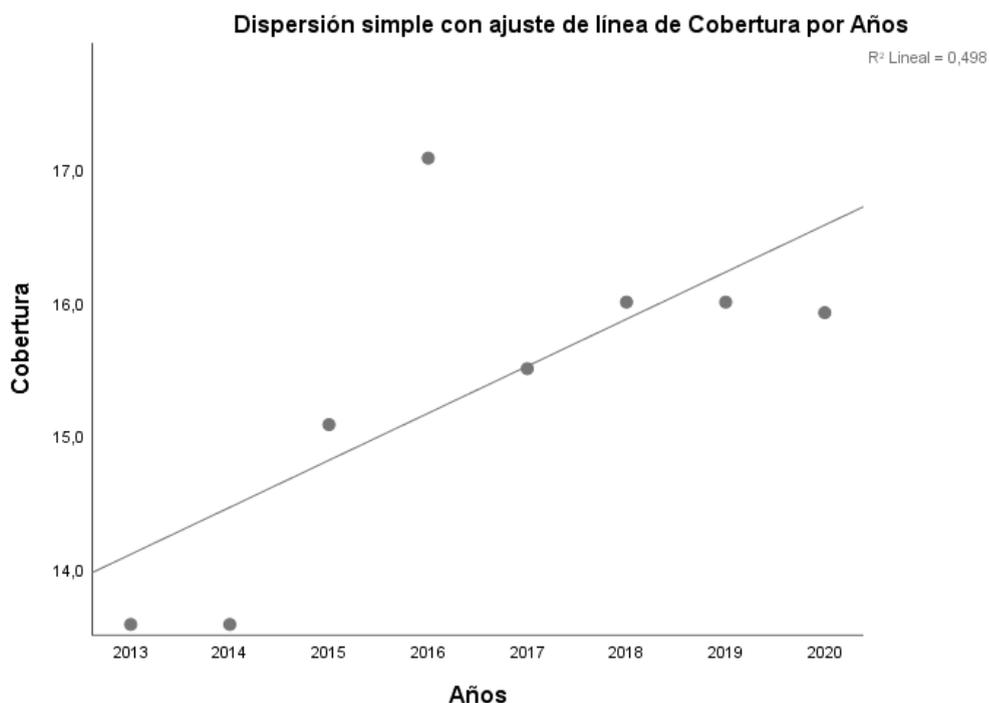


Figura N° 11: Proliferación de la cobertura de la *Lemna Gibba* durante los años 2013 al 2020.

Podemos observar del gráfico anterior que la cobertura de *Lemna Gibba* tiene una tendencia al incremento, pues claramente el valor de la pendiente igual a **0.353** es positivo y mayor a 0, por ende se podría interpretar que en cada año se incrementa en 0.353 unidades la cobertura de Lemna.

4.4. Contraste de las Hipótesis Planteadas en la Investigación:

De acuerdo a Vargas (2006) en la presente investigación la cual tiene enfoque cualitativo y tipo descriptivos, nuestras hipótesis son también del tipo descriptivo es decir “su acción llega únicamente a la afirmación, sin permitir ninguna explicación del fenómeno”, siendo la hipótesis de investigación es decir la general y las tres hipótesis específicas del tipo Hipótesis Descriptivas Simples (Vargas Azofeifa, 2006, p. 29); de acuerdo a lo

expresado anteriormente realizaremos el contraste de la hipótesis específicas correspondientes:

4.4.1. Hipótesis Específica 01:

Redacción:

Es factible estimar la temporalidad de la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020.

Planteamiento de la hipótesis:

H_1 = Es factible estimar la temporalidad de la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020.

H_0 = No es factible estimar la temporalidad de la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020.

Contraste:

El objetivo número 1 tal como se describe en el apartado 5.1 de la presente investigación **estima** la temporalidad de la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020, por ende se rechaza la hipótesis nula, debido a que se verifica que **si es factible** la estimación.

4.4.2. Hipótesis Específica 02:

Redacción:

Es factible estimar el área de proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.

Planteamiento de la hipótesis:

H_1 = Es factible estimar el área de proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020..

H_0 = No es factible estimar el área de proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.

Contraste:

El objetivo número 2 tal como se describe en el apartado 5.2 de la presente investigación **estima** el área de proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020, por ende Si es factible la estimación, con lo que se acepta la Hipótesis Alternativa.

