



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

MASTER EN TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

TRABAJO FIN DE MASTER

LAKE MONITORING IN CHINA



Autor: Francisco Javier Amador Criado

Julio de 2013

Mieres, 15 de Julio de 2013

D. Bernat Martínez Val, director del Trabajo Fin de Máster del alumno del máster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica por la Universidad de Oviedo D. Francisco Javier Amador Criado.

Autoriza la presentación del mismo y su defensa.



12/07/2013

FIRMA Y FECHA

AGRADECIMIENTO

A Bernat, por su apoyo y su asesoramiento, tanto en mis prácticas como en este trabajo.

A Pablo, Cristina, Albert y todo el equipo de IsardSAT, por haberme acogido como uno más en el equipo de trabajo y facilitarme las cosas.

INDICE

	<u>Págs.</u>
1. RESUMEN/ABSTRACT	06
2. INTRODUCCIÓN	08
2.1. Justificación e interés del estudio	08
2.2. China, aspectos generales	09
2.3. Recursos hídricos de China	09
2.3.1. Sistemas fluviales	09
2.3.2. Lagos, embalses y presas	12
2.3.2.1 Construcción de presas y embalses	
2.3.3. Aguas subterráneas	14
2.3.4. Aguas residuales	14
2.3.5. Desalinización	15
2.3.6. Aguas renovables	15
2.4. Disponibilidad de recursos hídricos y población en China	16
2.4.1. Acceso al agua “per cápita” y por provincia	16
2.4.2. Responsabilidad de la gestión de los recursos hídricos	18
2.4.3. El precio del agua	20
2.4.4. Productividad del agua	21
Conclusiones.....	22
3. OBJETIVOS	24
4. PROCEDIMIENTO (El plan de trabajo y metodología)	25
4.1. El objeto de estudio: Los lagos	25
4.2. La tecnología utilizada: Altimetría Radar	27
4.2.1 Antecedentes de la Altimetría Radar	27
4.2.2 Ventajas y limitaciones de la Altimetría Radar	31
4.3. Procesos de trabajo	32
4.3.1. Los satélites utilizados en el estudio	32
4.3.2. La superficie de referencia	33
4.3.3. Obtención de medidas	33
4.3.4. Digitalización de los lagos...	33
4.3.5. Los tipos de datos proporcionados por los satélites	33
4.3.6. Ground Track	34
4.3.7. KML's generados de los Tracks	36
4.3.8. Medidas “in situ”	36

4.4. Metodología	39
4.4.1. Metodología para el Envisat	39
4.4.2. Metodología para el Jason-2 y Haiyang-2	41
4.5. Otras misiones	45
4.5.1. LEGOS	49
4.5.2. ESA	50
4.5.3. USDA	51
4.6. Correcciones geofísicas	52
4.7. Correcciones instrumentales	54
4.8. Software utilizado	54
4.9. Data Quality	56
5. RESULTADOS	60
6. CONCLUSIONES	80
7. BIBLIOGRAFIA Y FUENTES	81

1. RESUMEN

El agua es un recurso fundamental para los seres humanos y los ecosistemas. Por ello, conocer la disponibilidad de los recursos hídricos es cada vez más necesario para la sociedad actual por la demanda que ésta requiere tanto para el uso agrícola y la producción de alimentos, como para el uso industrial y, por supuesto, para el consumo humano. Conocer la disponibilidad de recursos hídricos es igualmente importante para la calidad ambiental y el desarrollo sostenible y para mitigar los efectos de los eventos extremos (inundaciones, sequías y corrimientos de tierra).

La obtención de datos hidrológicos (ríos, lagos, humedales) es, a menudo, difícil a causa de la inaccesibilidad de las regiones en las que se encuentran algunos de ellos, a la dispersión de las estaciones de aforo o a la lenta difusión de los datos. Una herramienta de utilidad indiscutible para esta tarea es la teledetección.

El altímetro de radar a bordo con que cuentan algunos satélites espaciales proporciona, debido a su cobertura global y a sus re-visitas sistemáticas, una información muy útil sobre los niveles, el cambio de volumen y los flujos de descarga del agua de los lagos y humedales.

En ningún caso, se ha utilizado la altimetría para obtener las estimaciones de las aguas interiores. Uno de los condicionantes para llevar a cabo con fiabilidad esta estimación ha sido la anchura de la traza (varios kilómetros) de la altimetría radar que ocasiona medidas contaminadas porque a medida que aumenta el área a monitorear disminuye el grado de detalle perseguido. Sin embargo, es probable que esto pueda superarse con los altímetros SAR, CRYOSAT-2 recientemente lanzados o con los futuros SENTINEL-3 y SNR que circulan a mayor altura y facilitan una resolución más fina en el monitoreo.

Teniendo en cuenta todas estas cuestiones nos hemos propuesto en este proyecto de fin de master examinar las limitaciones y capacidades de la altimetría de radar para el control de las aguas continentales en la actualidad.

ABSTRACT

Water is a vital resource for humans and ecosystems. Therefore, know the availability of water resources is increasingly required for today's society demands that it requires both the agricultural and food production and for industrial use and, of course, for human consumption. Knowing the availability of water resources is equally important for environmental quality and sustainable development and to mitigate the effects of extreme events (floods, droughts and landslides).

The hydrological data collection (rivers, lakes, wetlands) is often difficult because of the inaccessibility of the regions in which there are some of them, to the dispersion of gauging stations or the slow dissemination of data . A useful tool for this task is undisputed remote sensing.

The radar altimeter on board, with that have some space satellites provides, due to its global coverage and its systematic re-views, useful information on levels, the volume change and water discharge flows from lakes and wetlands.

In any case, altimetry has been used to obtain estimates of inland waters. One of the conditions to carry out this estimate reliability has been the width of the trace (several kilometers) radar altimetry measures causing contaminated because as you increase the area to monitor decreases the level of detail sought. However, it is likely that this could be overcome with SAR altimeters, recently launched CRYOSAT-2 or with future Sentinel-3 and SNR circulating facilitate higher and finer resolution in monitoring.

Considering all these issues we have proposed in this master project to examine the limitations and capabilities of the radar altimetry for monitoring of inland waters today.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Justificación e interés del estudio

Desde la antigüedad, el agua ha sido considerada un recurso esencial para la supervivencia de todas las formas de vida conocidas; para el surgimiento de nuevas civilizaciones, formas de vida y para determinar la disposición de la población sobre el territorio.

Según su distribución geográfica, el agua es la sustancia más abundante en la corteza terrestre, aunque el 95,5% aproximadamente es agua salada. Del 4,5% restante, la mitad se deposita en los casquetes polares y la otra mitad es agua dulce utilizable que se encuentra en el suelo o subsuelo. Una proporción importante del volumen de agua utilizado retorna a su lugar de procedencia generando nuevos mantos acuíferos, lo que permite aumentar el volumen conocido de los recursos hídricos. Sin embargo, estos recursos disminuyen debido a varias causas diversas entre las que destacan la contaminación, las condiciones físicas de la escorrentía y la desertización en regiones que soportan persistentes sequías. De ellas, la contaminación es una de las más importantes porque afecta a las aguas continentales, convirtiéndose en un freno para el desarrollo urbano e industrial, del que es también consecuencia.

En épocas pasadas, la aparente abundancia de agua ha dado la impresión de que era un recurso inagotable y, por tanto, gratuito. En la actualidad, el agua se ha convertido en un recurso económico que debe ser administrado racionalmente. Esta toma de conciencia se produce a partir de la década de los años 70, fecha en que se origina una importante disminución de este recurso en algunas partes del mundo. En esos lugares, el agua se convierte en un bien escaso que debe ser transportado desde lejos o trasvasado de una cuenca hidráulica a otra, ocasionando gastos elevados y comprometiendo el desarrollo urbano y económico.

Todos los estudios sobre la evolución del problema a corto plazo coinciden en conclusiones pesimistas. De ahí que el control de los recursos hídricos disponibles a nivel mundial se haya convertido en un tema político de vital importancia debido a las graves consecuencias que suponen para los estados actuales la disponibilidad o no de los mismos.

En el caso concreto de China, nación en la que se sitúa geográficamente nuestro objeto de estudio, la necesidad de estudiar las posibilidades de los recursos hídricos existentes es una tarea preferente para el Gobierno, consciente de que, en este país, debido al crecimiento constante de la población y a la contaminación de ríos, lagos y aguas costeras, la demanda de agua excede la tasa de reposición.

Por otra parte, puede decirse que nuestro trabajo es una “experiencia de laboratorio” que, al generar una información veraz y oportuna, nos permitirá constatar el valor del monitoreo para la evaluación (y/o conservación) de cuerpos de agua.

2.2 China, aspectos generales

La República Popular China se extiende por el este del continente asiático y la orilla occidental del Océano Pacífico. Por el este limita con la República Popular Democrática de Corea; por el norte, con Mongolia; por el nordeste, con Rusia; por el noroeste, con Kazajistán, Kirguizistán y Tayikistán; por el oeste y el suroeste, con Afganistán, Pakistán, India, Nepal y Bután; por el sur, con Myanmar, Laos y Vietnam; por el este, mira a través del mar a Japón, Taiwán y Filipinas.

China, que ocupa una superficie de 9.596.960 Km², de los cuáles sólo el 11% es superficie cultivable y el 36% son pastos y zonas forestales, es el tercer país más extenso del mundo, después de Rusia y Canadá y supone más del 6% de la superficie emergida mundial.

Cuenta con una población de 1.336 millones de habitantes y una densidad demográfica de 139,6 Hab/Km². El 92% de la población es de etnia Han y el 8% restante lo forman otros 56 grupos étnicos considerados minorías nacionales. La lengua oficial es el chino mandarín y además se hablan más de cien dialectos distintos. La unidad monetaria es el Yuan y la forma de Estado es el Régimen de Partido Único (Partido Comunista Chino).

En cuanto a la distribución administrativa, China está dividida en **22 provincias** (Anhui, Fujian, Gansu, Guangdong, Guizhou, Hainan, Hebei, Heilongjiang, Henan, Hubei, Hunan, Jiangsu, Jiangxi, Jilin, Liaoning, Qinghai, Shaanxi, Shandong, Shanxi, Sichuan, Yunan y Zhejiang), **5 regiones autónomas** (Guangxi, Inner Mongolia, Ningxia, Tibet y Xinjiang), **4 municipalidades bajo la administración central** (Pekín, Shanghai, Tianjin y Chongqing) y **2 regiones administrativas especiales** (Hong Kong y Macao).

2.3 Recursos hídricos de China

Los recursos hídricos de China son abundantes y desigualmente distribuidos lo que los convierte en escasos cuando se establece una relación entre estos recursos y la población total del país.

2.3.1 Sistemas fluviales: ríos

Hidrológicamente, China puede dividirse en dos partes bien diferenciadas: China seca, en el norte, con zonas en las que la precipitación no supera los 200 mm y, por

donde discurre el Río Huang He; China húmeda, en el sur, donde las precipitaciones anuales pueden superar los 1600 mm.

Según su desembocadura se diferencian *ríos interiores* que desembocan en el desierto o interior de China y *ríos exteriores* que desembocan, principalmente, en los océanos Pacífico, Índico y Glaciar Ártico. *Los ríos exteriores* son considerados los más grandes de China y sus cuencas ocupan un 64 % de la superficie total del país. Entre ellos podemos destacar el Yangtsé, con una longitud de 6.300 Km, es el más grande del país; el Amarillo, una de las cunas de la antigua civilización china y segundo por su longitud, con 5.464 Km; El río Heilong es otro de los grandes ríos situado al norte del país, tiene una longitud de 4.350 Km, de los cuales, 3.101 Km, transcurren dentro del país; el río Zhu es el mayor de los situados en la parte sur de China, con una longitud de 2.214 Km; Liao: 1.430 Km de longitud; Hai: 72 Km de longitud; Huai: 1.000 Km de longitud. Todos ellos transcurren de oeste a este y desembocan en el océano Pacífico. El río Yarlung Zangbo situado en el Tíbet, transcurre hacia el sur para desembocar en el océano Índico. En el río Yarlung Zangbo está situada la Garganta Yarlung Zangbo, que tiene una longitud de 504,6 Km y una profundidad de 6.000 metros y, finalmente el río Ertiz, en la Región Autónoma Uigur de Xinjiang, tiene su desembocadura en el océano Glaciar Ártico. *Los ríos interiores* corren hacia el desierto o interior de China, y sus cuencas ocupan un 36 % de la superficie total del país. Entre ellos se destaca el río Tarim, situado en la Región Autónoma Uigur de Xinjiang, que por su longitud (2,179 metros) es el más largo de todos los ríos interiores de China.

Además de estos ríos naturales también hay que citar al famoso Gran Canal Jinghang considerado como un río artificial que recorre 1801 km desde Beijing, en el norte, hasta Hangzhou en el sur, comunicando los sistemas hidrológicos de los ríos: Haihe, Amarillo, Huai, Yangtsé y Qiantang.

Para evaluar el caudal total de las aguas procedentes de fuentes fluviales de que dispone este país es necesario tener en cuenta (por las modificaciones que ello pueda ocasionar en la estimación total) que parte de ellas proceden de los doce ríos que entran en territorio chino desde seis países vecinos (India, Kazajistán, Kirguistán, Mongolia, Pakistán y Vietnam) y las aguas de los ríos que discurren entre China y alguno de sus países limítrofes. Todo ello supone nueve cuencas hidrográficas principales. Al oeste una zona endorreica, que abarca 1/3 del territorio chino, con una hidrografía que no desemboca en el mar, y una zona exorreica, al Este, que abarca los 2/3 del territorio.

PRINCIPALES RÍOS DE CHINA CON SU ESCORRENTÍA MEDIA ANUAL

Major Rivers in China With Their Average Annual Runoff			
River	Length (km)	Drainage Area (km ²)	Average annual runoff (km ³)
Changjiang (Yangtze)	6,300	1,000,500	951.3
Huang He (Yellow)	5,464	752,443	66.1
Heilongjiang (Amur)	3,420	896,756 *	117.0
Songhua (Sungari)	2,308	557,180	76.2
Xijiang (Pearl)	2,210	442,100	333.8
Yarlung Zangbo	2,057	240,480	165.0
Tarim	2,046	194,210	35.0
Lancangjiang	1,826	167,486	74.0
Nujiang	1,659	137,813	69.0
Liao He	1,390	228,960	14.8
Hai He	1,090	263,631	28.8 **
Huai He	1,000	269,283	62.2
Irtysh	633	57,290	10.0
Luan He	877	44,100	6.0
Minjiang	541	60,992	58.6
Total		5,224,473	2,039.0

Notes:
 * Including the Songhua River Basin
 ** Including the Luan He River Basin
 Source: http://www.eoearth.org/article/Water_profile_of_China

En la zona endorreica hay 3 grandes cuencas principales. La cuenca del alto Tíbet con 1.000.000 de km² que comprende el 0,1% del caudal chino. La cuenca de Xinjiang, de 2.000.000 km² y el 0,3% del caudal de China. Por último, la zona occidental de Mongolia, con 400.000 km², es el desierto de Gobi y no existen corrientes permanentes.

PRINCIPALES CUENCAS FLUVIALES DE CHINA



Source: ESRI, USGS/WWE. Lambert conformal conic projection. Courtesy of Matthew Heberger.

El área exorreica tiene varias cuencas principales. Se encuentra la cuenca del río Amur, que abarca un área de 1.000.000 km² y drena el 7% de todo el caudal chino, tiene 3 afluentes principales. La China del Norte 650.000 km², con unos caudales débiles, pero con crecidas extremadamente brutales debidas a la concentración de las precipitaciones que se producen en solo dos meses. La red del Sureste de 200 000 km². En esta cuenca el curso de los ríos es fuerte, pero corto, un considerable caudal debido a la gran alimentación (monzones, tifones), pero con una turbidez menor que en el Norte. La red del Sur, tiene un gran río el XiJiang que nace en Yunnan y va a desembocar en el río Perla. Con una cuenca 2 veces menor que la del Río Amarillo, pero que tiene un caudal 5 veces mayor, en el verano el caudal puede llegar a 50.000 m³/s. Este es uno de los ríos menos peligrosos de China. La red del Suroeste se compone de los ríos que nacen en el Tíbet y que, a continuación, fluyen hacia la India y hacia la península de Indochina. En esta cuenca, los ríos discurren encajonados y son alimentados por el monzón de Bengala y el deshielo.

2.3.2 Lagos, Embalses y Presas

China cuenta con innumerables lagos, algunos de ellos de agua dulce y otros de agua salada. Los lagos de agua dulce se distribuyen a lo largo del curso mediano e inferior del río Yangtsé: Lago Boyang, Lago Dongting, Lago Tai, Lago Hongze, Entre los que el Boyang, situado al norte de la provincia de Jiangxi y con una superficie de 3.583 kilómetros cuadrados, es el mayor de ellos. Los Lagos de Agua Salada, Lago Qinghai, Lago Namu, Lago Qilin, se distribuyen en la meseta Tibetana Entre estos, el Qinghai, situado al noreste de la provincia de Qinghai y con superficie de 4.583 kilómetros cuadrados. Excluyendo los de tipo estacional, que almacenan un total de 708,8 km³, de los cuales el 31,9% de ellos es de agua dulce, hay unos 2000 lagos naturales en China.

NATURAL LAKES			
Lake district	Area (km ²)	Storage (km ³)	Freshwater storage (km ³)
Qinghai-Tibet plateau	36 889	518.2	103.5
Eastern plains	21 641	71.1	71.1
Mongolia Xin plateau	9 411	69.7	2.4
Northeast plains and mountains	2 366	19.0	18.8
Yunnan-Guizhou plateau	1 108	28.9	28.8
Others	372	2.0	1.5
Total	71 787	708.8	226.1

Sin embargo no debemos olvidar que estos datos deben actualizarse constantemente porque una veintena de lagos naturales desaparecen anualmente. Según informa la Dirección Nacional Forestal de China las causas de estas desapariciones son diversas. Por una parte, han causado una rápida reducción de las

aguas lacustres el cercamiento, para su cultivo, de terrenos inundados por las mareas y la alteración del flujo de las aguas superficiales. A esto hay que añadir la evaporación hídrica en algunas regiones y la interceptación y trasvase a gran escala de corrientes de agua superficial.

Unas y otras están ocasionando que algunos grandes lagos se vayan deteriorando progresivamente hasta convertirse en lagos salados o en suelo salino seco. Buenos ejemplos de ello son los lagos Aydingkol, y Manas, en la parte occidental de la cuenca de Junggar.

Las presas y embalses en China son numerosos y han tenido un profundo efecto para la generación de energía hidroeléctrica, el control de inundaciones, el riego, la mitigación de la sequía, la navegación y el turismo. Del total de las grandes presas del mundo, China cuenta con la mayoría, un 20% de ellas, de las que el 45% se utilizan para el riego.

La presa más antigua en China, todavía en uso, pertenece al Sistema de irrigación de Dujiangyan, que se remonta al año 256 a.C. En 2005, había más de 80.000 embalses en el país y más de 4.800 presas terminadas o en construcción que alcanzan o superan los 30 m de altura. A partir de 2007, China también es el líder mundial en la construcción de grandes represas, justo por detrás Turquía y Japón en un distante tercer lugar. La presa más alta en China es la presa de Xiaowan con 292 m, que es también la presa en arco más alta en el mundo. El embalse más grande es el creado por la presa de las Tres Gargantas, que almacena 39.300 Hm³ de agua y que tiene una superficie de 1.045 km². Estos beneficios han llegado con algunos otros efectos adversos, como el reasentamiento, las inundaciones, la pérdida de hábitat (al impedir la presa el flujo natural del río) o, en fin, a problemas con el flujo transfronterizo.



Presa de las Tres Garganta, The Three Gorges Dam

2.3.2.1 Construcción de presas

La política de infraestructuras en general, y fluvial en particular, es un asunto geoestratégico fundamental para China. La ingeniería, proyecto, ejecución, dirección de obra, operación y mantenimiento de las presas son realizadas por empresas rigurosamente chinas. Están sometidas a un control rigurosísimo para evitar filtraciones y todo tipo de riesgo que conlleve una infraestructura de tal calibre.

2.3.3 Aguas subterráneas

La media anual estimada de aguas subterráneas para todo el país es de 828,8 km³. El 70% de estas aguas subterráneas se encuentran en el sur de China y el 30% restante en la parte norte del país. Los acuíferos en el norte varían considerablemente y son geológicamente más complejos, a diferencia de los del sur, donde las aldeas pueden aprovecharse de los acuíferos. En las grandes llanuras, especialmente cerca de la costa y sobre todo en la cuenca del río Hai, muchos de los acuíferos se disponen en el subsuelo en varias capas. Al comenzar el s. XXI, Administración de Protección Ambiental Estatal con el fin de valorar las aguas subterráneas de las zonas norte y noreste donde existe una cierta escasez de agua, realizó una serie de inspecciones que afectaron a unas 2.353 ciudades y pueblos, de 31 provincias diferentes, Incluyendo Taiwan, Macao y Hong Kong. El resultado contabilizó la cantidad de agua subterránea en 92.350 Km³, de los cuales, 88.370 Km³ correspondían a agua dulce, los cuales cubrían las necesidades de 70 millones de personas. Independientemente de este dato se cotejó también que la mitad del agua subterránea no cumplía la calidad estandarizada de agua potable porque estaba gravemente contaminada, lo que suponía una grave situación que afectaba no sólo a la calidad de las tierras, sino también a la salud de las personas, provocando enfermedades endémicas.

