

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**EVALUAR LA PÉRDIDA DE ESPEJO DE AGUA Y LA BIOMASA EN LA
BAHÍA INTERIOR DE PUNO DURANTE EL PERIODO 1984 AL 2019**

PRESENTADO POR:

KLINDER DERSON CALCINA FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2021

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

**EVALUAR LA PÉRDIDA DE ESPEJO DE AGUA Y LA BIOMASA EN LA
BAHÍA INTERIOR DE PUNO DURANTE EL PERIODO 1984 AL 2019**

PRESENTADO POR:

KLINDER DERSON CALCINA FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



Dra. MARIA ISABEL VALLENAS GAONA

PRIMER MIEMBRO



M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

SEGUNDO MIEMBRO



M.Sc. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS



M.Sc. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

Área: Ingeniería y Tecnología.

Disciplina: Ingeniería Ambiental.

Especialidad: Contaminación y Remediación Ambiental en Obras de Ingeniería.

Puno, 05 de Agosto de 2021.

DEDICATORIA

Al Creador, por trajinar todo este tiempo a mi lado, permitirme a cada instante ver lo bueno de cada persona y la magnificencia natural de cada recóndito lugar donde se acentúan las especies, llamado GAIA.

A mis padres, Daria, Gerber, mis puntales, confesores, aliados, en este momento que nos tocó coincidir, yo como su hijo y ellos como padres y forjadores, por haberme dedicado parte de su tiempo hacer entender que las cosas pueden ser mejores ante la adversidad, hasta llegar a ser un buen humano, poder remediar y mejorar continuamente con nuestro entorno, para albergar a las generaciones venideras.

A mis hermanos, Yency , Helbert y Diego , por las travesuras que me tocó compartir con cada uno de ellos y por la historia que nos falta escribir.

Klinder Derson Calcina Flores

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, por darme la oportunidad de mi formación profesional.

A la Facultad de Ingenierías, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, a mis docentes de mi facultad de Ingeniería Ambiental, por sus enseñanzas brindadas para mi formación profesional.

A los miembros del jurado dictaminador: Dra. Maria Isabel Vallenias Gaona, al M.Sc. Fredy A. Castillo Suaquita, a la M.Sc. Marlene Cusi Montesinos por su participación en la realización de la investigación de tesis.

A mi asesora de tesis M.Sc. Anani Durand Goyzueta por su asesoramiento constante en el desarrollo y final de mi tesis de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1	Planteamiento del problema.....	2
	1.1.1 Problema General.....	5
	1.1.2 Problemas Específicos.....	5
1.2	Antecedentes.....	6
	1.2.1 Antecedentes internacionales.....	6
	1.2.2 Antecedentes nacionales.....	8
	1.2.3 Antecedentes regionales.....	10
1.3	Objetivos de la investigación.....	12
	1.3.1 Objetivo General.....	12
	1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
1.4	Justificación.....	12

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1	Marco Teórico.....	15
	2.1.1 Características de la bahía interior de Puno.....	15
	2.1.2 Biomasa.....	16
	2.1.3 Eutrofización.....	18
	2.1.4 Ecosistemas acuáticos y espejo de agua.....	19
	2.1.5 Teledetección.....	19
2.2	Marco conceptual.....	22
2.3	Hipótesis de la investigación.....	23
	2.3.1 Hipótesis General.....	23
	2.3.2 Hipótesis Específicas.....	23

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Zona de estudio.....	24
3.2	Tamaño de la muestra.....	26
	3.2.1 Población.....	26
	3.2.2 Muestra.....	26
3.3	Métodos y técnicas.....	27
	3.3.1 Caracterización y delimitación del área de espejo de agua en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019.....	27
	3.3.2 Porcentaje de pérdida de espejo de agua, en la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019.....	27
	3.3.3 Clasificación supervisada con ArcGIS 10.4.....	28
	3.3.4 Por máxima probabilidad método de máxima verosimilitud.....	29

3.3.5	Porcentaje de pérdida de espejo de agua, en la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019.....	31
3.4	Identificación de variables.....	33
3.5	Método o diseño estadístico.....	33

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1	Resultados y Discusión.....	35
4.1.1	Caracterización y delimitación del área de espejo de agua en la bahía interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019.....	35
4.1.2	Porcentaje de pérdida de espejo de agua, en la bahía interior de Puno en el periodo 1984 al 2019	56
	CONCLUSIONES.....	70
	RECOMENDACIONES.....	72
	BIBLIOGRAFÍA.....	73
	ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Sistema geodésico para la bahía interior de Puno.....	31
Tabla 02: Operacionalización de variables.....	33
Tabla 03: Datos de la caracterización y delimitación del área de espejo de agua en la bahía interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019.....	53
Tabla 04: Estadísticos descriptivos del espejo de agua y la biomasa de la Bahía interior de Puno, periodo 1984 – 2019.....	56
Tabla 05: Variación del espejo de agua en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 – 2019.....	59
Tabla 06: Variación de la Totora en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 – 2019.....	60
Tabla 07: Variación del Suelo en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 – 2019.....	61
Tabla 08: Variación de la Lenteja en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 – 2015.....	62
Tabla 09: Variación de Laguna Estabilización en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 – 2015.....	63
Tabla 10: Promedio de área de espejo de agua y biomasa en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 – 2019.....	64
Tabla 11: Matriz de correlaciones del espejo de agua y biomasa de la bahía interior de, periodo 1984 – 2019.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Área delimitada del proyecto de la Bahía interior de Puno (BIP).....	25
Figura 02: Ubicación de la bahía interior de Puno descarga de Google Earth.....	27
Figura 03: Máximo clasificación.....	28
Figura 04: Reducción polígonos.....	30
Figura 05: Simbología clases.....	30
Figura 06: Mapa final clases porcentajes.....	30
Figura 07: Diagrama de Flujograma del Proyecto en la BIP.....	32
Figura 08: Bahía interior de Puno clasificación julio de 1984.....	35
Figura 09: Bahía interior de Puno clasificación julio de 1985.....	36
Figura 10: Bahía interior de Puno clasificación julio de 1986.....	36
Figura 11: Bahía interior de Puno clasificación octubre de 1987.....	37
Figura 12: Bahía interior de Puno clasificación octubre de 1988.....	37
Figura 13: Bahía interior de Puno clasificación septiembre de 1989.....	38
Figura 14: Bahía interior de Puno clasificación septiembre de 1990.....	38
Figura 15: Bahía interior de Puno clasificación julio de 1991.....	39
Figura 16: Bahía interior de Puno clasificación mayo de 1992.....	39
Figura 17: Bahía interior de Puno clasificación junio de 1993.....	40
Figura 18: Bahía interior de Puno clasificación julio de 1994.....	40
Figura 19: Bahía interior de Puno clasificación mayo de 1995.....	41
Figura 20: Bahía interior de Puno clasificación mayo de 1996.....	41
Figura 21: Bahía interior de Puno clasificación junio de 1997.....	42
Figura 22: Bahía interior de Puno clasificación julio de 1998.....	42
Figura 23: Bahía interior de Puno clasificación junio de 1999.....	43
Figura 24: Bahía interior de Puno clasificación junio de 2000.....	43
	vii

Figura 25:	Bahía interior de Puno clasificación junio de 2001.....	44
Figura 26:	Bahía interior de Puno clasificación julio de 2002.....	44
Figura 27:	Bahía interior de Puno clasificación mayo de 2003.....	45
Figura 28:	Bahía interior de Puno clasificación junio de 2004.....	45
Figura 29:	Bahía interior de Puno clasificación abril de 2005.....	46
Figura 30:	Bahía interior de Puno clasificación julio de 2006.....	46
Figura 31:	Bahía interior de Puno clasificación junio de 2007.....	47
Figura 32:	Bahía interior de Puno clasificación mayo de 2008.....	47
Figura 33:	Bahía interior de Puno clasificación junio de 2009.....	48
Figura 34:	Bahía interior de Puno clasificación julio de 2010.....	48
Figura 35:	Bahía interior de Puno clasificación julio de 2011.....	49
Figura 36:	Bahía interior de Puno clasificación noviembre de 2012.....	49
Figura 37:	Bahía interior de Puno clasificación julio de 2013.....	50
Figura 38:	Bahía interior de Puno clasificación julio de 2014.....	50
Figura 39:	Bahía interior de Puno clasificación julio de 2015.....	51
Figura 40:	Bahía interior de Puno clasificación julio de 2016.....	51
Figura 41:	Bahía interior de Puno clasificación junio de 2017.....	52
Figura 42:	Bahía interior de Puno clasificación octubre de 2018.....	52
Figura 43:	Bahía interior de Puno clasificación mayo de 2019.....	53
Figura 44:	Resumen de datos de caracterización y delimitación del área de espejo de agua en la bahía interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019.....	54
Figura 45:	Diagrama de cajas del espejo de agua y la biomasa de la Bahía interior de Puno, periodo 1984 - 2019.....	57

Figura 46: Variación del espejo de agua respecto a la biomasa en la Bahía interior de Puno, periodo 1984 – 2019.....	57
Figura 47: Diagrama de dispersión del espejo de agua respecto a la totora en la Bahía interior de Puno, periodo 1984 – 2019.....	66
Figura 48: Diagrama de dispersión del espejo de agua respecto al suelo en la Bahía interior de Puno, periodo 1984 – 2019.....	67
Figura 49: Diagrama de dispersión del espejo de agua respecto a la lenteja en la Bahía interior de Puno, periodo 1984 – 2019.....	68
Figura 50: Diagrama de dispersión del espejo de agua respecto a la laguna en la Bahía interior de Puno, periodo 1984 – 2019	69

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia.....	79
Anexo 02: Sistema de teledetección y sus componentes.....	80
Anexo 03: Signaturas espectrales.....	81
Anexo 04: Constelación de los satélites LandSat	82
Anexo 05: Procedimiento de la delimitación en ArcGis 10.4 paso a paso mediante el computador.....	82

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A.E.	Espejo de agua
L.EST.	Laguna de estabilización
BIP	Bahía Interior de Puno
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
F	Fósforo
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
N	Nitrógeno
OMA	Oficina de Medio Ambiente
OMS	Organización Mundial de la Salud
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
MINAM	Ministerio del Ambiente:
SIG	Sistemas de Información Geográfica
Su	Suelo
Tot	Totora

RESUMEN

La investigación se realizó en la Bahía Interior de la ciudad de Puno, los objetivos fueron caracterizar y delimitar el área de espejo de agua en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019 y cuantificar el porcentaje de pérdida de espejo de agua, en la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019. La metodología empleada fue mediante la información registrada por las imágenes satelitales Landsat 5,6,7, con el software ArcGIS 10.4 en donde se procedió a delimitar y se evaluó la tendencia que presenta el espejo de agua y la biomasa durante los años de 1984 a 2019, el diseño del estudio es de tipo correlacional descriptivo, los resultados muestran que la matriz de correlaciones tiene una relación del espejo de agua con la biomasa, esto significa que el valor de correlación entre el espejo de agua y la lenteja es de -0.769 siendo esta buena e inversamente proporcional, es decir, a más crecimiento de lenteja se tiene menor espejo de agua y siendo esta relación significativa ($p < 5\%$), de la misma forma la relación con el suelo y totora es significativa ($p < 5\%$) con -0.719 y -0.622 respectivamente. Al contrario, la laguna de Estabilización tiene una relación no significativa, es decir no influye en el decremento del espejo de agua. Se concluye que el incremento de la biomasa (Lenteja, Totora), se relaciona significativamente a la pérdida de espejo de agua de la Bahía Interior de Puno BIP. que se encuentra en la ciudad de Puno, lo cual resultó una tendencia significativa.

Palabras Clave: ArcGIS 10,4 Imágenes Landsat, lenteja, Teledetección, Totora.

ABSTRACT

The research was carried out in the Interior Bay of the city of Puno, the objectives were to characterize and delimit the area of the water mirror in the Interior Bay of Puno during the period 1984 to 2019 and quantify the percentage of loss of water mirror, in the Inland Bay of Puno in the period 1984 to 2019. The methodology used was through the information recorded by the Landsat 5,6,7 satellite images, with the ArcGIS 10.4 software where the trend presented by the water mirror and biomass during the years 1984 to 2019, the study design is descriptive correlational type, the results show that the correlation matrix has a relationship of the water mirror with biomass, this means that the correlation value Between the water mirror and the duckweed is -0.769 , this being good and inversely proportional, that is, the more the duckweed growth, the less the water mirror and this relationship being significant captive ($p < 5\%$), in the same way the relationship with the soil and cattail is significant ($p < 5\%$) with -0.716 and -0.622 respectively. On the contrary, the Stabilization lagoon has a non-significant relationship, that is, it does not influence the decrease in the water surface. It is concluded that the increase in biomass (Lenteja, Totorá) is significantly related to the loss of the water surface of the Interior Bay of Puno BIP. which is located in the city of Puno, which was a significant trend.

Keywords: ArcGIS 10, Landsat Imaging, lentil, remote sensing, cattail

INTRODUCCIÓN

La Bahía Interior de Puno (BIP), con un área de 16.88 Km², ha sufrido la disminución del espejo de agua por la eutrofización en el incremento de nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P), por acciones antrópicas de la población circunlacustre de la Bahía Interior de Puno. Se puede afirmar que existe una relación entre la biomasa (totora, lenteja) y el espejo de agua a mayor incremento de la biomasa se evidencia una pérdida del espejo de agua.

La investigación consta de cuatro capítulos. En el Capítulo I, se aborda el planteamiento del problema de la investigación, los antecedentes que guardan relación con el tema de investigación y objetivos de la investigación. En el Capítulo II, se muestra el marco teórico que sustenta la investigación donde se define los principales conceptos y se indica las hipótesis planteadas para ser probadas en el estudio. Capítulo III, se llevó a cabo la parte metodológica, identificando el área de influencia la Bahía Interior de Puno, el tamaño de la muestra, los métodos estadísticos. En el Capítulo IV, se exponen los resultados del estudio con el análisis estadístico, persiguiendo los objetivos iniciales, donde se presentan tablas y figuras que muestran los valores estadísticos obtenidos para demostrar lo que se ha planteado, se incluye las conclusiones y recomendaciones.

La utilidad que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sirven de apoyo en la toma de decisiones en diferentes escenarios, como los cuerpos de agua, que permiten estructurar y visualizar información espacial como caracterizar componentes que integran la biomasa (Lenteja, Totora) y analizar patrones de tendencia para la toma de decisiones y mantener un espejo de agua oligotrófico, con alta concentración de oxígeno y aguas claras, evitando el apantallamiento de los rayos solares que inciden en el cuerpo de agua harán propicio a la variedad de especies acuáticas, también mejorará la escena paisajista y se evitará la presencia de malos olores y vectores por la descomposición de la materia orgánica.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Bahía Interior de Puno (BIP), con un área de 16.88 Km², ha sufrido la disminución del espejo de agua por la presencia de la biomasa como la Totorá, (*Schoenoplectus californicus*), lenteja de agua (*Lemna gibba*), por el incremento de nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P), y el aumento de caudal de las aguas residuales por acciones antrópicas de la población circunlacustre de la Bahía Interior de Puno, que influye en el colapso del sistema de la red de alcantarillado de la ciudad de Puno, la cual aportaría N y P. La data es del año 1972, con una población 77, 673 habitantes, para el año 2019, Puno albergó una población de 1'471,160, los factores como el crecimiento poblacional y las aguas pluviales habría llevado al colapso de la red de alcantarillado, al canalizar en un solo sistema las aguas residuales y las aguas pluviales producirían un aumento de caudal de punta con carga variable (físico, químicos y biológicos) los cuales inciden considerable los niveles de eutrofización, presencia de malos olores y lodos sedimentados con carga orgánica en plena oxidación y reducción, que son vertidos a la laguna de estabilización, las descargas de aguas residuales terminan por desbordar su capacidad de operatividad conllevando al deterioro del ecosistema frágil de la Bahía Interior de Puno (BIP), tampoco cuenta con un movimiento natural de su cuerpo de

agua, es somera, cerrada y de poco flujo, características que combinado con altos ingresos de nutrientes procedentes de la ciudad de Puno, hacen de este ecosistema una zona severamente contaminada y mostraría una evidente pérdida de espejo de agua, para lo cual sería necesario observar vía aérea para tener un contexto del área de estudio para definir políticas de conservación y remediaciones ambiental, por eso se hace importante la utilización de los sensores espaciales de la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG), por el acceso público a las imágenes y la gran extensión de área que abarcaría en una sola imagen y en diferentes líneas de tiempo , pudiendo cortejar un antes y un después.

Las aguas de los lagos de forma lentic, son generalmente polimícticos y naturalmente más productivos que los lagos profundos, son susceptibles a ser más rápidamente sedimentables y sufrir procesos de eutrofización más acelerados (Monzón 1984).

En la actualidad la tecnología ha provisto de métodos modernos y precisos que facilitan la obtención de información ecológica y limnológica de diferentes tipos de ecosistemas, siendo los Sistemas de Información Geográfica (SIG) los de mayor relevancia y aplicabilidad, el uso de equipos automatizados para medir la morfología y sedimentos de la Bahía Interior de Puno (BIP), (Loza-Del-Carpio, Gamarra-Peralta, y Condori-Aliaga 2016).

Se han identificado y clasificado cinco componentes en la Bahía Interior de Puno, para el presente proyecto, espejo de agua, lenteja, totora, suelo y laguna de estabilización, que dan lugar a los 16.88 km², de área de espejo de agua.

La lenteja de agua como planta acuática flotante, es indicador de un evidente grado de eutrofización en la BIP. Lo cual conlleva a efecto de pantalla impidiendo que los rayos solares ingresen al fondo de la laguna y se desarrolle la fotosíntesis en las algas y fitoplancton, con llevando a la descomposición y a una mayor demanda de oxígeno, DBO₅ y DBQ, incremento de sedimentos malos olores y presencia de vectores.

El promedio de la biomasa de la lenteja de agua en la bahía interior fue de 6.94 kg/m², mientras que los promedios de pH y temperatura del agua fueron de 6.3 y 13.8°C, respectivamente. Esto prueba la eficacia de este organismo para crecer en condiciones difíciles (además hay altos niveles de N, P y metales pesados), por lo que su manejo puede ser una alternativa para disminuir el proceso de eutrofización del lago. Las estrategias de manejo de lenteja estuvieron enmarcadas dentro de un plano social, económico y ambiental, lo que permite su sostenibilidad en beneficio de la población de Puno y del ecosistema del lago Titicaca.(Canales-Gutiérrez 2010).

La presencia de la totora en la BIP, como planta emergente ribereña en su incremento de volumen de biomasa hace que ocupe espacio en el espejo de agua, llevando a la pérdida de la superficie, en los promontorios de Chimú y Chulluni se encuentra una franja de biomasa de totora que impide su flujo natural al lago mayor.

Las lagunas el Espinar fueron construidas en el año 1972, en áreas inundables y se ubica en el extremo sur de la ciudad de Puno, entre la Isla El Espinar y el barrio Chanu Chanu frente al cuartel Manco Cápac a una altura de 3810 m.s.n.m., la referida laguna limita por el oeste con la Isla El Espinar, por el norte y el sur con la bahía interior de Puno. Al inicio de la puesta en marcha en el año 1972, la laguna de El Espinar trataba entre el 40 a 45% de las aguas servidas de la ciudad de Puno.(EMSA Puno SA. 2012).

En este sector, el lago Titicaca sufre un proceso de contaminación gradual desde hace más de 30 años, los factores conocidos son el vertimiento de las aguas residuales de la ciudad de Puno en las poblaciones ribereñas, la colmatación de plantas de tratamiento; la crianza de truchas en el lago, entre otras. Estas actividades incorporan materia orgánica y por lo tanto estas aguas tienen altas concentraciones de compuestos fosforados y nitrogenados que causan la eutrofización acelerada del lago Titicaca, agravada por la falta de mantenimiento de las lagunas de oxidación y el crecimiento urbano sin ninguna planificación. (PNUMA 2011).

Los resultados de la investigación realizadas en el año 2016, en la Bahía Interior de Puno , nos muestran un Fósforo Total cuya presencia es factor importante para que se lleve a cabo la eutrofización, en las tres líneas de monitoreo, ya que sus valores van desde 0,16 hasta más de 1 mg/L hacia aguas profundas, debido a que las algas concentran el fósforo y que al morir y descomponerse lo vuelven a incorporar a las aguas, pudiendo ocasionar elevados índices de mortalidad de las especies acuáticas, valores que llegan a superar cien (100) veces el máximo recomendado de 0,015 mg/L (Rojas 2016).

La bahía interior de Puno es una porción que no supera el 1% de todo el lago, sin embargo sus 16 km² no han sido valorados adecuadamente ya que en la actualidad es una cubeta casi colapsada ecológicamente y aún a pesar de ello continúa proveyendo beneficios, entre las que destacan sus servicios de agua potable y la actividad turística. Pretender seguir obteniendo beneficios socioeconómicos y ambientales e incluso buscar alternativas de remediación y restauración requiere un mejor conocimiento de la estructura y funcionamiento de este ecosistema acuático y previo a planificar medidas y estrategias de gestión, se requiere reconocer adecuadamente sus características limnológicas; destacando dentro de ello sus características estructurales referentes a su morfología, sedimentación y batimetría. (Loza y Carpio et al. 2016).

1.1.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo afecta la biomasa a la pérdida del espejo de agua y el aumento de la biomasa en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019?

1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿De qué manera se caracteriza el espejo de agua y cómo influye en la delimitación del área de espejo de agua en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019?

¿Cómo se cuantificará el porcentaje de pérdida de espejo de agua, el año de mayor incremento y menor del índice de la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019?

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

En la investigación del análisis multitemporal del cuerpo de agua de la laguna el Sonso mediante imágenes satelitales. Nos indica que el comportamiento que se percibe en el cuerpo de agua habría tenido una evidente pérdida del cuerpo de agua por factores agropecuarios y ganaderos, en un periodo de 23 años, tuvo un incremento cerca del 8% en el año 2001, la laguna sufrió una caída de más del 28% para el año 2014 (Castañeda 2014).

En este trabajo de investigación de análisis multitemporal del espejo de agua del Dique de Anzulón a partir de imágenes satelitales LandSat. nos indica que las imágenes, son sometidas a procesos de corrección, se analizaron 26 momentos correspondientes al periodo comprendido entre los años 1990 y 2015, que reflejan la dinámica del espejo de agua del Dique de Anzulón. los resultados obtenidos para el periodo analizado, el máximo espejo de agua registrado se produjo en el año 2001 con 469,62 hectáreas. Por su parte, el mínimo se produjo en el año 2007 con un espejo de agua de 26,37 hectáreas. Del análisis realizado se puede inferir que la cuenca de aportes presentó severas condiciones de déficit hídrico como consecuencia de periodos de extremas sequías presentadas puntualmente durante los años 2007 y 2011 (Garay y Agüero 2017).

En la investigación de análisis multitemporal del espejo de agua del lago de Tota ubicado en el departamento de Boyacá, para los años 1989, 2001 y 2018. Nos indica, que a partir de un análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales Landsat 5, 7 y Sentinel 2A en los periodos 1989, 2001 y 2018. Con el fin de

evidenciar las afectaciones del cambio climático y los efectos antrópicos sobre las variaciones en el nivel de la superficie del lago. Los resultados evidenciaron la disminución del lago en un 2,65% desde el año 1989 hasta la actualidad (2018) con pérdidas significativas de 1,5 Km² y en perímetro disminución de 8. 620 m en la ronda hídrica del lago (Ordúz 2018).