4.4.3. Hipótesis Específica 03:**Redacción:**

Existe relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.

Planteamiento de la hipótesis:

H_1 = Existe relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.

H_0 = No existe relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.

Contraste:

El objetivo número 3 tal como se describe en el apartado 5.3 de la presente investigación a través de una regresión estadística demuestra la relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020, por ende se acepta la H_1 y se rechaza la hipótesis nula.

4.5. Discusión de Resultados.

En lo mencionado por Salazar (2017) en su estudio interpretativo de firmas espectrales concluye que si es posible mediante la utilización de imágenes satelitales analizar el impacto geoambiental, pues afirma que se puede determinar cambios hidrológicos, geomorfológicos y de vegetación cuando se analiza imágenes satelitales también proporcionada por el satélite Landsat al igual que en nuestra presente investigación, básicamente se ha analizado la vegetación sobre el agua a la cual hemos denominado cobertura de *Lemna Gibba* sobre la superficie de agua.

Debemos mencionar a Ortega (2017) el cual en su conclusión menciona la tendencia que tiene la bahía interior del lago titicaca de Puno, se encuentra en un estado eutrófico considerable con una tendencia a ser hipertrófico, tendencia que también se ha encontrado en la presente investigación la cual de alguna manera relaciona el incremento de la proliferación de *Lemna Gibba*.

CONCLUSIONES

PRIMERO: Realizada la evaluación de la proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) en la bahía interior del Lago Titicaca a partir de la utilización de los datos de las imágenes satelitales se puede concluir que ésta está creciendo o tiende a un incremento de acuerdo a la recta de regresión: **Proliferación de cobertura Lemna Gibba = -696.674 + 0.353 (Año)**; donde año es la variable temporal representada.

SEGUNDO: Respecto a la temporalidad aplicada se ha concluido que un análisis en forma anual respecto a lo mensual es lo más apropiado, esto debido a que las muestra o imágenes utilizadas muestran información durante cada año, además que una proyección anual estadísticamente es más sólida, dicha asociación estadísticamente es igual a **0.498** por lo tanto esto explica que el 49.8 % de la variación de la proliferación es anual.

TERCERO: El área de proliferación de la lenteja de agua (*Lemna Gibba*) durante el periodo 2013 al 2020, se ha encontrado que tiene un pico más bajo en los años 2013 y 2014, y un pico más alto en el año 2016.

CUARTO: La relación de temporalidad de acuerdo a la información analizada para el periodo 2013 al 2020, muestra un crecimiento, es decir durante cada año que pasa la *Lemna Gibba* se incrementa en 0.353 unidades de cobertura, es decir **31.77 m² más respecto al año anterior**.

RECOMENDACIONES

A los investigadores que utilizan imágenes satelitales mediante software especializado, se recomienda abordar e incidir en el análisis de las imágenes como tal, pues en ésta tesis se ha demostrado su utilidad, además que existe a disposición y de forma gratuita catálogos de donde se puede descargar dicha información.

A los usuarios de la presente investigación amerita una etapa de verificación y contraste con los valores alcanzados, pues las conclusiones que se obtuvieron a partir de solamente imágenes proporcionadas por un satélite.

A las instituciones educativas, se recomienda incluir temas de tratamiento de imágenes satelitales, teledetección aplicada a software de procesamiento de imágenes, debido a que aún no es de utilización masiva la utilización de los mismos, sobre todo el área de inspección y verificación de factores ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- Abanto, M., Charles, H., Cuyo, R., & Livinston, A. (2017). *Implementación de un algoritmo para el procesamiento de imágenes satelitales que discrimine zonas urbanas de zonas rurales* [Universidad de Ciencias y Humanidades]. <http://repositorio.uch.edu.pe/handle/uch/135>
- Achicanoy, J. A., Rojas-Robles, R., & Sánchez, J. E. (2018). Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 1, 41-58. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.68285>
- Apaza, M. (2014). *Implementación de algoritmos genéticos para la segmentación de imágenes satelitales por conglomerados de la región Puno—2013* [Universidad Nacional Del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4875>
- ASALE, R.-, & RAE. (2020). *Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/proliferación>
- Canales, Á. (2010). Evaluación de la biomasa y manejo de Lemna gibba (lenteja de agua) en la bahía interior del Lago Titicaca, Puno. *Ecología Aplicada*, 9(2), 91-99.
- CEGARRA, J. (2004). *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica* (Ediciones Dias de Santos, SA.).
- Eaton, J. W. (2020). *GNU Octave*. <https://www.gnu.org/software/octave/index>
- EcuRed. (2021). *Análisis de información—EcuRed*. https://www.ecured.cu/An%C3%A1lisis_de_informaci%C3%B3n
- EOS. (2020, diciembre 8). *Resolución Espacial En Una Imagen Satelital: Qué Es*. <https://eos.com/es/blog/resolucion-espacial/>
- Gonzaga Aguilar, C. (2014). *Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja*.