2.3.4 Aguas residuales

Desde el año 2002, con la entrada en vigor de la Ley del Agua, China ha emprendido sucesivos proyectos para la protección del medioambiente, lo cual ha fomentado las demandas del mercado del sector referido a la depuración de aguas residuales. Esta demanda, a su vez, ha generado el desarrollo y mejora del sector en el que se han introducido nuevas técnicas, nuevos procesos y nuevos equipos, la mayor parte procedentes del extranjero. La aportación a este sector de empresas internacionales ha modernizado las técnicas chinas tradicionales cuya única función era eliminar las sustancias orgánicas y ha introducido otras funciones como la desfosforación

y la desnitrificación. Pese a ello, todavía del total de aguas residuales, que asciende a 53,7 km³, solo el 56% puede tratarse de alguna forma.

2.3.5 Desalinización

En comparación con los 660 Km³ diarios desalados en China durante el año 2011, los programas del Gobierno Chino más actuales plantean para el año 2015 la posibilidad de desalar diariamente 2000 Km³ de agua marina. La Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma (CNDR), máximo planificador económico de China, ha publicado ya las primeras regiones y compañías seleccionadas para poner en marcha los proyectos pilotos de desalinización, cuyo objetivo es triplicar la capacidad desalinizadora del agua del mar a partir de este mismo año. La lista incluye las ciudades de Shenzhen y Zhoushan, la isla de Luxixiang en la provincia oriental de Zhejiang, la Nueva Zona de Binhai -de la municipalidad norteña de Tianjin-, la Nueva Zona de Bohai -de la provincia septentrional de Hebei-, así como varios parques industriales y empresas. Un plan de desarrollo que se proyecta está encaminado no sólo aliviar la escasez de agua del país sino también para que más de la mitad del agua dulce canalizada a las islas y una parte importante de la transportada a las fábricas costeras proceda del mar. El proyecto requerirá inversiones del orden de 2.500 millones de euros, aproximadamente.

2.3.6 Aguas renovables

El agua fluye en un proceso constante que se conoce con el nombre de “ciclo hidrológico”. La vida del agua dulce comienza en los océanos, donde se concentra el 97% del agua del mundo. Calentada por los rayos solares, se evapora una fina película de agua, dejando la sal en el mar y condensándose en las nubes en forma de vapor que viaja a través del aire. Cuando las gotas mínimas que forman las nubes crecen, precipitan el agua en forma de lluvia, granizo o nieve. Parte de esta agua precipitada queda en los glaciares (dos tercios del agua dulce que existe en el planeta, una reserva a la que no tenemos acceso). El agua líquida se abre camino hacia los océanos o se almacena bajo la superficie formando las aguas subterráneas.

Este ciclo aparentemente perfecto no lo es tanto. Como sabemos, el agua no cae sistemáticamente en las mismas fechas ni lugares ya que el desplazamiento de las nubes es modificado por los vientos y por los climas. El calentamiento del planeta, provocado, en parte, por la gran cantidad de gases que se emiten a la atmósfera por las actividades humanas, ha afectado gravemente los climas del planeta modificando el ciclo del agua en diferentes regiones del mundo donde antes llovía frecuentemente. Ahora, estas regiones se han convertido en lugares áridos afectados por la sequía. En otros casos, se

produce el fenómeno inverso por la acumulación de nubes y humedad por las inundaciones.

2.4 Relación entre disponibilidad de recursos hídricos y población en China

2.4.1. Acceso al agua “per cápita” y por provincia

Tomando como base la cantidad recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 40 litros por habitante y día (equivalente a aproximadamente 5 m³ para una familia de 4 personas) y según los datos de esta misma organización y de UNICEF, entre 1990 y 2008, más de la mitad de la población china tuvo acceso a “saneamiento mejorado” y, casi la totalidad, a una “Fuente de agua mejorada” (Improved water source).

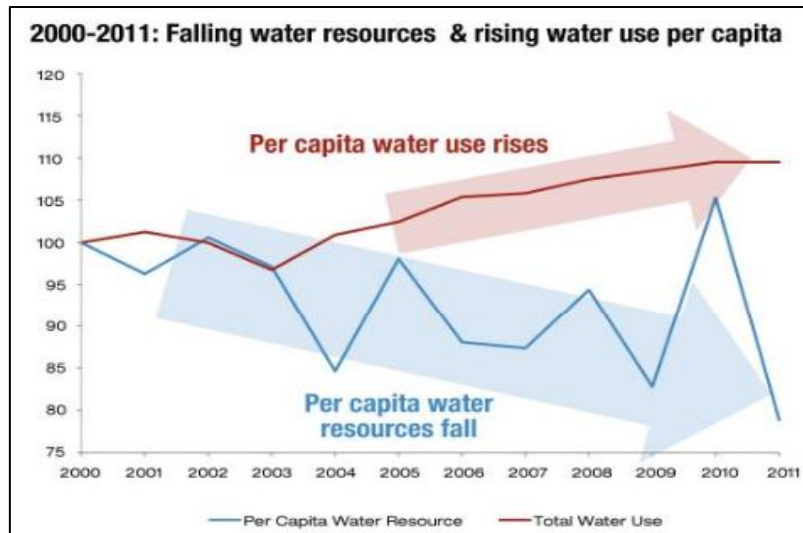
		Urbano (47% de la población)	Rural (53% de la población)	Total
Agua	Fuente de agua mejorada	98%	85%	91%
	Suministro en domicilio	95%	45%	68%
Saneamiento	Saneamiento mejorado	74%	56%	64%

Cuadro explicativo de acceso al agua en el medio rural y urbano (elaboración propia)

Si se acepta la fiabilidad de estos datos, el 55% de la población (aproximadamente unos 730 millones) habría conseguido mejor saneamiento y el 89% de la misma tenía acceso al agua potable (unos 1.200 millones de los 1.343.239.923 estimados en el 2011).

Sin embargo, la duda se plantea con el concepto de “Fuente de agua mejorada” que no quiere decir que sea una fuente de agua segura porque la calidad del “agua mejorada” es, con frecuencia, afectada por la contaminación fecal, por los altos niveles de fluoruro natural, arsénico o sus sales, y por la creciente contaminación química de procedencia industrial y agrícola.

En China, como en otros países en vías de desarrollo, existe una fisura importante entre áreas urbanas y rurales. En las áreas urbanas chinas, el 95% de la población tiene acceso a suministro de agua corriente, mientras en las áreas rurales solo llega al 45%. Esta disponibilidad desigual de agua en las diferentes partes de China varía también en función de las características del clima y la topografía.



Cuadro comparativo entre la demanda y los recursos hídricos per cápita y Fuente: www.chinawaterrisk.org/

Si bien la Reforma Agraria logró sacar a muchos campesinos de una existencia estancada y pobre elevando su nivel de vida, estos beneficios no llegaron a la totalidad de dicha clase. Así, ocurre en el territorio conocido como las 3H (Cuencas del Huang He, Huai y Hai) en el que el 34,7% de la población tiene acceso solo al 7,6% de los recursos hídricos.

Las diferencias entre las distintas zonas rurales son importantes y van desde los 358 m³ en la cuenca del Hai-Luan hasta los 750 m³ en la del Huang He, aunque, ambos casos están lejos aún de los 1000 m³ que marcan las organizaciones internacionales como valor mínimo, por debajo del cual se considera “escasez”.

	Agua natural disponible (%)	Población (%)	Tierras cultivables (%)	PIB
Sur de China	80,4 %	53,5 %	35,2 %	54,8 %
Norte de China	19,6 %	46,5 %	64,8 %	45,2 %

Comparativa de datos hídricos Norte – Sur de China (Elaboración propia, basada en datos de 2002)

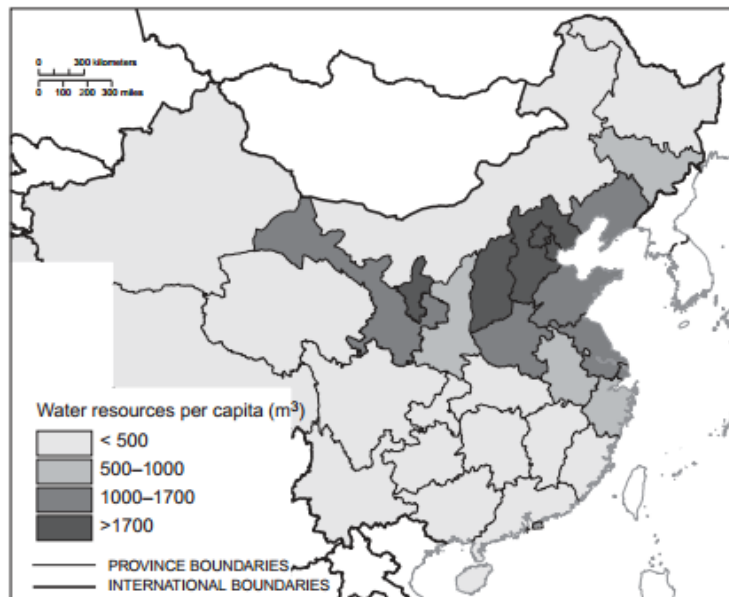
En la cuenca del río Hai, solamente el 1,5% de los recursos hídricos están disponibles para el 10% de la población total china y un 11% de las tierras cultivables.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE CHINA Y OTRAS VARIABLES

Spatial Distribution of China's Water Resources and Other Social Variables						
Basin	(1) Mean Annual Surface Runoff (km ³ , %)	(2) Groundwater (km ³ , %)	(3) Total Annual Water Resources* (km ³ , %)	(4) Population (millions, %)	(5) Arable Land (million hectares, %)	(6) Annual per Capita Water Resources (m ³)
<i>North</i>	334.3 (12.3)	168.9 (20.3)	405.4 (14.4)	520.5 (44.4)	57.4 (59.5)	778.9
Song-Liao	165.3 (6.1)	62.5 (7.5)	192.8 (6.9)	113.2 (9.6)	19.5 (20.2)	1703.2
Hai-Luan	28.8 (1.1)	26.5 (3.2)	42.1 (1.5)	117.6 (10.0)	10.8 (11.2)	358.0
Huai	74.1 (2.7)	39.3 (4.7)	96.1 (3.4)	190.5 (16.2)	14.7 (15.2)	504.5
Huang	66.1 (2.4)	40.6 (4.9)	74.4 (2.6)	99.2 (8.4)	12.4 (12.9)	750.0
<i>South</i>	2260.8 (83.4)	591.7 (69.3)	2276.6 (80.9)	627.4 (53.5)	33.5 (34.8)	3628.6
Yangtze	951.3 (35.1)	246.4 (29.7)	961.3 (34.2)	402.5 (34.3)	22.9 (23.8)	2388.3
Pearl	468.5 (17.3)	111.6 (13.5)	470.8 (16.7)	141.5 (12.1)	6.5 (6.7)	3327.2
Southeastern	255.7 (9.4)	61.3 (7.4)	259.2 (9.2)	65.1 (5.6)	2.4 (2.5)	3981.6
Southwestern	585.3 (21.6)	154.4 (18.6)	585.3 (20.8)	18.3 (1.6)	1.7 (1.8)	31983.6
Inland	116.4 (4.3)	86.2 (10.4)	130.4 (4.6)	24.7 (2.1)	5.4 (5.6)	5279.4
TOTAL	2711.5 (100)	828.8 (100)	2812.4 (100)	1172.6 (100)	96.4 (100)	2398.4

Fuentes: Columnas (1-3) adaptadas desde el Ministry of Water Resources and Electric Power of China. 1997. "Use of Water Resources in China". Columnas 4 y 5 de Nanjing Institute for Water Resources and Hydrology (NIWA) y China Institute of Water Resources and Hydropower Research (CIWRHR). 1998. "Water Demand and Supply in China." Beijing: China Water and Power Press.

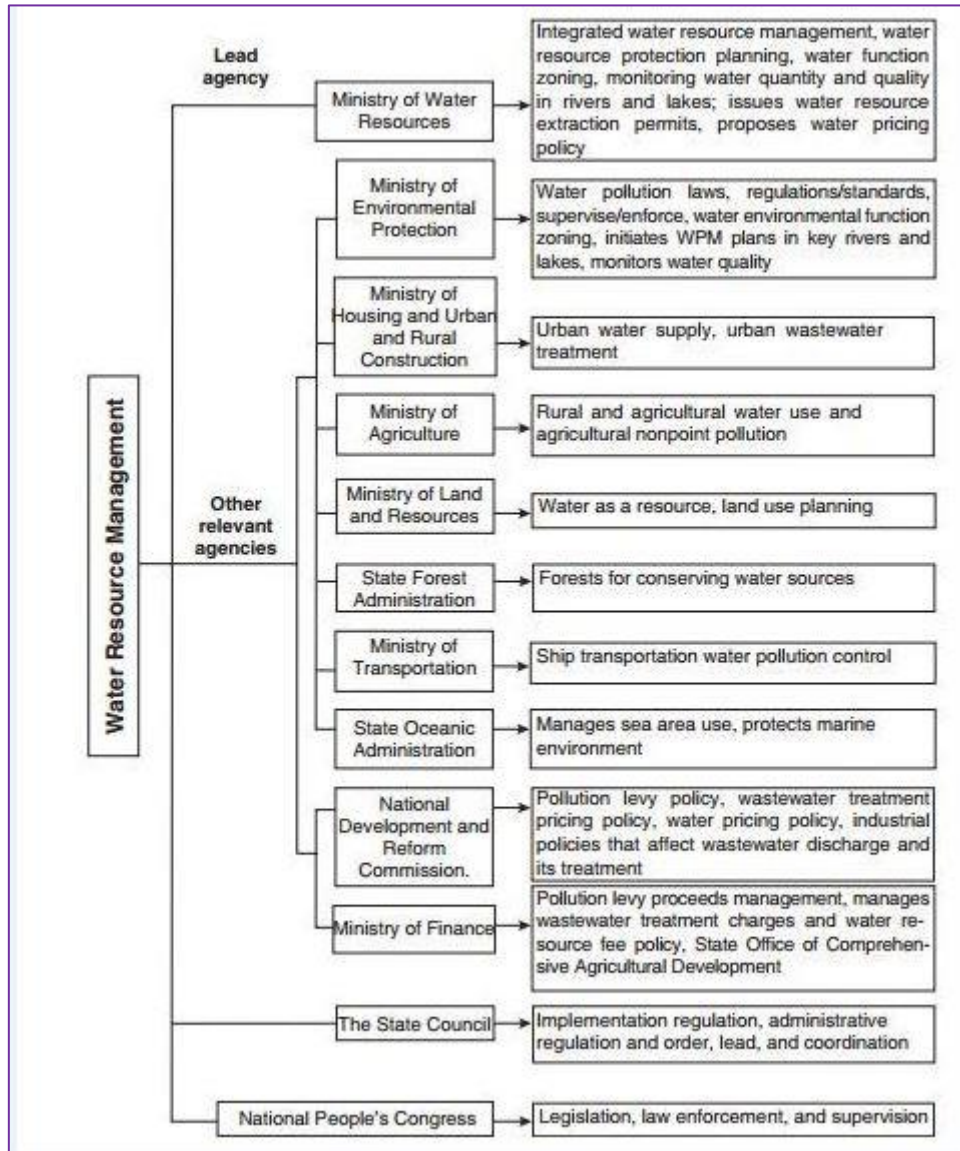
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS PER CÁPITA ANUAL EN CHINA



2.4.2. Responsabilidad de la gestión de los recursos hídricos

La Ley de Aguas promulgada en el año 2002 abre un camino para realizar la transición desde una etapa centrada, casi exclusivamente, en el desarrollo de infraestructuras a una nueva fase en la que se presta una mayor y mejor atención a la gestión y protección de unos recursos hídricos de calidad. La responsabilidad de esta gestión es compartida por diversas entidades tanto a nivel nacional como local.

Ministries and Authorities Involved in Water Resource Management



Entre los que cabe destacar:

- **Ministerio de Recursos Hídricos (Ministry of Water Resources)** es el responsable de la gestión de las aguas superficiales, centrado en aspectos cuantitativos. Además de la gestión de los recursos hídricos, el Ministerio de Recursos Hídricos, es también el encargado de la construcción de algunas de las grandes infraestructuras como presas, diques, infraestructuras para el regadío y estructuras de transporte para suministro de aguas para uso municipal e industrial. Según la página web del Ministerio de Recursos Hídricos (<http://www.mwr.gov.cn/english/>) este ministerio se encarga también de “regular los precios del agua, los impuestos, el crédito y asuntos financieros así como coordinar en la construcción de suministros de agua

para ciudades y pueblos”, aunque en la práctica estas funciones parece que son llevadas a cabo por otras entidades.

- **Ministerio de Protección Medioambiental (Ministry of Environmental Protection, anteriormente State Environmental Protection Agency, SEPA)**, tiene la competencia para administrar la calidad de los recursos hídricos.
- **Ministerio de Territorio y Recursos (Ministry of Land and Resources)** se encarga de administrar las aguas subterráneas. Sin embargo, el Ministerio de Recursos Hídricos y sus confederaciones hidrográficas de cada una de las cuencas hidrográficas más importantes son actores principales en la gestión de los recursos hídricos.

2.4.3. El precio del agua

En lo que se refiere al precio del agua y del alcantarillado, en China también existe una fisura importante entre áreas urbanas y rurales. Hasta 1980, las tarifas del agua urbana eran muy bajas y los impuestos por alcantarillado prácticamente inexistentes.

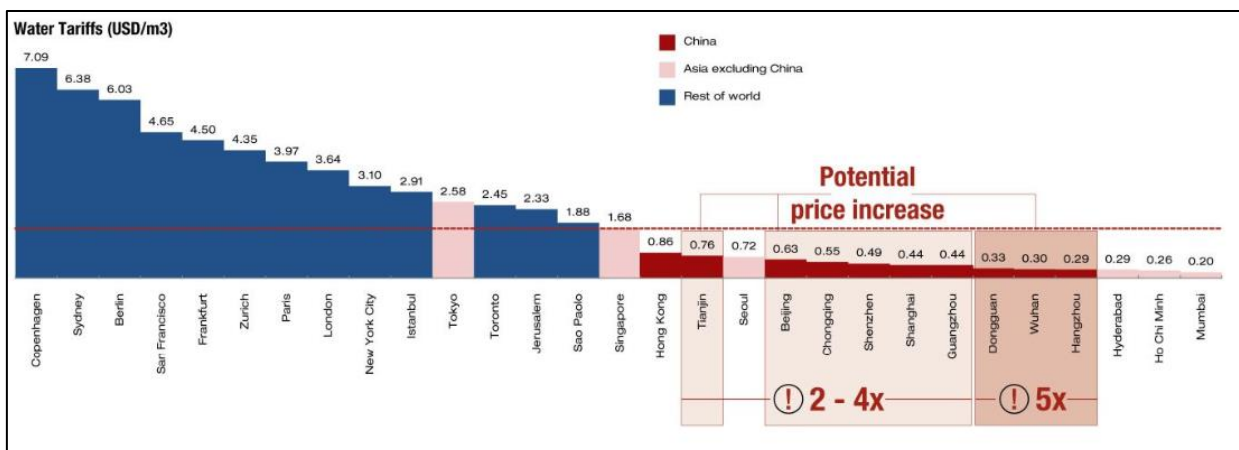
Este panorama ha cambiado sustancialmente desde la puesta en marcha de las “Directrices nacionales sobre las tarifas del agua urbana” (“National Guidelines on Urban Water Tariffs”) en 1988, que abogan por una mayor recuperación de costos y por la introducción de tarifas de alcantarillado.

A partir de esta fecha, las tarifas del agua se han incrementado sustancialmente en muchas ciudades chinas, particularmente en las zonas del norte del país donde el agua es un bien más escaso.

Sin embargo, según el Ministerio de Construcción (Ministry of Construction), este incremento en las tarifas del agua no ha sido suficientemente efectivo para estimular a toda la población y a las autoridades para llevar a cabo un ahorro efectivo de agua.

La situación es compleja como lo es el sistema de tarifas que aplica diferentes tasas para cada una de las categorías de uso (las tarifas más altas se cobran a los usos industrial y comercial, mientras que las más bajas son las destinadas a consumo humano) y, dentro de cada categoría el precio se estructura en módulos de consumo (a mayor consumo, tarifas más elevadas).

Lakes monitoring in China



Comparativa del precio del agua en diferentes lugares del mundo con las grandes ciudades chinas

Fuente: <http://chinawaterrisk.org/>

Estas tarifas no requieren de una aprobación de instancias superiores del gobierno y se resuelven a nivel municipal, aprobadas por las Oficinas de Precios (“Price Bureaus”) de las ciudades. En el medio rural, según directrices del Banco Mundial, los usuarios pagan un 75% de los costes de la inversión y el 100% de los costes de funcionamiento y mantenimiento.

2.4.4 La productividad del agua

La productividad del agua en agricultura es la más baja de todos los sectores. Esto es debido a la ineficiencia de los sistemas de riego. Se estima que del agua que se distribuye a través de los canales principales, sólo el 50% llega a las plantaciones y la que llega no se usa de forma eficiente, por lo que se calcula que sólo el 40% del agua extraída del sistema llega finalmente a los cultivos.

En la industria la productividad del agua es también baja según los estándares internacionales. Por ejemplo, los productores de papel chinos, consumen entre 400 a 500t de agua por tonelada de papel, muy alto comparado con los países de la OCDE que emplean 200t. Las plantas acereras chinas emplean un 60% más de agua para producir una tonelada de acero que la media combinada entre EEUU, Japón, y Alemania. Además, el consumo de agua de las empresas pequeñas es hasta 5 veces mayor que la consumida por empresas similares en países desarrollados. La causa puede ser debida a diferencias en la estructura productiva y a los bajos niveles de reciclaje del agua (en China sólo se recicla el 40% del agua industrial, mientras que en otros países desarrollados fluctúa entre el 75% – 85%). También en la industria, las pérdidas de agua de la red urbana china se encuentran entre las más altas del mundo, en torno a un desperdicio diario que oscila entre 50 – 75 m³/ por kilómetro de red.