En su investigación de la evaluación multitemporal del aumento de la superficie de vegetación acuática del embalse Daule Peripa. Manifiesta que entre los años 1993 y 2000 el espejo de agua disminuyó 4.231,60 ha (17%), la vegetación acuática en crecimiento aumentó 1.089,16 hectáreas (14,25%), y del mismo modo lo hizo la vegetación acuática madura 1.924, 13 hectáreas (37,41%), siendo estos valores los más elevados hasta el año 2014. Entre los años 2000 y 2014 la vegetación acuática en crecimiento disminuyó 249,30 hectáreas (2,90%) y la vegetación acuática madura también disminuyó 492,57 hectáreas (6,97%). En el transcurso de estos años a través de las imágenes se registró una disminución del espejo de agua de 330,90 hectáreas (2,60%). Con los resultados obtenidos se demuestra el efecto de aumento de vegetación acuática en estado de crecimiento y una pérdida del espejo de agua (Lopez 2015).

En este trabajo de investigación de análisis multitemporal del espejo de agua en la laguna de Fúquene para el periodo de 1985 a 2015. concluye que el área del espejo de agua de la laguna disminuyó del año 1985 al 2000 en 1001ha, es decir un 53.7% y del año 2000 al 2015 en 392 ha equivalente al 45.4%. Teniendo en cuenta esta información se puede evidenciar que la pérdida del espejo de agua es acelerada perdiendo casi la mitad de su área afectada cada quince años de manera progresiva. Teniendo en cuenta las referencias externas, la laguna contaba con 3,042 ha para el año 1947, tomando como base para la medición dicha área, el espejo de agua presentó una disminución del 38% en el año 1985, 71% en el año 2000 y un 84% a la fecha actual (Gonzales y Gonzales 1985).

En su investigación dinámica multitemporal de las coberturas y el espejo de agua en la laguna de Fúquene, en el periodo comprendido entre 1984 y 2003 se concluye que hubo una pérdida por encima de los 78.7 %. Espacialmente se estableció que la aparición y expansión de la vegetación acuática se ha dado desde las orillas norte y sur de la laguna. La disponibilidad restringida de imágenes de satélite no permitió establecer la tendencia actual de las áreas del espejo de agua y de las coberturas vegetales (Vidal y Perez 2017).

En su investigación de cambios en la cobertura vegetal y en el espejo de agua asociados a la influencia antrópica en el humedal Toqui-Toqui, Tolima, Colombia. Se ha observado mediante un análisis multitemporal en un periodo que va de 1969 a 2017, sobre la propagación de la cobertura vegetal en el espejo de agua, se evidencian cambios drásticos del ecosistema. Se evaluó la tendencia del espejo de agua, cuyo resultado es su pérdida total, especialmente cuando en julio del año 2017 se reportó el reemplazo del espejo de agua por vegetación acuática .(Sanchez 2018).

1.2.2 ANTECEDENTES NACIONALES

En su investigación determinó la deforestación entre los años 1986 y 2016 mediante técnicas de teledetección y SIG, distrito Sauce - Perú. Nos indica, una pérdida del 20,71% de la superficie de bosque y una tasa de deforestación anual de 1,11%. En el segundo período de 1995 – 2005, se observó una pérdida del 26,93% de la superficie de bosque, registrando las mayores tasas anuales de deforestación (1,22%). Finalmente, en el período (2005 – 2016) la pérdida de cubierta de bosque se incrementó al 29,36% y presentó una tasa anual de deforestación de (0,98%) (Rodriguez 2018).

En la investigación de la evaluación de las unidades de vegetación mediante sistemas de información geográfica y teledetección en pantanos de villa,

Chorrillos. Nos indica que se identificaron ocho unidades de vegetación, como Juncal 30.348 ha (11.527 %), Gramadal 84.436 ha (32.072 %), Totoral 74.338 ha (28.237 %), Acuática 1.706 ha (0.648 %), Carrizal 1.290 ha (0.490 %), Corta-corta 4.270 ha (1.622 %), Salicornial 0.677 ha (0.257 %) y área intervenida cuerpos de agua 66.202 ha (25.146 %). El Índice de vegetación del año 2004, 2008 y 2018, se clasificó en tres clases: a) la clase sin vegetación que en el año 2004 comprendió 1.296 ha (0.559 %) y al año 2018 fue de 38.748 ha (17.041 %), b) la clase vegetación mixta, que comprendió para el año 2004 fue de 100.240 ha (43.266 %) y para el año 2018 representó 148.344 ha (65.241 %) y c) la vegetación densa, que para el año 2004 fue de 130.146 ha (56.174 %) y para el año 2018 comprendió un área de 40.285 ha (17.717 %), la investigación concluye que la teledetección espacial tiene la capacidad de diferenciar 8 unidades de vegetación con diferentes fechas y con su porcentaje que define a cada una de ellas en los pantanos de Villa (Flores 2019).

En su investigación de la estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera 1986-2014. nos indican que los resultados entre los años 1986 y 2014 muestran una acelerada disminución de 660.5 y 1492.2 ha para las lomas normal y extraordinaria, respectivamente. Tomando en consideración los resultados obtenidos se propone conservar 2607.4 ha de cobertura vegetal de lomas. Asimismo, comparó las cartografías de su investigación y de los instrumentos normativos, lo cual evidenció la mejor precisión (Miyasiro y Ortiz 2016).

En el trabajo de investigación dinámica multitemporal del río Piura aplicando teledetección, Nos indica que se utilizó 2 imágenes satelitales del sensor Landsat 5 TM, 8 imágenes satelitales del sensor Landsat 7 ETM y 2 imágenes satelitales del sensor Sentinel 2, obteniendo los resultados que se muestran con la aplicación

de la teledetección y la técnica de análisis multitemporal son efectivos para el cálculo del área que llegó a cubrir el agua en los márgenes del río Piura, obteniendo como resultado un área mínima de 39.776 ha y un área máxima de 134.054 ha. Se validó con la prueba estadística de “Chi Cuadrado” con una exactitud de 95%, calculando un valor Chi Cuadrado de 63.778. Se evidencia una pérdida de superficie de agua en los márgenes del afluente según los datos obtenidos (Montaño 2019).

El trabajo de investigación sobre el estudio de floraciones algales mediante indicadores de concentración de clorofila y la temperatura superficial en el embalse de Condorama utilizando técnicas de teledetección. nos indica que los resultados obtenidos fueron analizados con los datos brindados por los sensores remotos para formular una ecuación que permita estimar el contenido de clorofila -a y temperatura superficial, estableciendo un sistema de vigilancia satelital de floraciones algales en el embalse de Condorama mediante la sucesión de imágenes y su posterior análisis. El ajuste tiene un valor de $R^2 = 0.8569$. Se trata de un ajuste que permite mostrar tendencias de los niveles de clorofila a partir de la variación del MCI. En los datos obtenidos muestra la concentración de clorofila por la reflectancia obtenida en los sensores y existiendo floraciones algales y que las técnicas de teledetección brindan datos contundentes (Rodríguez 2019).

1.2.3 ANTECEDENTES LOCALES

En la investigación de análisis multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de Puno mediante Imágenes satelitales, en los Años 1980 – 2017, nos indica que el crecimiento urbano en los periodos de 1980 al 2017, se obtuvo 1149.3881 hás que representa el 15.58 % del total del área urbana dando como promedio el 31.0645 hás/año. Conclusiones, se determinó que el proceso de crecimiento urbano por los dos métodos de clasificación en la prueba del t student con niveles de significación de $\alpha = 0.01$ y $\alpha = 0.05$, son estadísticamente iguales,

correlacionando el crecimiento poblacional y crecimiento espacial urbano según el coeficiente de correlación Pearson se tiene un valor de 0.947 significa que existe una relación muy significativa y una correlación positiva muy alta y en los métodos Kendall y Spearman resultó 1.000** significa que existe una correlación positiva perfecta, la obtención de nivel de exactitud temática es casi perfecta, el coeficiente de Kappa se ha situado entre 0.87 a 0.99 y la precisión global entre 89.81% a 99.02% y en los errores de omisión y comisión resulta que en la clase de área urbana tiene en promedio de error de omisión de 7.02 % y el error de comisión es 2.15 % de la clase del área urbana (Carrillo y Choquehuanca 2019).

En la investigación que se realizó al río Coata, que se encuentra entre las provincias de Lampa, San Román y Puno, nos indica que el objetivo fue determinar el grado de correlación entre la dinámica espacial de los bofedales durante los años de 1984 a 2016 y los factores climáticos como precipitación acumulada y temperatura máxima , concluye que tuvo como resultado, que el factor climático que más influye en el comportamiento de las bofedales es la temperatura máxima, debido a que el coeficiente de correlación resultó ($R^2 = 0.46$) lo que evidencia que existe una relación significativa. Se concluye que a medida que la temperatura máxima anual aumenta, la extensión superficial de los bofedales disminuye, lo que implica que, uno de los factores en el comportamiento de los bofedales es el cambio climático (Gutierrez 2018).

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la pérdida del espejo de agua y la biomasa en la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar y delimitar el área de espejo de agua en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019.

Cuantificar el porcentaje de pérdida de espejo de agua, en la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La Bahía Interior de Puno, presenta una marcada eutrofización por la presencia de nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P) a causa del ingreso directo de aguas residuales en la BIP. esto tiene un efecto en el incremento de la biomasa como la lenteja de agua (*Lemna gibba*) y la totora (*Schoenoplectus californicus*), como lo demuestran las investigaciones realizadas por organismos gubernamentales y sociales, se hace necesario las iniciativas de investigación y evaluación de los procesos en diferentes periodos de tiempo, en los ecosistemas vulnerables como la BIP. y generar resultados de utilidad para la conservación del recurso y su remediación, mejorar las condiciones ambientales para las especies que alberga la BIP. y mejorar la calidad de vida para los habitantes.

En tal sentido se realizará un estudio multitemporal en la Bahía Interior de Puno, mediante imágenes satelitales obtenidas del landSat 5,7 y 8, correspondientes a los años 1984 a 2019, teniendo en consideración las variables medibles que caracterizan la BIP, para obtener datos sólidos que contribuirán a la investigación de la pérdida de

espejo de agua por la presencia de la biomasa, en distintas fechas, lo cual no se cuantificó hasta el momento el área de la BIP.

El trabajo de investigación permitiría resolver la pérdida del espejo de agua por la biomasa, identificando las clases en porcentajes y su respectivo comportamiento en el tiempo, la presencia de la biomasa causaría el efecto de apantallamiento impidiendo que los rayos solares inciden en el cuerpo de agua con llevando a la pérdida de hábitat, malos olores, presencia de vectores, incremento de la DBO_5 y DQO.

El motivo de la realización de este proyecto era poner en práctica la teledetección espacial y los sistemas de información geográfica, mediante el software ArcGIS 10.4 versión student gratuita, por los costes, tiempo, extensión que abarca una sola escena y el acceso público que se tiene a las imágenes satelitales, la cual se viene aplicando en la actualidad en temas de medio ambientales.

La relevancia del proyecto de investigación es conocer el porcentaje de pérdida de espejo de agua, lo que daría como bioindicador de la presencia de la lemna y la totora, exceso de nutrientes N, F, característica propia de la eutrofización.

El proyecto de investigación beneficia a la población circunlacustre de la ciudad de Puno y a los investigadores, zonificando las áreas donde se produce el mayor incremento de biomasa, olores, vectores, para la toma de decisiones como la remediación, infraestructura adecuada como las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), y normar el uso componentes químicos que contengan exceso de N, P.

La investigación se llevará a cabo mediante una clasificación supervisada utilizando imágenes satelitales LandSat (5,7,8), las escenas serán sometidas a un proceso de corrección, y una respectiva combinación de bandas multiespectrales de color natural 4, 3, 2 y 5, 6, 2 que permitirá analizar la vegetación en el espejo de agua de la BIP.

Se realizará la clasificación de cada una de las escenas para observar la dinámica de la BIP. con lo cual se podrá demostrar que a lo largo de los años habrá comportamientos fluctuantes en cuanto a su superficie de agua y la biomasa.

El análisis de las imágenes satelitales representará un instrumento de identificación de las fluctuaciones del espejo de agua de la BIP, ya que es una herramienta que permite ver las variaciones y pronósticos de eventos de diferentes coberturas de la tierra permitiendo calcular el porcentaje de cambio a través del tiempo.

La pérdida del espejo de agua en la BIP. mediante la percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG), será posible comparar las variaciones encontradas con los balances del espejo de agua y de la biomasa de la BIP. y así se complementará los análisis tradicionales del estado de los recursos hidrológicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO

La bahía interior de Puno, es un espejo de agua más o menos cuadrado situado detrás de los promontorios de Chulluni y Chimú. Aunque el estrecho entre estos promontorios es de casi 4 km de ancho, la mayor parte se encuentra bloqueada por extensos totorales (juncos) dejando solamente abierto un angosto canal de más o menos 300 m de ancho, cerca de Chimú, que comunica con la bahía exterior de Puno. Este canal, con una profundidad de 6 a 7 m se extiende hacia Puno por unos 4 km aproximadamente antes de abrirse en una cubeta pequeña cuya profundidad máxima es algo más de 7 m. La profundidad media de la bahía interior de Puno es de 2.7 m y el volumen de 43.7 millones de m³(Northcote 1991)

El lago Titicaca, fue reconocido por la Convención RAMSAR como Humedal de Importancia Internacional el 20 de enero de 1997. Se realizó el presente estudio. Con el objetivo de elaborar una línea base de la diversidad biológica del sitio RAMSAR Lago Titicaca en 7 sectores priorizados (Moho, Conima, Capachica, Juli, Pomata, Chucuito, y Taquile), se identificaron las amenazas a la conservación de los recursos de flora y fauna silvestre, se propuso mecanismos de intervención para contrarrestar las amenazas a los componentes identificados en cada sector

priorizado y se identificó modalidades de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales por localidades.

a) Socioeconómicas

El departamento de Puno, presenta altos niveles de pobreza (56%) y extrema pobreza (23,9%), expresada en la carencia de las necesidades básicas como la de agua potable , desagüe , alcantarillado , esta situación aún no ha sido revertida, pese a las acciones y esfuerzos que vienen realizando las diversas instituciones públicas y privadas; caso del Programa Nacional de Apoyo Directo a los las Pobres “JUNTOS”, Programa Nacional de Asistencia Solidaria Pensión 65, programa y prioridades de Salud, Programa de Cooperación Perú– UNICEF, Fondo Nacional de Compensación para el Desarrollo Social – FONCODES, QALIWARMA, CUNA MÁS, Programa Sierra Sur, Programas de Vaso de Leche y otros.

b) Culturales

Las prácticas ancestrales de manejo de totora desarrollados por el grupo originario Uro ubicado en el Lago Titicaca, fue declarado por el Ministerio de Cultura como Patrimonio Cultural de la Nación, en tanto estos elementos del patrimonio cultural inmaterial demuestran la capacidad creativa de este grupo para su adaptación al hábitat mediante soluciones originales, construyendo una expresión de la identidad cultural del referido grupo Uro.

2.1.2 BIOMASA

Dado que la vegetación acuática es relativamente dinámica, los cambios cuantitativos y espaciales en la diversidad de las macrófitas en ecosistemas de humedales pueden ayudar a entender su funcionamiento y los mecanismos responsables de su estabilidad (Sugier y Lorens 2011).

Muchas comunidades de macrófitas se caracterizan por altas tasas de crecimiento y rápida acumulación de biomasa (Silva et al. 2008).

El crecimiento de las poblaciones de macrófitas puede variar ampliamente de un año al otro, observándose fluctuaciones en sus coberturas debido a cambios hidrológico climáticos de las cuencas de captación y a factores ambientales de los sistemas acuáticos (Braga et al. 1999).

La lenteja de agua, asimila los nutrientes que luego libera en la descomposición de la materia orgánica, presente en los cuerpo de agua de la BIP.

La biomasa como la lenteja de agua, es una planta muy pequeña que florece y tiene una estructura muy simple. No presenta un tallo separado de las hojas, sino que posee una fusión de ambas, llamada fronda con tamaño que varía entre 0,12 cm de diámetro, la cual forma el material flotante de la planta que hace que esta se extienda sobre la superficie del agua, cada fronda tiene dos zonas que alternadamente producen nuevas frondas. La tasa de reproducción relativa de la lenteja de agua puede estar entre 0,1 y 0,54 día⁻¹, lo cual significa que, en condiciones ideales pueden doblar su biomasa en dos días (Mollocondo 2015).

El estudio de: "Evaluación de la biomasa y manejo de la *lemna gibba* (lenteja de agua) en la bahía interior del lago Titicaca, Puno", nos dice: que uno de los mayores problemas que presenta la ciudad de Puno es: la presencia de la lenteja de agua (*lemna gibba*) en la bahía interior del lago Titicaca, debido al proceso de eutrofización que sufre a causa del mal tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno, en este trabajo el autor propone un uso sostenido de la lenteja, para ello estima el volumen de biomasa (kg/m²) y plantea un manejo de disminuir el proceso de eutrofización (Canales 2010).

2.1.3 EUTROFIZACIÓN

El término eutrofización se define como el enriquecimiento de nutrientes en sistemas acuáticos, el cual promueve el aumento en la densidad del fitoplancton. Este fenómeno provoca cambios en la diversidad del cuerpo de agua generando una pérdida de la calidad del agua así como condiciones anóxicas. El fenómeno ocurre de manera natural a lo largo de la vida de los lagos, aunque se requieren miles de años para que suceda. Las actividades humanas han inducido la transformación de cuerpos de agua a su estado eutrófico a través de la descarga de residuos, lo cual genera un gran problema de contaminación ambiental en muchos sistemas acuáticos alrededor del mundo (García 2021).

El problema de la bahía interior de Puno es mucho más grave ya que abarca una extensa región y porque se va intensificando debido al fuerte crecimiento de la población de Puno y de sus alrededores. Es poco dudoso que los problemas de eutrofización y de contaminación de las aguas que ocurren allí son causados principalmente por los aportes de las aguas residuales domésticas que se vierten en numerosos puntos de la orilla (Northcote 1991).

Se evaluó la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titicaca, correspondientes a cuatro sitios donde se presentan procesos eutróficos localizados, debidos a las diferentes actividades productivas (ganadería, agricultura, cría de peces y turismo). Se comparó la equitatividad de la comunidad para cada caso. Los resultados mostraron un avance diferencial en el desarrollo del proceso de eutrofización, en función a la diversidad de cada sitio y a la predominancia de géneros clave (Rada, Molina, y Richard 2006).

El lago Titicaca, es parte de esta problemática. El acelerado crecimiento demográfico, de las poblaciones ribereñas y el aumento de la carga turística en la región (sin una planificación adecuada), ha incrementado significativamente la

cantidad de residuos sólidos y líquidos que se descargan a las aguas del Titicaca, lo contaminan y propician la aparición de procesos eutróficos (Northcote 1991).

2.1.4 ECOSISTEMAS ACUÁTICOS Y ESPEJOS DE AGUA

Un ecosistema es un sistema natural que está formado por un conjunto de organismos vivos (biocenosis) y el medio físico donde se relacionan (biotopo).

Un ecosistema es una unidad compuesta de organismos interdependientes que comparten el mismo hábitat. Los ecosistemas suelen formar una serie de cadenas que muestran la interdependencia de los organismos dentro del sistema. También se puede definir así: un ecosistema consiste de la comunidad biológica de un lugar y de los factores físicos y químicos que constituyen el ambiente abiótico.

Espejo de agua, superficie donde se observa la presencia de agua sin presencia relevante de vegetación. En esta categoría los colores varían del azul oscuro al negro, y los bordes del polígono y tienden a ser irregulares (Vidal y Perez 2017).

Polígonos y polilíneas son usados para delimitar, medir los espejos de agua y cuerpos de agua, es la forma en la cual se calcula el porcentaje en los sistemas de teledetección espacial.

2.1.5 TELEDETECCIÓN

La teledetección tiene por finalidad perennizar imágenes, para un tratamiento y análisis digital tomadas desde satélites artificiales, con esta información se pueden analizar grandes superficies de agua con tiempos y costes relativamente bajos. De esta manera supone una atractiva alternativa al estudio de los ecosistemas acuáticos, desde pequeños lagos hasta grandes masas de agua como mares u océanos. Permite la creación de modelos digitales, ya que facilita una forma de respuesta ágil y bajos costes de operatividad a la necesidad de gestionar un recurso como el agua.

Estos sensores cuentan con un nivel de detalle de 30 metros y con una resolución radiométrica de 8 bits para Landsat 4, 5 y 7, y de 12 bits para Landsat.

La teledetección remota de microondas proporciona una capacidad única para mapear el área de inundación y delinear los límites de agua en grandes áreas de la superficie terrestre de la Tierra.(Alsdorf, Rodríguez, y Lettenmaier 2007).

La teledetección o percepción remota, es una técnica mediante la cual se obtiene información digital de las diversas coberturas situados sobre la superficie de la tierra, desde una cierta distancia, sin necesidad de entrar en contacto directo con ella, por medio de reflexión, emisión o por emisión reflexión (Martinez y Diaz 2005).

Las Imágenes LandSat permiten la identificación y caracterización de los principales cuerpos de agua de la Región de los Llanos de La Rioja mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales son un insumo que permite obtener resultados favorables respecto a proyectos de tipo investigativo, sobre todo en la parte ambiental. La utilización de este tipo de imágenes se plantea teniendo en cuenta que son de uso público y sus características permiten ser mejoradas espacial y espectralmente con programas SIG (Garay y Agüero 2017).

Los estudios y/o análisis multitemporales permiten divisar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo las transformaciones del medio natural o las consecuencias de la acción humana sobre ese medio (Martinez y Diaz 2005).

El cruce digital de las imágenes permite detectar las coberturas que han tenido cambio y cuantificar las coberturas que ganan o pierden área, ya que se supone que la pérdida de área para una determinada clase corresponde a la sustitución de la misma por otra cobertura.

ARCGIS 10.4, tiene las últimas herramientas de procesamiento y análisis, entre ellas la de clasificación supervisada la cual se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento. Se trata de áreas de las que se conoce a priori la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las clases.

Se le llama supervisada porque se realizará el procedimiento entrenando la clasificación con nuestros conocimientos sobre las clases. Es un proceso en el que píxeles de identidad conocida, ubicados dentro de las áreas de entrenamiento, se utilizan para clasificar píxeles de identidad desconocida.

Un sistema de Información Geográfica (SIG) puede ser automatizado o manual, que incluye personas, máquinas y otros métodos organizados para la recopilación, procesamiento, transmisión y distribución de datos que representan información de utilidad (Lloret y Olivella 2017).

La integración de la sensorización remota y de los sistemas de información geográfica (SIG) han permitido el monitoreo y la evaluación de cambios espaciales y temporales de las coberturas en diferentes lugares del mundo (Sexton et al. 2013).

Hoy en día, la disponibilidad de imágenes de satélite de alta resolución, tanto temporal como espacial, permite analizar la variabilidad del agua almacenada en un determinado ecosistema en relación con aspectos clave como la susceptibilidad a inundaciones o la presencia de algún tipo de disturbio (Sawaya, Olmanson, y Heinert 2003).

La sensorización remota se ha convertido en una técnica alternativa útil y eficiente para monitorear y evaluar la dinámica permanente a que se ven expuestos los cuerpos de agua en diferentes lugares del mundo. La utilización de este método se ha visto potenciado por la creciente disponibilidad de imágenes satelitales

multitemporales con resoluciones moderadas a altas durante las últimas tres décadas (Bastawesy, Khalaf, y Arafat 2008).