https://repositoriosdigitales.mincyt.gov.ar/vufind/Record/SEDICI_7ec0ef7c277ded16bf50f0581fb03353

Medina M, M. E., Galván R, L. E., & Reyes G, R. E. (2015). Las nanopartículas y el medio ambiente. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 19(74), 49-58.

Medina, N. (2014). Caracterización de los problemas ambientales causado por la lenteja de agua (*lemna gibba*) en la bahía interior del lago Titicaca—Puno. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/4447>

Medina Ortega, N. (2014a). *Caracterización de los problemas ambientales causado por la lenteja de agua (lemna gibba) en la bahía interior del lago Titicaca—Puno* [UPSC]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/4447>

Medina Ortega, N. (2014b). *Caracterización de los problemas ambientales causado por la lenteja de agua (lemna gibba) en la bahía interior del lago Titicaca—Puno*.

Ortega, G. (2017). *Relación entre la carga de nutrientes y el estado trófico de la bahía interior del lago titicaca Puno—2015* [Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/4342>

Rafael, C., Gonzalez, C., & Richard, W. (2002). *Digital Image Processing* (SEGUNDA).

Ramírez, M., Edwin, E., & Villena, E. (2017). *Teledetección de pasivos ambientales de origen químico utilizando imágenes satelitales Landsat 8 en la provincia de Hualgayoc-2017* [Repositorio de la Universidad Privada del Norte]. <http://hdl.handle.net/11537/13249>

Reátegui, P. N. (2017). *Clasificación de bosques utilizando imágenes de satélite Landsat, con criterio fisiográfico, en la provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto—Perú—2015* [UNAP IQUITOS]. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4698>

Rojas, J. (2017). *Estimación de la variabilidad espacial y temporal de la deforestación por minería aurífera aluvial en la Quebrada Guacamayo, utilizando el método de segmentación por umbrales a partir de imágenes de satélite* [UNIVERSIDAD

NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/7367>

Salazar, R. A. (2017). *Análisis del impacto geoambiental de pasivos ambientales aplicando sensoramiento remoto y firmas espectrales utilizando envi, provincia de Hualgayoc, Cajamarca, 2016* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1419>

Sanjurjo Vilchez, J., & Kalliola, R. (2004). *Manual para la elaboración de mosaicos de imágenes de satélite Landsat TM para la selva baja peruana*. Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana.

Torres, E. (2016). Identificación del área afectada por Lemna en la bahía de Puno utilizando procesamiento digital de imágenes. *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6246>

Universidad Continental. (2015, agosto 3). Importancia del uso de imágenes satelitales y procesamiento de señales. *Universidad Continental*. <https://ucontinental.edu.pe/noticias/importancia-del-uso-de-imagenes-satelitales-y-procesamiento-de-senales/>

USGS. (2021). *Science Explorer*. <https://www.usgs.gov/about/about-us/who-we-are>

Vargas Azofeifa, D. (2006). *Manejo instrumental del concepto de hipótesis en el diseño de un proyecto de investigación*. <http://repositorio.binasss.sa.cr/xmlui/handle/20.500.11764/237>

ANEXOS.

ANEXO N° 01: PROCEDIMIENTO PARA LA DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES

DE LA USGS.

Paso 1: Debemos ingresar a la pagina siguiente:

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

Paso 2: Debemos loguearnos.