Esto supone el doble de la tasa de fugas en Brasil o Rusia y más de diez veces la del Reino Unido. Desde el IX FYP (Five Years Plan) el ahorro de agua se ha considerado un tema de vital prioridad, ya que, aunque a China le quede un largo camino por recorrer, se quiere convertir en un futuro en un país modelo en ahorro de agua.

2.5. Conclusiones sobre el capítulo primero

Este rápido repaso por la situación hídrica de China refleja, inicialmente, comportamientos tradicionales favorables a patrones de uso de agua que eran insostenibles. Hasta hace relativamente poco, el agua no tenía precio, y como resultado no se incentivaba su conservación. A partir del año 1979, aunque la economía de China ha registrado el crecimiento más rápido del mundo, la necesidad de recursos hídricos sigue siendo primordial porque ese éxito económico se ha logrado, en parte, a través de una creciente explotación ecológica.

Según el XII Plan Quinquenal (2011-2015), se reconoce que, en la actualidad, continúa el desequilibrio de recursos hídricos entre el norte y el sur de China y que este desequilibrio puede verse agravado como consecuencia del rápido crecimiento de la población, de los cambios climáticos mundiales y las actividades económicas.

Las previsiones actuales indican que la demanda se incrementará un 20% más en el año 2030. La presión resultante amenaza con incrementar:

a) Contaminación del agua superficial. Más del 80% de las cuencas del Hai y del Huai se encuentran altamente contaminadas. La agricultura y la industria rural explican alrededor de la mitad de la contaminación. Las industrias de alto crecimiento, tales como las textiles, químicas y farmacéuticas representan el 25% y los desagües cloacales sin tratar representan el otro 25%. De acuerdo con la Administración de Protección Ambiental Estatal, más del 70% del agua del sistema de las 3H está demasiado contaminada para uso humano.

b) Reducción de la escorrentía. Los flujos de agua que desembocan en el océano provenientes de los ríos de las 3H han disminuido en un 60% desde 1956-79. Actualmente el uso de agua en los tres ríos supera por mucho los niveles de sostenibilidad. Una evaluación de escasez sugiere que la extracción de más del 20% del caudal disponible representa una amenaza para el uso sostenible, siendo el 40% el indicador de extracción extrema. En el sistema de las 3H, las extracciones varían desde más de 50% en el río Huang (Amarillo), 65% en el río Huai y más del 90% en la cuenca del río Hui-Luan. Esto sobrepasa ampliamente los límites de la sostenibilidad. La transformación que ha tenido lugar durante las últimas décadas se ve reflejada en el caudal del río Huang, Conocido anteriormente como el azote de China debido a que su alto nivel de

agua causaba grandes inundaciones. Actualmente, las cuencas bajas del río se han visto reducidas a un pequeño arroyo que apenas alcanza el mar y los períodos de bajo caudal han pasado a ser más de 200 días al año.

c) Extracción de aguas subterráneas. Los insumos hídricos para la agricultura se han mantenido a través de la extracción de agua subterránea, pero los acuíferos se agotan más rápido que su velocidad de recarga. En la cuenca del Hai la oferta sostenible de agua subterránea es de aproximadamente 17.300 millones de metros cúbicos por año, mientras que las extracciones superan los 26.000 millones de metros cúbicos. Los niveles freáticos actuales están comprendidos entre 50 y 90 metros más bajos de lo que eran hace cuatro décadas, lo cual contribuye a la intrusión de agua salada y al hundimiento de varios metros del suelo en ciudades como Beijing, Shanghai y Tianjin, y ocasiona un incremento del costo del bombeo de agua.

En resumen, en los años correspondientes al XII Plan Quinquenal, a la hora de ejecutar los objetivos nacionales, China se enfrentará a desafíos sin precedentes en las áreas referidas a la “Igualdad social” y a la “fragmentación político-administrativa”. En el primer caso, el respaldo gubernamental a la expansión de los sistemas avanzados de riego implicará costos de agua más altos que los agricultores pobres no podrán costear. Para evitar que esta situación de desigualdad social produzca la reducción del uso del agua o el abandono de la actividad agrícola, se propone la creación de asociaciones de usuarios de agua que proporcionen respaldo y protejan a los grupos vulnerables. La “fragmentación y política de poder” se refiere al control y seguimiento de la ejecución de las políticas nacionales sobre transferencia y tasas del agua que siguen las prioridades de los gobiernos locales, a menudo impulsadas por preocupaciones económicas con poca visión de futuro. Para estas y otras cuestiones relacionadas con el medioambiente y los recursos hídricos se propone promover reformas para fusionar las funciones de diversas unidades de gestión bajo una única Oficina sobre Asuntos del Agua, organismo que podría delinear derechos de agua seguros y coherentes, trabajando a través de asociaciones de usuarios de agua con el fin de crear un sistema de transferencia alineado con un compromiso con la igualdad social y la sostenibilidad ecológica.

3. OBJETIVOS

Los lagos y lagunas funcionan como perfectos centinelas del cambio climático, ya que reaccionan de forma inmediata a las variaciones del clima, producidas por causa natural o por la acción del hombre. Es muy importante tratar de entender cómo estos cuerpos de agua, y las cuencas asociadas a ellos, afectan a las comunidades que viven alrededor. El monitoreo siempre ha sido un componente integral de todos los procesos de gestión y planeamiento, por lo tanto, y, en este sentido, el monitoreo es tan antiguo como lo es el manejo de los recursos hídricos. Ningún sistema de recursos hídricos sostenible puede ser planificado, diseñado y gestionado eficientemente sin datos adecuados y confiables de los parámetros del sistema, y los lagos no son una excepción a esta regla.

En el caso como el que nos ocupa, con una población humana en permanente crecimiento, las necesidades de recursos hídricos para su supervivencia y el mantenimiento de cierta calidad de vida es cada vez mayor.

Por lo tanto, conocer disponibilidad del agua de los lagos puede ser de gran importancia para el uso y consumo doméstico y para propósitos agrícolas, industriales y de navegación. Los lagos, especialmente de los países en desarrollo, son también un importante recurso para la producción pesquera y, en sentido negativo, son usados como asimiladores de residuos, directamente, a través de las fuentes puntuales de descarga de desechos domésticos e industriales y/o indirectamente, a través de fuentes no puntuales como la degradación urbana y agrícola.

Por todo ello, es cada vez más necesario implementar estrategias apropiadas que optimicen el uso del agua de los lagos no sólo para satisfacer las demandas humanas sino también para no poner en peligro el uso continuado de este recurso.

En consecuencia, nos proponemos los siguientes objetivos:

- 1. Disponer de una información sistemática que permitiese conocer las características básicas de dichos cuerpos de agua y constituirse en una base objetiva para evaluar su evolución posterior en el tiempo**
- 2. Analizar los datos resultantes de las trazas de los satélites sobre los lagos seleccionados para el proyecto, validando dichos datos con medidas “in situ”.**
- 3. Comprobar la validez del método de monitoreo de radar para la obtención de información que permita gestionar las aguas lacustres.**

4. PROCEDIMIENTO (Plan de trabajo y metodología)

4.1 El Objeto de estudio

Para desarrollar este proyecto, se han realizado una serie de estudios específicos en 51 lagos de China, considerados representativos, estudios que están orientados a disponer de una información sistemática que permitiese conocer las características básicas de dichos cuerpos de agua y constituirse en una base objetiva para evaluar su evolución posterior en el tiempo.

La zona geográfica donde se centra este estudio se sitúa en las provincias chinas de Qinghai, Tíbet y, parcialmente, en las de Gansú y Cachemira (India) ya que parte de la superficies de tres de los lagos estudiados afectan a estas últimas provincias.

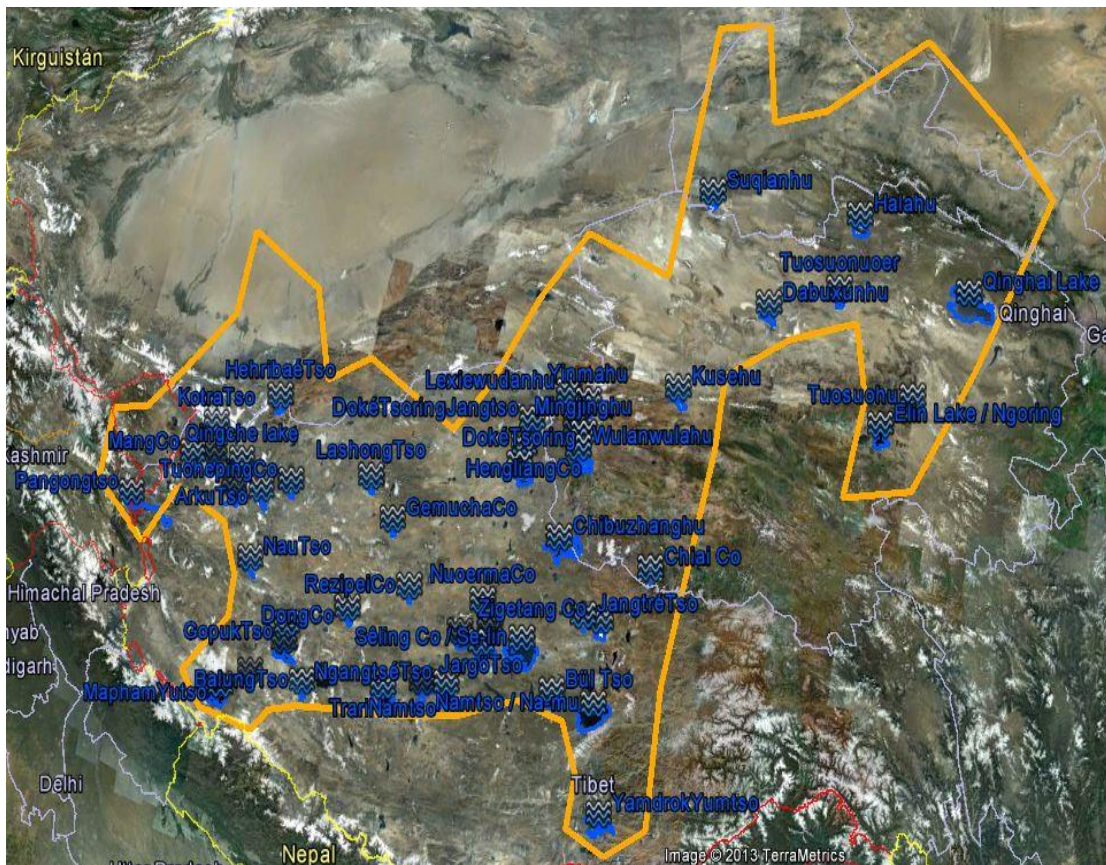
Relación de los lagos seleccionados por provincias

PROVINCIA DE TIBET	<u>SerbukTso</u>
<u>ArkokTso</u>	<u>TrariNamtso</u>
<u>ArkuTso</u>	<u>TuohepingCo</u>
<u>BalungTso</u>	<u>WoerbaCo</u>
<u>Bül Tso</u>	<u>Yamdruk Yumtso</u>
<u>Dagzê Co</u>	<u>Zigetang Co</u>
<u>DokéTsoring</u>	
<u>DokéTsoringJangtso</u>	PROVINCIA DE QINGHAI
<u>DongCo</u>	<u>Chiai Co</u>
<u>dwangsrwa g.yu mtsho</u>	<u>Dabuxunhu</u>
<u>GemuchaCo</u>	<u>Elin Lake</u>
<u>GopukTso</u>	<u>Halahu</u>
<u>HehribaéTso</u>	<u>Jinxiwulanhu</u>
<u>HengliangCo</u>	<u>Kusehu</u>
<u>JangtréTso</u>	<u>Lexiewudanhu</u>
<u>JargöTso / Urruco</u>	<u>Mingjinghu</u>
<u>KotraTso</u>	<u>Qinghai</u>
<u>LashongTso</u>	<u>Tuosuohu</u>
<u>Lhanag tso</u>	<u>Tuosuonuoer</u>
<u>u ma byangstongmtsho</u>	<u>Wulanwulahu</u>
<u>MangCo</u>	<u>Yinmahu</u>
<u>MaphamYutso</u>	
<u>Namtso</u>	ENTRE QINGHAI Y TIBET
<u>NauTso</u>	<u>Chibuzhanghu</u>
<u>NganglharingTso</u>	
<u>NgangtséTso</u>	ENTRE QINGHAI Y GANSU
<u>NuoermaCo</u>	<u>Suqihanhu</u>
<u>Qingche lake</u>	
<u>RezipaiCo</u>	ENTRE TIBET Y KACHEMIRA
<u>Séling Co</u>	<u>PangongTso</u>

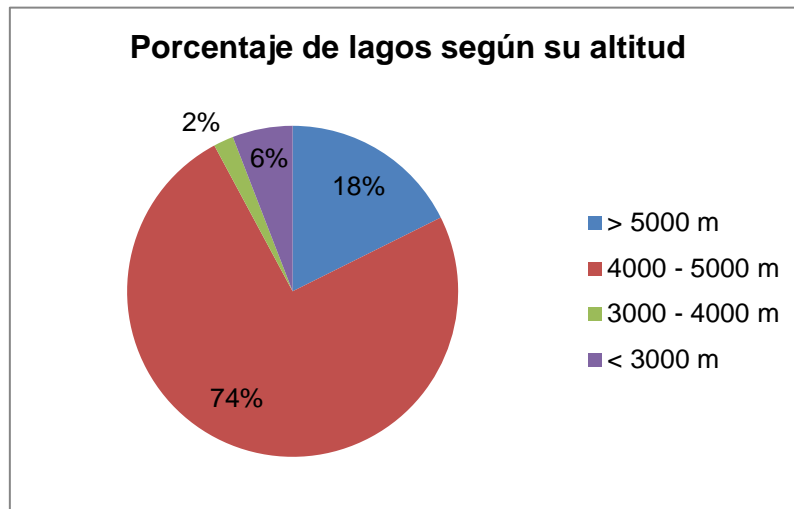
Atendiendo a su localización geográfica, estos lagos están distribuidos en un área total de unos dos millones de km² con la siguiente disposición territorial:

13 En la provincia de Qinghai
35 lagos en la provincia de Tíbet
1 entre Qinghai y <u>Tíbet</u>
1 entre Qinghai y Gansu
1 entre Tíbet y <u>Kachemira</u> (India)

FIGURA CON EL ÁREA DE ESTUDIO CON LOS 51 LAGOS SELECCIONADOS



Según su altitud sobre el nivel del mar, los lagos seleccionados pueden clasificarse de la forma siguiente:



4.2. La tecnología utilizada: Altimetría Radar

La altimetría es la rama de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o "cota" de cada punto respecto de un plano de referencia. El principio de la altimetría satelital consiste en un radar altímetro a bordo de un satélite. Este radar emite una señal vertical (pulsos microondas) de alta frecuencia (cerca de 1 Hz) en dirección de la superficie terrestre y recibe un eco reflejado por una superficie de agua. El análisis de este eco permite extraer una medida muy precisa del tiempo que toma la onda desde que parte del satélite, es reflejada sobre la superficie del agua y retorna a su origen. Este tiempo es transformado en distancia al multiplicar su valor por la velocidad de la luz. Esa distancia, conocida también como "medida altimétrica", es interpretada entonces como la altura que separa el satélite de la superficie de agua reflejada. Adicionalmente, si se conoce con precisión la posición del satélite respecto a un referencia terrestre conocida, generalmente el elipsoide terrestre WGS84 (Hooijberg, 1997), es posible estimar, por diferencia entre esta posición del satélite y la medida altimétrica, la altitud del nivel del agua reflejada respecto al elipsoide de referencia.

4.2.1 Precedentes de la altimetría radar

Los primeros altímetros radar de pulso limitado datan del año 1960 y se desarrollaron para satisfacer las necesidades de la comunidad científica en materia oceánica-gravitacional. En 1962 se prueba con éxito un sistema diseñado a bordo de un avión militar.

Fue en 1973 finalmente cuando la propuesta hecha por *Kaula (1969)* fue finalmente desarrollada y el S-193 fue montado a bordo del Skylab. Tras esta exitosa

experiencia, le suceden las misiones GEOS C (1975) y SeaSAT-A (1978), cuyo altímetro Seasat introdujo en su diseño varias innovaciones que se convirtieron en un modelo estándar para los diseños sucesivos. GEOSAT (1985), TOPEX / Poseidon (1992), GFO (1998), ERS, Envisat y Jason completan la lista de satélites que tienen como objetivo los océanos.

La Agencia Espacial Europea (ESA), se involucró un poco más tarde, hacia 1980, primeramente con ERS-1 (1991) con un único altímetro de frecuencia, seguido por ERS-2 (1995), con un altímetro idéntico al montado en el ERS-1.

A mediados de los 90, el profesor Keith Raney del Laboratorio de Físicas Aplicadas de la Universidad John Hopkins, propuso el concepto del altímetro radar Delay – Doppler y en 1998 dio una descripción detallada de este nuevo instrumento utilizando el diseño de TOPEX como punto de referencia.

A su vez, hacia 1998, la ESA empezó a investigar en estudios de simulación de hardware y software para un altímetro de radar de alta resolución que combina, siguiendo el diseño D2P, SAR e interferometría, basado en el concepto Doppler Delay. Posteriormente, basado en estas investigaciones previas, en el año 2000, se iniciaron los estudios de viabilidad de la "fase A" de Cryosat.

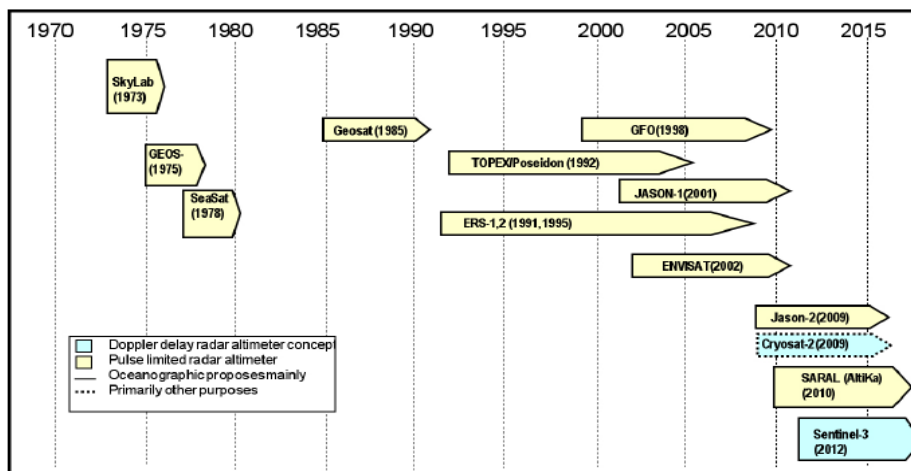
Posteriormente, en 1999, a través del IIP (Instrument Incubator Program) de la NASA, el JHU-APL probó el Delay-Doppler Monopulso de fase (D2P). El D2P es un sensor aerotransportado SAR (Synthetic Aperture Radar) e interferómetro, que usa el concepto Delay-Doppler descrito en (Raney, 1998).

El RA-2, a bordo de Envisat (2002), se desarrolló en las bandas Ku y S fue diseñado para mejorar la recuperación de las superficies de elevación, no sólo sobre el océano sino también teniendo en consideración otros tipos de superficies.

Todos los instrumentos anteriores fueron diseñados para dar apoyo a las investigaciones sobre características clave de los océanos. La selección de los parámetros de la órbita refleja las prioridades de la misión, las misiones con un período orbital de repetición de un año o más han sido diseñados para medir el geoide mientras que aquellos con tiempos de revisita más cortos, normalmente de 10 a 35 días, fueron utilizados principalmente para medir características de los océanos más dinámicas (mareas, corrientes geostroficadas, etc.). Todos los altímetros hasta la fecha han producido *waveforms* de 10 a 20 Hz para obtener la superficie topográfica del mar, la velocidad del viento y las estimaciones del estado del mar.

Entre los años 2002 y 2005 una campaña experimental del altímetro SAR (SIRAL) fue diseñado para ir a bordo del Cryosat se llevó a cabo la ASIRAS (Airborne SAR/Interferometric Radar Altimeter System). La campaña dio como resultado unos

resultados muy prometedores. Desafortunadamente, en octubre de 2005, Cryosat se perdió durante su lanzamiento por un fallo de la lanzadera Eurokot.



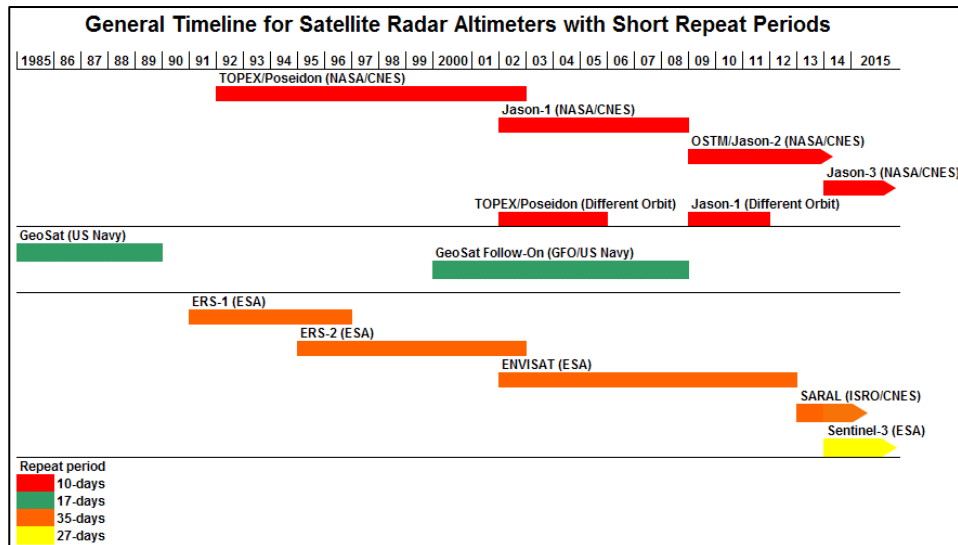
Pasadas, presentes y futuras misiones altimétricas

En el marco del acuerdo de cooperación entre el CNES, EUMETSAT (Agencia Meteorológica Europea), la NASA y la NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration), Jason-2 fue programado para asumir y continuar el trabajo de Topex/Poseidon y Jason-1.