En la actualidad la tecnología ha provisto de métodos modernos y precisos que facilitan la obtención de información ecológica y limnológica de diferentes tipos de ecosistemas, siendo los Sistemas de Información Geográfica (SIG) los de mayor relevancia y aplicabilidad. El uso de equipos automatizados para medir la morfología y sedimentos de los lagos en comparación con métodos tradicionales, ahorra tiempo y ofrece mayor precisión (Lombardo 2014).

Entre las imágenes satelitales provenientes de sensores multiespectrales, aquellas de resolución media (tamaño de pixel = 30m) como las obtenidas de las plataformas Landsat at TM y Landsat ETM+, permiten estimar la cobertura de sistemas acuáticos completos y son adecuadas para detectar parches de vegetación acuática (Albright y Ode 2011).

Las especies pueden ser identificadas basándose en las diferencias de sus perfiles de reflectancia a lo largo del espectro (Figura 5). Las plantas muestran firmas espectrales que difieren fuertemente en comparación a otros elementos del paisaje (agua o áreas desprovistas de vegetación) (Marshall y Lee 1994).

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Biomasa: se refiere a la cantidad de materia viva existente por unidad de volumen o por unidad de superficie, otra forma de empezar biomasa puede ser como peso de algún elemento característico de la vida (Margalef 1983).

Precipitación: es importante contribuir a mantener el balance atmosférico. Si no hay precipitación, el planeta sería un desierto. La precipitación contribuye a la flora, a las siembras y nos proporciona líquido vital para el desarrollo del hombre y animales. Por otro lado, mucha lluvia puede ocasionar inundaciones severas, daños en el ámbito rural y en lugares urbanísticos (Davis y Masten 2005).

Teledetección espacial: hace uso de las imágenes de satélite como un insumo de datos para extraer información del medio geofísico y geográfico (Martinez y Díaz 2005).

Totora: es una de las macrophytas y tiene presencia en la bahía interior de Puno pues constituye 275,900 toneladas métricas de materia seca, que constituye el 72% de biomasa explotable y 47% del porcentaje de biomasa total (Galiano 1997).

2.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL

La pérdida del espejo de agua presente en la Bahía Interior de Puno, está relacionado ampliamente con el incremento de la biomasa durante el periodo 1984 al 2019.

2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

La clasificación del espejo de agua de la Bahía Interior de Puno está relacionada con la delimitación de las técnicas de Teledetección espacial y de los Sistemas de información Geográfica, en el periodo 1984 al 2019.

El porcentaje de pérdida del espejo de agua está relacionado con el mayor incremento y menor índice de la biomasa con las técnicas de la Teledetección espacial y de los Sistemas de información Geográfica en el periodo 1984 al 2019.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está ubicada en la ciudad de Puno, abarca la Bahía Interior de Puno (BIP), se ubica en la parte Nor – Oeste del lago Titicaca y sus límites al Norte son con el sector Huaje y la Universidad Nacional del Altiplano, por el Sur con las localidades de Chimu y Jayllihuaya, por el Este se ubica la línea imaginaria de unos 4 km que une los promontorios de Chimu y Chulluni (Morales, 1991) a 3810 msnm. ubicada entre las coordenadas: 15° 48' 57" y 15° 51' 35" de latitud sur y 69° 57' 13" y 70° 01' 15" de latitud oeste.

La Bahía Interior de Puno (BIP), es una porción que no supera el 1% de todo el lago, de sus 16.88 km² valorados. Es de poco flujo cerrada y somera.

Al este de la bahía, el acceso se encuentra bloqueado por extensos totorales dejando abierto un canal de aproximadamente 30 m de ancho cerca de Chimú que la une a la bahía grande, este canal tiene una profundidad de 6 a 7 m; también, existe otro canal de navegación que conduce hacia las islas flotantes de los Uros, localizado en parte noreste de la bahía en las proximidades de la isla Esteves, que tiene una profundidad media variable de 1 a 4 m.



Figura 01. Área delimitada del Proyecto de la Bahía Interior de Puno (BIP).

El lago Titicaca, al ser el colector de todas las aguas provenientes de los ríos como Ramis, Huancané, Coata, Ilave, Suches, también, se ve afectada por la presencia de los relaves mineros.

Las concentraciones de DBO_5 , coliformes totales y termotolerantes encontradas evidencian zonas del lago que se encuentran muy por encima de los parámetros permisibles, especialmente donde existen afluentes y poblaciones cercanas a la orilla del lago Titicaca, por lo cual es necesario poner especial atención a estas zonas e implementar un sistema de monitoreo, a fin de descartar si se trata de fuentes de contaminación permanentes, que indican procesos de contaminación en las zonas litorales del lago Titicaca evaluadas, poniendo en riesgo la estabilidad del ecosistema.

La quema de los totorales y pastizales que se ocasionan por accidentes antropogénicos o creencias ancestrales atentan contra la biodiversidad existente en ella, porque en esta se queman huevos de aves y se produce la muerte de polluelos, así como los huevos desovados por los peces nativos.

Además, ocasiona cambios en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, teniendo efectos negativos para especies de flora y fauna silvestre sensible a los cambios de temperatura, pH y elementos químicos del suelo.

3.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

Está constituida por las imágenes satelitales correspondientes a la Bahía Interior de Puno, con (36) escenas digitales.

3.2.2 MUESTRA

Está constituida en los períodos 1984 al .2019, por la Bahía Interior de Puno (BIP), con un área de 16.88 km².

3.3 METODOS Y TECNICAS

3.3.1 Caracterización y delimitación del área de espejo de agua en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019.

Para cumplir el primer objetivo específico se caracterizó y delimitó el área de espejo de agua en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019 utilizando el software ArcGIS 10.4 versión student gratuita, donde se realizó una imagen por cada año desde el año 1984 al 2019, en total se realizó 36 imágenes y fue de la siguiente manera:

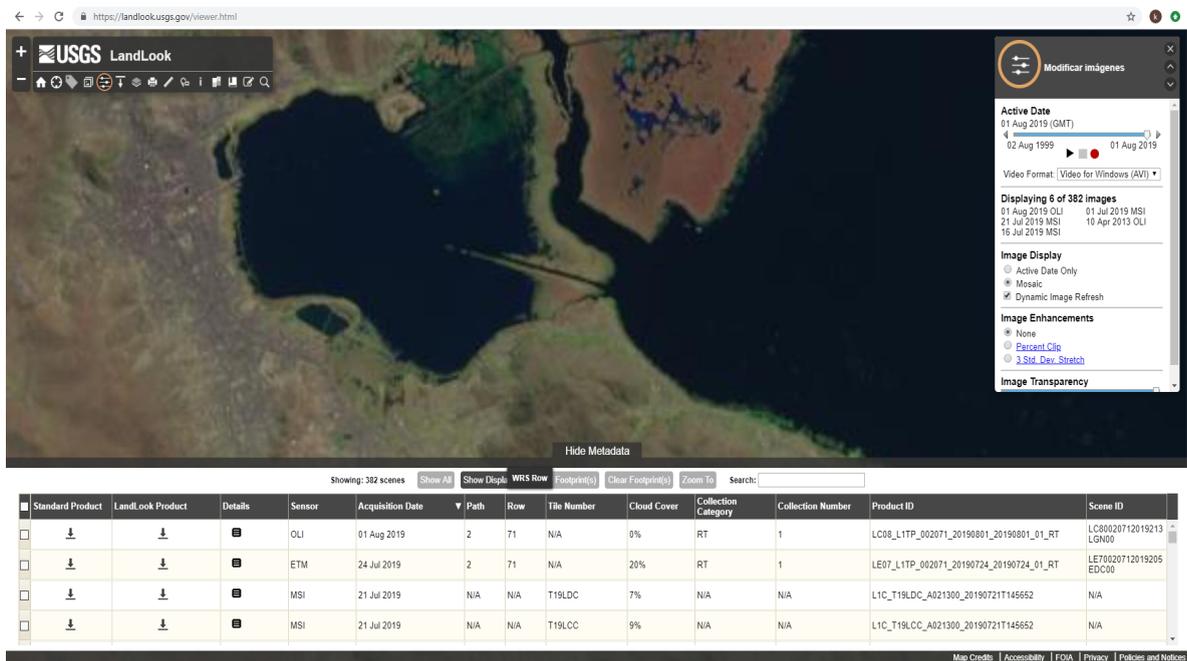


Figura 02. Ubicación de la bahía interior de Puno, descarga IMG de Google Earth.

3.3.2 La clasificación supervisada de imágenes satelitales mediante firmas espectrales: método de máxima verosimilitud.

Segundo. la clasificación supervisada que permitió explorar diferentes tipos de atributos o clases por medio del análisis estadístico multivariado, este proceso identifica los valores de cada píxel de una o varias bandas de una imagen ráster, crea y evalúa las clases o clúster (firmas), finalmente se clasifica de acuerdo a las probabilidades de cada clase. Este procedimiento es muy práctico para crear de forma automática un mapa de uso del suelo o de cobertura vegetal.

Insumos: la imagen satelital del área de la Bahía Interior de Puno (Landsat 5,7,8)

- Software de Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 10.4)
- Primero debemos crear un compuesto en falso color mediante la combinación de las bandas roja, verde y azul.

Como primer paso se requiere contar con una imagen ráster de la Bahía Interior de Puno, y un shapefile de puntos, los pasos efectuados se listan seguidamente.

3.3.3 Clasificación supervisada con ArcGIS 10.4

La clasificación supervisada en ArcGIS 10.4 permite clasificar el ráster por medio de cada píxel de una celda, es necesario tener conocimiento previo de las clases del área de estudio de la Bahía Interior de Puno y se clasificó los componentes como la biomasa (lenteja y totora), suelo, laguna de estabilización y espejo de agua, en la zona de influencia. Se debe marcar puntos y asignar un valor numérico para cada clase.

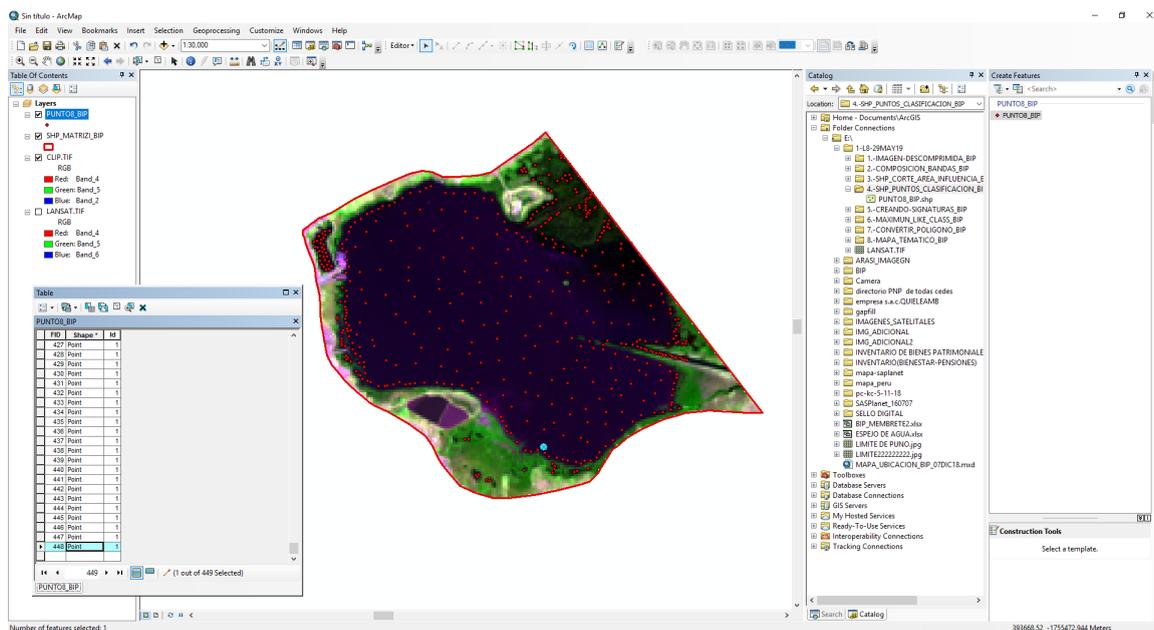


Figura 03. Asignación numérica por clases.

Posteriormente se genera y guarda una firma espectral con la herramienta **Create Signatures**. - ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Multivariate > Create Signatures
 Con la herramienta **Maximum Likelihood Classification** usar la imagen ráster y el shapefile con el campo de los valores numéricos de cada clase.

- ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Multivariate > Maximum Likelihood Classification

Podemos definir esta clasificación como un proceso en que píxeles de identidad conocida, ubicados dentro de las áreas de entrenamiento, se utilizan para clasificar píxeles de identidad desconocida. La clasificación supervisada involucra las siguientes etapas: Etapa de entrenamiento. Selección del algoritmo de clasificación adecuado y clasificación. Operaciones de post clasificación. En la etapa de entrenamiento el analista selecciona áreas de identidad conocida de la cubierta terrestre de interés (cultivos, forestaciones, suelos, etc.) alineándose sobre la imagen digital bajo formas de rectángulos o polígonos cuyos datos numéricos quedan archivados en la computadora como regiones de interés constituyendo los “datos de entrenamiento”. Para realizar la selección el analista debe tener un conocimiento previo del área de estudio, sea por reconocimientos de campo sea por consulta de mapas, fotografías aéreas, etc. Una vez que se dispone de un conjunto de estos datos de entrenamiento debe tratarse de adjudicar cada uno de los píxeles de la escena a alguna clase. Entre los algoritmos hay, clasificador por mínima distancia, por paralelepípedos y por máxima probabilidad Fig. 05.

3.3.4. Por máxima probabilidad método de máxima verosimilitud.

Es un algoritmo paramétrico que, a diferencia de los anteriormente considerados (no paramétricos) asume distribución estadística particular para las clases consideradas. El clasificador de máxima probabilidad es uno de los más empleados en la clasificación supervisada y utiliza un modelo probabilístico, comúnmente la distribución gaussiana para formular sus reglas de decisión en la categorización de los píxeles. Los parámetros necesarios para el modelo, como la media y la matriz de covariancia se obtienen de los datos de las áreas de entrenamiento Fig. 06.

Tabla 01. Sistema geodésico para la bahía interior de Puno.

Sistema Geodésico	Parámetros
Proyección	Universal transversal Mercator (UTM)
Datum	WGS 1984
Elipsoide	WGS 1984
Zona	19 South

Fuente: Instituto Geográfico Nacional del Perú, Normas Técnicas (2011).

3.3.5 Porcentaje de pérdida de espejo de agua, en la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019.

Se realizó el cumplimiento del segundo objetivo específico donde se cuantificó el porcentaje de pérdida de espejo de agua, en la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019.

Se efectuó un análisis multitemporal de las zonas estables, también la cobertura original y la actual, lo que indicó las tendencias de porcentaje en el cambio de la zona de estudio de la BIP.

Se observó la vegetación acuática situada sobre la superficie de la BIP, sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre la vegetación y el sensor, en este caso la interacción va a ser el flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor, dentro de la teledetección es posible usar una serie de técnicas dependiendo de las características de la imagen del satélite.

En la composición multitemporal explica que está técnica de detección que se basa en la comparación visual de los tonos o colores que ofrecen dos o más imágenes de distintas fechas se aplica previamente en alguna técnica de realce de color o transformaciones como índices de vegetación. Posteriormente se

realizan composiciones multitemporales en color con esas bandas (Arozarena, 2001).

Según Jensen (2000), la clasificación supervisada es una técnica que trata de delimitar cambios a partir de clasificaciones que deben abordarse con doble enfoque, el primero comparando imágenes clasificadas y el segundo clasificando conjuntamente las imágenes de las dos fechas.

Según Mera (2013), es uno de los métodos usados para transformar datos de imágenes multiespectrales en clase de información temática.

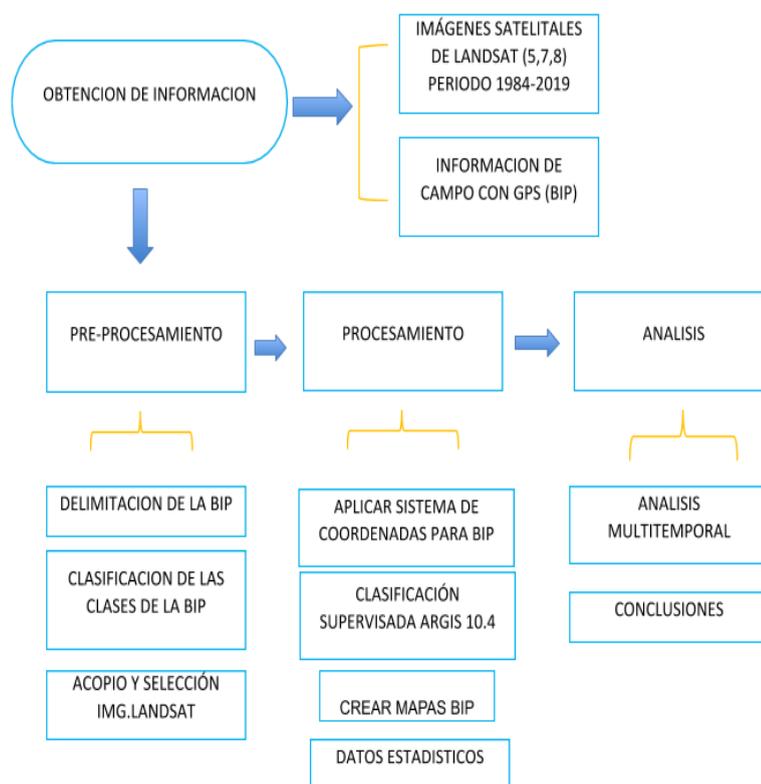


Figura 07. Flujograma del Proyecto en la BIP.

3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 02. Operacionalización de variables.

Variable de estudio	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
INDEPENDIENTE			
Pérdida de espejo de agua de la bahía Interior de Puno BIP.	Bahía interior de Puno	Espejo agua	Escenas digitales
		Laguna estabilización	
		Lenteja	
		Suelo	
		Totora	
DEPENDIENTE			
Análisis de la biomasa	Biomasa	Espejo de agua	%
		Laguna de estabilización	%
		Lenteja	%
		Suelo	%
		Totora	%

3.5 MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño del estudio es de tipo correlacional descriptivo, el diseño de la investigación es no experimental descriptivo correlacional y el método es inductivo cuantitativo, ya que se basó en la observación del fenómeno.

También encontramos que el estudio es no experimental, porque no se realizó ninguna clase de control o intervención por parte del estudiante en las variables estudiadas y mucho menos un tratamiento experimental, sino que se basó en imágenes satelitales

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON

El coeficiente de correlación de Pearson (1896) es, quizá, el mejor coeficiente y el más utilizado para estudiar el grado de relación lineal existente entre dos variables cuantitativas. Se suele representar por r y se obtiene tipificando el promedio de los

productos de las puntuaciones diferenciales de cada caso (desviaciones de la media) en las dos variables correlacionadas.

$$r_{xy} = \frac{Cov(x,y)}{s_x s_y} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}} \sqrt{\sum \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n}}}$$

Siendo:

n = la cantidad de sujetos que se clasifican

Cov: covarianza de x e y

s_x s_y : desviaciones estándar de x e y

El coeficiente de correlación de Pearson toma valores entre -1 y +1: un valor de 1 indica relación lineal perfecta positiva; un valor de -1 indica relación lineal perfecta negativa (en ambos casos los puntos se encuentran dispuestos en una línea recta); un valor de 0 indica relación lineal nula. El coeficiente r es una medida simétrica: la correlación entre x_i e y_i es la misma que entre y_i e x_i .

Hipótesis

H_0 : X y Y no están relacionados (son independientes).

H_1 : X y Y están relacionados (son dependientes).

Valor p de significación de r

Es necesario tener en consideración la significancia del valor de r , dada por el valor de p que lo acompaña. Cuando el valor de p es menor que 0.05, se puede concluir que la correlación es significativa, lo que indica una relación real, no debida al azar.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La interpretación y discusión de los resultados obtenidos son los siguientes:

4.1.1 Caracterización y delimitación del área de espejo de agua en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019.

Se caracterizó y se delimitó los porcentajes del espejo de agua, lenteja, totora, suelos y lagunas de estabilización desde el año 1984 a 2019, son un total de 36 figuras.



Figura 08. Bahía interior de Puno clasificación julio de 1984.



Figura 09. Bahía interior de Puno clasificación julio de 1985.



Figura 10. Bahía interior de Puno clasificación julio de 1986.

En la figura 09 y 10 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 81.83% y 89.5%, en laguna de estabilización 0.85% y 1%, lenteja en 7.19% y 3.12%, suelo en 3.67% y 3.35% y de totora en 6.4% y 2.91% en comparación con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se incrementó en espejo de agua, laguna de estabilización y disminuyó en lenteja, suelo y totora.



Figura 11. Bahía interior de Puno clasificación octubre de 1987.



Figura 12. Bahía interior de Puno clasificación octubre de 1988.

En la figura 11 y 12 se muestra el comportamiento en porcentaje de espejo de agua 84.76% y 86.52%, en laguna de estabilización 0.91% y 0.81%, lenteja en 3.54% y 1.9%, suelo en 4.82% y 3.5% y de totora en 5.91% y 7.17% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, qué fue de 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que incrementó el porcentaje en espejo de agua, lenteja y disminuyó en laguna de estabilización, suelo y totora.



Figura 13. Bahía interior de Puno clasificación setiembre de 1989.



Figura 14. Bahía interior de Puno clasificación setiembre de 1990.

En la figura 13 y 14 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 80.56% y 78.38%, en laguna de estabilización 0.65% y 0.63%, lenteja en 2.65% y 3.50%, suelo en 5.36% y 5.99% y por último de totora en un 10.75% y 11.42% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue de 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que incrementó el porcentaje en lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua, laguna de estabilización.



Figura 15. Bahía interior de Puno clasificación julio de 1991.



Figura 16. Bahía interior de Puno clasificación mayo de 1992.

En la figura 15 y 16 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 75.58% y 72.71%, en laguna de estabilización 0.53% y 0.8%, lenteja en 7.41% y 4.7%, suelo en 6.11% y 7.48% y de totora en 10.29% y 10.23% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue de 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que aumentó en lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua y laguna de estabilización.



Figura 17. Bahía interior de Puno clasificación junio de 1993.



Figura 18. Bahía interior de Puno clasificación julio de 1994.

En la figura 17 y 18 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 65.19% y 59.47%, en laguna de estabilización 0.8% y 0.79%, lenteja en 13.22% y 18.16%, suelo en 8.91% y 7.24% y de totora en 11.83% y 14.18% en comparación con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se aumentó en lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua, laguna de estabilización.

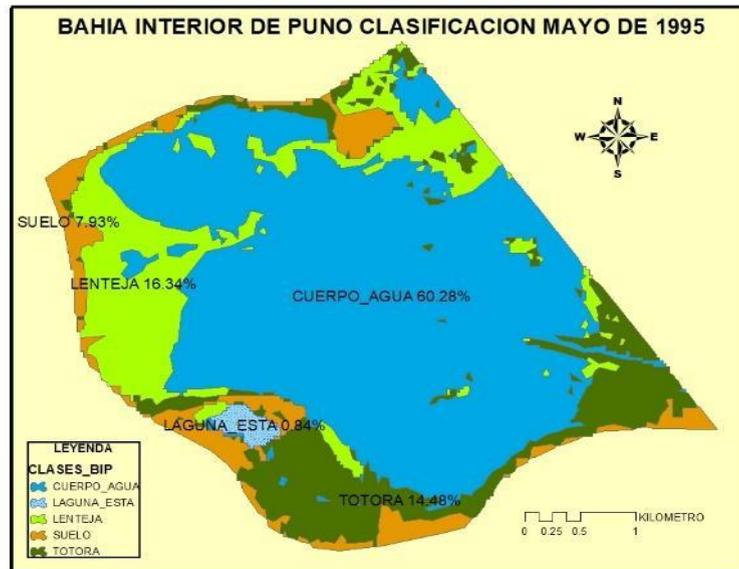


Figura 19. Bahía interior de Puno clasificación mayo de 1995.