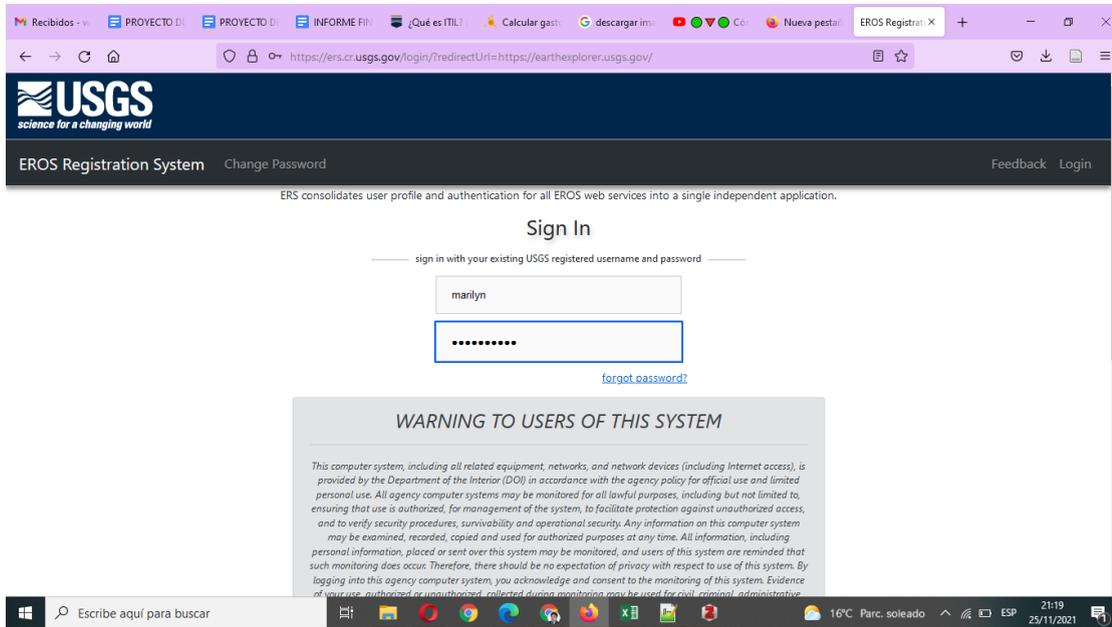


Fig. 01. Ingreso al sistema USGS.

Paso 3: Seleccionamos la ubicación de Puno

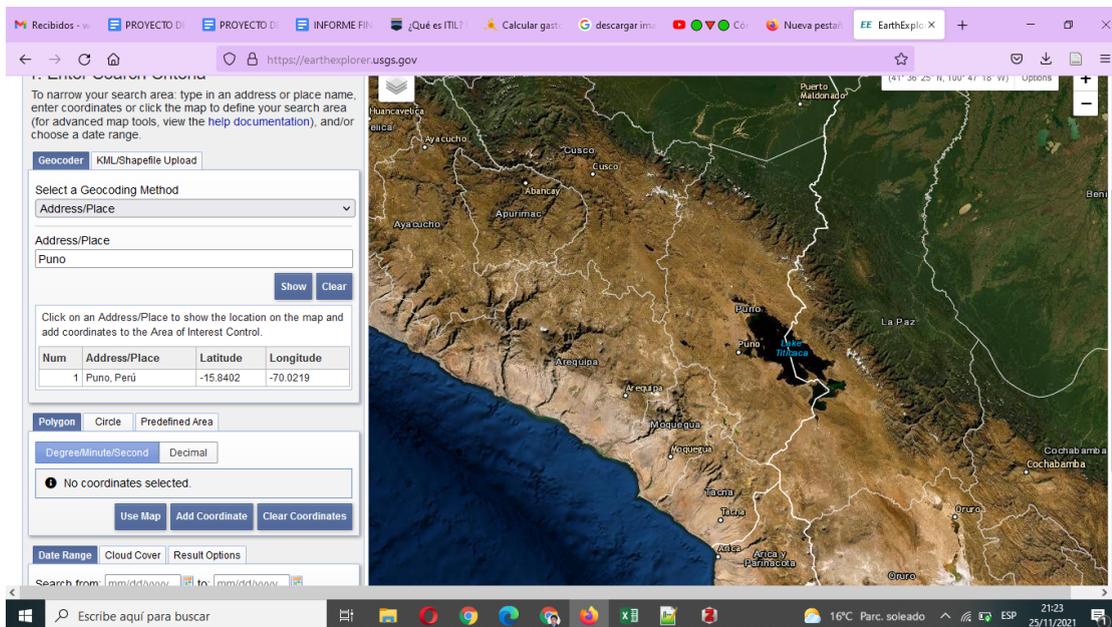


Fig. 02. Selección de la zona geográfica a solicitar imagen.