El altímetro Poseidon-3 asumirá el mismo tipo de objetivos que sus predecesores, lo que, tras el fracaso en la puesta en órbita del Cryosat-1, Cryosat-2, supone el primer altímetro que trabaja con el Delay Doppler. Su principal objetivo es resolver incertidumbres en cuanto al espesor del hielo marino, así como para mejorar el conocimiento de las principales masas de hielo.

“Satellite with ARgos and ALtiKa” (SARAL), es un misión altimétrica de la ISRO (Indian Space Research Organization) y el CNES (Agencia Espacial Francesa). La misión SARAL está pensada para que complemente a la misión Jason-2 y llene el hueco entre Envisat y la misión Sentinel-3 del programa europeo GMES, aunque finalmente su puesta en órbita se produjese en febrero de 2013. Está previsto que Sentinel-3 se ponga en órbita en 2014¹.

¹ Fuente: , *Development of SAR Altimetry Mode Studies and Applications over Ocean, Coastal Zones and Inland Water. Starlab 2008.*



Cronología de las diferentes misiones altimétricas con sus tiempos de revisita

Las aplicaciones de esta técnica de observación remota pueden extenderse a cualquier disciplina que tenga en cuenta la dimensión espacial. En función de la superficie observada, pueden distinguirse las siguientes aplicaciones:

- **Litosfera:** cartografía de los riesgos de erosión, análisis geomorfológico, prospecciones geo-mineras o estudios de radiación a nivel de la superficie terrestre. Caracterización de la rugosidad y humedad de la superficie y desarrollo de modelos digitales de elevación.
- **Hidrosfera:** análisis de las características físicas de los mares y los océanos (temperatura superficial, corrientes de agua, oleaje), características químicas (salinidad, turbidez, contenido en contaminantes) y aspectos bióticos (localización de pesquerías o análisis del contenido en plancton). Respecto a las aguas continentales destaca la medición de lagos, embalses y superficies nevadas para evaluar la magnitud de la acumulación de agua y predecir el deshielo, la medida de la evapotranspiración o la inferencia de acuíferos subterráneos.
- **Atmósfera:** predicción meteorológica, estudios del perfil atmosférico, medición de la magnitud del agujero de la capa de ozono, establecimiento de modelos y análisis de fenómenos climáticos regionales y globales
- **Biosfera:** estudios sobre el seguimiento de la vegetación, estimación de la producción agrícola o control de sus superficies para el seguimiento de la Política Agraria Comunitaria (PAC), control de determinadas plagas o enfermedades en plantas cultivadas y forestales, determinación de la producción de biomasa producida en una región, cuantificación de la deforestación, seguimiento de los incendios forestales en tiempo real y evaluación de los daños ocasionados

Cabe citar además otros dos grupos de aplicaciones:

- **Cartografía:** creación de mapas a partir de imágenes espaciales y utilización de imágenes de alta resolución espacial para la actualización de la cartografía topográfica de escala 1:50.000.
- **Ordenación del territorio:** descripción de la situación y seguimiento de la política de ordenación.

4.2.2 Ventajas y limitaciones de la Altimetría Radar

Las ventajas y limitaciones de la técnica que permite medir desde el espacio la altura de la superficie de los océanos y masas de agua dulce, hielo o tierra, etc, en, prácticamente, cualquier parte del planeta, se pueden sintetizar en las siguientes:

a) Ventajas

- Puede operar a cualquier hora del día, tanto de día como de noche.
- Por lo general no se ve afectado por la vegetación ni el follaje.
- Todas las medidas de superficie son respecto a un marco de referencia común
- Los satélites se desplazan por órbitas repetidas, con una distancia máxima a la órbita nominal de 1 km, permitiendo el monitoreo sistemático de ríos, lagos humedales, mares interiores y llanuras aluviales.
- Tiene la potencialidad de aportar información de cualquier otro elemento por el que pase la traza.
- Hay misiones altimétricas desde 1991 y nuevas misiones programadas continuamente. Existe por lo tanto la capacidad de monitorear las variaciones estacionales interanuales durante los tiempos operacionales de las distintas misiones.
- Se trata de técnicas validadas y publicadas en revistas científicas respaldadas por expertos.

b) Límites

- Estos instrumentos están diseñados inicialmente para operar sobre superficies uniformes como océanos y capas de hielo. Superficies altamente onduladas o de topografía compleja puede producir pérdida o no interpretación de los datos.

- Las alturas obtenidas son un promedio de todos los datos dentro de la traza. Dichos valores son promediados más en la dirección del movimiento del satélite. Por lo tanto, los valores altimétricos difieren de las medidas in-situ.
- La precisión en la altura está condicionada por el conocimiento de la órbita de los satélites, su rango altimétrico (distancia entre antena y objetivo), las correcciones geofísicas y el tamaño y tipo del objetivo.
- A diferencia de las imágenes de satélite, los altímetros sólo recuperan alturas a lo largo de una franja estrecha determinada por el tamaño de la traza. El diámetro de la traza efectiva puede variar dependiendo del tipo de objetivo, y potencialmente puede variar desde varios cientos de metros hasta algunos kilómetros.
- El tamaño mínimo del objetivo a medir depende del tamaño de la traza y la frecuencia de datos, así como la topografía circundante y el método de seguimiento empleado.
- La resolución temporal se encuentra en función de la cobertura espacial, por lo tanto, si se mejora la cobertura temporal (o tiempo de revisita) empeora la resolución espacial.
- Los vientos fuertes, precipitaciones intensas, los efectos de las mareas y la presencia de hielo afectará a la calidad y precisión de los datos.

4.3 Proceso de trabajo

4.3.1 Los satélites utilizados.

Los satélites seleccionados, inicialmente para realizar el estudio son: Jason-2, Haiyang-2 y Envisat, aunque este último no ha podido utilizarse debido a la máscara de calibración, como se explicará posteriormente.

El diagrama temporal de cinco satélites es el siguiente²:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Jason - 1		█												
Jason - 2									█					
Envisat			█											
Haiyang - 2												█		
Cryosat-2											█			

Características generales de las diferentes misiones altimétricas

² Jason, desde diciembre de 2001; Jason 2 desde junio de 2008, Envisat, desde marzo de 2002 a octubre de 2012 y Haiyang-2 desde agosto de 2011 y Cryosat-2, desde abril de 2010.

Misión	Lifetime	Altimetry Instrument	Altitude	Inclination	Frequency	Revisit Time
ERS-1	July 1991 - June 1996	RA	785 km	98,52°	Ku-band	35 days
ERS-2	April 1995 - June 2003	RA	785 km	98,52°	Ku-band	35 days
Envisat	March 2002 - April 2012	RA	800 km	98,55°	Ku and S band	35 days
Cryosat-2	April 2010 - Ongoing	SIRAL	717 km	92°	Ku-band	369 days (30 days sub-cycle)
Sentinel-3	2014 - 2034	SIRAL	814,5 km	98,65°	Ku-band	27 days
Haiyang-2	August 2011 - Ongoing	ALT	971 km	99,4°	C-band	14 days
Jason-2	June 2008 - Ongoing	SSALT	1336 km	66°	Ku and C band	10 days

4.3.2 Superficie de referencia

Son varias las superficies que se usan como referencia, tanto para los conjuntos de datos (por ejemplo, altura de la superficie del mar con respecto etc), o como información adicional.

- **Elipsoide de referencia:** es una superficie de referencia arbitraria, que es una aproximación de la forma de la Tierra, básicamente una esfera achatada en los polos. Se trata de una definición de primer orden de la forma no-esférica de la Tierra como un elipsoide de revolución.

- **Geoide:** el geoide refleja el campo gravitacional de la Tierra (es una superficie equipotencial) y varía en altura como mucho 100 metros en distancias de varios miles de kilómetros.

4.3.3 Obtención de las medidas

Para determinar nuestras medidas vamos a tener en cuenta varios aspectos: Hay que tener en cuenta que “altitude” mide la distancia desde el instrumento hasta el elipsoide de referencia. Por su parte el “range” mide la distancia desde el instrumento hasta la superficie a medir. Para calcular la altitud, seguimos estos pasos:

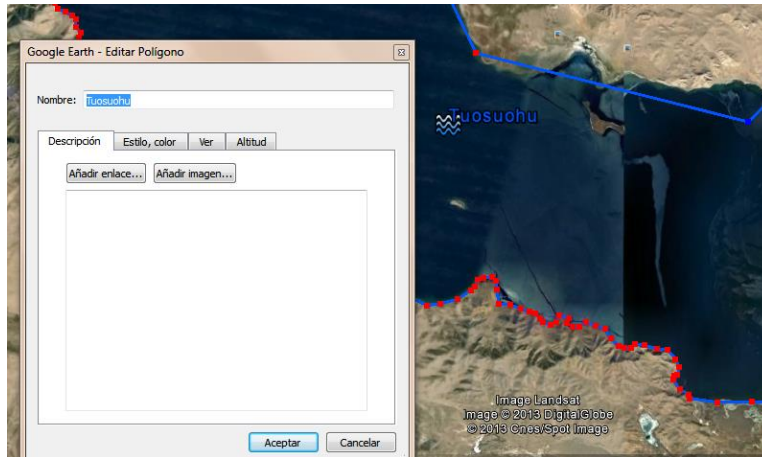
- **Corrected range** = range + Correcciones geofísicas (wet troposphere correction + dry troposphere correction + ionosphere correction)

- **Sea Surface Height** = Altitude – Corrected Range

“Sea surface height” (SSH), es la altura de la superficie del mar con respecto al elipsoide de referencia. Es lo que nos va a dar la altitud del lago.

4.3.4. La digitalización de cada uno de los lagos

Se ha digitalizado uno a uno cada uno de los lagos del estudio sobre Google Earth, creando un polígono con el contorno de todos ellos. Tal digitalización se ha creado en formato *.kml, lo que posteriormente nos van a servir como máscara para discriminar las medidas que se realizan dentro del contorno del lago lo que así permitirá concretar las medidas que nos interesan y evitará trabajar con unos volúmenes enormes de datos.



Detalle de Google Earth durante la digitalización de uno de los lagos

4.3.5 Los tipos datos proporcionados por los diferentes satélites

Los datos que nos proporcionan los diferentes satélites pueden ser de tres tipos, Nivel 0, Nivel 1 y Nivel 2.

>>Datos de Nivel 0: Son los datos en crudo que proporciona el instrumento. Toda la información relativa los modos “Measurement”, “BITE” y “IF” del instrumento comprimido en formato binario y enviado a tierra en forma de “Source Packets”. Los productos de Nivel 0 se usan como datos de entrada para el procesado de Nivel 1b.

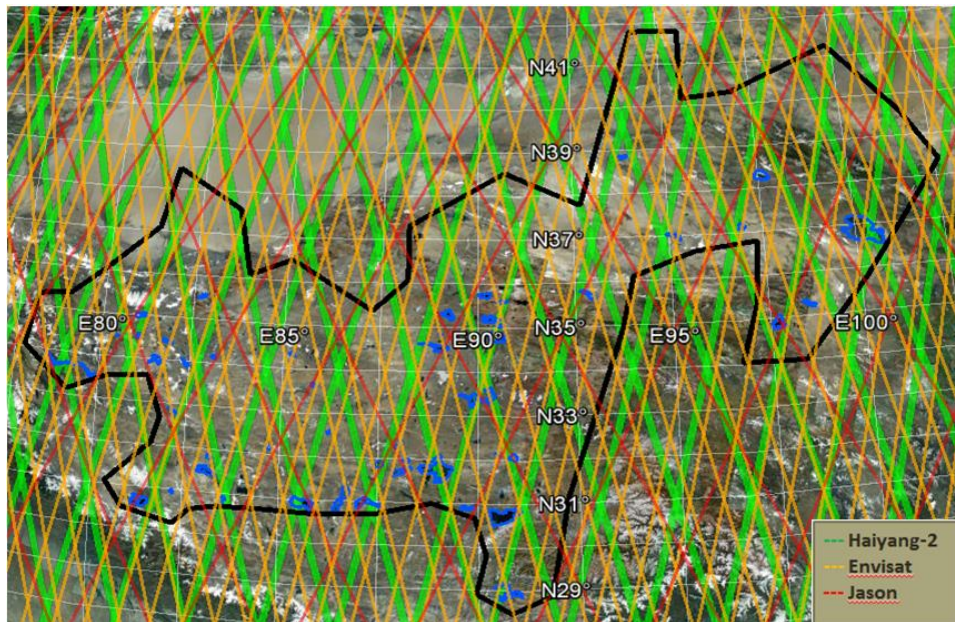
>>Datos de Nivel 1: Estos datos son los datos del instrumento una vez que se han aplicados las correcciones instrumentales a los datos de Nivel 0.

>>Datos de Nivel 2: Tiene aplicadas tanto las correcciones instrumentales como las correcciones geofísicas. Es el tipo de datos con el que hemos trabajado

4.3.6 Las trazas de cada satélite (Ground Tracks).

Los “Ground tracks” son los recorridos que han seguido cada uno de los satélites visualizado sobre la superficie terrestre. En este caso han sido obtenidos en formato *kml para poder ser representados en Google Earth. Los datos de Jason-1, Jason-2 y Envisat están disponibles en la red³. Dichos “ground tracks” han sido empleados para poder saber por cuáles lagos pasan a priori cada uno de los satélites, ya que dichas órbitas son nominales y puede tener ciertas variaciones. Los archivos *kml de los “ground tracks” llevan incorporado el número de órbita de cada una de las trazas, para que podamos posteriormente saber el número de traza que necesitamos para cada uno de los lagos.

³ www.aviso.oceanobs.com/es/data/tools/pass-locator.html



Productos que pasan por el territorio delimitado.

Se ha creado una tabla con los productos que pasan por cada lago, para saber con qué volumen de información contamos de cada uno de ellos. De la misión que contamos con más pasadas sobre los lagos del estudio es Envisat, con 27 lagos de 52.

En el caso de Haiyang-2 tenemos 17 lagos y la misión Jason-2 cubre 13 lagos del total. Aparte, cabe mencionar la misión de Cryosat, en órbita desde abril de 2010 que de los 52 lagos del estudio, recogería datos de 49 de ellos.

Esta misión podría emplearse en una siguiente fase de este estudio, ya que las órbitas de Cryosat cubren mucho más espacio que el resto de misiones, por lo cual resultará una misión fundamental en el futuro para este tipo de estudios.

Lakes monitoring in China

Num	Lake name in China	LEGOS	RLH ESA	USDA	ISARD	ENVISA	ERS-2 E	JASON 1	HY-2	CAT. A	CAT. B	CAT. C	CAT. D	CAT. E
1	ArkokTso					NA	0038 0	NA	NA					
2	ArkuTso					NA	0582 0	NA	NA					
3	BalungTso					NA	0954 0	NA	0358 0					
4	Bül Tso					NA	0709 0	NA	NA					
5	Chiai Co					NA	0982 0	NA	NA					
6	Chibuzhanghu					0210 (0	0165 06	0242 0	0177 0330					
7	Dabuxunhu					0395 (0	0279 0	NA	NA					
8	Dagzé Co					0367 (0	0238 03	0079 0	NA					
9	DokéTso					0453 (0	0696 07	0079 0	0082 0					
10	DokéTso					NA	0696 01	NA	NA					
11	DongCo					NA	0410 0	NA	NA					
12	dwangswa g.yu mtsho					0051 (0	0782 0	NA	NA					
13	Ein lake					NA	0724 0	053 216	0164 0					
14	Gem uchaCo					NA	0868 0	0003 0	NA					
15	GopukTso					0511 (0	0496 0	NA	NA					
16	Halahu					NA	0107 0	NA	NA					
17	HehribaéTso					NA	0051 05	NA	NA					
18	HengliangCo					0453 (0	0696 0	NA	NA					
19	JangtréTso					0526 (0	0066 0	NA	NA					
20	JargóTso / Urruco					0683 (0	0696 07	0166 0	NA					
21	Jinxiw ulanhu					0210 (0	0610 01	NA	0330 0					
22	KotraTso					NA	0668 0	NA	0248 0					
23	Kusehu					0309 (0	0451 09	0155 0	NA					
24	LashongTso					0038 (0	0423 0	NA	NA					
25	Lexiewudanhu					NA	0152 0	NA	NA					
26	Lhanag tso					NA	0223 0	0181 0	NA					
27	lu ma byangstongmtsho					0498 (0	0124 01	NA	NA					
28	MangCo					NA	NA	NA	NA					
29	Mapham Yutso					NA	0582 0	NA	NA					
30	Mingjinghu					0210 (0	0610 0	NA	0330 0					
31	Namtso					0769 (0	0165 05	NA	NA					
32	NauTso					0195 (0	0137 05	NA	NA					
33	NganglharingTso					0511 (0	0496 05	NA	NA					
34	NgangtséTso					NA	0238 0	0079 0	0067 0082					
35	NuoermaCo					0683 (0	0795 0	NA	NA					
36	PangongTso					0096 (0	0296 03	0192 0	0233 0386					
37	Qingche lake					0498 (0	0124 0	NA	NA					
38	Qinghai lake					238 (11	0094 05	NA	0026 0121					
39	RezipeiCo					NA	0324 0	NA	NA					
40	Séling Co					0137 (0	0251 01	NA	0315 0					
41	SerbukTso					0683 (0	0696 0	NA	NA					
42	Suqianhu					NA	0982 08	NA	NA					
43	TrariNamtso					NA	0324 09	0090 0	0205 0220					
44	TuohepingCo					NA	0038 00	NA	NA					
45	Tuosuohu					NA	0638 01	NA	NA					
46	Tuosuonuoeer					0698 (0	0266 0	NA	NA					
47	WoerbaCo					NA	0668 0	0014 0	0248 0					
48	Wulanw ulahu					0210 (0	0610 0	NA	0330 0					
49	YamdrukYumtso					0453 (0	0982 0	NA	0192 0					
50	Yinmahu					0210 (0	0610 00	NA	0330 0					
51	Zigetang Co					NA	0623 0	0242 0	0177 0					

Categoría A: pases de J-2, Cry-2 y HY-2; **Categoría B:** pases de J-2 y Cry-2; **Categoría C:** pases de HY-2 y Cry-2; **Categoría D:** pases de J-2 y HY-2 y **Categoría E:** No contiene ningún pase. (Elaboración propia)

4.3.7. Archivos KML generados de los tracks.

A partir de las medidas del satélite podemos generar archivos en formato *.kml de las medidas obtenidas. Con lo cual vamos a tener una marca de cada una de las

medidas. Al obtener estas marcas desde medidas reales, a diferencia de la órbita nominal, vamos a poder saber si tenemos medidas de la superficie del lago.



*Archivo *.kml con todas las medidas de un lago y vista de detalle*

4.3.8. Medidas in-situ

Contamos con una serie de medidas in-situ, que nos van a servir para corroborar y comparar nuestras mediciones. Por una parte tenemos medidas obtenidas de la web de WWF (World Wide Fund for Nature)⁴. WWF: Nos proporciona datos de diferentes niveles.

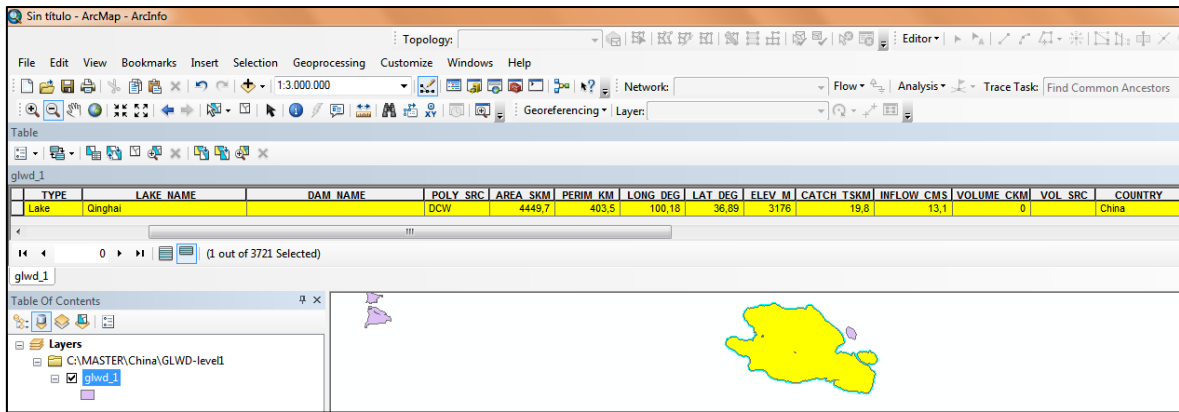
Nivel 1: cuentan con los 3067 lagos más grandes del mundo, que son todos los que tienen más de 50 km² y los 654 embalses más grandes, con una capacidad de almacenamiento de más de 0,5 km³; Nuestros lagos se encuentran todos dentro de estos.

Nivel 2: en este nivel aparecen cuerpos de agua permanentes de más de 0,1 km².

Dichos datos nos son proporcionados en formato shape *.shp para ArcGIS. Una vez abierto dicho archivo es necesario localizar cada uno de los lagos y consultar la tabla de atributos para obtener las medidas necesarias.