Figura 20. Bahía interior de Puno clasificación mayo de 1996.

En la figura 19 y 20 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 60.28% y 40.47%, en laguna de estabilización 0.8% y 0.79%, lenteja en 13.22% y 18.16%, suelo en 8.91% y 7.24% y de totora en 11.83% y 14.18% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue de 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que aumentó el porcentaje en lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua, laguna de estabilización.



Figura 21. Bahía interior de Puno clasificación junio de 1997.



Figura 22. Bahía interior de Puno clasificación julio de 1998.

En la figura 21 y 22 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 66.16% y 47.59%, en laguna de estabilización 1.03% y 1.44%, lenteja en 9.03% y 23.97%, suelo en 8.04% y 9.12% y de totora en 15.65% y 18.06% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue de 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que aumentó el porcentaje en laguna de estabilización, lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua.

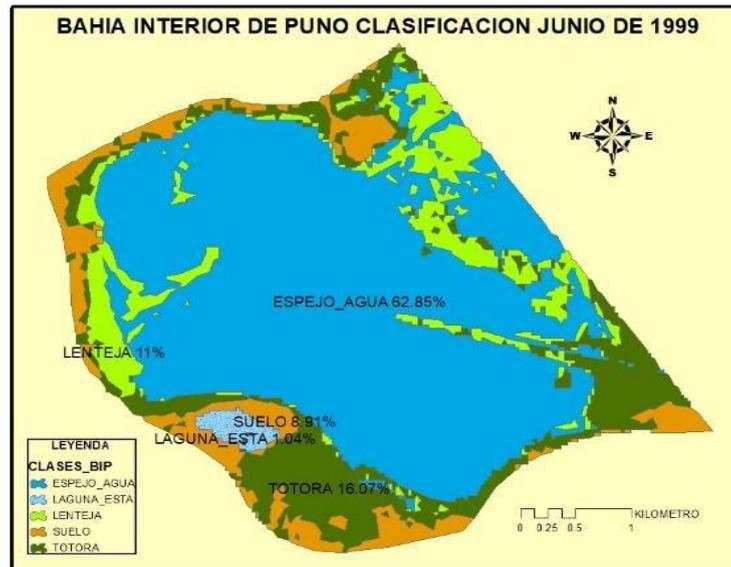


Figura 23. Bahía interior de Puno clasificación junio de 1999.



Figura 24. Bahía interior de Puno clasificación junio de 2000.

En la figura 23 y 24 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 62.85% y 64.83%, en laguna de estabilización 1.04% y 1.13%, lenteja en 11% y 1.25%, suelo en 8.91% y 9.08% y de totora en 16.07% y 23.6% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se aumentó el porcentaje en laguna de estabilización, lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua.



Figura 25. Bahía interior de Puno clasificación junio de 2001.

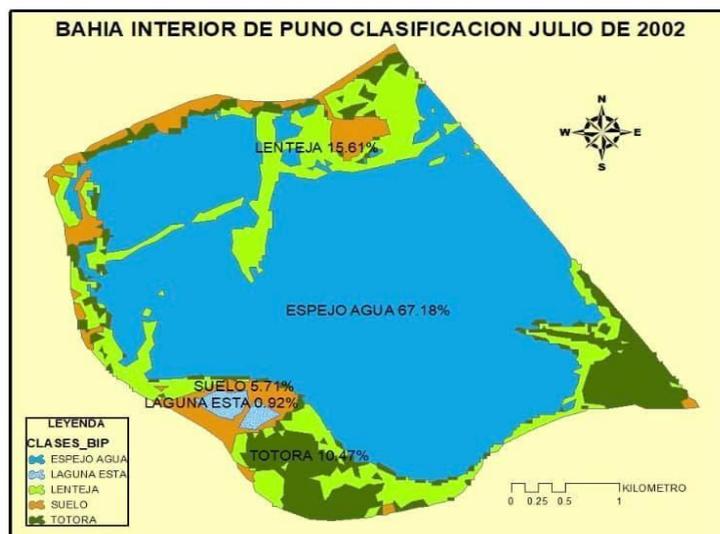


Figura 26. Bahía interior de Puno clasificación julio de 2002.

En la figura 25 y 26 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 69.89% y 67.18%, en laguna de estabilización 0.97% y 0.92%, lenteja en 12.24% y 15.61%, suelo en 6.59% y 5.71% y de totora en 10.2% y 10.47% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se aumentó el porcentaje en lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua y laguna de estabilización.

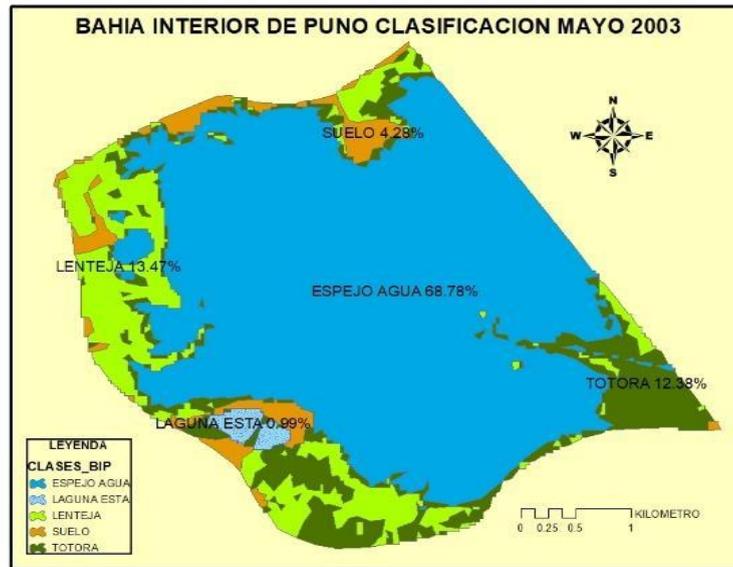


Figura 27. Bahía interior de Puno clasificación mayo de 2003.



Figura 28. Bahía interior de Puno clasificación junio de 2004.

En la figura 27 y 28 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 68.78% y 66.41%, en laguna de estabilización 0.99% y 0.91%, lenteja en 13.47% y 14.29%, suelo en 4.28% y 5.57% y de totora en 12.38% y 12.74% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se aumentó el porcentaje en lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua y laguna de estabilización.

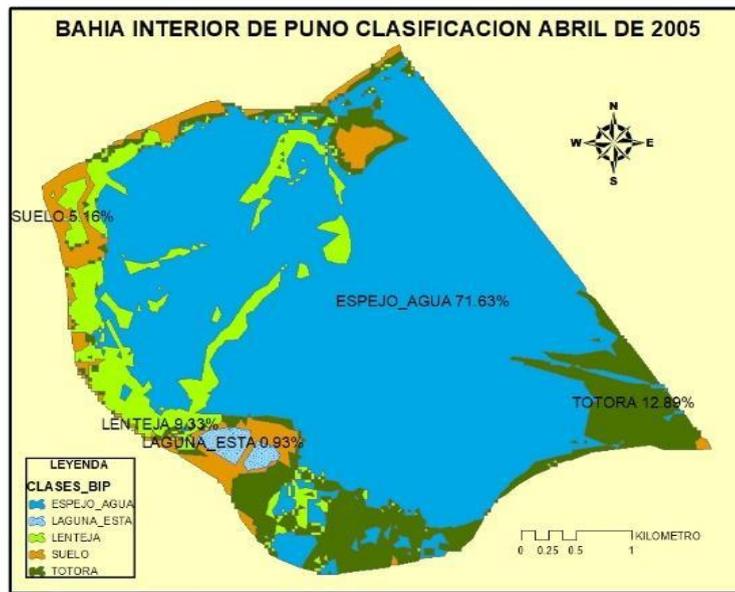


Figura 29. Bahía interior de Puno clasificación abril de 2005.

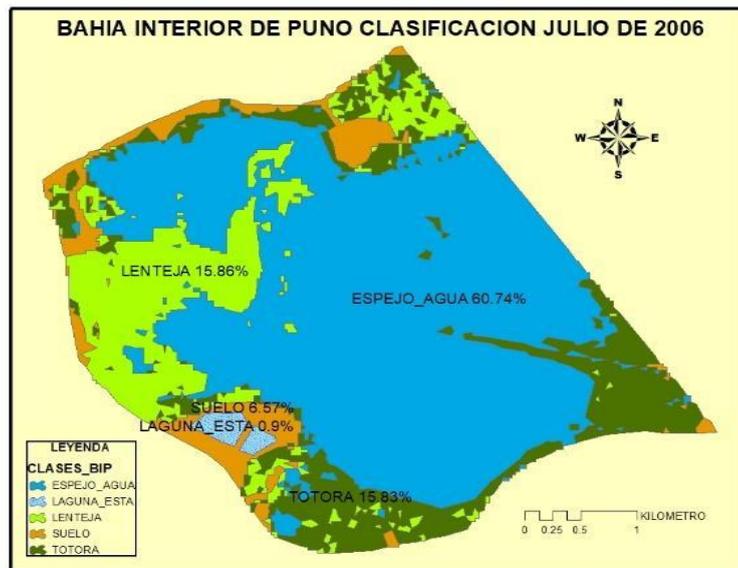


Figura 30. Bahía interior de Puno clasificación julio de 2006.

En la figura 29 y 30 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 71.63% y 60.74%, en laguna de estabilización 0.93% y 0.9%, lenteja en 9.33% y 15.86%, suelo en 16% y 6.57% y de totora en 12.89% y 15.83% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se aumentó el porcentaje en lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua y laguna de estabilización.



Figura 31. Bahía interior de Puno clasificación junio de 2007.



Figura 32. Bahía interior de Puno clasificación mayo de 2008.

En la figura 31 y 32 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 65.66% y 76.42%, en la laguna de estabilización 0.93% y 0.99%, lenteja en 15.6% y 2.02%, suelo en 6.06% y 6.3% y de totora en 11.65% y 14.17% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se aumentó el porcentaje en lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua y laguna de estabilización.



Figura 33. Bahía interior de Puno clasificación junio de 2009.



Figura 34. Bahía interior de Puno clasificación julio de 2010.

En la figura 33 y 34 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 61.31% y 70.68%, en laguna de estabilización 0.9% y 0.92%, lenteja en 10.52% y 0.04%, suelo en 9.57% y 10.49% y de totora en 17.57% y 17.76% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se aumentó el porcentaje en lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua y laguna de estabilización.



Figura 35. Bahía interior de Puno clasificación julio de 2011.



Figura 36. Bahía interior de Puno clasificación noviembre de 2012.

En la figura 35 y 36 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 68.47% y 74.59%, en laguna de estabilización 0.9% y 0.92%, lenteja en 21% y 0.73%, suelo en 9.29% y 5.64% y de totora en 21% y 18% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se aumentó el porcentaje en lenteja, suelo, totora y disminuyó en espejo de agua y laguna de estabilización.

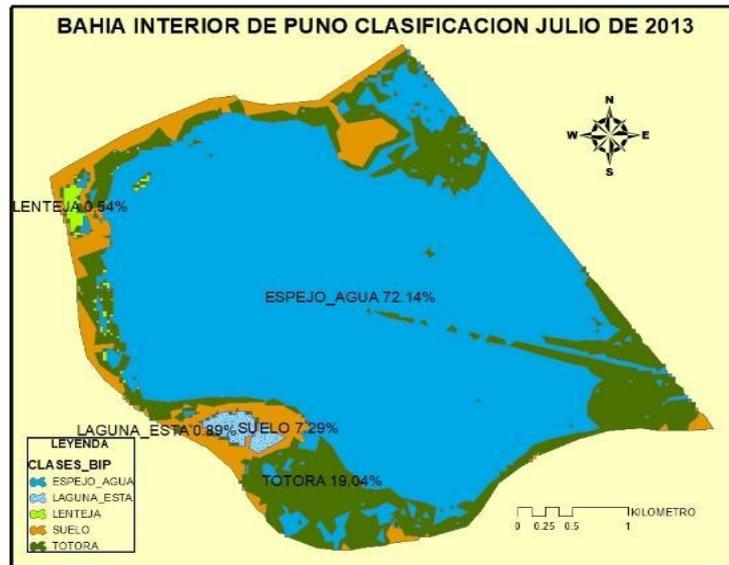


Figura 37. Bahía interior de Puno clasificación julio de 2013.



Figura 38. Bahía interior de Puno clasificación julio de 2014.

En la figura 37 y 38 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 72.14% y 73.45%, en laguna de estabilización 0.89% y 0.85%, lenteja en 0.54% y 0.78%, suelo en 7.29% y 7.18% y de totora en 19.04% y 17.55% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se aumentó el porcentaje en suelo, totora y disminuyó en espejo de agua, laguna de estabilización y lenteja.



Figura 39. Bahía interior de Puno clasificación julio de 2015.



Figura 40. Bahía interior de Puno clasificación julio de 2016.

En la figura 39 y 40 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 71.89% y 71.25%, en laguna de estabilización 0.78% y 1%, lenteja en 0.4% y 0%, suelo en 7.07% y 6.83% y de totora en 19.79% y 20.81% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que se aumentó el porcentaje en suelo, totora y disminuyó en el espejo de agua, laguna de estabilización y lenteja.



Figura 41. Bahía interior de Puno clasificación junio de 2017.



Figura 42. Bahía interior de Puno clasificación octubre de 2018.

En la figura 41 y 42 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 73.75% y 71.41%, en laguna de estabilización 0.92% y 0.81%, lenteja en 0% y 0%, suelo en 7.3% y 6.85% y de totora en 17.89% y 20.87% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 83.51%, 1.02%, 1.28%, 4.98% y 9.07% esto significa que disminuyó el porcentaje en espejo de agua, laguna estabilización, lenteja y aumentó el porcentaje en suelo y totora.



Figura 43. Bahía interior de Puno clasificación mayo de 2019.

En la figura 43 se muestra el comportamiento en porcentaje del espejo de agua 73.75%, en laguna de estabilización 0.92%, lenteja en 0%, suelo en 7.3% y de totora en 17.89% comparando con el año inicial de 1984 figura 08, que fue 72.95%, 0.96%, 0%, 8.45% y 17.63% esto significa que disminuyó en espejo de agua y totora en laguna de estabilización, lenteja y suelo aumentó el porcentaje.

Tabla 03. Datos agrupados de la caracterización y delimitación del área de espejo de agua en la bahía interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019.

AÑO	ESPEJO					LAGUNA					
	_AGUA	_ESTA	LENTEJA	SUELO	TOTORA	_AGUA	_ESTA	LENTEJA	SUELO	TOTORA	
1984	83.51%	1.02%	1.28%	4.98%	9.07%	2002	67.18%	0.92%	15.61%	5.71%	10.47%
1985	81.83%	0.85%	7.19%	3.67%	6.4%	2003	68.78%	0.99%	13.47%	4.28%	12.38%
1986	89.5%	1%	3.12%	3.35%	2.91%	2004	66.41%	0.91%	14.29%	5.57%	12.74%
1987	84.76%	0.91%	3.54%	4.82%	5.91%	2005	71.63%	0.93%	9.33%	16%	12.89%
1988	86.52%	0.81%	1.9%	3.5%	7.17%	2006	60.74%	0.9%	15.86%	6.57%	15.83%
1989	80.56%	0.65%	2.65%	5.36%	10.75%	2007	65.66%	0.93%	15.6%	6.06%	11.65%
1990	78.38%	0.63%	3.5%	5.99%	11.42%	2008	76.42%	0.99%	2.02%	6.3%	14.17%
1991	75.58%	0.53%	7.41%	6.11%	10.29%	2009	61.31%	0.9%	10.52%	9.57%	17.57%
1992	72.71%	0.8%	4.7%	7.48%	10.23%	2010	70.68%	0.92%	0.04%	10.49%	17.76%
1993	65.19%	0.8%	13.22%	8.91%	11.83%	2011	68.47%	0.92%	0.23%	9.29%	21%
1994	59.47%	0.79%	18.16%	7.24%	14.18%	2012	74.59%	0.91%	0.73%	5.64%	18%
1995	60.28%	0.84%	16.34%	7.93%	14.48%	2013	72.14%	0.89%	0.54%	7.29%	19.04%
1996	40.47%	0.74%	23.5%	10.66%	24.49%	2014	73.48%	0.85%	0.78%	7.18%	17.55%
1997	66.16%	1.03%	9.03%	8.04%	15.65%	2015	71.89%	0.78%	0.4%	7.07%	19.79%
1998	47.59%	1.44%	23.97%	9.12%	18.06%	2016	71.25%	1%	0%	6.83%	20.81%
1999	62.85%	1.04%	11%	8.91%	16.07%	2017	73.75%	0.92%	0%	7.3%	17.89%
2000	64.83%	1.13%	1.25%	9.08%	23.6%	2018	71.41%	0.81%	0%	6.85%	20.87%
2001	69.89%	0.97%	12.24%	6.59%	10.2%	2019	72.95%	0.96%	0%	8.45%	17.63%

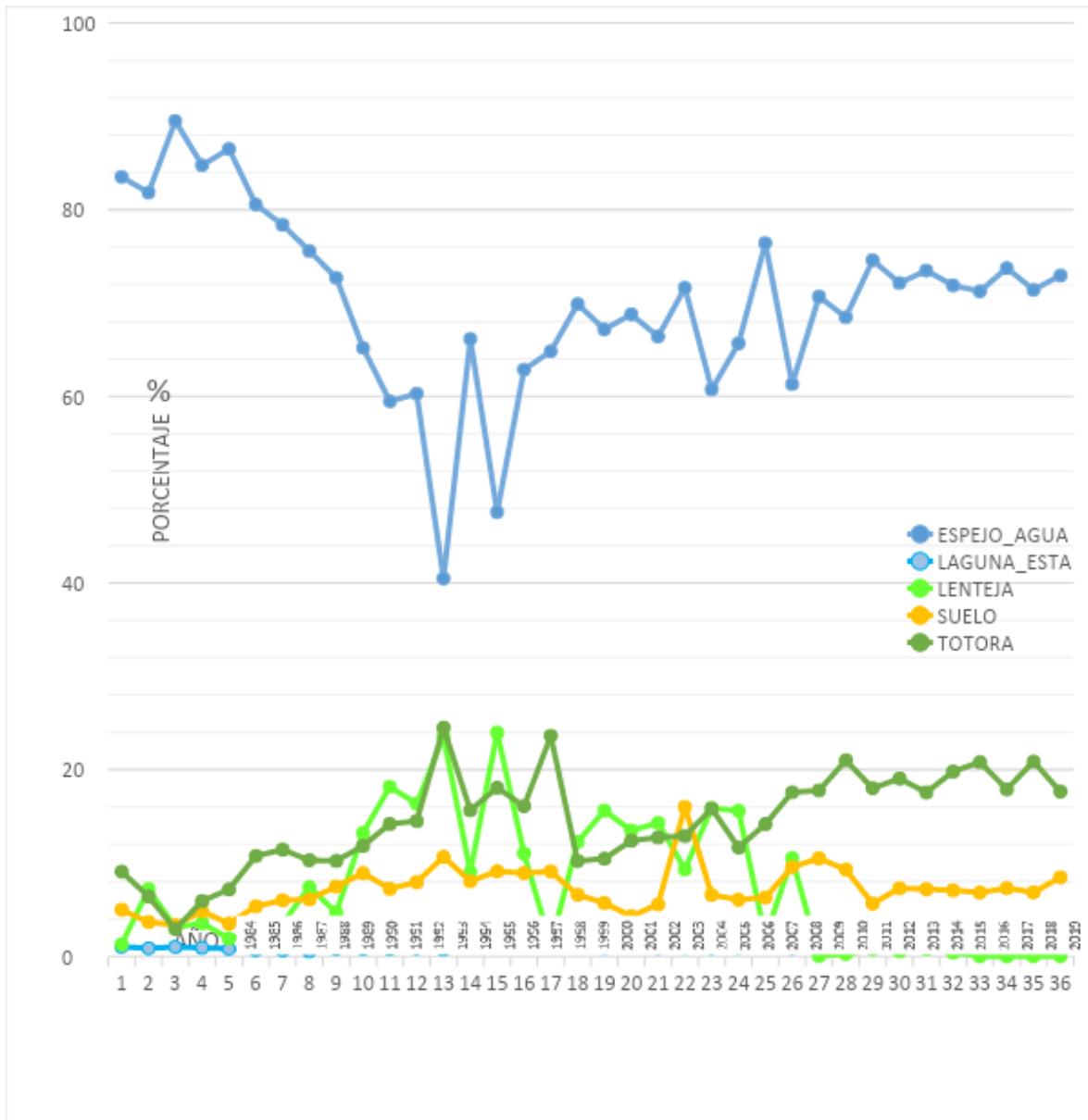


Figura 44. Interpretación general de los datos de la caracterización y delimitación del área de espejo de agua en la bahía interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019.

De la figura 44, se procede a la discusión e interpretación de los resultados de la caracterización y delimitación de la bahía interior de Puno durante los años 1984 a 2019, en el año 1996 indica un valor muy bajo de 40.47% con respecto al año 1986 que tuvo un 89.5% el valor más alto en comparación con los años posteriores esto indica que desde el año 1984 hasta el año 1996 el espejo de agua decreció y aumento desde el año 1998 hasta el año 2019, de un 47.59% a 72.95% el espejo de agua es la superficie con

presencia de agua y sin presencia relevante de vegetación según (Vidal y Pérez, 2007) en el año 1998 hubo más presencia de agua comparando con los otros años siguientes hasta 2019; la delimitación en lagunas de estabilización el valor más alto fue en el año 1998 con un 1.44% y un mínimo fue en el año 1995 con un 0.53% esto está ubicado dentro de la Bahía Interior de Puno; los resultados de delimitación para la lenteja fueron durante los años de 1996 y 1998 de 23.5% y 23.97% valores que son los más altos a comparación con los años siguientes y los valores más bajos fueron de 0% durante los años 2015 a 2019 posiblemente esto es debido a los proyectos realizados a favor de la bahía interior de Puno en la disminución de nutrientes que hace que la lenteja prolifere con la eutrofización, según Laurent (1979) la eutrofización es un conjunto de procesos fisicoquímicos y nutrientes como: nitrógeno, fósforo y un déficit de oxígeno disuelto que afecta la transparencia de las aguas; la delimitación para suelos en el periodo de 1984 a 2019 los valores más altos fueron en el año 1996 y el año 2010 con valores de 10.66% y 10.49% en los años 1986 y 1988 los valores más bajos son 3.35% y de 3.5%; la delimitación y caracterización de la totora de acuerdo a la figura 40, en el año 1996 presentó un 24.99% el valor más alto y en el año 2000 fue de 23.6% y los valores mínimos del periodo de 1984 a 2019 fueron de la siguiente manera en el año 1986 se reportó un valor mínimo de 2.91% y en el año 2003 fue de 4.28% de totora.

4.1.2 Porcentaje de pérdida de espejo de agua, en la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019.

a) Cuantificación del porcentaje

Tabla 04. Estadísticos descriptivos del espejo de agua y la biomasa de la Bahía interior de Puno, periodo 1984-2019.