Paso 4: Seleccionamos los puntos que definirán la Bahía interior del Lago

Titicaca

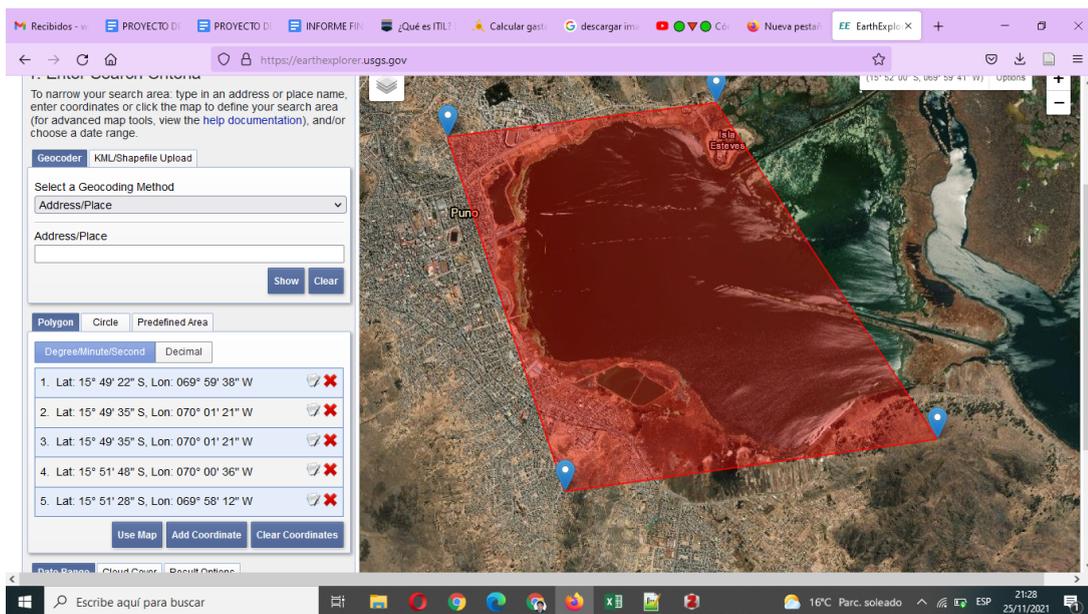


Fig. 03. Ubicación de los puntos extremos que contienen la zona seleccionada.

Paso 05: Seleccionamos el satélite del cual deseamos las imágenes. (en éste caso elegimos Landsat 7 y también Landsat 8).

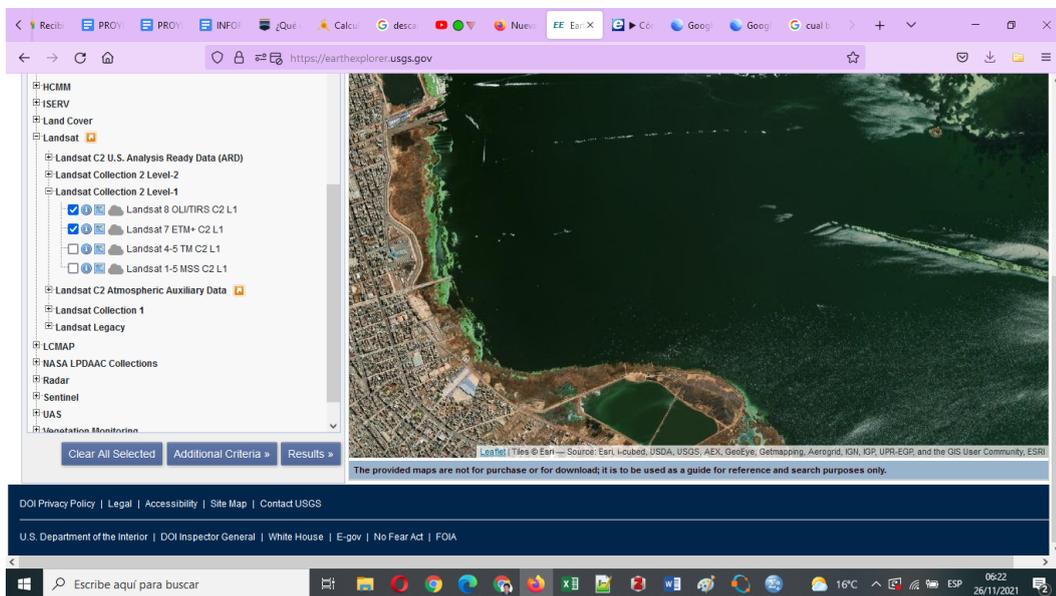


Fig. 04. Selección del Satélite de provisión de Imágenes.