⁴ <http://worldwildlife.org/pages/global-lakes-and-wetlands-database>.

Lakes monitoring in China



Vista de detalle del lago Qinghai y sus atributos en ArcMap

Por otra parte tenemos los datos que nos proporciona Google mediante su software gratuito Google Earth. Dichos datos aparecen en la parte inferior de forma continua según vamos moviendo el cursor por la pantalla. Al situarnos encima de cualquiera de los lagos obtendremos la elevación de cada uno de ellos según la base de datos de Google Earth.



Vista de uno de los lagos con los datos de Google en la barra de estado inferior

También contamos con una tabla basada en los datos de digitalización, pero ésta sólo contiene los datos geométricos referentes al perímetro y al área, calculado a través de la opción disponible en Google Earth Pro.

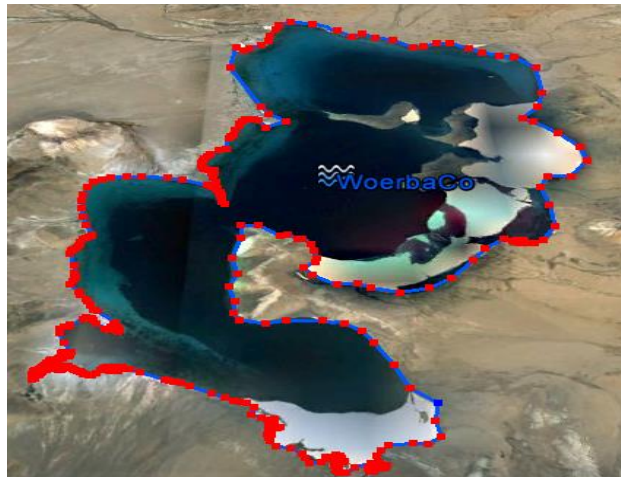
Se ha creado una tabla para organizar todos estos datos, que puede consultarse en el anexo correspondiente.

4.4. Metodología.

Una vez localizados los 51 lagos de nuestro estudio sobre Google Earth, se fue generando una tabla de los lagos con los diferentes nombres (tibetano, chino, ingles) tal y como se les denomina (ver tabla en el Anexo).

A continuación, se procedió a aplicar diferentes metodologías en función de los satélites seleccionados: una para Envisat y otra para Jason-2 y Haiyang-2. Posteriormente se procedió a digitalizar cada uno de ellos sobre Google Earth, como se indica en el apartado 2.2.3.1, creando un archivo *.kml en el que están contenidos los 51 lagos.

Este trabajo de digitalización nos servirá posteriormente para crear una máscara que discrimine los datos que nos interesan.



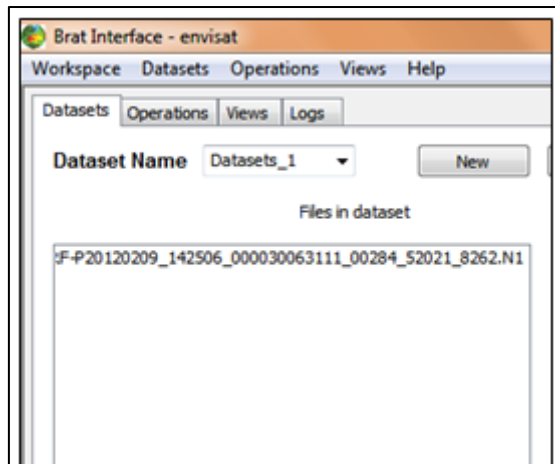
Vista de un lago donde se puede apreciar cada vértice de la digitalización

4.4.1. Metodología para Envisat

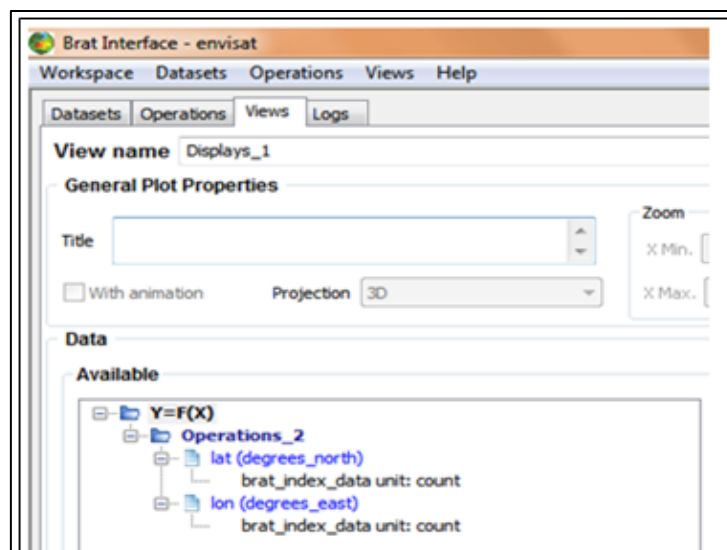
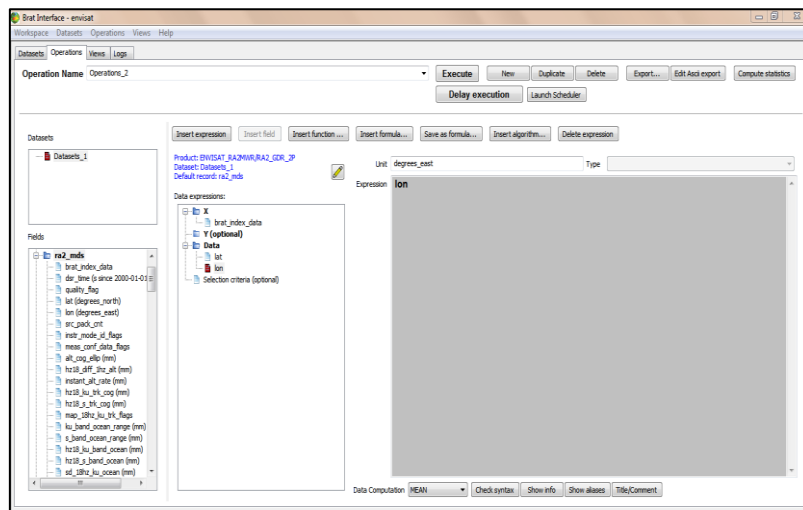
Para este caso, las etapas han sido:

- Según el ground track de Envisat, tenemos que dividir entre 2 para saber cuál es la que tenemos que tomar. Ej., 0238, la que utilizamos es la 119.
- Tendremos 2, por lo tanto tenemos que, mediante el BRAT, ver cuál de las 2 es la que tenemos que utilizar según las coordenadas.
- Cargaríamos uno de los 2 “candidatos”

Lakes monitoring in China

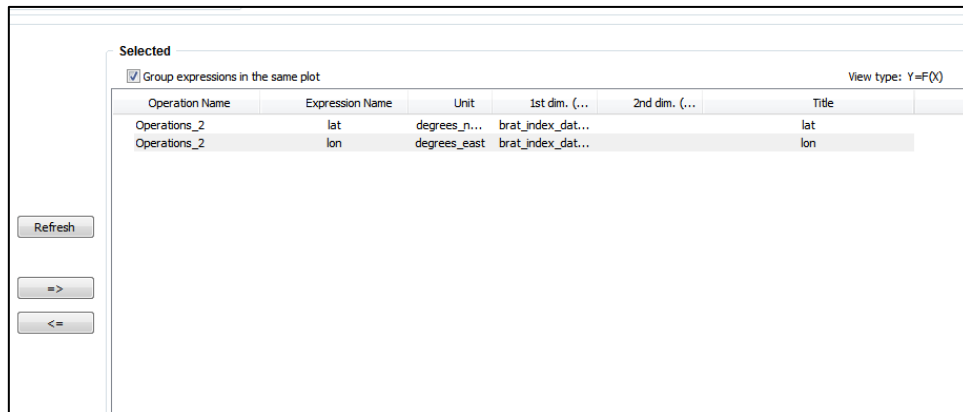


Posteriormente le introducimos los parámetros de la siguiente forma, como en el cuadro siguiente, para poder visualizar en una gráfica si son las coordenadas que nos interesan.

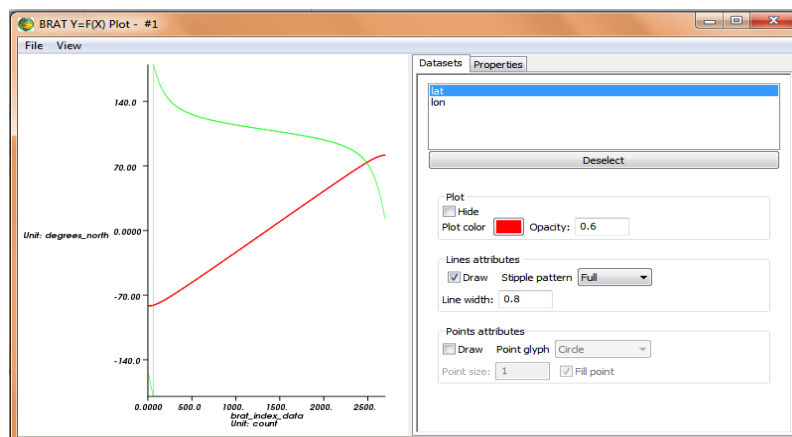
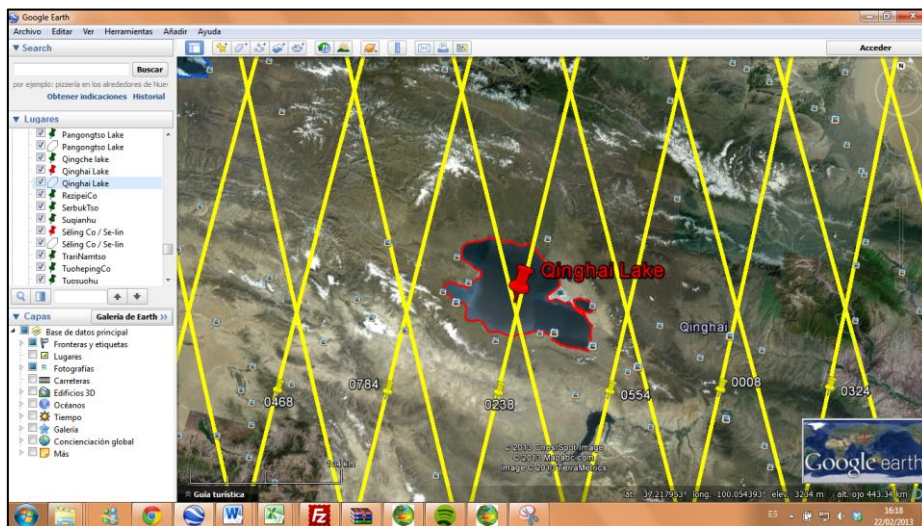


Lakes monitoring in China

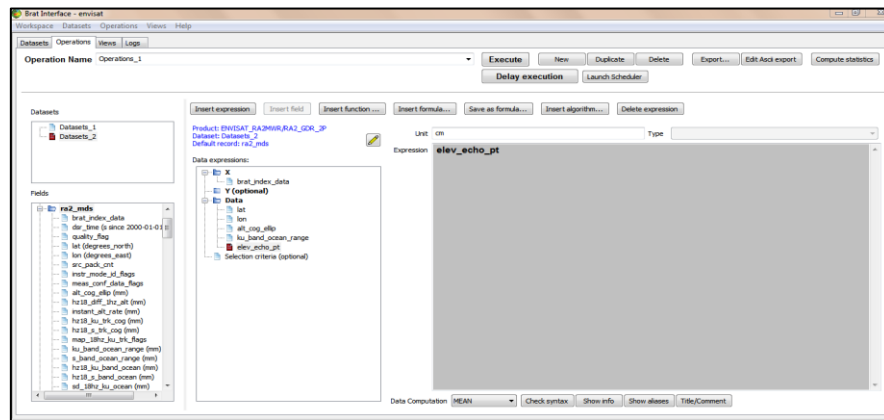
Los pasamos al cuadro de la derecha, arrastrándolos cada uno de ellos para poder visualizar después.



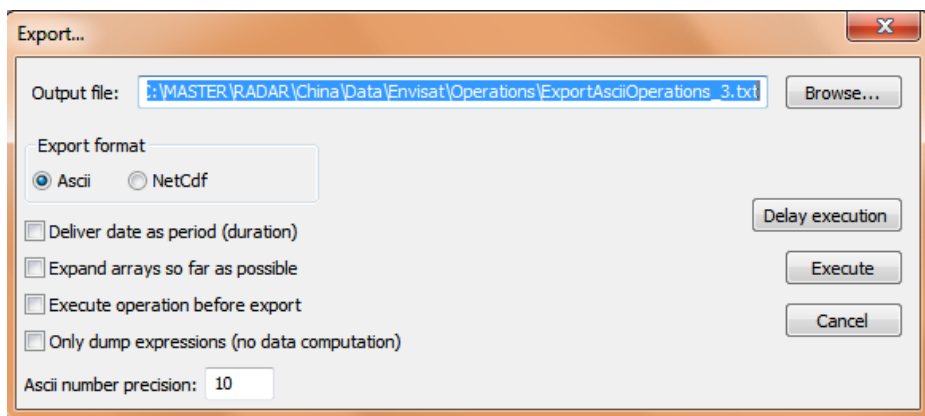
Con el siguiente gráfico vamos a poder saber si es este archivo o el otro el que necesitamos procesar.



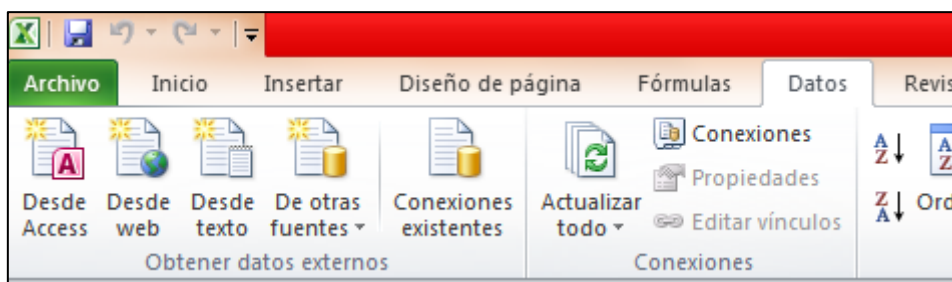
Una vez que sabemos qué archivo necesitamos de los 2. Cargamos en el software BRAT el archivo. Posteriormente, en la pestaña “operations”, introducimos los parámetros a utilizar que van a ser como los de la figura siguiente.



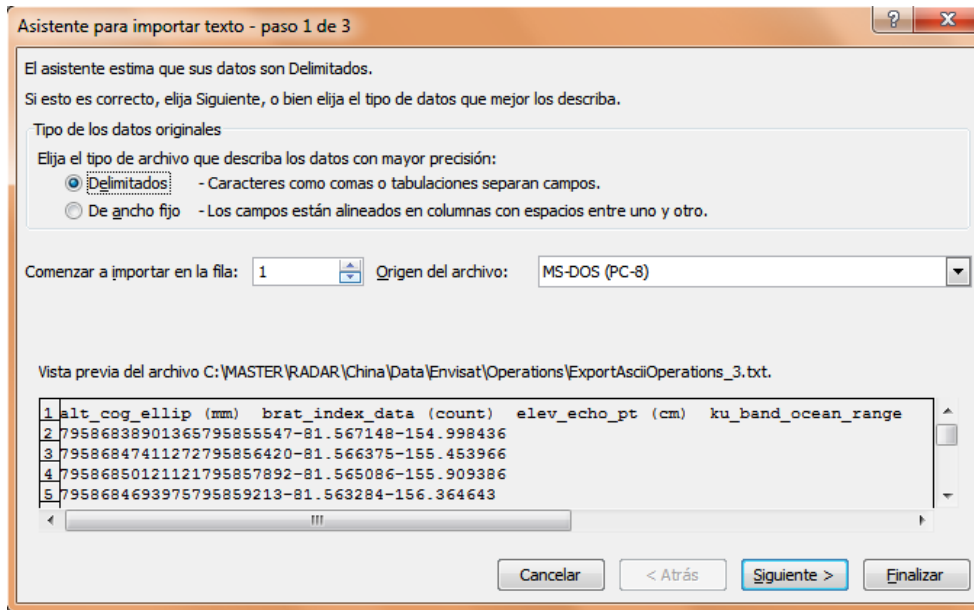
Posteriormente lo exportamos, le damos a EXECUTE



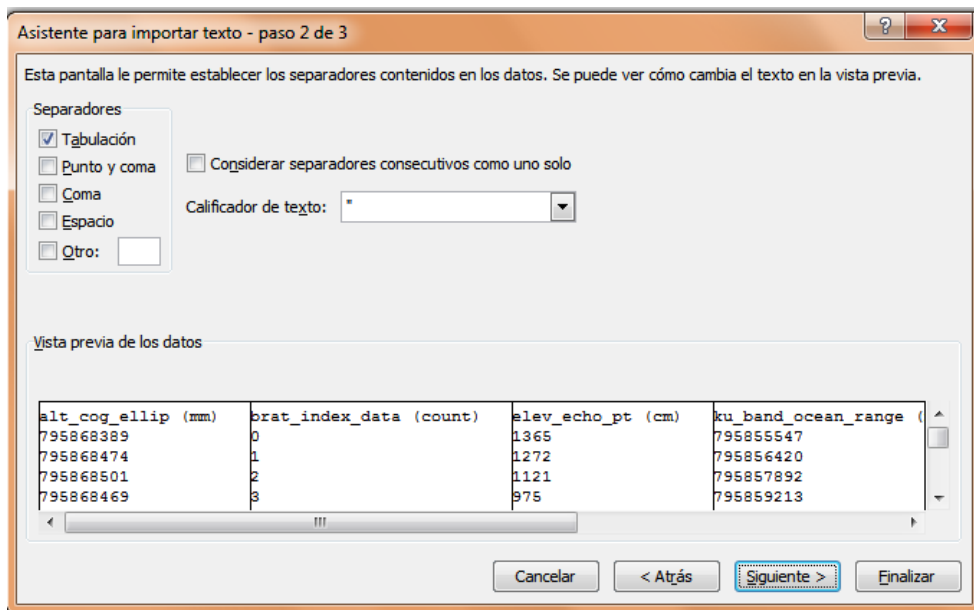
Nos vamos a Excel, y ahí, en la pestaña DATOS vamos a darle a OBTENER DATOS EXTERNOS → DESDE TEXTO.



En la 1ª ventana dejamos todo igual.



2ª igualmente



En la 3ª y última debemos poner en AVANZADAS debemos cambiar y para los decimales ponemos punto y en los miles dejamos en blanco, espacio y FINALIZAR.

Nos va a mostrar la hoja de Excel con los datos de toda la traza. FILTRAMOS el Excel, ya que sólo nos interesan los datos del paso sobre el lago.

Creamos el campo ELEVATION que lo vamos a calcular y el campo Echo pt (m) que también los vamos a calcular. El Elevation lo sacamos de restar el "alt_cog_ellip (mm) " del "ku_band_ocean_range (mm) " aunque tenemos que dividir entre 1000 para tener la medida en metros.

Lakes monitoring in China

Conexiones		Ordenar y filtrar		Herramientas de datos		
f _x =(A2-D2)/1000						
B	C	D	E	F	G	
x_data (count)	elev_echo_pt (cm)	ku_band_ocean_range (mm)	lat (degrees_north)	lon (degrees_east)	Elevation	Elev Echo pt (m)
1905	315102 DV		36,690967	100,270033	#¡VALOR!	
1906	314899	768339434	36,756722	100,250127	3149,328	
1907	314889	768351834	36,822475	100,230194	3149,303	
1908	314888	768364262	36,888225	100,210236	3149,27	
1909	314883	768376727	36,953973	100,190251	3149,22	
1910	314877	768389053	37,019718	100,17024	3149,329	
1911	314885	768401369	37,08546	100,150202	3149,466	
1912	314903	768413832	37,151199	100,130138	3149,476	

Conexiones		Ordenar y filtrar		Herramientas de datos		Esquema	
f _x =C2/100							
B	C	D	E	F	G	H	
x_data (count)	elev_echo_pt (cm)	ku_band_ocean_range (mm)	lat (degrees_north)	lon (degrees_east)	Elevation	Elev Echo pt (m)	
1905	315102 DV		36,690967	100,270033	#¡VALOR!	3151,02	
1906	314899	768339434	36,756722	100,250127	3149,328		
1907	314889	768351834	36,822475	100,230194	3149,303		
1908	314888	768364262	36,888225	100,210236	3149,27		
1909	314883	768376727	36,953973	100,190251	3149,22		
1910	314877	768389053	37,019718	100,17024	3149,329		
1911	314885	768401369	37,08546	100,150202	3149,466		
1912	314903	768413832	37,151199	100,130138	3149,476		

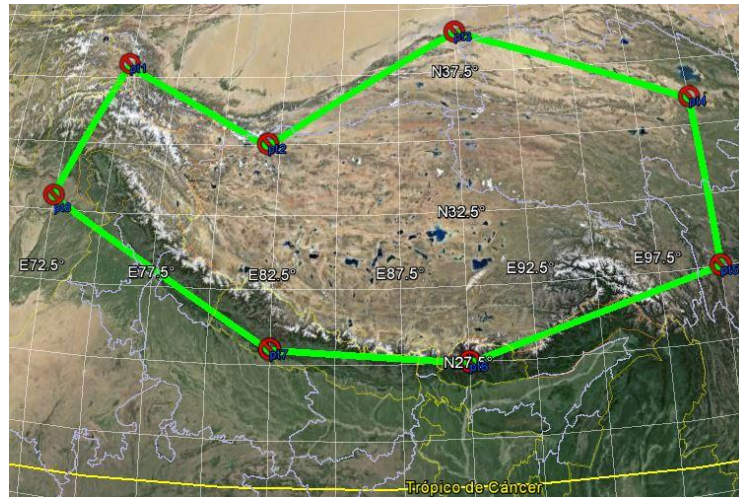
Posteriormente realizaríamos la gráfica de la altimetría del lago.