		ÁREA (Km ²)				
		Recuento	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
CLASE	ESPEJO DE AGUA	36	6,83	15,11	11,86	1,67
	LAGUNA ESTA	36	,09	,19	,15	,02
	LENTEJA	32	,01	4,05	1,39	1,21
	SUELO	36	,57	1,80	1,16	,32
	TOTORA	36	,49	4,13	2,46	,85

La tabla 04, nos muestra los estadísticos descriptivos del área del espejo de agua y las clases de biomasa como totora, lenteja, suelo y laguna. El espejo de agua tiene un promedio de área de 11.86 km² con una variación de ±1.67 km², siendo su mínimo valor 6.83 Km² y un máximo de 15.11 km² en el periodo de 1984 al 2019.

La totora con un área de crecimiento promedio de 2.46 km² y una variación de ±0.85 km²; la lenteja con un área promedio de 1.16 km² con variación considerada de ±1.21 km²; el suelo un área promedio de 1.16 km² con variación ±0.32 km² y finalmente la laguna estabilización con un área promedio de 0.15 km² con variación mínima de ±0.02 km².

En la figura 46, en el área del espejo de agua comparado con la biomasa, la totora claramente es la que mayor área en promedio tiene con variación moderada, la lenteja tiene un área menor y mayor variabilidad, seguido del suelo y laguna estabilización

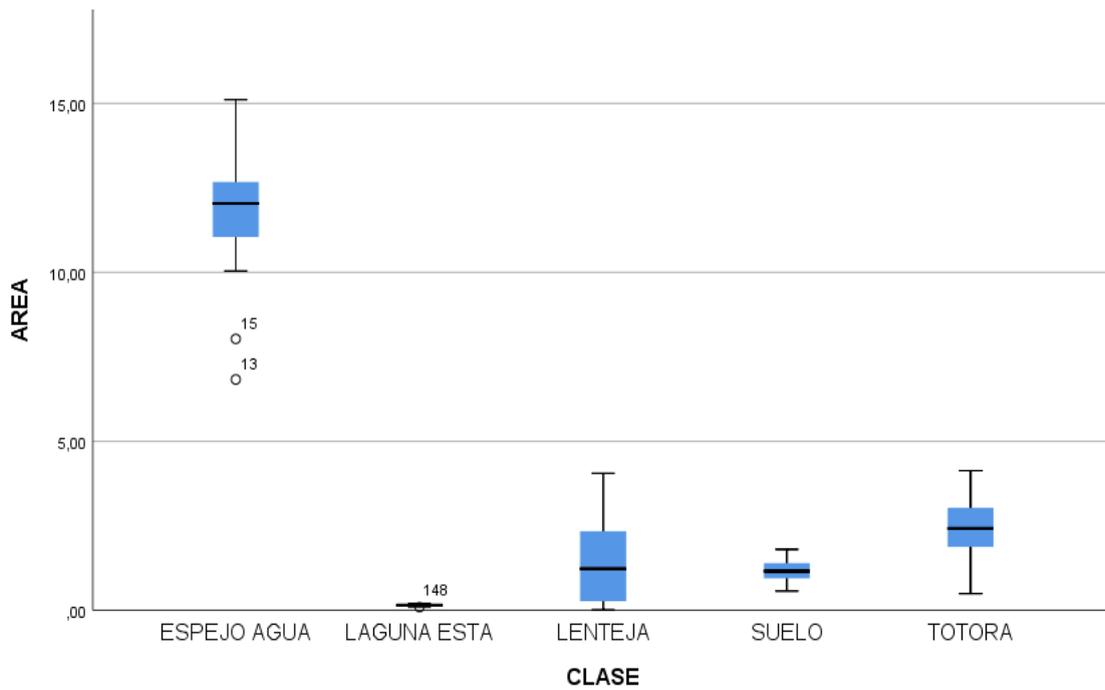


Figura 45. Diagrama de cajas del espejo de agua y la biomasa de la Bahía interior de Puno, periodo 1984 - 2019.

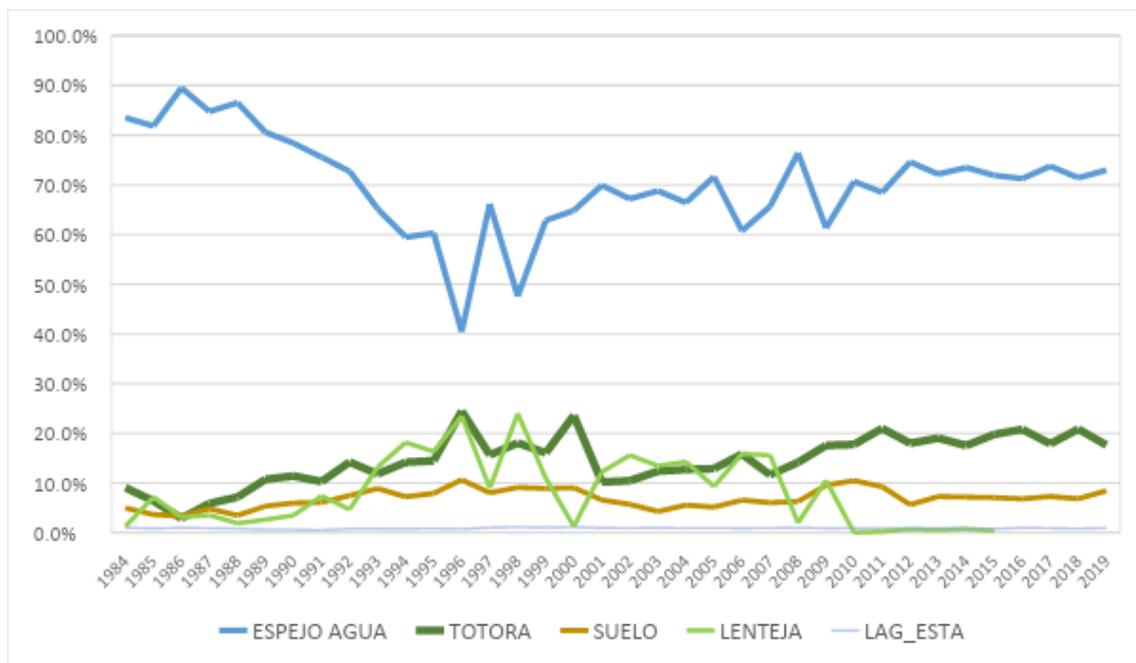


Figura 46. Variación del espejo de agua respecto a la biomasa en la Bahía Interior de Puno, periodo 1984 - 2019.

En la figura 46, se observa la evolución de las áreas del espejo de agua y clases de biomasa; en cuanto al espejo de agua en el año de referencia 1984 se tenía un porcentaje de 83.51% del área total de la Bahía Interior de Puno, presentando un decremento constante y considerable hacia el año 1996 con un 40.47%, luego presentando incrementos frecuentes hasta el año 2008 con un 76.42% y a partir de este presenta un ligero decremento hacia el año 2019 con 72.95% del área total del espejo de agua.

En la figura 46, se observa la evolución de la biomasa que compone el espejo de agua de la Bahía Interior de Puno, la lenteja de agua en el año de referencia 1984, se tenía un porcentaje 1.28 % del área total del espejo de agua, presentando un incremento de biomasa constante y considerable para el año 1998 con un 23.97 %, luego presentando incrementos frecuentes y decrementos constante en el año 2010 con 0.04 % y a partir de esta se presenta incrementos ligeros hasta el año 2015 con 0.40 % del área total del espejo de agua y hacia el año 2019, no se registra la presencia de componente biomasa lenteja.

En la figura 46, se observa la evolución de la biomasa que compone el espejo de agua de la Bahía Interior de Puno, la totora en el año de referencia 1984, se tenía un porcentaje 9.07%, del área total del espejo de agua, presentando un incremento de biomasa constante y considerable para el año 1996 con un 24.49 %, luego presentando decrementos constantes en el año 2007 con 11,65 %, y a partir de esta se presenta incrementos ligeros hasta el año 2019 con 17.63 %, del área total del espejo de agua.

Tabla 05. Variación del espejo de agua en la Bahía Interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 – 2019.

AÑO	ESPEJO DE AGUA (Km ²)	% RESPECTO AL TOTAL (16.88 Km ²)	VARIACIÓN RESPECTO AL AÑO BASE 1984
1984	14.10	83.51%	
1985	13.81	81.83%	-2.01%
1990	13.23	78.38%	-6.14%
1995	10.18	60.28%	-27.82%
2000	10.94	64.83%	-22.37%
2005	12.09	71.63%	-14.23%
2010	11.93	70.68%	-15.36%
2015	12.14	71.89%	-13.91%
2019	12.31	72.95%	-12.65%

La tabla 05, muestra la variación del porcentaje de área del espejo de agua desde 1984 hasta 2019 con periodos de 5 años con respecto al año base de 1984. En el año 1985 se tiene un decremento en el porcentaje de área de 2.01%, el decremento más considerable se tiene en el año 1995 a un 27.82% y al 2019 se tiene un decremento de 12.65%.

Tabla 06. Variación de la Totora en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984-2019.

AÑO	TOTORA (Km ²)	% RESPECTO AL TOTAL (16.88 Km ²)	VARIACIÓN RESPECTO AL AÑO BASE 1984
1984	1.53	9.07%	
1985	1.08	6.40%	-29.44%
1990	1.93	11.42%	25.91%
1995	2.44	14.48%	59.65%
2000	3.98	23.60%	160.20%
2005	2.18	12.89%	42.12%
2010	3.00	17.76%	95.81%
2015	3.34	19.79%	118.19%
2019	2.98	17.63%	94.38%

La tabla 06, muestra la Variación de la Totora en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984-2019, con periodos de 5 años con respecto al año base de 1984. En el año 1985 se tiene un decremento en el porcentaje de área de -29.44%, se nota un incremento más considerable en el año 2000 a un 160.20% y al 2019 se tiene un decremento de 94.38%.

Tabla 07. Variación del Suelo en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 – 2019.

AÑO	SUELO (Km ²)	% RESPECTO AL TOTAL (16.88 Km ²)	VARIACIÓN RESPECTO AL AÑO BASE 1984
1984	0.84	4.98%	
1985	0.62	3.67%	-26.31%
1990	1.01	5.99%	20.28%
1995	1.34	7.93%	59.24%
2000	1.53	9.06%	81.93%
2005	0.87	5.16%	3.61%
2010	1.77	10.49%	110.64%
2015	1.19	7.07%	41.97%
2019	1.43	8.45%	69.68%

La tabla 07, muestra la variación del suelo en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984-2019, con periodos de 5 años con respecto al año base de 1984. En el año 1985 se tiene un decremento en el porcentaje de área de 26.341%, se nota un incremento más considerable en el año 2010 a un 110.64% y al 2019 se tiene un decremento de 69.68%.

Tabla 08. Variación de la Lenteja en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984-2015.

AÑO	LENTEJA (Km ²)	% RESPECTO AL TOTAL (16.88 Km ²)	VARIACIÓN RESPECTO AL AÑO BASE 1984
1984	0.22	1.28%	
1985	1.21	7.19%	461.72%
1990	0.59	3.50%	173.44%
1995	2.76	16.34%	1176.56%
2000	0.21	1.25%	-2.34%
2005	1.58	9.33%	628.91%
2010	0.01	0.04%	-96.88%
2015	0.07	0.40%	-68.75%

La tabla 08, muestra la Variación de la Lenteja en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984-2019, con periodos de 5 años con respecto al año base de 1984. En el año 1985 se tiene un incremento en el porcentaje de área de 461.72%, se nota un incremento más considerable en el año 1995 a un 1176.56% y al 2019 se tiene un decremento de 68.75%.

Tabla 09. Variación de Laguna Estabilización en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 – 2015.

AÑO	LAGUNA		
	ESTABILIZACIÓN (Km ²)	% RESPECTO AL TOTAL (16.88 Km ²)	VARIACIÓN RESPECTO AL AÑO BASE 1984
1984	0.17	1.02%	
1985	0.14	0.85%	-16.67%
1990	0.11	0.63%	-38.24%
1995	0.14	0.84%	-17.65%
2000	0.19	1.13%	10.78%
2005	0.16	0.93%	-8.82%
2010	0.16	0.92%	-9.80%
2015	0.13	0.78%	-23.53%
2019	0.16	0.96%	-5.88%

La tabla 09, muestra la variación de la laguna de estabilización en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 - 2019, con periodos de 5 años con respecto al año base de 1984. En el año 1985 se tiene un decremento en el porcentaje de área de 16.67 %, se nota un decremento más considerable en el año 1990 a un 38.24 % y al 2019 se tiene un decremento de 5.88 %.

Tabla 10. Promedio de área de espejo de agua y biomasa en la Bahía interior de Puno cada 5 años, periodo 1984 – 2019.

CLASE	PROMEDIO DE ÁREA	% ESTIMADO
ESPEJO AGUA	11.86	69.68%
LAGUNA ESTABILIZACIÓN	0.15	0.88%
LENTEJA	1.39	8.17%
SUELO	1.16	6.82%
TOTORA	2.46	14.45%
SUMA TOTAL	17.02	
Error de estimación (*)	0.83%	

El área total de la bahía es de 16.88 km².

En la tabla 10, se muestra el promedio de área estimado en el periodo de 1984 a 2019 es de 69.68 % del área total de la bahía, seguida por la totora con 14.45 %, lenteja 8.17 %, suelo con 6.82 % y laguna con solamente 0.88 %.

b) Análisis de la relación

Tabla 11. Matriz de correlaciones del espejo de agua y biomasa de la bahía interior de, periodo 1984 – 2019.

		Espejo de				Laguna
		Agua	Totora	Suelo	Lenteja	Estabilización
Espejo de Agua	Correlación de Pearson	1	-,622**	-,719**	-,769**	-,095
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000	,583
	N	36	36	36	32	36
Totora	Correlación de Pearson	-,622**	1	,764**	,080	,161
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,664	,347
	N	36	36	36	32	36
Suelo	Correlación de Pearson	-,719**	,764**	1	,238	,101
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,190	,559
	N	36	36	36	32	36
Lenteja	Correlación de Pearson	-,769**	,080	,238	1	,018
	Sig. (bilateral)	,000	,664	,190		,922
	N	32	32	32	32	32
Laguna Estación	Correlación de Pearson	-,095	,161	,101	,018	1
	Sig. (bilateral)	,583	,347	,559	,922	
	N	36	36	36	32	36

La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).son menores a 0.05, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se Acepta la hipótesis alterna (H1), es decir que el espejo de agua está correlacionado de forma significativa con la totora, suelo, y lenteja.

La matriz de correlaciones nos muestra la relación del espejo de agua con la biomasa. El valor de correlación entre el espejo de agua y la lenteja es de -0.769 siendo esta buena e inversamente proporcional, es decir, a más crecimiento de lenteja se tiene menor espejo de agua y siendo esta relación significativa ($p < 5\%$) como se puede ver en la figura 2, de la misma forma la relación con el suelo y totora es significativa ($p < 5\%$) con -0.719 y -0.622 respectivamente (ver figuras 48 y 49). Al contrario, la laguna de Estabilización tiene una relación no significativa, es decir no influye en el decremento del espejo de agua, como se muestra en la figura 50.

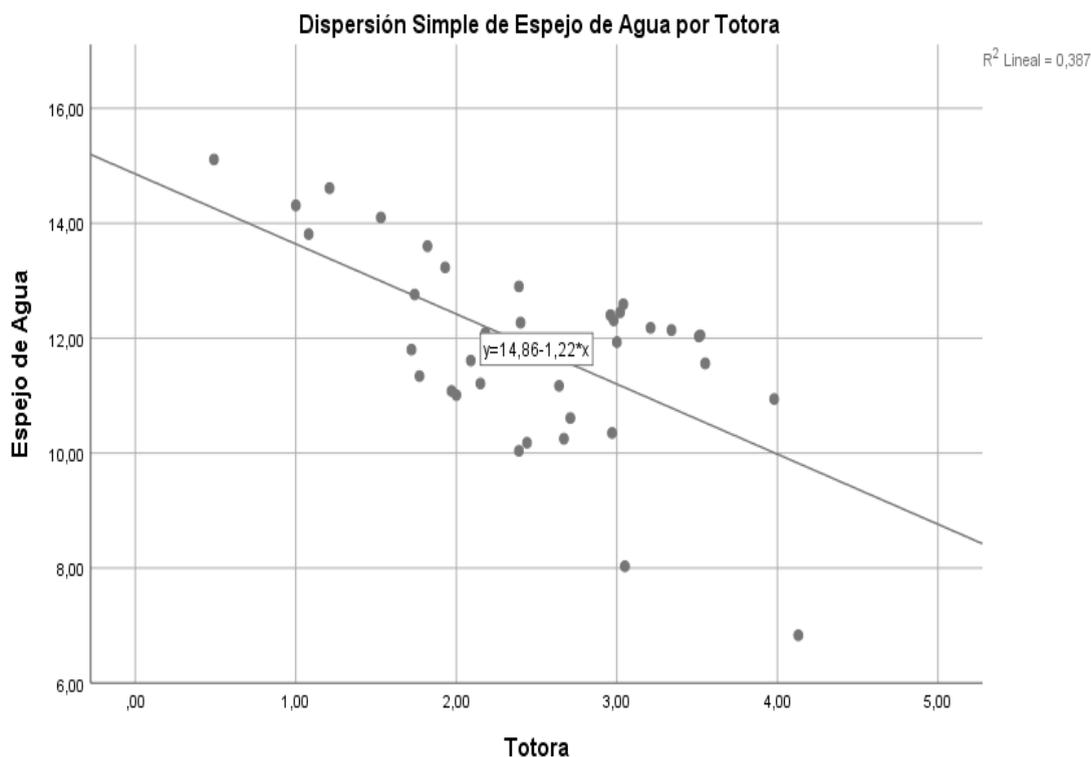


Figura 47. Diagrama de dispersión del espejo de agua respecto a la totora en la Bahía Interior de Puno, periodo 1984 - 2019.

Para determinar la correlación lineal entre el espejo de agua y totora, se plantea la siguiente hipótesis estadística:

Ho: $\rho=0$ (El espejo de agua no está relacionado con el crecimiento de la totora)

H1: $\rho \neq 0$ (El espejo de agua si está relacionado con el crecimiento de la totora)

De la tabla 11, se tiene que el valor de correlación entre el espejo de agua y la totora es de -0.622 siendo esta buena e inversamente proporcional, es decir, a más crecimiento de totora se tiene menor espejo de agua y siendo esta relación significativa ($p < 5\%$) como se puede ver en la figura 47.

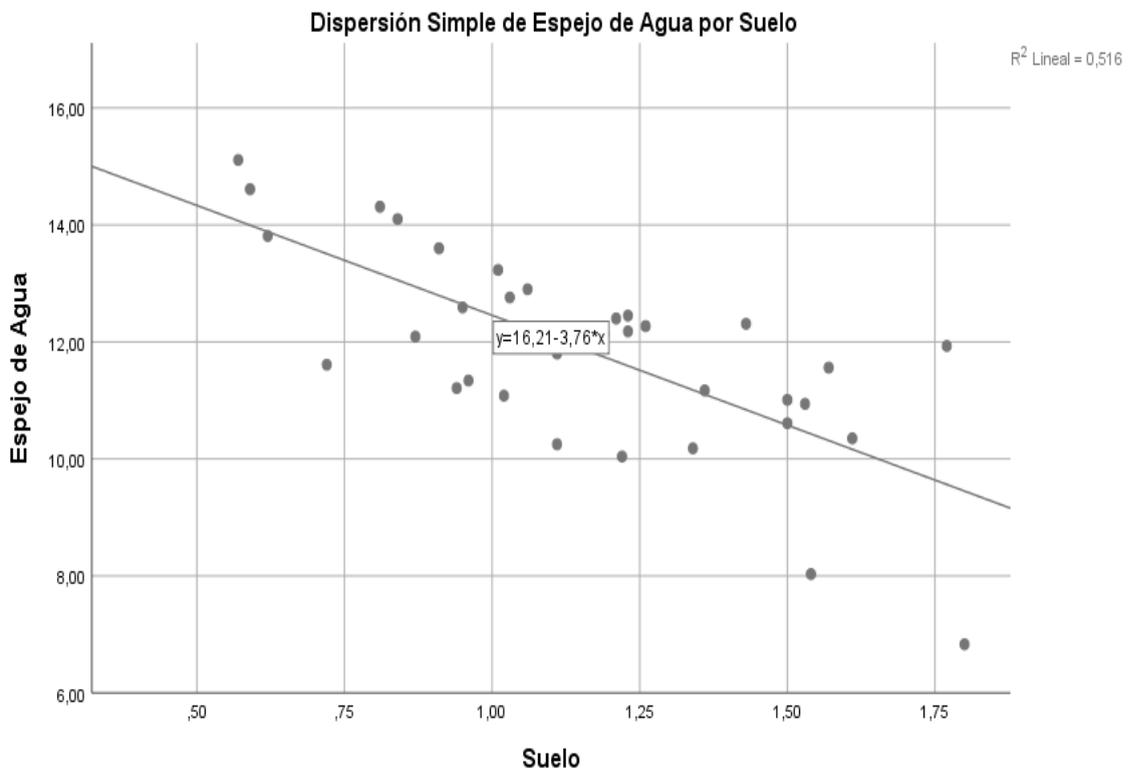


Figura 48. Diagrama de dispersión del espejo de agua respecto al suelo en la Bahía Interior de Puno, periodo 1984 – 2019.

En el caso de la correlación lineal entre el espejo de agua y suelo, se plantea la siguiente hipótesis estadística:

Ho: $\rho=0$ (El espejo de agua no está relacionado con el crecimiento del suelo)

H1: $\rho \neq 0$ (El espejo de agua si está relacionado con el crecimiento del suelo)

De la tabla 11, se tiene que el valor de correlación entre el espejo de agua y suelo es de -0.719 siendo esta buena e inversamente proporcional, es decir, a mayor crecimiento del suelo se tiene menor espejo de agua y siendo esta relación significativa ($p < 5\%$) como se puede ver en la figura 48.

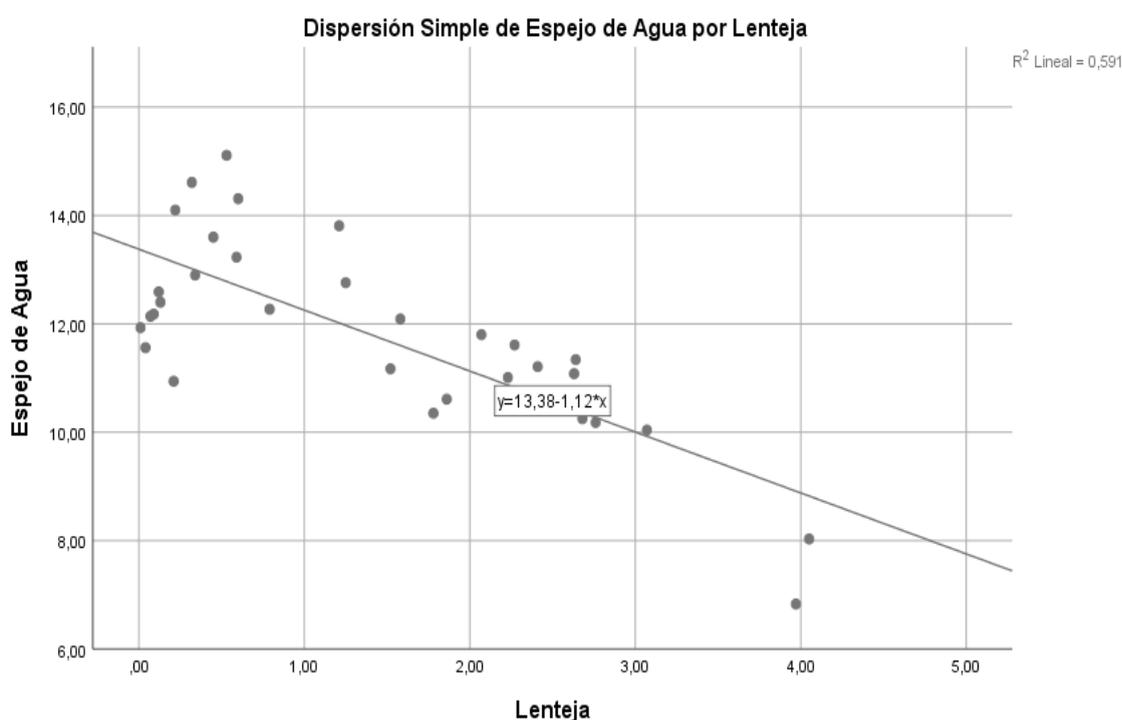


Figura 49. Diagrama de dispersión del espejo de agua respecto a la lenteja en la Bahía interior de Puno, periodo 1984 - 2019.