Paso 05: Seleccionamos el periodo de las imágenes. (Las imágenes se han descargado, año por año, es por eso que en la imagen se ve seleccionado el primer año de análisis: el 2013)

The screenshot shows the 'Date Range' tab selected in the Earth Explorer search interface. The search parameters are:

- Search from: 01/01/2013
- to: 12/31/2013
- Search months: (all)

 Below the search fields are three buttons: 'Data Sets >>', 'Additional Criteria >>', and 'Results >>'.

Fig. 05. Selección del Periodo de descarga de las imágenes.

Paso 06: Ahora seleccionamos las imágenes que deseamos descargar; normalmente el Satélite Landsat fotografía a lo sumo dos imágenes por mes; por lo que se elige la imagen que tenga menos nubosidad.

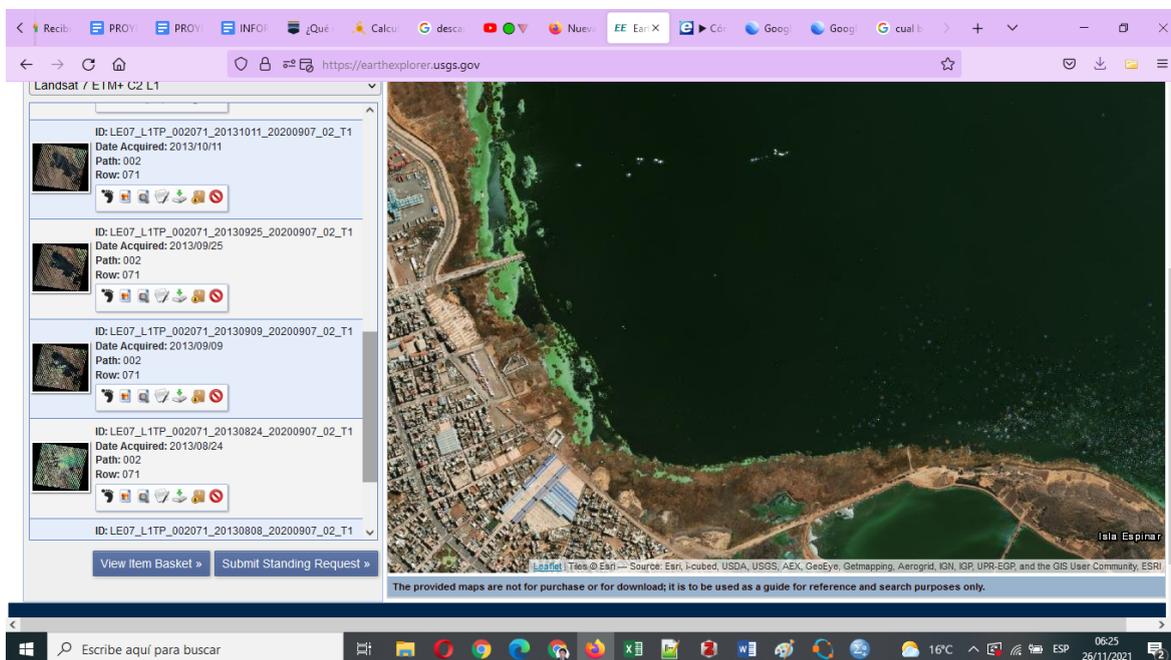


Fig. 06. Exploración de las imágenes seleccionadas.

Paso 07: Por último se selecciona el formato y calidad de la imagen a descargar.