>>Máscara de calibración o Máscara IF.

A la hora de procesar los datos de Envisat, nos encontramos con una franja localizada entre 26° y 41° latitud norte en que el satélite no toma datos y el valor que aparece es el “fill value”. Al buscar las causas de este hecho, comprobamos que la mayoría de los lagos estudiados quedaban dentro de la máscara de calibración de Envisat, y que este satélite aprovecha la zona del Himalaya para realizar una serie de calibraciones que le son enviadas desde tierra para corregir diferentes errores.

Esta situación tiene como consecuencia la producción de datos erróneos que hemos constatado a medida que se fueron procesando los datos de los diferentes lagos de los que teníamos medidas en esta misión. Esta circunstancia especial, no ha hecho desestimar la misión Envisat para el estudio que nos ocupa.

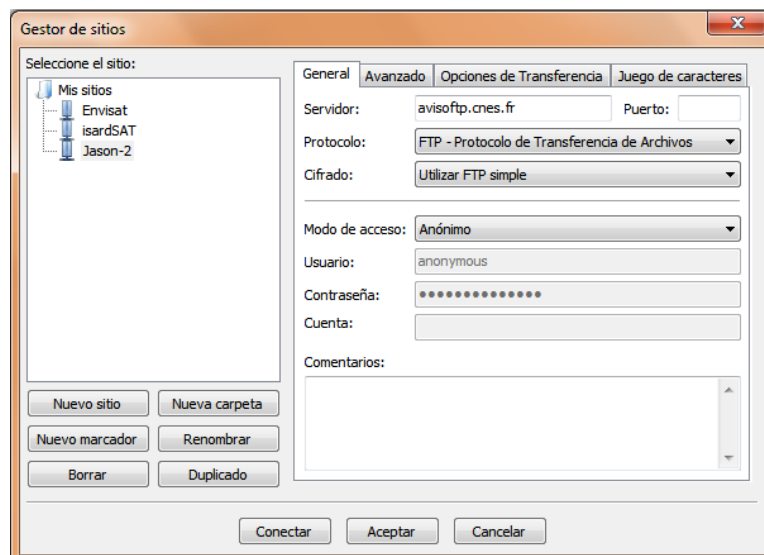
Dado que, por el hecho señalado, se invalidan los datos enviados del Envisat (la mayoría de datos son “fill value”), sería recomendable ubicar la máscara de calibración de este satélite en otra zona de menor interés, como, por ejemplo, algún desierto.



Área que ocupa la máscara de calibración para Envisat

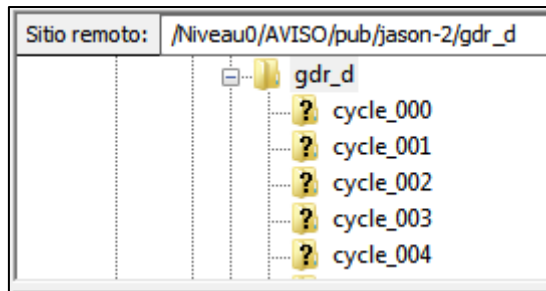
4.4.2. Metodología para Jason-2 y Haiyang-2

Para estas dos misiones se ha utilizado una metodología diferente que para Envisat, metodología que sería modélica para aplicar a cualquier misión, ya que trabajar con Matlab nos permite automatizar la mayor parte de los trámites necesarios para procesar los datos. Utilizamos Filezilla para descargar los datos de los productos, tanto de Jason-2 como de Haiyang-2 de nivel 2.

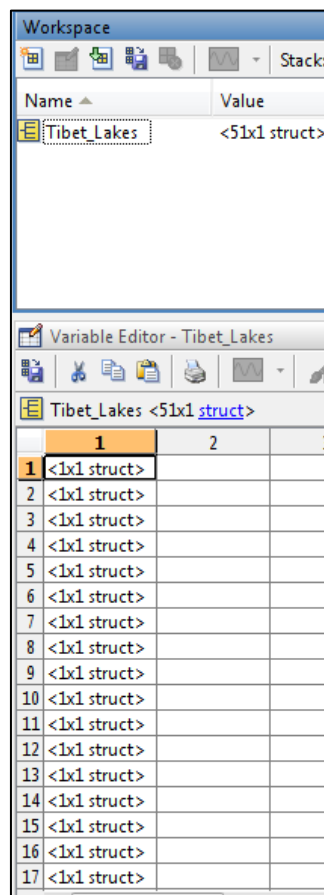


Vista de detalle del gestor de descargas Filezilla

En el caso de Jason-2, el tipo de producto que tenemos que descargar es el “gdr_d” (Geophysical data record).



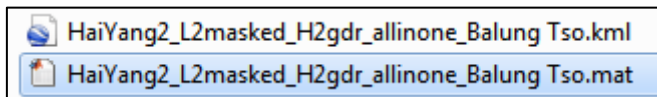
Creamos un archivo Matlab con la máscara de todos los lagos, para quedarnos solamente con las medidas que se han tomado justamente encima de nuestros lagos, para evitar tener un volumen ingente de datos que no necesitamos. Una vez creada la máscara se lanza la función con todos los ciclos para que nos genere los datos con los que vamos a trabajar. La función que tiene para determinar si un punto está dentro de una máscara, por muy compleja que sea la máscara en su número de vértices, funciona bien.



Lakes monitoring in China

```
73 % check which records are inside the given mask
74
75 records_inpol=inpolygon(double(H2prod.data.longitude_hi_rate)./1E6,double(H2prod.data.latitude_hi_rate)./1E6,mask.coord(:,1),mask.coord(:,2)); % records
76 records_inside_mask_1H=sum(records_inpol); % number of records found for each SF inside the mask
77 records_inside_mask_total=sum(records_inside_mask_1H); % total number of records found inside the mask
78
79 clear('XYZ','XYZ_prog','XYZ_mod','XYZ_prog_mean','XYZ_prog_unit3D','11a','11a_10h','XYZ_20h')
80
81 %%% --- If current product is inside the given mask --- %%%
82 if records_inside_mask_total>0
83
84 % display current product, mask_name and hour/minute
85 str0=folderfiles(i_files,1).name(1:25); str1=mask.name;
86 h = hour(now); m=minute(now); str = sprintf('L2product %s found at mask %s ___ current time: %d%dm', str0, str1, h, m); disp(str);
87
88 % initialise structure
89 if packNOTempty==0
90 packNOTempty=1; % first product found
91 structnames=fieldnames(H2prod.data); % list of .data fields names
92 H2pack.attributes = H2prod.attributes;
93 for i_field=1:size(structnames,1)
94     H2pack.data.(char(structnames(i_field)))=[];
95 end
96 end
```

Nos va a generar un archivo *.mat de Matlab con todos los datos necesarios y un archivo *.kml para poder visualizar en Google Earth todas las medidas disponibles.



Field	Value	Min	Max
time_day	<11x1 int32>	4570	4836
time_sec	<11x1 int32>	3337	3504
time_microsec	<11x1 int32>	56000	987000
latitude	<11x1 int32>	30847...	30956...
longitude	<11x1 int32>	83607...	83644...
surface_type	<11x1 int8>	1	1
alt_echo_type	<11x1 int8>	1	1
rad_surf_type	<11x1 int8>	0	1
qual_1hz_alt_data	<11x1 int8>	-49	-49
qual_1hz_alt_instr...	<11x1 int8>	-49	-49
qual_1hz_rad_data	<11x1 int8>	0	0
alt_state_flag	<11x1 int8>	0	0
rad_state_flag	<11x1 int8>	2	127
orb_state_flag	<11x1 int8>	3	3
altitude	<11x1 int32>	69337...	70381...
alt_hi_rate	<20x11 int32>	-4776	0

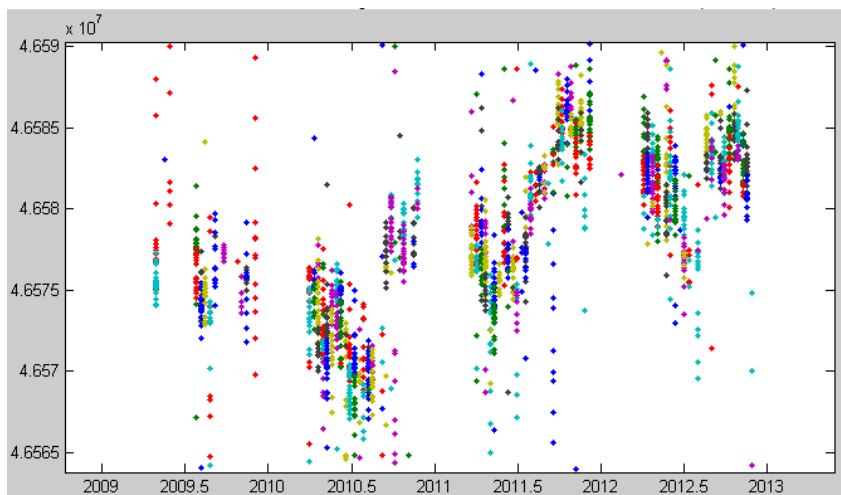
El archivo *.kml generado tendrá un resultado como el de la siguiente figura. Con el podremos hacernos una idea del volumen de medidas que tendremos de cada lago.



A continuación, plotaremos en un gráfico los resultados obtenidos mediante la siguiente orden de Matlab.

```
>> plot(J2pack.data.time_20hz/(86400*365.25)+2000,J2pack.data.alt_20hz-J2pack.data.range_20hz_ku,'.')
```

Para que el eje temporal se nos muestre en años tenemos que dividir el tiempo a 20 hercios entre $(86.400 \times 365 \times 25)$ y a esto sumarle 2000. Y tras hacer zoom en la zona de interés tendremos un resultado como el del gráfico siguiente.



Vistos los resultados, se consideró necesario reducir todos los valores anómalos (“Outliers”) para poder contar con unas medidas de calidad. En estadística, un “outlier” es un dato que numéricamente se encuentra distante del resto de los datos. Hemos

detectado que en las medidas de nuestro altímetro teníamos algunas medidas alejadas de la tendencia principal de cada conjunto de datos.

Por lo tanto, para solucionar este problema, se ha creado una función dedicada de Matlab que reduce los “outliers” que sobrepasan la desviación típica de cada serie de datos a 20Hz. Esto hace que se eliminen los valores que resultan anómalos de cada serie y posteriormente vuelva a recalcular con los datos restantes de nuevo, para volver a eliminar los que vuelvan a resultar superiores a la desviación típica del nuevo conjunto de datos. Finalmente de cada serie de datos de 20Hz nos quedamos con una sola medida tras reducir los outliers y calcular varias veces hasta que nos quedaría una medida central. Con el archivo ya limpio podemos plotar el “surface_height” para obtener la gráfica con la altitud del lago, introduciendo las siguientes órdenes en Matlab.

```
>> plot(Zigetang.time,Zigetang.surface_height/1E4,'k. ');
>>
>> hold all
>>
>> plot(Zigetang.pass_time,Zigetang.pass_surface_height/1E4,'or','MarkerFaceColor','r');
>> |
```

De esta manera obtendremos las gráficas de cada uno de los lagos, que son las que analizamos en el apartado Resultados.

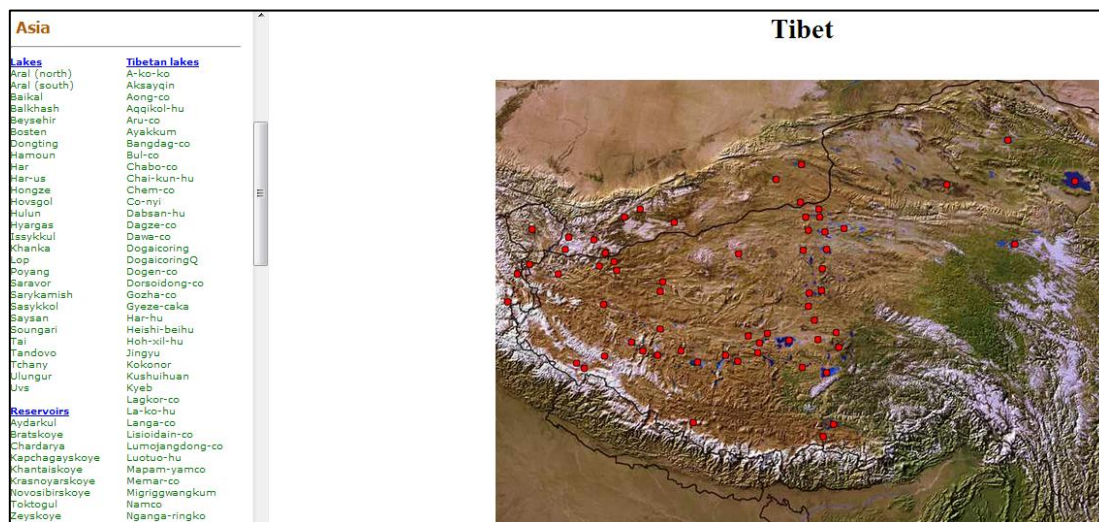
4.5. Otras misiones

4.5.1 LEGOS⁵

La base de datos de Legos, contiene series temporales de niveles de agua de grandes ríos, lagos y humedales alrededor del mundo. Dichas series están basadas en datos del altímetro Topex/Poseidon para ríos, aunque los datos de ERS-1 y 2, Envisat, Jason-1 y GFO también se han usado para los lagos. En la actualidad, cuenta con las series temporales de alrededor de 100 lagos de todo el mundo. Topex/Poseidon es una misión altimétrica conjunta de la NASA y el CNES, lanzada en 1992 para el estudio de los océanos. Sin embargo en los últimos años, LEGOS ha utilizado los datos de T/P sobre masas de agua continentales para construir las series temporales. La resolución temporal del T/P es de 10 días, la duración de un ciclo orbital. El nivel de los lagos está basado en las medidas aglutinadas de Topex/Poseidon, Jason, Envisat y GFO, proporcionados por los centros de datos de ESA, NASA y CNES. Las medidas usadas son las de 1Hz y se aplican las correcciones geofísicas clásicas. Dependiendo de las medidas del lago, los datos del satélite van a ser promediados entre distancias muy largas. Si son varios los

⁵ (<http://www.legos.obs-mip.fr/en/soa/hydrologie/hydroweb/>)

satélites que cubren un mismo lago, el nivel del lago se computa en un proceso de tres pasos. Primeramente, los datos de cada satélite son procesados de manera independiente. A continuación las posibles distorsiones entre los diferentes instrumentos se eliminan basándose en Topex/Poseidon como referente. Por último, se fusionan los datos en una base de datos mensual, teniendo en cuenta que los ciclos orbitales varían desde los 10 días para T/P y Jason a los 17 del GFO hasta los 35 días para ERS y Envisat. Generalmente se observa una precisión superior cuando se aplica un proceso multi-satélite.



Captura de pantalla del proyecto Legos – Hydroweb

El proyecto LEGOS cuenta con una gran cantidad de datos desde 1995 que son de gran utilidad. Por una parte, como hemos comentado, monitoriza el nivel de los lagos (altitud), pero a su vez también controla otra serie de datos relacionados:

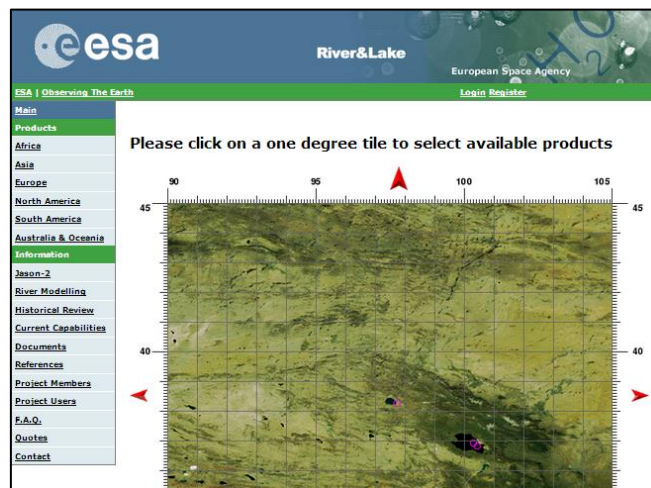
- Variación de la superficie: basada en imágenes de satélite ópticas y radar. Dichas variaciones están medidas en kilómetros cuadrados.
- Variación del volumen de agua: El nivel del agua y las variaciones de la superficie se combinan para estimar la variación del volumen total.
- Valores hipsométricos.

El inconveniente de la misión de LEGOS es que los datos del proyecto no se han vuelto a actualizar desde prácticamente finales de 2011.⁷

4.5.2 ESA (European Space Agency) – Proyecto “River&Lake”⁶ : A comienzos de octubre de 2005 se lanza un proyecto piloto de la ESA a través de ESRIN (Centro para la observación de la tierra de la ESA), con el propósito de obtener altitudes de ríos y lagos en África en tiempo real, utilizando únicamente el altímetro radar de Envisat. Este sistema

⁶ <http://tethys.eaprs.cse.dmu.ac.uk/RiverLake/shared/main>

utiliza un sofisticado esquema de procesamiento desarrollado por el Profesor Berry's Earth y el laboratorio de teledetección planetaria de la Universidad de Monfort en Leicester (UK) que identifica el "retracker" de lagos y ríos para proporcionar altitudes exactas. Este proyecto piloto fue extendiéndose a todos los continentes. Se desarrolló un sistema para producir dos tipos de datos, RLH (River Lake Hidrology) y RLA (River Lake Altimetry) combinando datos de ERS y Envisat. El objetivo principal de este proyecto es proporcionar medidas a la comunidad científica, que sean a su vez, de fácil acceso y exactas de los ríos y lagos.



Captura de pantalla de la web de la ESA River&Lake

Al acceder a la web del proyecto River&Lake se puede apreciar que los datos no están actualizados. Los más actuales que encontramos son de 2010. Además la interfaz no resulta muy intuitiva y los datos no se encuentran muy accesibles, al contrario de lo que figuraba entre sus propósitos. Parece ser que parte de los contenidos se encuentran bloqueados actualmente.

4.5.3. USDA (United States Department of Agriculture) "Global Reservoir and Lake Monitoring"⁷:

El USDA en cooperación con la NASA y la Universidad de Maryland están rutinariamente monitorizando el nivel de muchos grandes lagos alrededor del mundo. El programa actualmente utiliza los datos de altímetros de la NASA, CNES y del NRL (U.S Naval Research Laboratory) sobre cuerpos de agua. El proceso se encuentra semi-automatizado y publicado en la web de la USDA para consulta pública⁸. El monitoreo de las variaciones de nivel de dichos cuerpos de agua ayudará en gran medida a localizar rápidamente sequías de tipo local, así como a mejorar la producción de las cosechas en

⁷ http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/global_reservoir/

⁸ ("http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/global_reservoir/")

las zonas de regadío localizadas aguas debajo de los lagos. Todos los lagos monitorizados están ubicados dentro de las principales zonas agrícolas. Actualmente se monitorizan unos 70 lagos con Jason-2 y unos 150 con Envisat, aunque se aspira a que sean aproximadamente unos 600. Se pueden consultar las variaciones de nivel de los lagos en forma de gráfico o en formato texto.

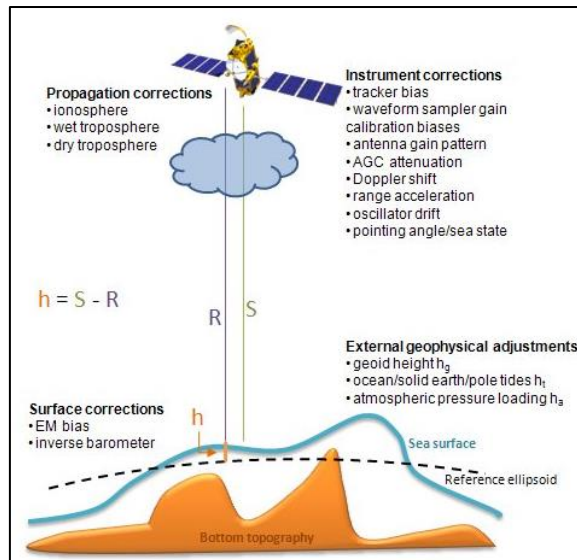


Captura de pantalla de "Global Reservoir and Lake Monitoring de la USDA"

Lamentablemente el USDA no monitoriza ninguno de los lagos de nuestro estudio, por lo cual no podemos emplearlo, aunque resulta necesario mencionarlo como uno de los grandes proyectos en la materia. Aparte como nota negativa hay que resaltar que a la hora de consultar los datos públicos en la web de la USDA, dichos datos no se encuentran actualizados a día de hoy, solamente hasta 2011. También habría que decir que el tipo de dato que ofrece en dichas gráficas o textos es el de variación de la superficie, y no el de la cota que tiene el cuerpo de agua en cuestión.

4.6. Correcciones geofísicas. ¿Modelo o instrumento?, orden de magnitud de la corrección en función de la dispersión.

Las ondas electromagnéticas, al atravesar las diferentes capas de la atmósfera, sufren un retardo que puede producir un error de algunos metros.



En nuestro caso, vamos a tener en cuenta las siguientes:

- **Wet troposphere correction:** Sería el retardo en la señal de retorno del radar debido al vapor de agua presente en la atmósfera. Del orden de 0 – 50 cms.
- **Dry Troposphere correction:** Esta corrección se realiza en función del gas seco presente en la atmósfera. Del orden de 2,3 m, con variaciones temporales de apenas unos centímetros.
- **Ionosphere correction:** esta corrección tiene en cuenta el contenido de electrones en la atmósfera. Del orden de 0 – 50 cms.