Con respecto a la correlación lineal entre el espejo de agua y la lenteja, se plantea la siguiente hipótesis estadística:

Ho: $\rho=0$ (El espejo de agua no está relacionado con el crecimiento de la lenteja)

H1: $\rho \neq 0$ (El espejo de agua si está relacionado con el crecimiento de la lenteja)

De la tabla 11, se tiene que el valor de correlación entre el espejo de agua y la lenteja es de -0.769 siendo esta muy buena e inversamente proporcional, es decir, a mayor

crecimiento de lenteja se tiene menor espejo de agua y siendo esta relación significativa ($p < 5\%$) como se puede ver en la figura 49.

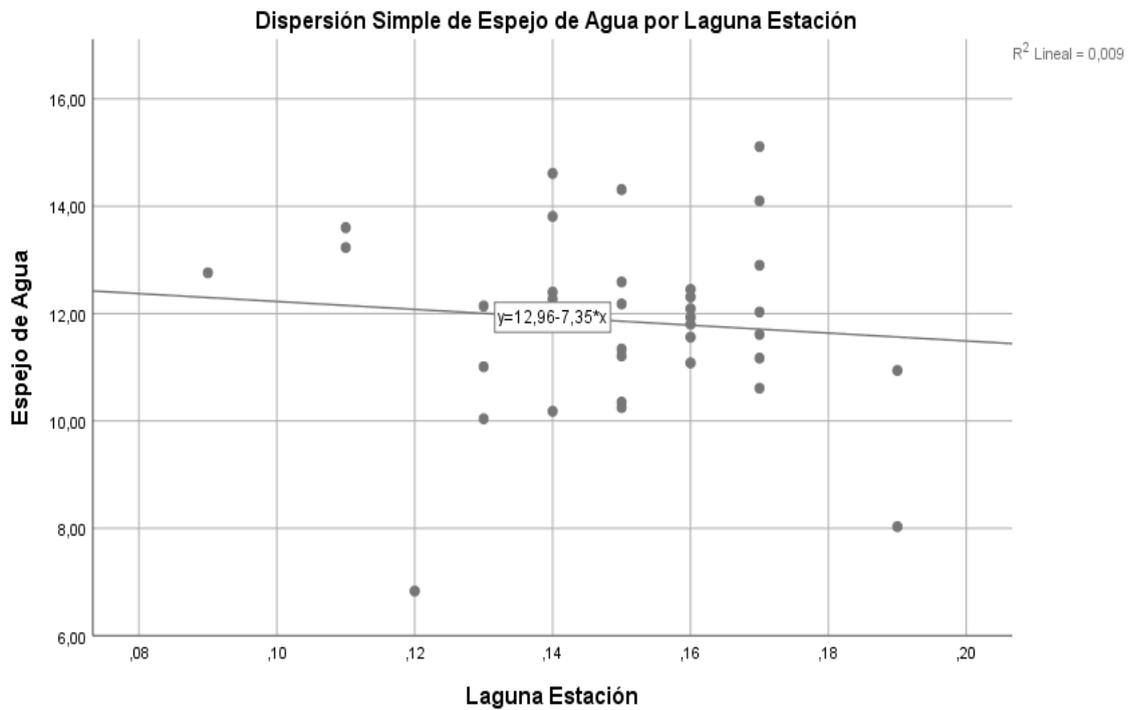


Figura 50. Diagrama de dispersión del espejo de agua respecto a la laguna en la Bahía Interior de Puno, periodo 1984 – 2019.

Con respecto a la correlación lineal entre el espejo de agua y la Laguna de Estabilización, se plantea la siguiente hipótesis estadística:

$H_0: \rho=0$ (El espejo de agua no está relacionado con la laguna de estabilización)

$H_1: \rho \neq 0$ (El espejo de agua si está relacionado con la laguna de estabilización)

De la tabla 11, Al contrario, laguna de Estabilización tiene una relación no significativa, dato que su correlación es de -0.095 con $p > 5\%$, es decir no influye en el decremento del espejo de agua, como se muestra en la figura 50.

CONCLUSIONES

Primero: Se evaluó con metodología aplicada el decremento del espejo de agua en la Bahía Interior de Puno, siendo los periodos evaluados 1984 al 2019, por la biomasa con el método de clasificación supervisada y la técnica de la teledetección espacial, haciendo uso de la prueba de matriz de correlación de Pearson, mostrándonos la relación del espejo de agua con la biomasa. el valor de correlación entre el espejo de agua y la lenteja es de -0.769, siendo esta buena e inversamente proporcional, es decir, a más crecimiento de lenteja se tiene menor espejo de agua y siendo esta relación significativa ($p < 5\%$), de la misma forma la relación con la totora es significativa ($p < 5\%$) con -0.622.

Segundo: El método de clasificación supervisada utilizada para la caracterización y delimitación del espejo de agua en la Bahía Interior de Puno, en los periodos 1984 al 2019, mediante el Sistema de Información Geográfica GPS, se obtuvo las coordenadas UTM, de la BIP. para delimitar el área de proyecto y cotejarlas multitemporal con la teledetección espacial y con las imágenes satelitales de LANDSAT (5,7,8) con el soporte del software ArcGIS 10.4; se halló una plantilla madre de la delimitación y se caracterizó los siguientes componentes, como: la biomasa (lenteja y totora), suelo, laguna de estabilización y espejo de agua, en la zona de influencia; el área de la delimitación del espejo de agua con un área de 16.88 Km²; cuyo valor muy bajo para el año 1996 con un 40.47%, con respecto al año 1986 se obtuvo un 89.5%, un valor más alto en comparación de las áreas posteriores, lo cual nos indicaría que desde el año 1984 hasta el año 1996 el

área de espejo de agua decreció y un incremento para el área en el año 1998 hasta el año 2019, de un 47.59% a 72.95% el espejo de agua.

Tercero: Al cuantificar el porcentaje de pérdida espejo agua se concluye que los periodos agrupado de cada 5 años, con respecto al año base de 1984, que en el año 1985 se obtiene un decremento en el porcentaje de área de 2.01%, el decremento más considerable se tiene en el año 1995 a un 27.82% y al 2019 se tiene un decremento de 12.66%; al cuantificar el porcentaje de la Titora con periodos agrupados de cada 5 años, con respecto al año base de 1984. En el año 1985 se tiene un decremento en el porcentaje de área de -29.44%, se nota un incremento más considerable en el año 2000 a un 160.20% y al 2019 se tiene un decremento de 94.38% y al cuantificar el porcentaje de la Lenteja con periodos agrupados de cada 5 años, con respecto al año base de 1984; en el año 1985 se tiene un incremento en el porcentaje de área de 461.72%, se nota un incremento más considerable en el año 1995 a un 1176.56% y al 2019 se tiene un decremento de -68.75%.

RECOMENDACIONES

Primero: al Gobierno Regional de Puno, se recomienda realizar una comparación entre el espejo de agua y la biomasa por periodos de 5 años, para seguir la frecuencia de comportamiento en la BIP.

Segundo: a la Comisión Ambiental Regional CAR y a la comisión ambiental Municipal CAM se le recomienda la implementación de las técnicas de teledetección espacial en el espejo de agua y la biomasa en la Bahía Interior de Puno, cada años, para realizar monitoreos para obtener datos en la toma decisiones en la remediación BIP.

Tercero: al Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca, PEBLT, efectuar la cuantificación de sus clase del espejo de la BIP, con las técnicas de la teledetección espacial y replicar en los diferentes componentes de la PEBLT, para integrar datos y la toma decisiones para remediaciones futuras.

BIBLIOGRAFÍA

- Albright, Thomas, y David Ode. 2011. «Monitoring the dynamics of an invasive emergent macrophyte community using operational remote sensing data». *Hydrobiologia* 661:469-74. doi: 10.1007/s10750-010-0537-8.
- Alsdorf, Douglas E., Ernesto Rodríguez, y Dennis P. Lettenmaier. 2007. «Measuring Surface Water from Space». *Reviews of Geophysics* 45(2):RG2002. doi: 10.1029/2006RG000197.
- Bastawesy, Mohamed, Fikry Khalaf, y Sayed Arafat. 2008. «The use of remote sensing and GIS for the estimation of water loss from Tushka lakes, southwestern desert, Egypt». Recuperado 14 de julio de 2021 (https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=iCnhX08AAAAJ&citation_for_view=iCnhX08AAAAJ:hqOjcs7Dif8C).
- Braga, João Damásio, Edvaldo Gomes Pereira Braga, Sonia Maria Barreto Pereira, Enide Eskinazi Leça, y Margareth Grillo Texeira. 1999. «PROGRAMA DE CONTROL DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO COMPLEXO HIDRELÉTRICO DE PAULO AFONSO E NA UHE ITAPARICA)». 4.
- Canales, Ángel. 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.
- Canales-Gutiérrez, Ángel. 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.
- Carrillo, Angel, y Vidal Choquehuanca. 2019. «Análisis multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de Puno mediante imágenes satelitales, entre los años 1980 – 2017.» tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y AGRIMENSURA, Puno.
- Castañeda, Edgar. 2014. «Análisis Multitemporal Del Cuerpo De Agua De La Laguna El

- Sonso Mediante Imágenes Satelitales Landsat. Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá), 20.» 20.
- Davis, Mackensi, y Susan Masten. 2005. Ingeniería y Ciencias Ambientales. México: editorial Mc Graw Hill.
- EMSA Puno SA. 2012. «Plan maestro optimizado 2012-2042».
- Flores, Nathalie. 2019. «Evaluación de las unidades de vegetación mediante sistemas de información geográfica y teledetección en pantanos de Villa, Chorrillos - Lima». UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, Huaura-Peru.
- Galiano. 1997. «Evaluación de la biomasa y manejo de lemna gibba (lenteja de agua) en la Bahía Interior del lago Titicaca Puno.» Ecología Aplicada 9(1-2):91. doi: 10.21704/rea.v9i1-2.399.
- Garay, Domingo Dolores, y Juan Nicolás Gabriel Agüero. 2017. «Análisis multitemporal del espejo de agua del Dique de Anzulón a partir de imágenes satelitales LandSat». 2017, Ediciones INTA 33.
- Garcia, Marleny. 2021. «Eutrofización: una visión general».
- Gonzales, Nixon Eusebio, y Adria Liseth Gonzales. 1985. «Análisis multitemporal del espejo de agua en la laguna de Fúquene para el periodo de 1985 a 2015.» 48.
- Gutierrez, Yessica. 2018. «Determinación de la dinámica espacial de bofedales mediante imágenes satelitales landsat frente a escenarios del cambio climático en la cuenca del río Coata durante el período de 1984-2016.» tesis, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno.
- Lloret, Jesús Rodríguez, y Rosa Olivella. 2017. «Introducción a los sistemas de información geográfica». 82.
- Lombardo, Umberto. 2014. «Quantitative morphometric analysis of lakes using GIS: rectangularity R, ellipticity E, orientation O, and the rectangularity vs. ellipticity index, REi». Cartography and Geographic Information Science 41(4):340-47. doi:

10.1080/15230406.2014.919540.

- Lopez, Jessica. 2015. «Evaluación multitemporal del aumento de la superficie de vegetación acuática del embalse Daule Peripa.» Tesis, Universidad Técnica del Norte Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales., Ecuador.
- Loza-Del-Carpio, Alfredo, César Gamarra-Peralta, y Ninfa Condori-Aliaga. 2016. «Caracterización morfo batimétrica y estimación de sedimentos de la bahía interior de Puno, lago Titicaca, mediante tecnología SIG». Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research 18(2). doi: 10.18271/ria.2016.205.
- Margalef, W. T. 1983. «Limnología». Limnology and Oceanography 29(6):1349-1349. doi: 10.4319/lo.1984.29.6.1349b.
- Marshall, Terry R., y P. F. Lee. 1994. «Mapping aquatic macrophytes through digital image analysis of aerial photographs: an assessment». J. Aquat. Plant Manage. 6.
- Martinez, Julio, y Alejandro Diaz. 2005. Percepción Remota Fundamentos de Teledetección espacial. Segunda. Madrid: Rialp Madrid.
- Miyasiro, María, y Martín Ortiz. 2016. «Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera (1986-2014)». Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, METALÚRGICA, MINERA Y GEOGRÁFICA, Lima -Peru.
- Mollocondo. 2015. «Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011». Revista Peruana de Biología 22(3):335. doi: 10.15381/rpb.v22i3.11440.
- Montaño, Rottman. 2019. «Análisis dinámico multitemporal del río Piura aplicando teledetección, en el distrito de Piura, provincia de Piura, departamento de Piura.» Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y AGRIMENSURA, Piura.

- Monzon, p. Anadón. 1984. «Sedimentación Lacustre». En Sedimentación fluvial, Volumen 1 de Ciclo seminarios de sedimentología-I.G.M.E, División de Geología del Instituto Geográfico y Minero: 194. España, Madrid: Ministerio de Industria y Energía, Centro de Publicaciones. In ciclos de seminarios de sedimentología (Vol. 1):193.
- Northcote, Thomas G. 1991. «VII. 4 Eutrofización y problemas de polución». 10.
- Orduz, Ricardo. 2018. «Análisis multitemporal del espejo de agua del lago de Tota ubicado en el departamento de Boyacá, para los años 1989, 2001 y 2018.» 15.
- PNUMA. 2011. Perspectivas del Medio Ambiente en el Sistema Hídrico. Panama: Novo Art, S.A.
- Rada, F., Carlos Molina, y Enrique Richard. 2006. «Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titikaka (Bolivia) y su uso como indicador del grado de contaminación». Ciencia abierta Internacional 29:1-12.
- Rodriguez, Max. 2019. «Estudio de floraciones algales mediante indicadores de concentración de clorofila a y temperatura superficial en el embalse de Condorama utilizando técnicas de teledetección.» tesis, Arequipa.
- Rodriguez, Nelson. 2018. «Determinación de la deforestación entre los años 1986 y 2016 mediante técnicas de teledetección y SIG, distrito Sauce – Perú». Unión Peruana , Tarapoto.
- Rojas, Sixto Felipe Meza. 2016. «TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES». 152.
- Sanchez, Natalia. 2018. «Cambios en la Cobertura Vegetal y en el Espejo de Agua Asociados a la Influencia Antrópica en el Humedal Toqui-Toqui, Tolima, Colombia». 101.
- Sawaya, Kali, Leif Olmanson, y Nathan Heinert. 2003. «Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery».
- Sexton, Joseph O., Dean L. Urban, Michael J. Donohue, y Conghe Song. 2013. «Long-Term Land Cover Dynamics by Multi-Temporal Classification across the

- Landsat-5 Record». *Remote Sensing of Environment* 128:246-58. doi: 10.1016/j.rse.2012.10.010.
- Silva, Thiago S. F., Maycira P. F. Costa, John M. Melack, y Evelyn M. L. M. Novo. 2008. «Remote Sensing of Aquatic Vegetation: Theory and Applications». *Environmental Monitoring and Assessment* 140(1-3):131-45. doi: 10.1007/s10661-007-9855-3.
- Sugier, Piotr, y Bogdan Lorens. 2011. «Changes in the spatial structure of submerged macrophytes in Lake Rotcze (Łęczna-Włodawa Lakeland)». *Oceanological and Hydrobiological Studies* 39(4):65-73. doi: 10.2478/v10009-010-0049-x.
- Vidal, Lorena, y German Perez. 2017. «Dinámica multitemporal de las coberturas y el espejo de agua en la laguna de Fúquene». *M. A.* 7:14.
- Yap, A. (2015). Análisis multitemporal de glaciares y lagunas glaciares en la Cordillera Blanca e identificación de potenciales amenazas GLOFs.

ANEXOS

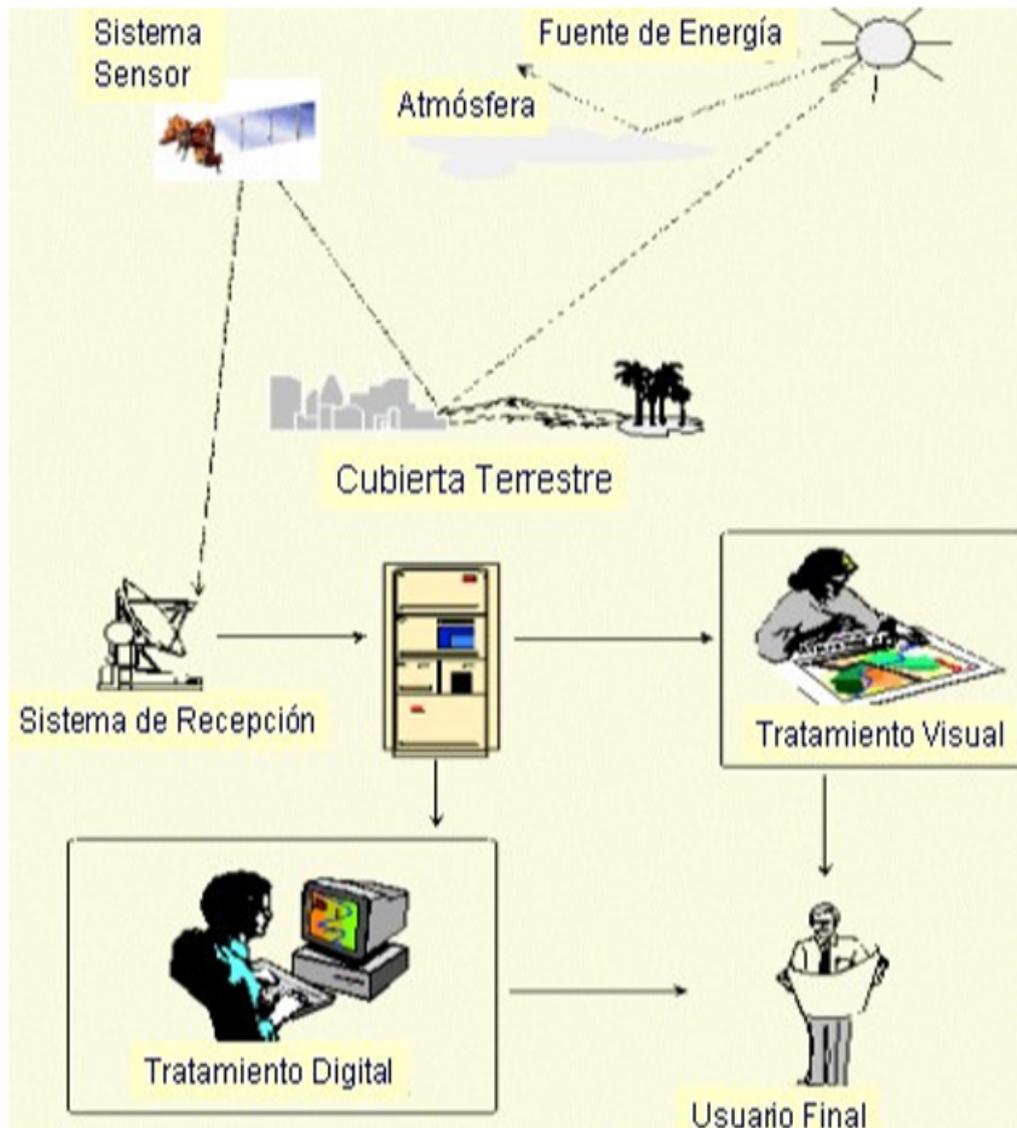
Anexo 01: Matriz de consistencia.

TÍTULO DE LA TESIS: EVALUAR LA PÉRDIDA DE ESPEJO DE AGUA Y LA BIOMASA EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO DURANTE EL PERIODO 1984 AL 2019

AUTOR: KLINDER DERSON CALCINA FLORES

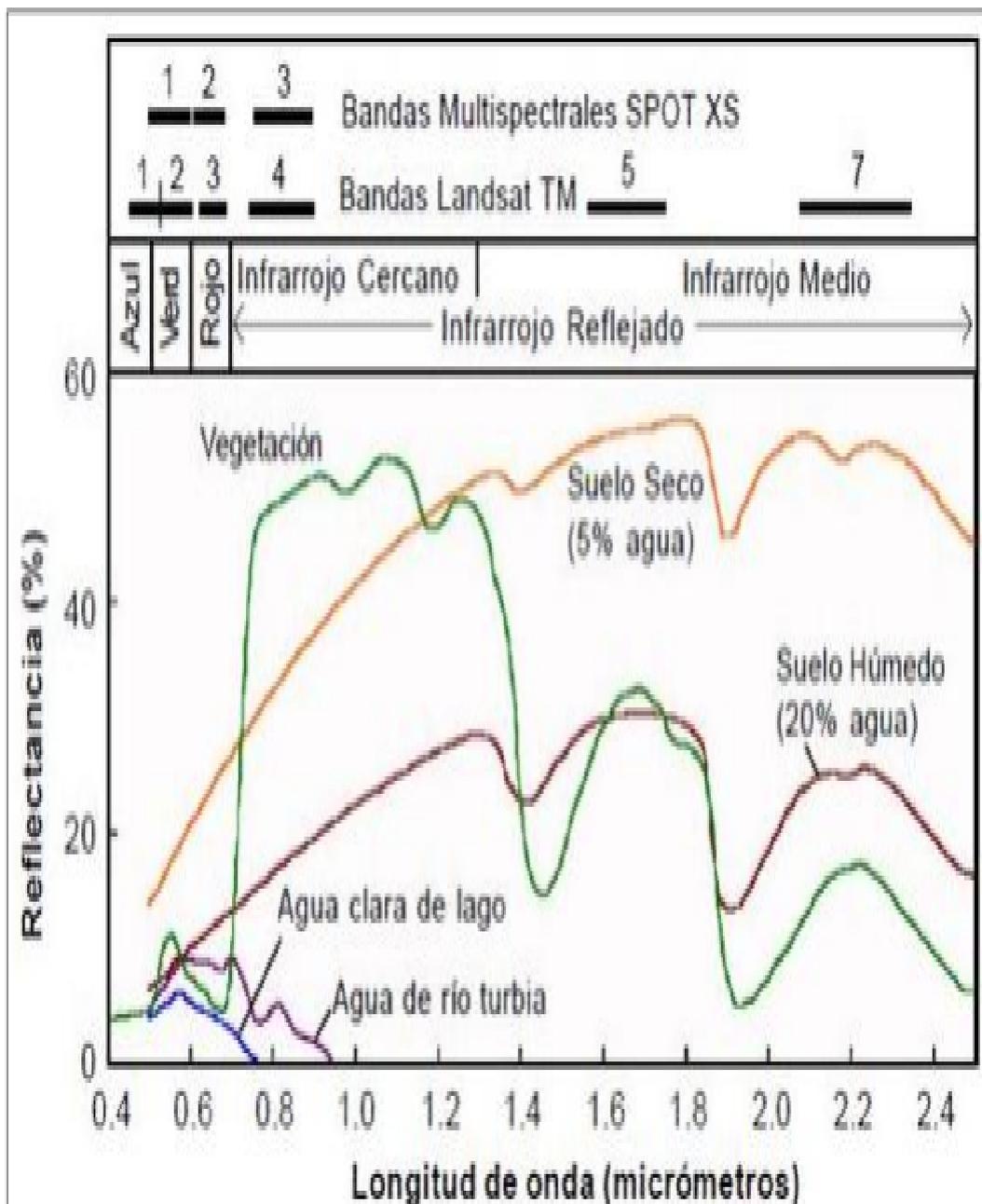
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores
<p>Problema general</p> <p>Cómo afecta la biomasa a la pérdida del espejo de agua y el aumento de la biomasa en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Evaluar la pérdida del espejo de agua y la biomasa en la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>La pérdida del espejo de agua presente en la Bahía Interior de Puno, está relacionado ampliamente con el incremento de la biomasa durante el periodo 1984 al 2019.</p>	<p>Independiente</p> <p>Pérdida de espejo de agua en la Bahía Interior de Puno (BIP).</p>	<p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espejo agua - Laguna estabilización - Lenteja - Suelo - Totora
<p>Problemas específicos</p> <p>De qué manera se caracteriza el espejo de agua cómo influye en la eliminación del área de espejo de agua en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019?</p> <p>Cómo se cuantificó el porcentaje de pérdida de espejo de agua, el año de mayor incremento y menor del índice de la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Caracterizar y delimitar el área de espejo de agua en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019.</p> <p>Cuantificar el porcentaje de pérdida de espejo de agua, en la Bahía Interior de Puno en el periodo 1984 al 2019.</p>	<p>Hipótesis Específica</p> <p>La clasificación del espejo de agua de la Bahía Interior de Puno está relacionada con la delimitación de las técnicas de Teledetección espacial y de los Sistemas de información Geográfica, en el periodo 1984 al 2019.</p> <p>El porcentaje de pérdida del espejo de agua está relacionado con el mayor incremento y menor índice de la biomasa con las técnicas de la Teledetección espacial y de los Sistemas de información Geográfica en el periodo 1984 al 2019.</p>	<p>Dependiente</p> <p>Análisis de la Biomasa</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Espejo agua - Laguna estabilización - Lenteja - Suelo - Totora

Anexo 02: Sistema de teledetección y sus componentes.