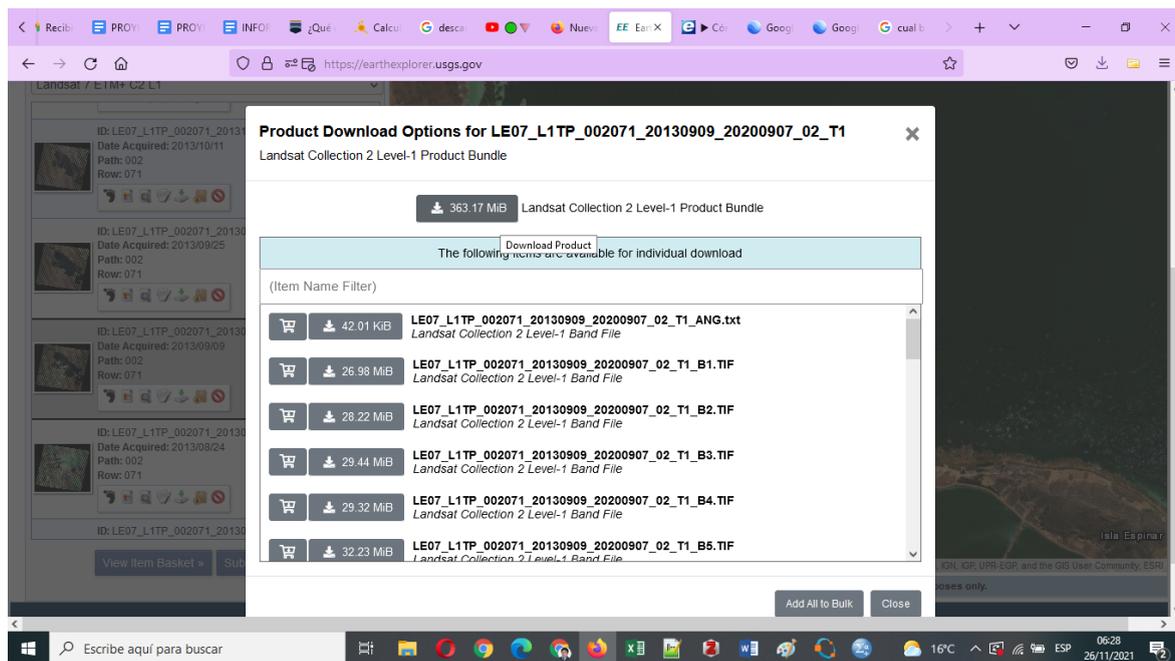


Fig. 07. Selección del Formato y calidad de la imagen a descargar.

ANEXO N° 02: MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANÁLISIS DE LA PROLIFERACIÓN DE LA LENTEJA DE AGUA (*Lemna Gibba*) EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES 2013 - 2020.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cómo será la proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna Gibba</i>) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando imágenes satelitales 2013 - 2020?	<ul style="list-style-type: none"> Evaluar la proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna Gibba</i>) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando imágenes satelitales durante el periodo 2013– 2020. 	Es posible evaluar la proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna Gibba</i>) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando imágenes satelitales 2013 – 2020.	<p>Variable de criterio:</p> <p>Análisis de la Proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna gibba</i>) en la bahía interior de Puno.</p>	<p><u>Tipo De Investigación</u></p> <p>Descriptivo</p> <p><u>Método de investigación</u></p> <p>Método Científico.</p> <p><u>Diseño:</u></p> <p>Análisis Por Objetivos Específicos:</p> <p>Área de estudio:</p> <p>Bahía interior de Puno.</p> <p>Población</p> <p>Imágenes Satelitales del LANSAT - 8</p> <p>Muestra</p> <p>Imágenes Sin Nubosidad del LanSAT-8 desde el 2013 al 2020.</p> <p>Tipo de Muestreo: Selección Directa</p>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		
1. ¿Será factible estimar la proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna Gibba</i>) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020?	1. Analizar la temporalidad de la proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna Gibba</i>) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020.	1. Es factible estimar la temporalidad de la proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna Gibba</i>) en la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales, durante el periodo 2013 -2020.	<p>La operacionalización, determinando la variable que a continuación se menciona:</p> <p>Variable X = Variable Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> IMÁGENES SATELITALES 2013-2020. <p>Variable Y = Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Análisis de la Proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna gibba</i>) en la bahía interior de Puno. 	
2. ¿ Será posible estimar el área de proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna Gibba</i>) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el período 2013 - 2020?	2. Determinar el área de proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna Gibba</i>) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.	2. Es factible estimar el área de proliferación de la lenteja de agua (<i>Lemna Gibba</i>) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.		

<p>3. <i>¿Existirá relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (Lemna Gibba) en el interior de la bahía interior del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 - 2020?</i></p>	<p>3. <i>Establecer la relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (Lemna Gibba) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.</i></p>	<p>3. <i>Existe relación entre la temporalidad y la proliferación de la lenteja de agua (Lemna Gibba) en el interior de la bahía del Lago Titicaca utilizando las imágenes satelitales durante el periodo 2013 – 2020.</i></p>		
--	---	--	--	--