Habría que determinar si usar el modelo o los datos del instrumento. Por ejemplo, en lo que se refiere a la corrección ionosférica, los datos del instrumento nos dan muchas distorsiones.

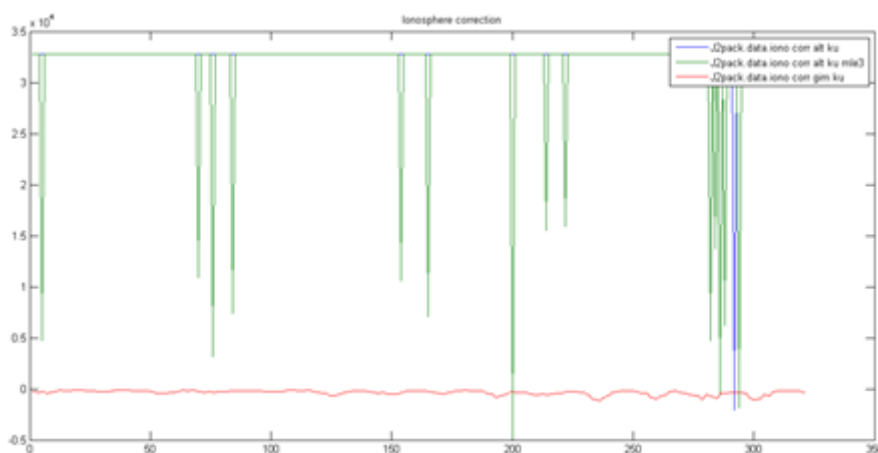


Figura con la gráfica de la corrección ionosférica del modelo y del instrumento

En las dos correcciones de la troposfera (“wet troposphere” y “dry troposphere”) parece que los datos del instrumento son similares a las de los modelos creados, por lo tanto podríamos utilizar tanto uno como otro, aunque deberíamos comprobar que no tenga distorsiones en su gráfica.

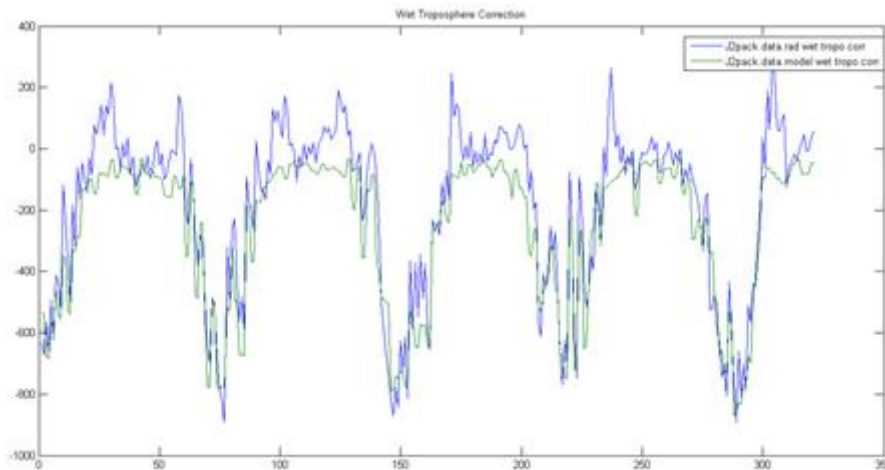


Figura con la gráfica de la “wet troposphere” en el modelo y el instrumento

4.7. Correcciones instrumentales

Las correcciones instrumentales son aquellas que se aplican a los datos proporcionados por el satélite para corregir errores procedentes de alteraciones en el movimiento del satélite y del mecanismo de captación de los altímetros.

Los datos con los que hemos trabajado ya llevan aplicadas las correcciones instrumentales al ser de nivel 2.

En cuanto a las correcciones geofísicas habría que determinar si usar el modelo o los datos del instrumento. Por ejemplo en la corrección ionosférica los datos del instrumento nos dan muchas distorsiones. En las correcciones de la troposfera (“wet troposphere” y “dry troposphere”) parece que los datos del instrumento son similares a las de los modelos creados, por lo tanto podríamos utilizar tanto uno como otro, aunque deberíamos comprobar que no tenga distorsiones en su gráfica.

4.8. Software empleado

>>**Google Earth y Google Earth Pro.** Se ha empleado este software, tanto la versión gratuita como la de pago para muchas de las fases del trabajo: digitalización,

visualización de resultados obtenidos, cálculo de perímetros y áreas, creación de archivos *.kml auxiliares, etc.

>>**BRAT** (Basic Radar Altimetry Toolbox). Software creado por la ESA con el fin de facilitar el trabajo con datos de altimetría radar. Tiene potencial para procesar y editar datos, así como para extraer datos estadísticos y visualizar resultados.

Este software ha sido empleado en el procesado de datos de Envisat.

>>**CUT** (Cryosat User Tool) es una herramienta para la visualización y descarga de productos CryoSat desde servidores FTP. Este programa se empleó para descargar trazas de Cryosat, que posiblemente sean usadas en una fase posterior del proyecto.

>>**Matlab R2009a**. Es una herramienta de software matemático con un lenguaje de programación propio. Entre sus funcionalidades figuran: manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, etc. Se ha usado Matlab para el procesado de los datos de altimetría radar, así como para su representación gráfica.

>>**ESOV** (the Earth Observation Swath and Orbit Visualisation tool). Proporciona a los usuarios la posibilidad de visualizar las órbitas de todos los productos de la Agencia Espacial Europea (ESA). Se ha utilizado para la visualización de dichas trazas en varios de los satélites.

>>**ArcGIS10**. Software comercializado por ESRI destinado al tratamiento y representación de información geográfica. He utilizado este software puntualmente para la obtención de las medidas in-situ de WWF, que me fueron proporcionadas en formato *.shp.

>>**Microsoft Excel**. La hoja de cálculo incluida en Microsoft Office ha sido utilizada para la elaboración propia de cuadros como para el procesado de los datos del satélite Envisat.

>>**Microsoft Word**. El procesador de textos incluido en Microsoft Office ha sido empleado en la elaboración de la mayor parte de los textos que figuran en la presente memoria.

>>**Filezilla**. Es un cliente FTP de código libre que he utilizado para descargar datos de varias misiones desde diferentes servidores.

4.9. Data Quality

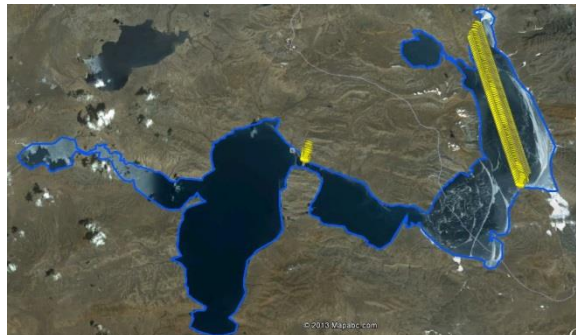
a. Lagos grandes vs lagos pequeños: longitud de las trazas sobre los lagos.

Entre los lagos del estudio, podemos encontrar lagos de una gran extensión, así como lagos más pequeños. Por lo general, de los lagos más grandes vamos a tener más información que de los lagos pequeños, aunque todo va a depender de la órbita del satélite sobre cada lago.

Se dan varios casos de lagos grandes, en los que la traza con la que contamos pasa por la zona más estrecha o muy cercana a la línea de costa. Lo ideal sería que dichas trazas discurriesen por partes centrales para disponer de más medidas y de mejor calidad, pero muchas veces no es así.

Como vemos en la siguiente figura, correspondiente al lago Chibuzhanghu, contamos con una traza que pasa justamente por la parte más estrecha del lago, con lo cual difícilmente nos va a arrojar datos válidos. Sin embargo, en la otra parte del lago, contamos con una traza más limpia y de mayor longitud.

En este caso, mientras la traza más corta apenas llega al kilómetro y medio, la más larga sería de unos 23 kilómetros.



Detalle de dos trazas diferentes sobre uno de los lagos

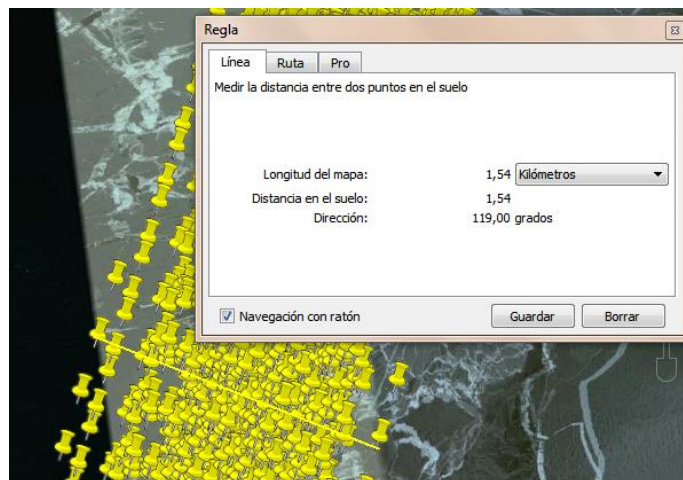
b) Cercanía a las orillas

El hecho de que la traza de la órbita se encuentre muy cercana a las orillas va a influir de gran manera en la calidad de nuestros datos. La proximidad a las orillas va a provocar que nuestras medidas se contaminen y no resulten tan fiables, por lo cual es importante que dichas trazas sean más centradas y limpias. También habría que hacer mención a la importancia que tiene la **profundidad** del lago en la zona por la que discurre la traza, ya que este aspecto también puede producir distorsiones en las medidas obtenidas.



Detalle de traza demasiado próxima a la orilla

En cuanto a la **estabilidad de la órbita**, cabe reseñar que tanto para Jason-2 como para Haiyang-2, la órbita es muy estable. En teoría no debe separarse más de un kilómetro de la órbita nominal, y observando nuestras mediciones, en ningún caso lo supera. También se aprecia que la órbita de Haiyang-2 es algo más estable que la de Jason-2, aunque siempre dentro de los límites normales.

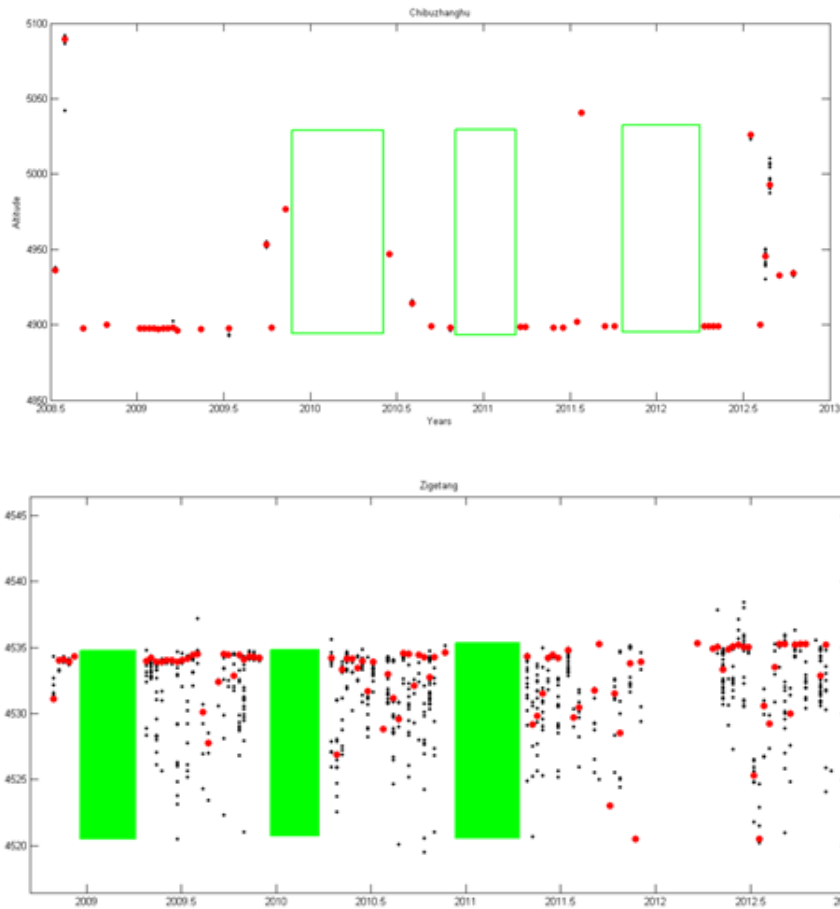


Detalle de medida de la amplitud de la traza

b) Data Gaps

Hemos detectado que en períodos bastante amplios de nuestros datos se producen “huecos “. Dependiendo del lago los “data gaps” son mayores o menores. Por lo general suelen corresponder a los meses entre septiembre y febrero aproximadamente. Esto puede ser debido a que el 94% de los lagos del estudio se encuentran por encima de los 3.000 metros de altitud. Cabe la posibilidad de que se

encuentren helados en estos meses del año y por este motivo el altímetro no mida al no detectar agua.



Figuras donde se aprecian los “huecos” sin datos

c) Outliers

En estadística, un “outlier” es un dato que numéricamente se encuentra distante del resto de los datos.

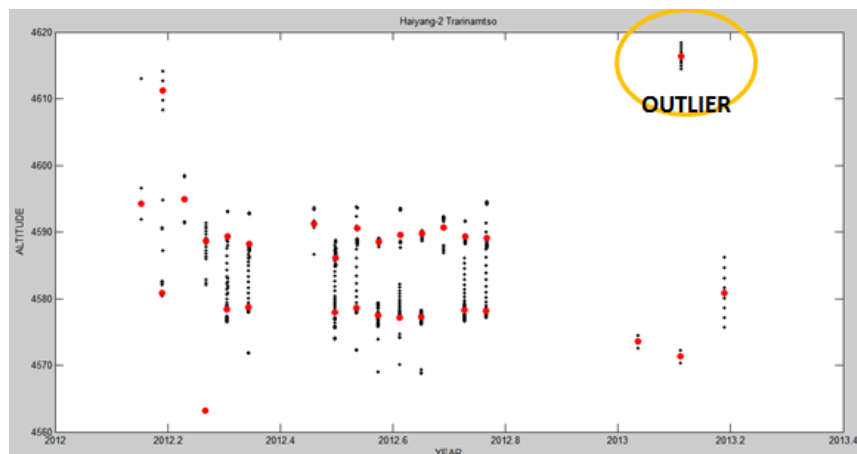


Figura donde se aprecia un outlier con claridad

Hemos detectado que en las medidas de nuestro altímetro teníamos algunas medidas alejadas de la tendencia principal de cada conjunto de datos.

Cuando observamos la mayoría de nuestras gráficas no se aprecian grandes distorsiones, pero es al hacer zoom sobre las gráficas y observarlas con más detalle como los datos no son tan estables como parecen en la vista general de la gráfica.

Por lo tanto, para solucionar este problema, se ha creado una función dedicada de matlab que reduce los outliers que sobrepasan la desviación típica de cada serie de datos a 20Hz. Esto hace que se eliminen los valores que resultan anómalos de cada serie y posteriormente vuelva a recalcular con los datos restantes de nuevo, para volver a eliminar los que vuelvan a resultar superiores a la desviación típica del nuevo conjunto de datos. Finalmente de cada serie de datos de 20Hz nos quedamos con una sola medida tras reducir los outliers y calcular varias veces hasta que nos quedaría una medida central.

d) Haiyang-2, problemas a 20Hz

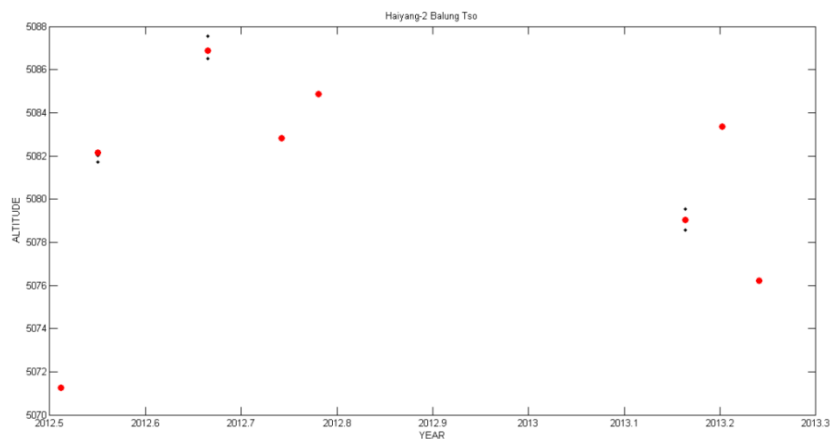
En el caso de la misión Haiyang-2 se da la circunstancia que nos da como “fill value” o dato erróneo el valor a 1Hz cuando existen suficientes valores a 20Hz como para que nos ofrezca medida a 1Hz. Solamente nos da altitud y range a 20Hz. No nos ofrece Time, ni Latitude ni Longitude a 20Hz. Se han tenido que crear esos campos mediante una función dedicada con Matlab, pero son datos que nos deberían proporcionar el instrumento.

5. RESULTADOS

A continuación se representan las gráficas de las altimetrías de cada uno de los lagos en las diferentes misiones.

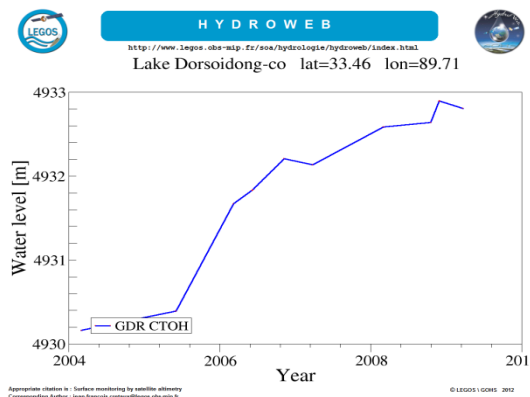
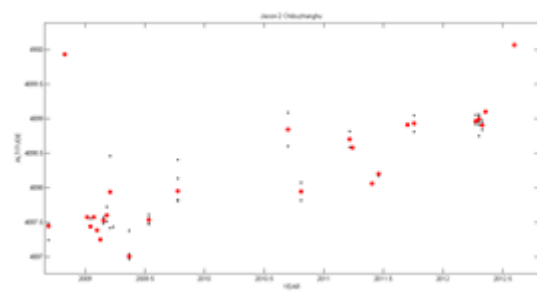
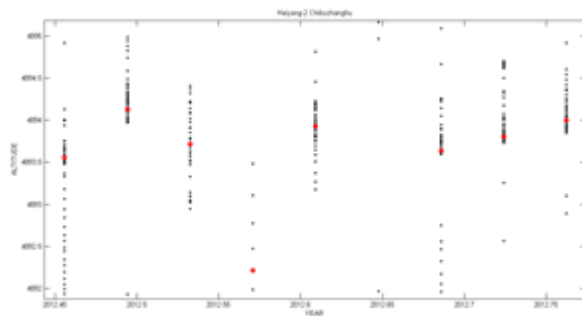
Balung Tso

Se trata de un lago pequeño, con un área aproximada de unos 140 km². Contamos con una pasada de Haiyang-2, con pocos datos y con un hueco de unos 5 meses. Como podemos apreciar en la imagen, la traza es corta (unos 6 kms) y cercana a la costa. Hay bastante disparidad en los datos que arroja, con una diferencia entre mínimo y máximo de unos 12 metros, entre 5076 y 5087 metros. Según los datos in-situ de WWF tiene una altitud de 5182 m, según Google 5107 metros.



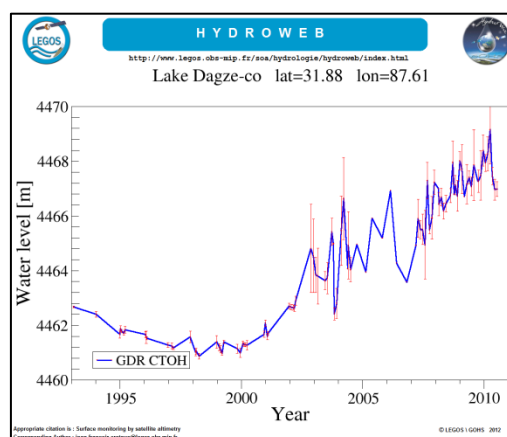
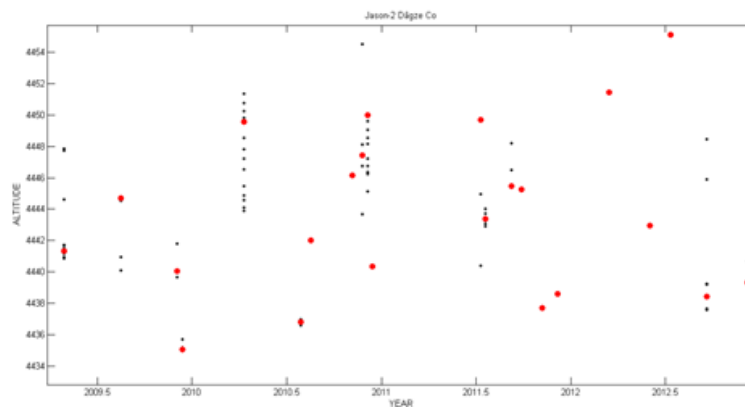
Chibuzhanghu

Este lago, es uno de los más extensos con cerca de 1000 km². En las trazas de Haiyang-2 tenemos una larga y una muy corta, con medidas bastante estables, entre 4892 y 4894m. En Jason-2 las medidas son regulares también pero están entre 4897 y 4899 metros. Según los datos in-situ de WWF tiene una altitud de 4920 metros, según Google la altitud sería de 4935 metros. En LEGOS las mediciones fluctúan, entre 2004 y 2009 entre los 4.930 y 4.933 metros.