Fuente: Chuvieco, E., (2006), Teledetección Ambiental: La observación de la tierra desde el espacio. (2da, ed.). Barcelona, España.

Anexo 03: Signaturas espectrales.



Fuente: RAPID UPLIFT. Hyperspectral Mapping Of The Geology. Fecha de consulta: 08/09/2015. <http://suvratk.blogspot.com.co/2012/07/hyperspectral-mapping-of-geology-of.html>

Anexo 04: Constelación de los satélites LandSat.

Satellite	Launch	Decommissioned	Sensors
Landsat 1	July 23, 1972	January 6, 1978	MSS/RBV
Landsat 2	January 22, 1975	July 27, 1983	MSS/RBV
Landsat 3	March 5, 1978	September 7, 1983	MSS/RBV
Landsat 4	July 16, 1982	June 15, 2001	MSS/TM
Landsat 5	March 1, 1984	2013	MSS/TM
Landsat 6	October 5, 1993	Did not achieve orbit	ETM
Landsat 7	April 15, 1999	Operational	ETM+
Landsat 8	February 11, 2013	Operational	OLI/TIRS

Fuente: Aspectos Técnicos de las Imágenes LandSat, INEGI (2013).

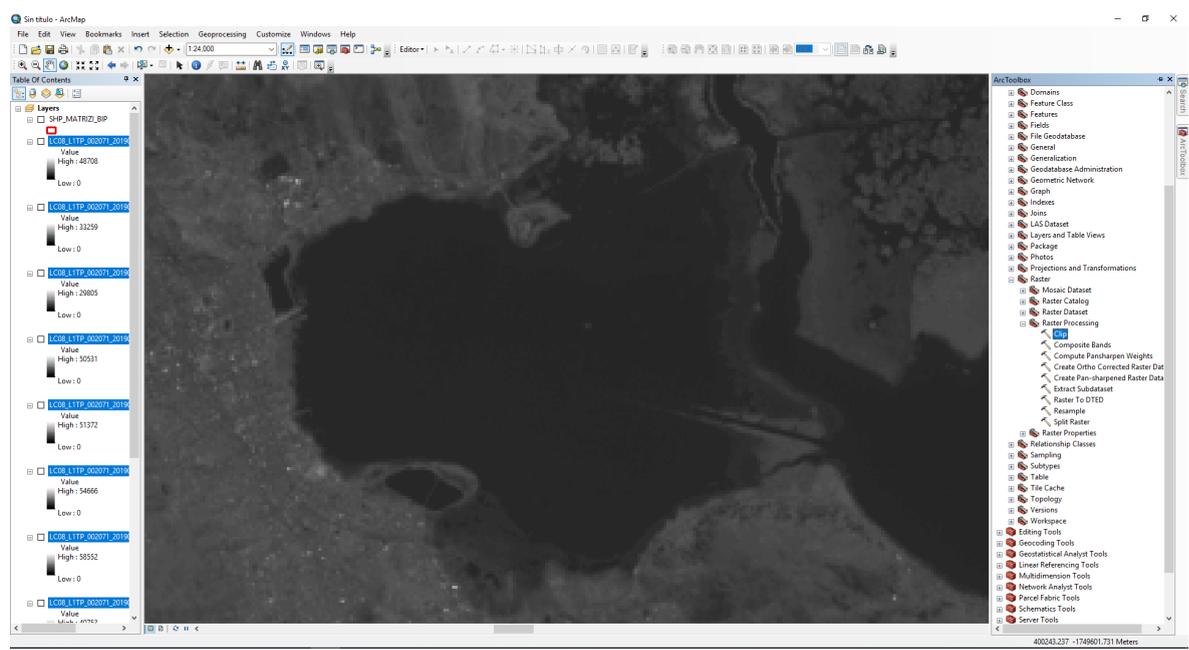
Anexo 05: Procedimiento de la delimitación en ArcGis 10.4 paso a paso mediante el computador.

01-DESCARGA-IMG

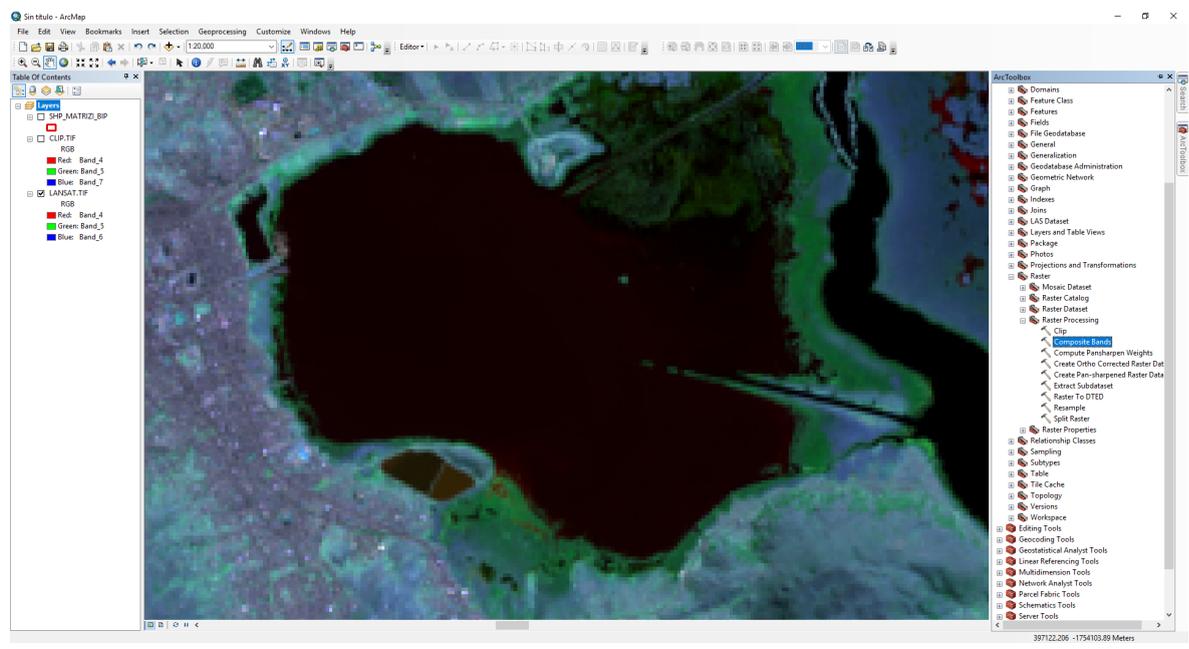
The screenshot shows the USGS LandLook viewer interface. At the top, there's a navigation bar with the USGS logo and 'LandLook' text. Below it is a toolbar with various icons for navigation and image manipulation. The main area displays a satellite image of a large body of water, likely a lake or reservoir, surrounded by land. On the right side, there's a 'Modificar imágenes' (Modify Images) panel with options for 'Active Date' (ranging from 02 Aug 1999 to 01 Aug 2019), 'Video Format' (set to AVI), and 'Image Display' options (Active Date Only, Mosaic, Dynamic Image Refresh). Below the image, there's a 'Hide Metadata' button and a table showing 382 scenes. The table has columns for Standard Product, LandLook Product, Details, Sensor, Acquisition Date, Path, Row, Tile Number, Cloud Cover, Collection Category, Collection Number, Product ID, and Scene ID. The first few rows of the table are visible, showing data for OLI, ETM, and MSI sensors.

Standard Product	LandLook Product	Details	Sensor	Acquisition Date	Path	Row	Tile Number	Cloud Cover	Collection Category	Collection Number	Product ID	Scene ID
			OLI	01 Aug 2019	2	71	N/A	0%	RT	1	LC08_L1TP_002071_20190801_20190801_01_RT	LC80020712019213 LGN00
			ETM	24 Jul 2019	2	71	N/A	20%	RT	1	LE07_L1TP_002071_20190724_20190724_01_RT	LE70020712019205 EDC00
			MSI	21 Jul 2019	N/A	N/A	T19LDC	7%	N/A	N/A	L1C_T19LDC_A021300_20190721T145652	N/A
			MSI	21 Jul 2019	N/A	N/A	T19LCC	9%	N/A	N/A	L1C_T19LCC_A021300_20190721T145652	N/A

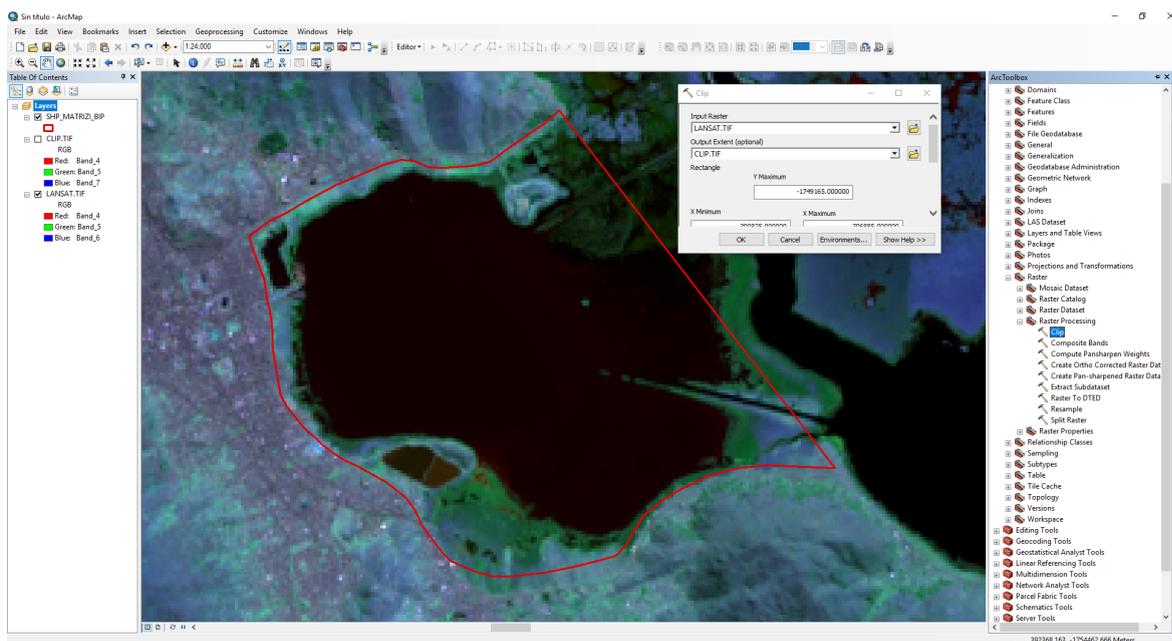
02-CORTAR-IMG



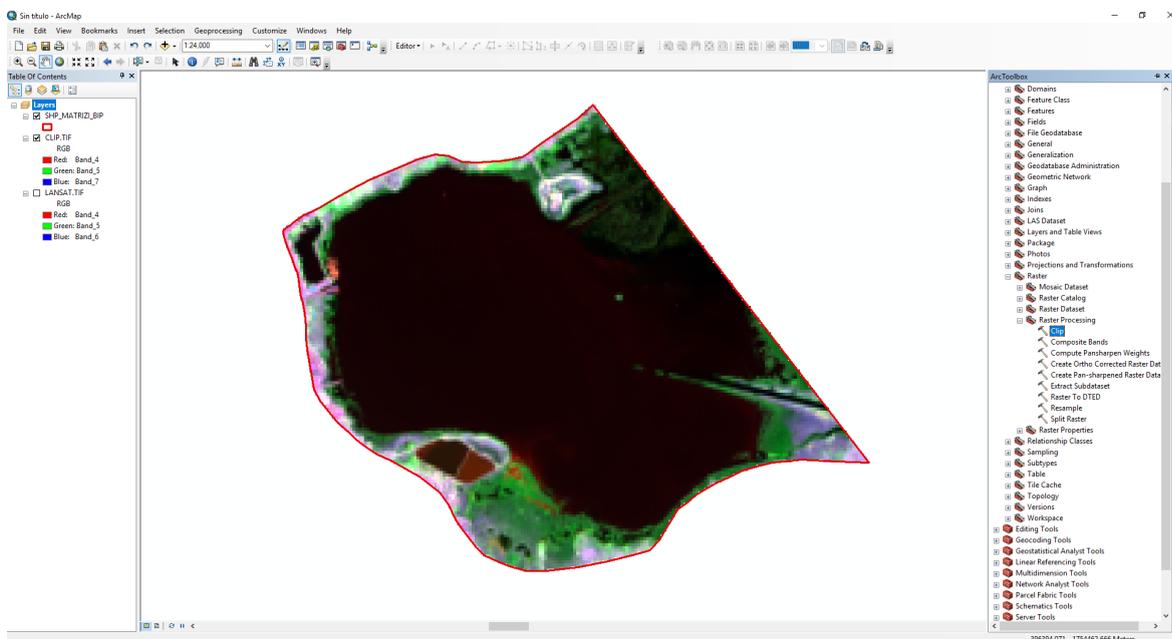
03-COMPOSICION-BANDA-7-4-2



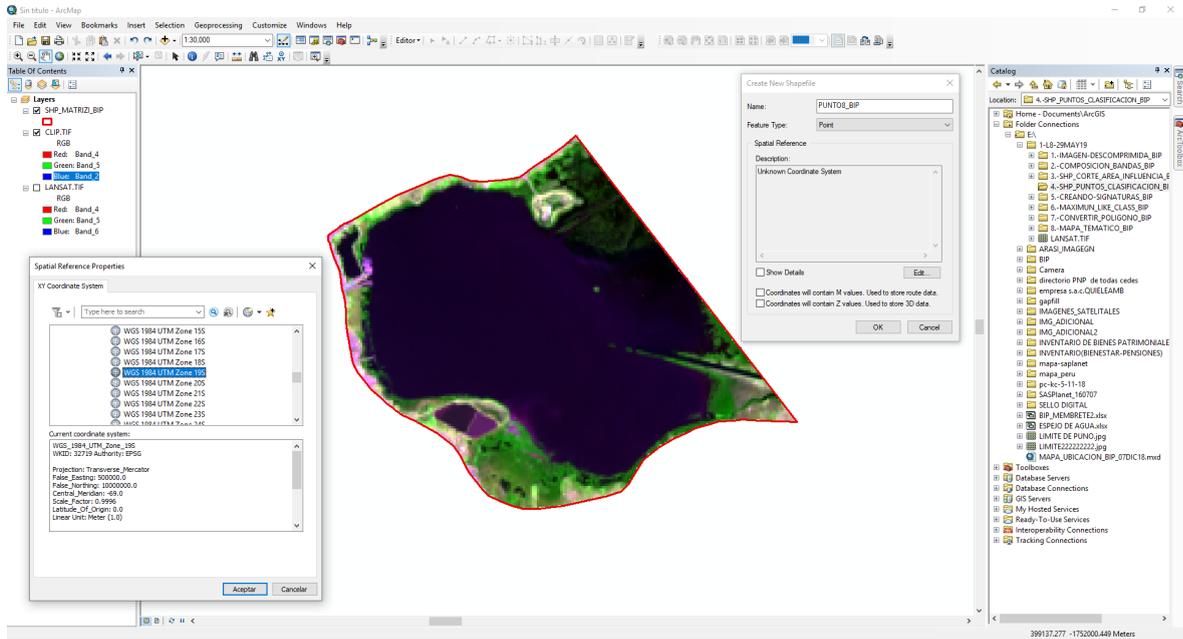
04-DELIMITACIÓN-BIP



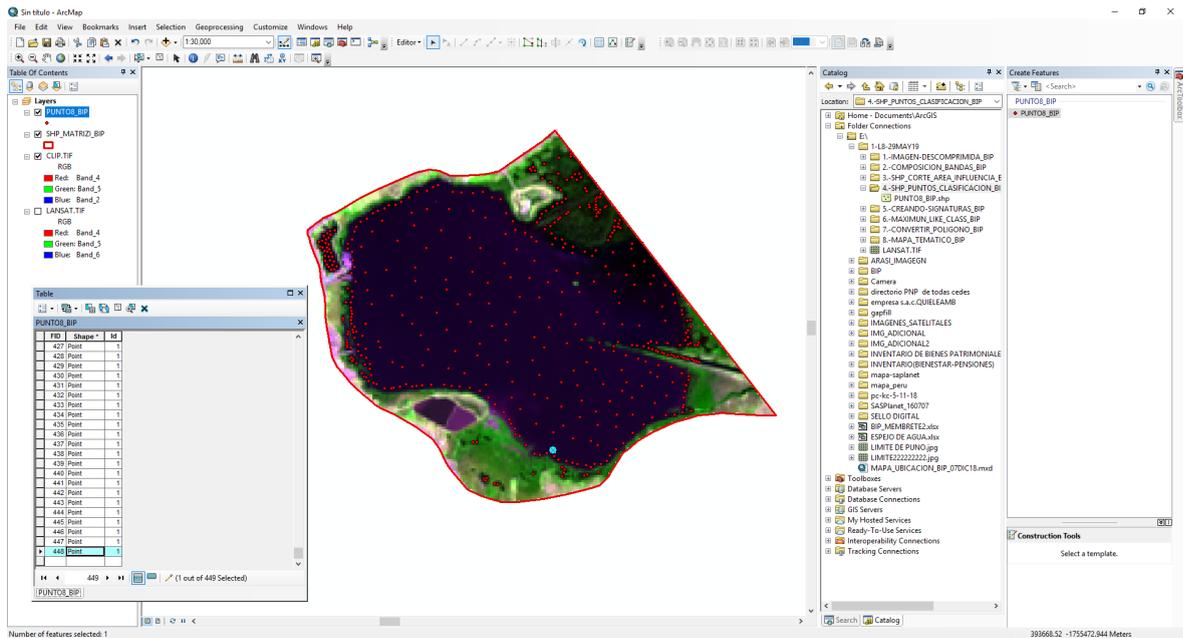
05-DELIMITADO-COMPOSICIÓN



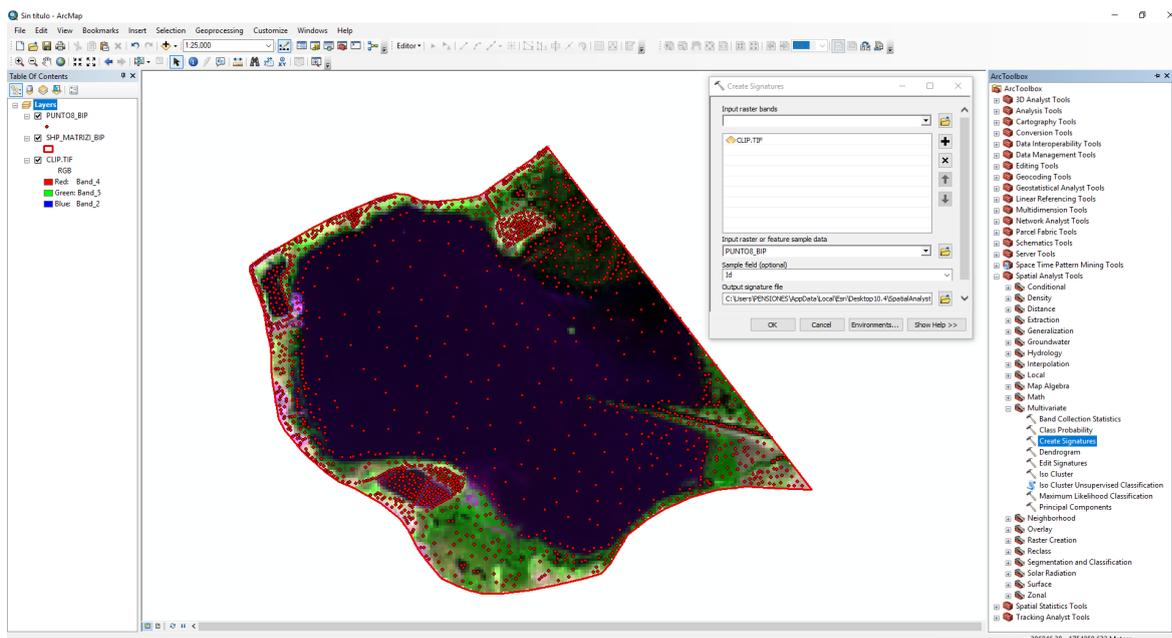
06-SH-POLIGONO-UTM



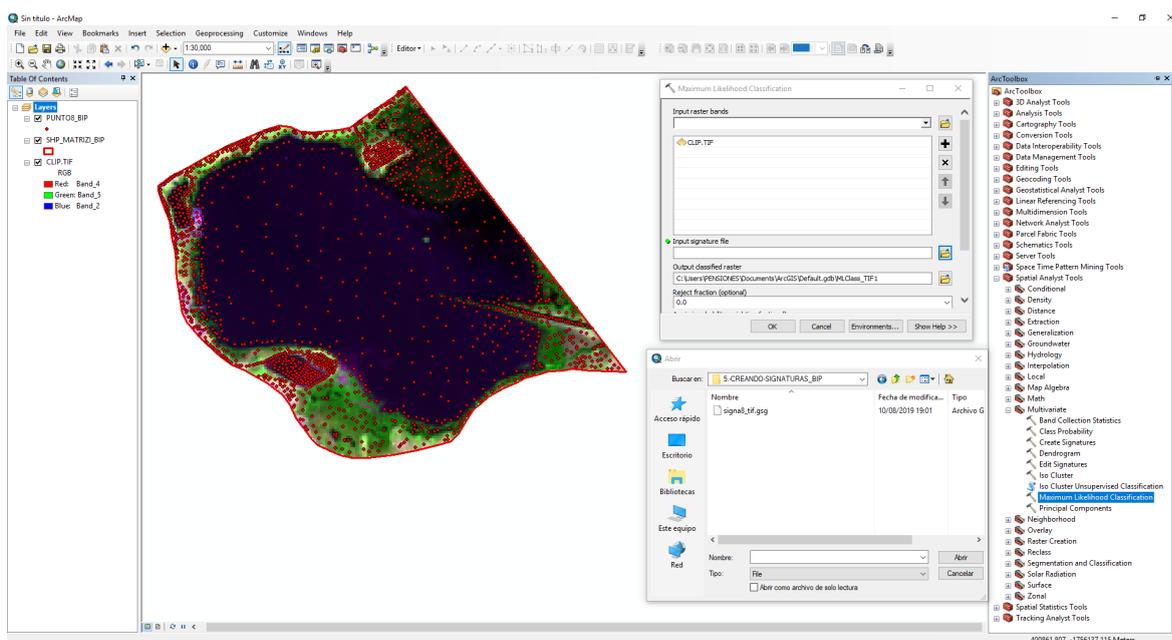
07-SH-CLASE-ESPEJO-AGUA



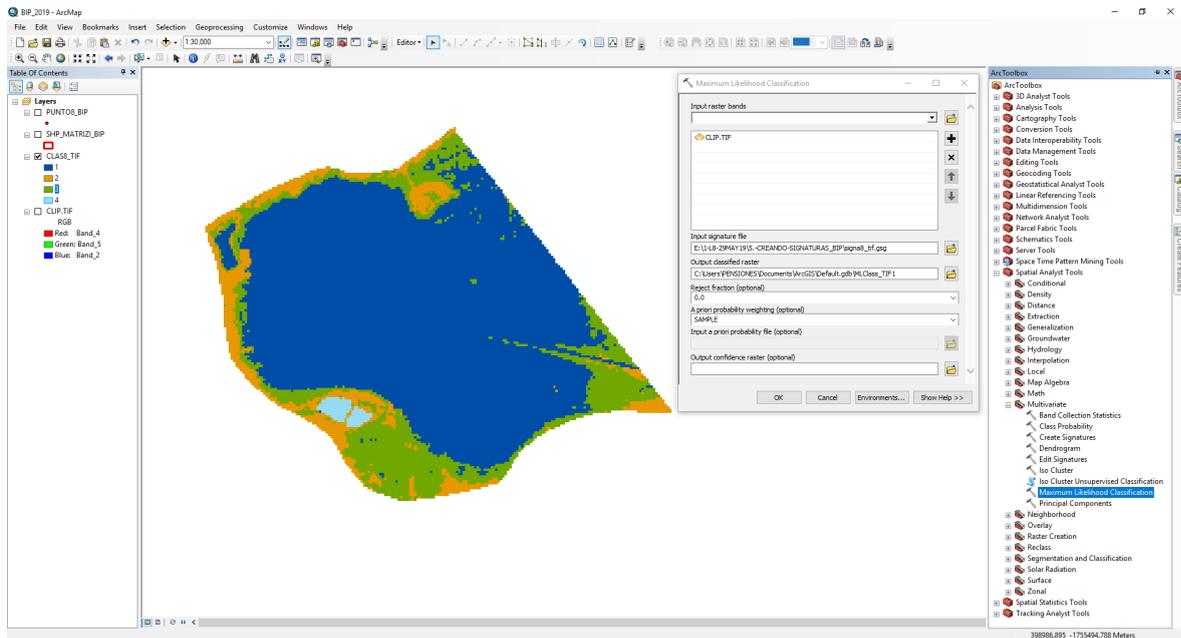
08-SIGNATURA-ESPECTRAL



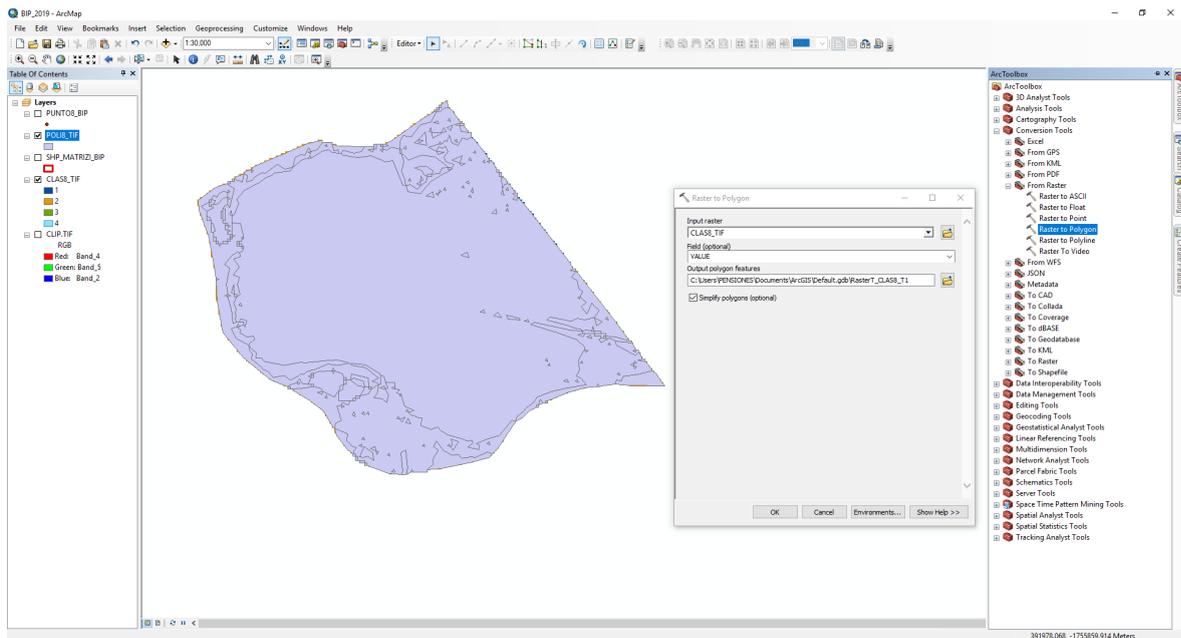
09-MAXIMO-CLASIFICACIÓN



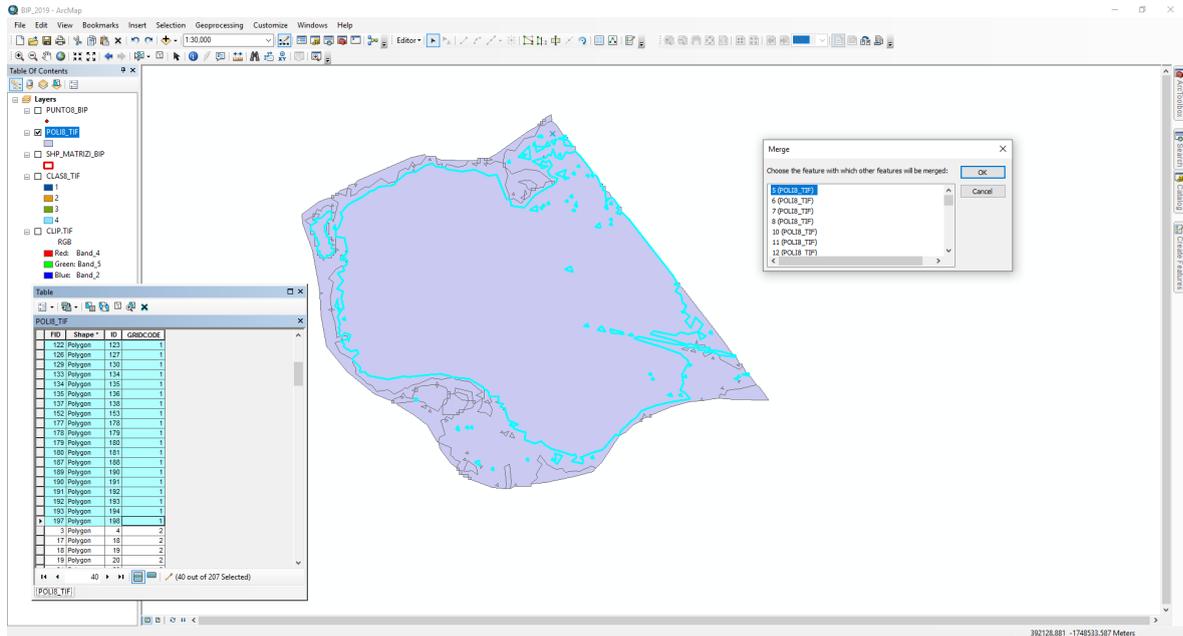
10-MÁXIMO 2-CLASIFICACIÓN



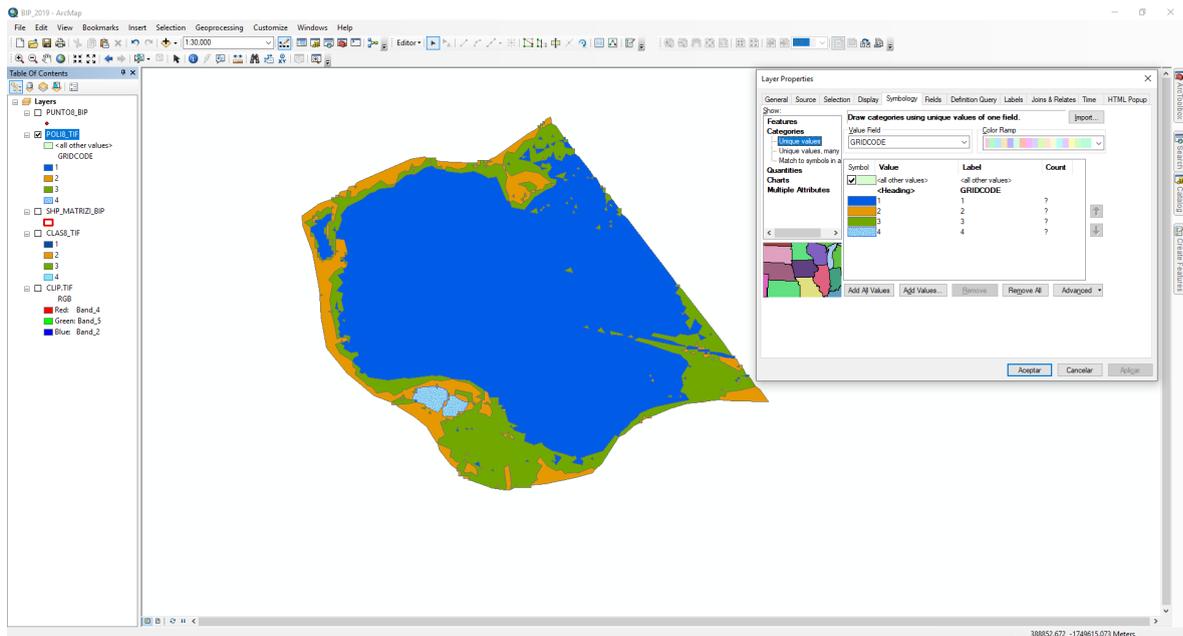
11-RASTER-POLÍGONO



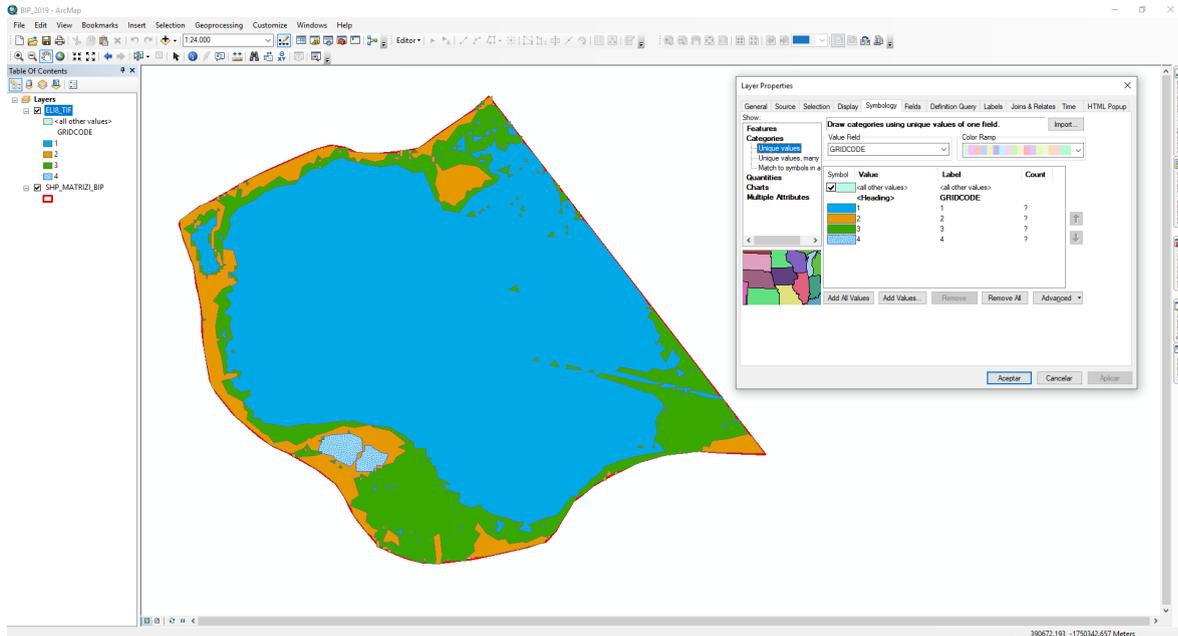
12-REDUCCIÓN -POLÍGONOS



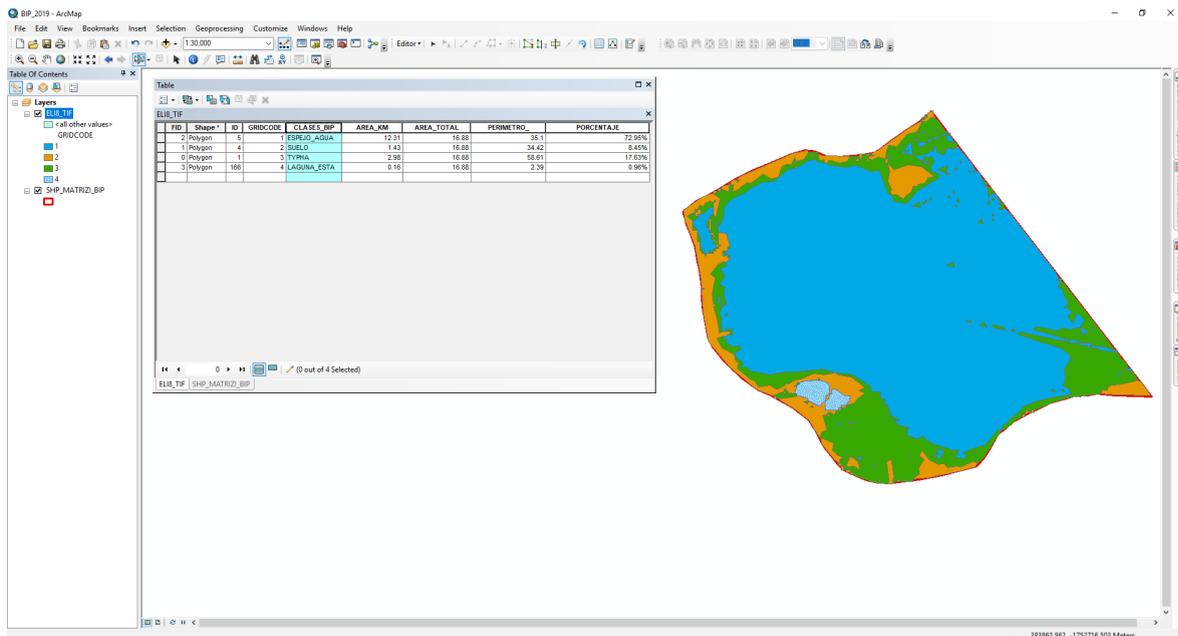
13-SIMBOLOGÍA-CLASES



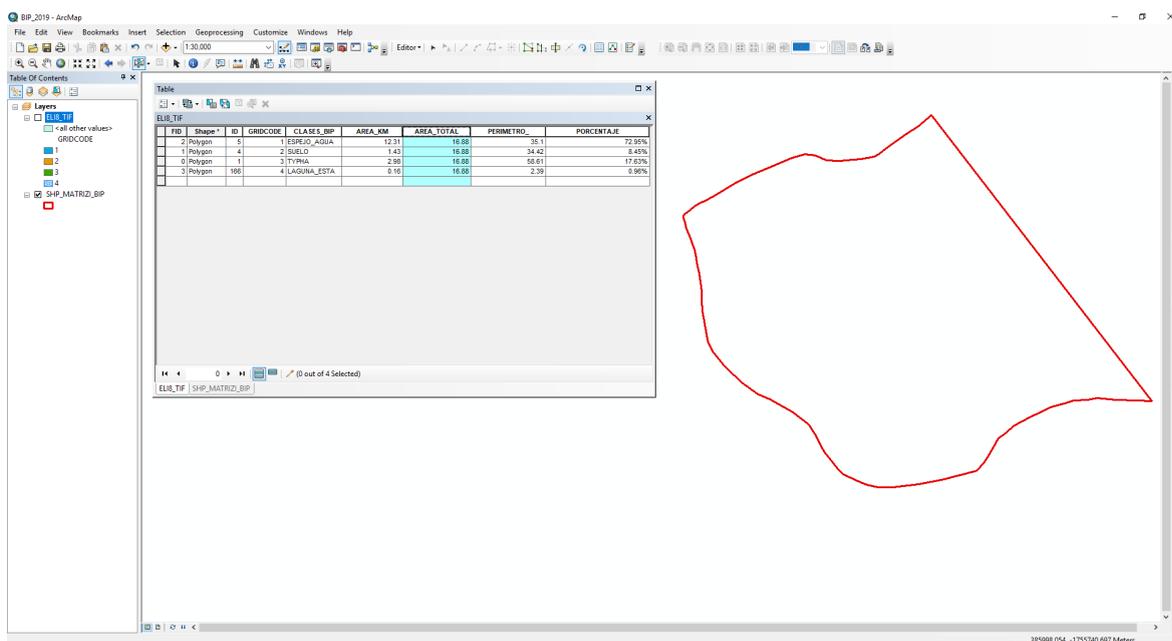
14-ASIGNACION-COLOR-CLASE



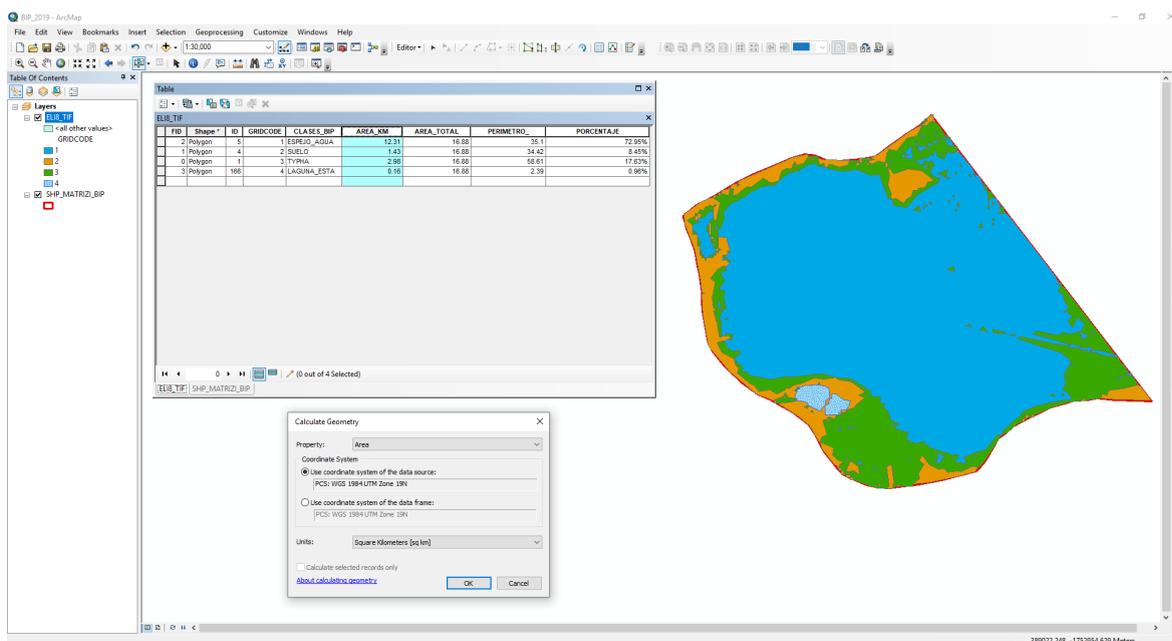
15-ASIGNANDO-CLASE-TABLA



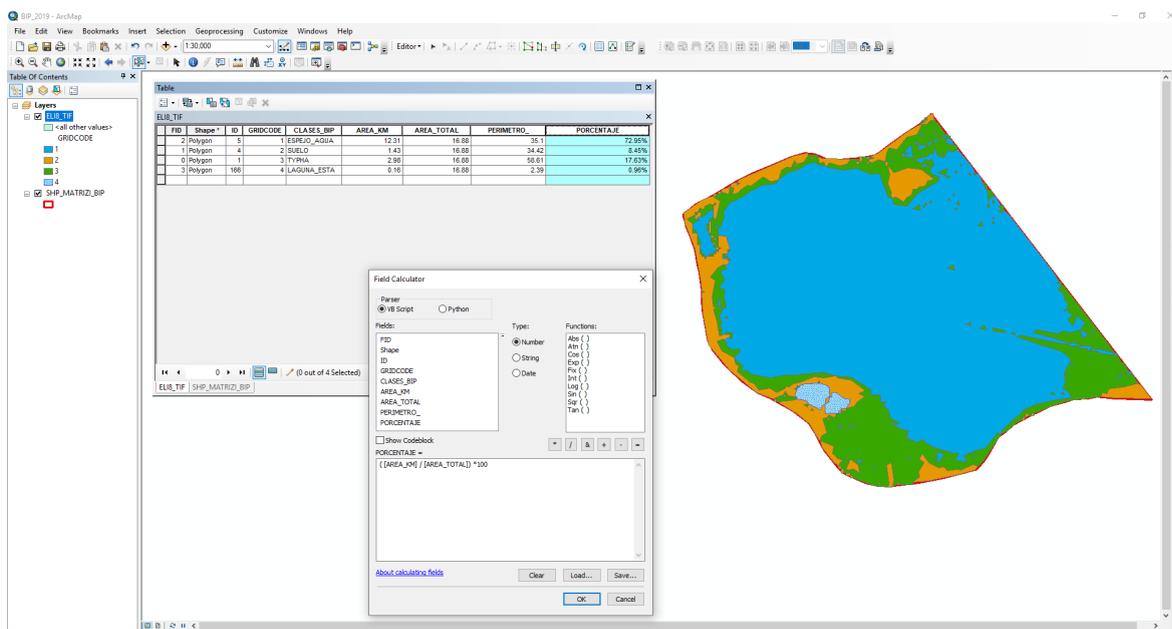
16-ÁREA-TOTAL-BIP



17-CALCULANDO-GEOMETRÍA-CLASES



18-PORCENTAJE-AREAS-CLASES



19-MAPA-FINAL-CLASES-PORCENTAJES