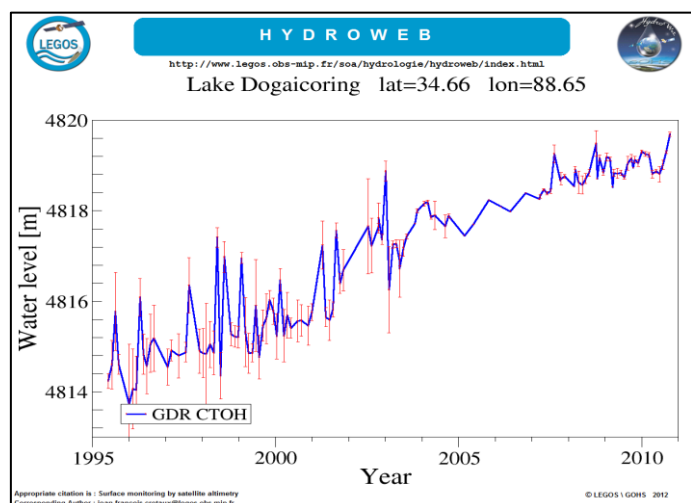
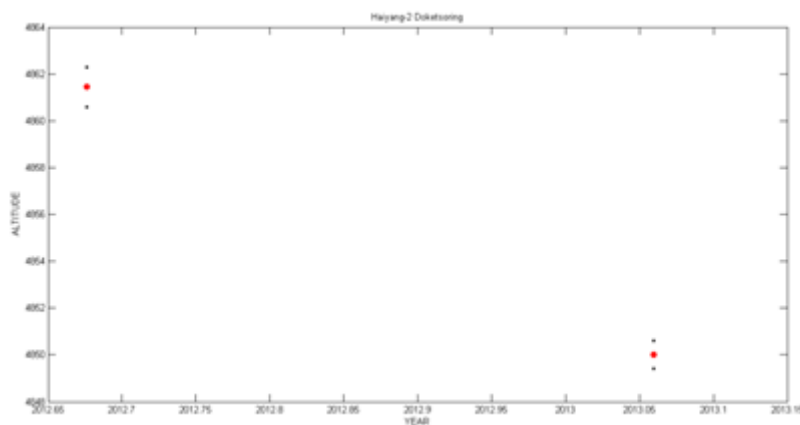
Dagzê Co

El Dagzê Co es un lago de tamaño mediano, con unos 290 km². La traza que lo cruza es de Jason-2 y está situada cerca de la costa, aunque tiene una longitud de unos 12 kms. Las medidas que tenemos son bastante imprecisas, ya que están en un rango de unos 18 metros, entre 4435 y 4455 metros. Mientras que los datos in-situ son parecidos. WWF y Google en sus medidas in-situ nos da valores similares, mientras que WWF nos da una altitud de 4469, la de Google es de 4470. En cuanto a Legos, entre 1993 y 2002 sus resultados se encuentran entre 4.462 y 4.463 metros. A partir de 2003 va aumentando ligeramente hasta finales de 2010 que se sitúa en unos 4467.



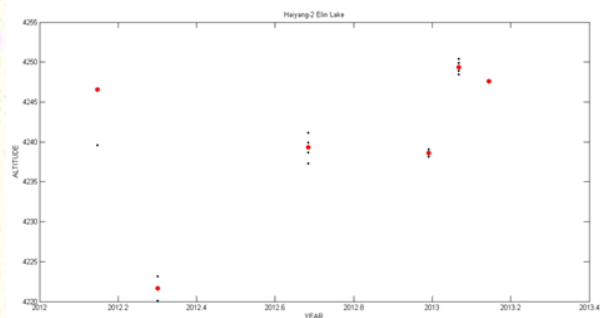
Dokétsoring

La traza que tenemos de este lago pasa justamente por una zona seguramente menos profunda, además que pasa por una isla situada dentro del lago. Sólo tenemos 2 medidas y con 11 metros de diferencia entre ellas, de 4850 a 4861 metros. Los datos in-situ nos dan unas medidas diferentes a estas. WWF 4807 metros mientras Google nos da 4823 metros de altitud. Las medidas del proyecto LEGOS varían desde los 4814 de 1995 hasta los 4820 de finales de 2010.



Elin Lake

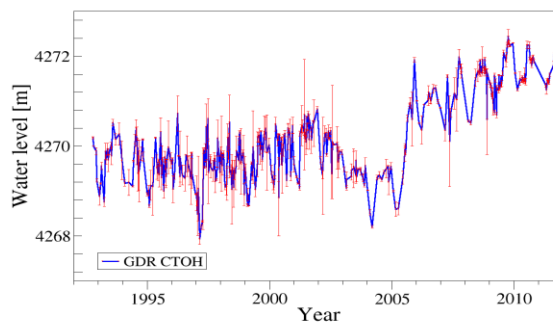
El Elin Lake es un lago de un tamaño considerable, por encima de los 600 km². Para este lago tenemos 2 trazas de Jason-2, una corta de unos 8kms y otra más larga de 27 kms que pasa por el centro del lago, que no han arrojado datos válidos ninguna de las 2 lamentablemente. Sin embargo tenemos una traza de Haiyang-2 muy escorada y cercana a la línea de costa de la cual apenas tenemos datos, sólo algunas medidas. De los que tenemos hay varios que son similares a los datos in-situ de WWF, en torno a 4240 metros, por lo cual podrían considerarse medidas fiables. Sin embargo el dato que Google nos da es de 4272 metros. En cuanto a las medidas del proyecto LEGOS, permanecen bastante estables en todo el período entre 1993 y 2011, fluctuando entre 4.269 y 4.272 metros principalmente, salvo algún pico puntual por debajo.



HYDROWEB
<http://www.legos.obs-mip.fr/soa/hydrologie/hydroweb/index.html>



Lake Ngoring-co lat=34.85 lon=97.68

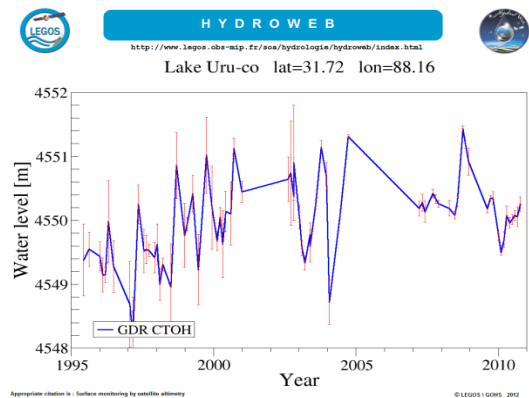
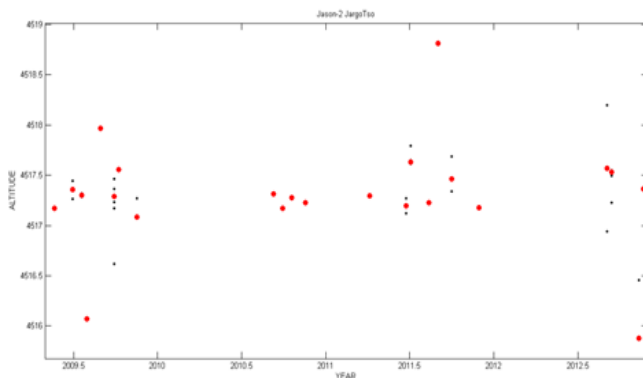


Appropriate citation is: Surface monitoring by satellite altimetry
 Corresponding Author: jean-francois.zimmer@obs-mip.fr

© LEGOS / IGNIS 2012

Jargotso / Urru Co

Es un lago de tamaño mediano de unos 250 km². Para este lago, tenemos una traza de Jason-2, que justamente pasa por la parte más estrecha del lago, aunque ello no ha impedido que tengamos bastantes medidas. Las medidas mantienen una tendencia muy regular y prácticamente todas ellas están en un rango de aproximadamente un metro, en torno a los 4517 metros, salvo algunas medidas, aunque nunca salen del rango de los dos metros. Sin embargo en los datos in-situ de WWF nos da una altitud de 4546 metros, bastante diferente a nuestra medida. El dato de Google es mayor aún y se va hasta los 4559 metros. También tenemos una pasada de Envisat y otra cercana pero se encuentran dentro de la máscara de dicho satélite. En el caso de LEGOS, sus medidas entre 1995 y 2010 oscilan entre los 4.548 y los 4.551 metros, aunque se aprecian períodos de acentuadas subidas y bajadas de nivel dentro de este rango.



Jinxiwulanhu

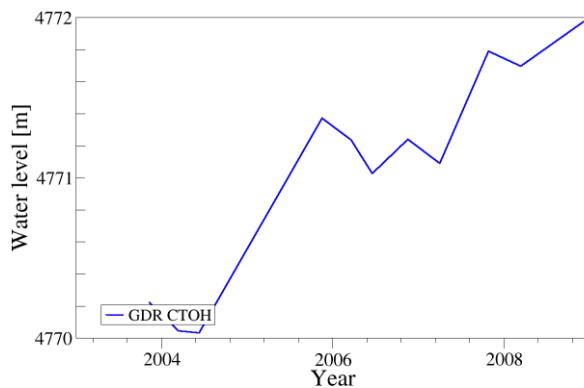
El Jinxiwulanhu es un lago de tamaño mediano, con unos 360 km². Tenemos una traza de Haiyang-2, pero una vez más pasa por la zona más estrecha y seguramente menos profunda del lago. Apenas nos ofrece datos, concretamente dos, separados entre sí 4 metros. Además hay dos trazas de Envisat pero están dentro de la máscara. Las medidas in-situ son diferentes, WWF nos da 4786 y Google 4777 metros. Para LEGOS tenemos datos entre 2004 y 2009, en ligero ascenso continuo entre los 4.770 y 4.772 metros.



HYDROWEB

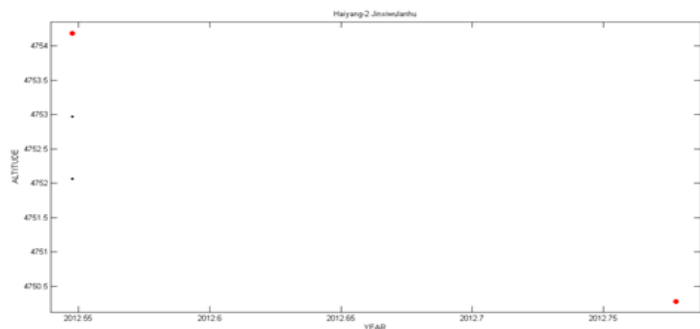


<http://www.legos.obs-mip.fr/soa/hydrologie/hydroweb/index.html>
 Lake Xijir-hulan-hu lat=35.20 lon=90.30



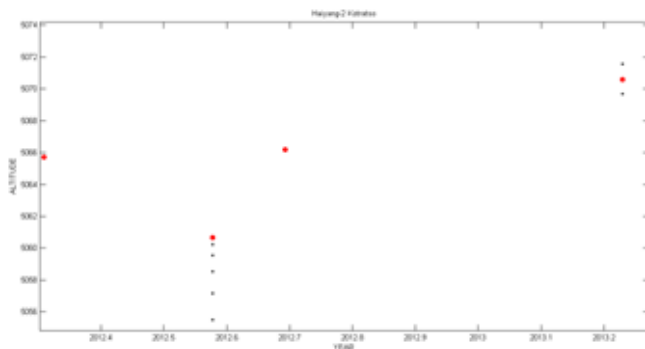
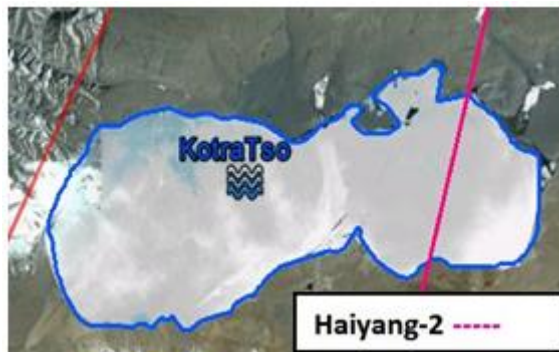
Appropriate citation is : Surface monitoring by satellite altimetry
 Corresponding Author : jean-francois.costa@legos.obs-mip.fr

© LEGOS / IGNIS 2012



Kotratso

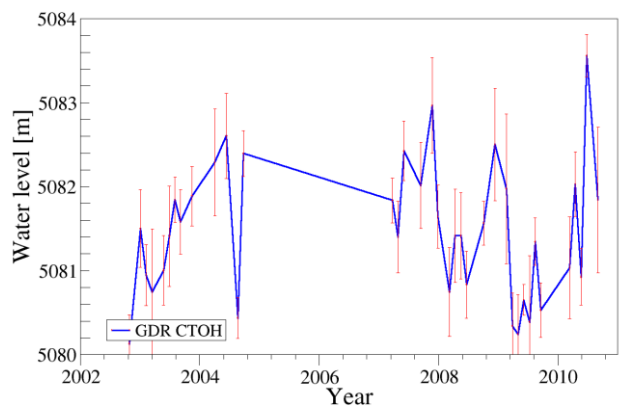
Este lago se encuentra situado a más de 5000 metros de altitud y tiene un tamaño mediano, rondando los 250 km². De este lago tenemos una traza de Haiyang-2, muy limpia, aunque nos da pocos datos. Puede que el satélite no tenga apenas medidas, ya que cabe la posibilidad de que se encuentre helado durante gran parte del año. Las pocas medidas que tenemos se aproximan a la cota 5070 metros de las medidas in-situ de WWF. Los datos de LEGOS Hydroweb se encuentran dentro del rango 5.080 y 5.083 metros.



HYDROWEB

<http://www.legos.obs-mip.fr/soa/hydrologie/hydroweb/index.html>

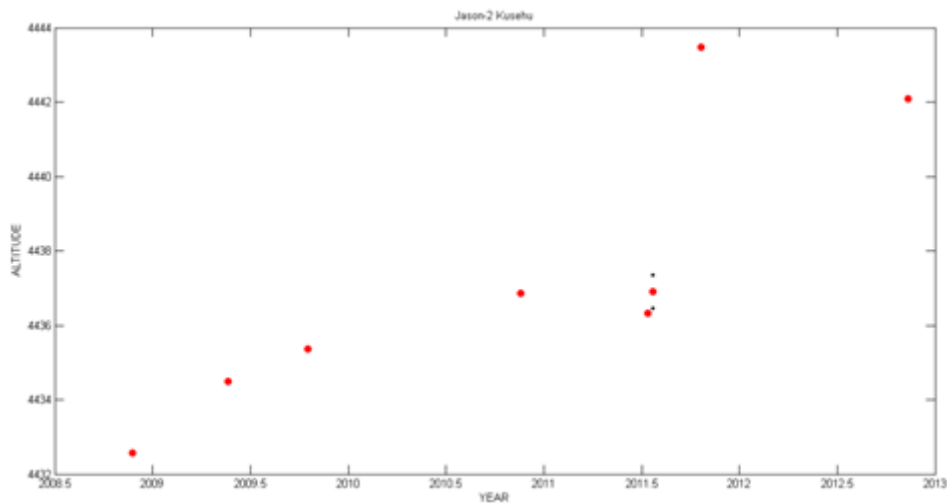
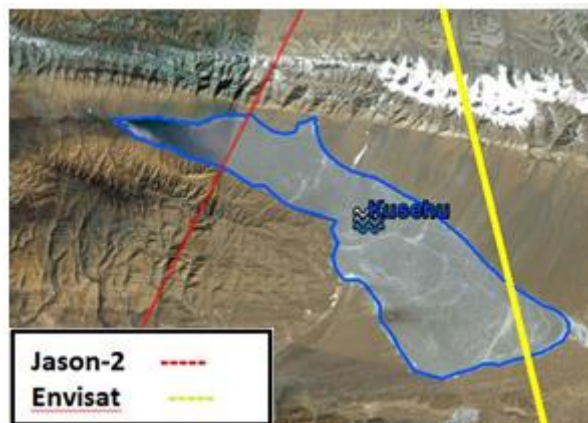
Lake Gozha-co lat=35.01 lon=81.20



Appropriate citation is : Surface monitoring by satellite altimetry
Corresponding Author : jean-francois.cretaux@legos.obs-mip.fr © LEGOS / IGN 2012

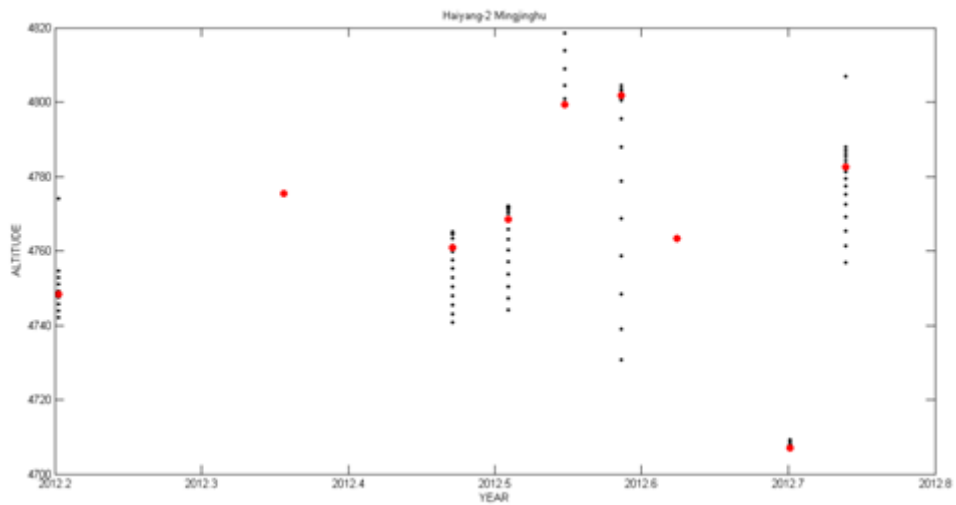
Kusehu

Este lago también es de tamaño mediano, tiene alrededor de unos 260 km². A pesar de su tamaño, por el pasan las trazas de dos satélites, Jason-2 y Envisat, aunque en el caso del segundo, una vez más está dentro de la máscara de calibración. La traza queda un poco escorada y no llega a los 5 kms de longitud, por lo cual no nos ofrece muchas medidas. La mayoría de ellas se encuentran en el rango entre 4432 y 4436 metros de altitud. Comparándolas con las de los datos in-situ, las de Jason-2 son sensiblemente inferiores a las de WWF y Google.



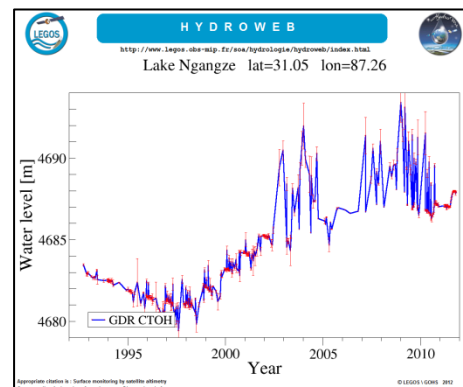
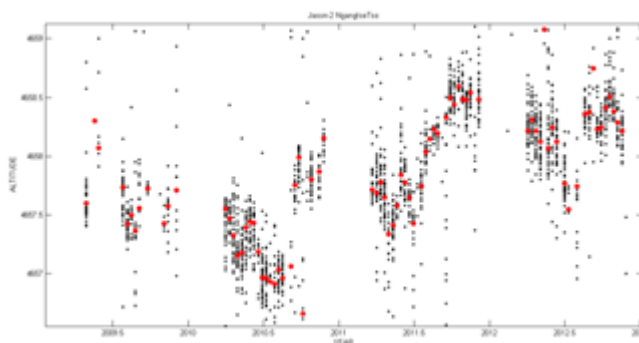
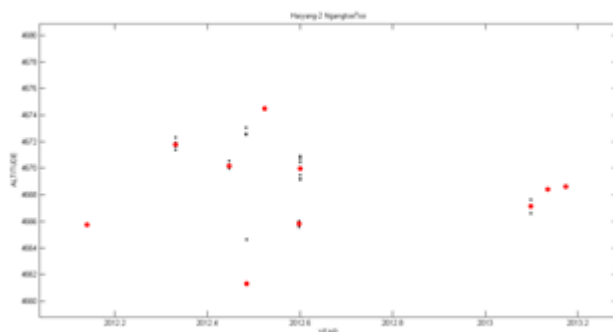
Mingjinghu

Se trata de un lago pequeño, de apenas 80 km². Contamos con una traza muy limpia y centrada de Haiyang-2, aunque por la imagen de satélite parece que atraviese alguna zona poco profunda. Esta traza es de unos 5 kms de longitud. Las medidas son bastante dispares, aunque hay algunas medidas a mediados de 2012 que se asemejan mucho a las medidas in-situ de Google. Tenemos otra traza de Envisat que no podemos incluirla al estar dentro de la máscara de calibración.



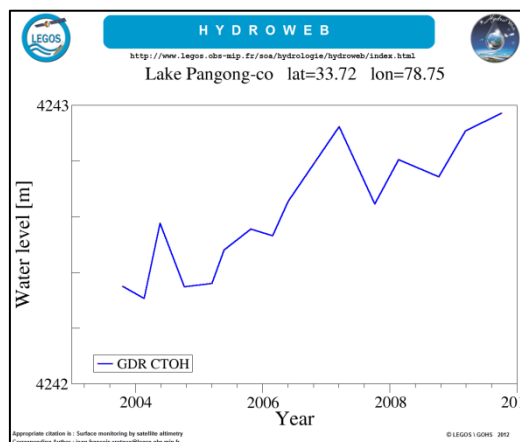
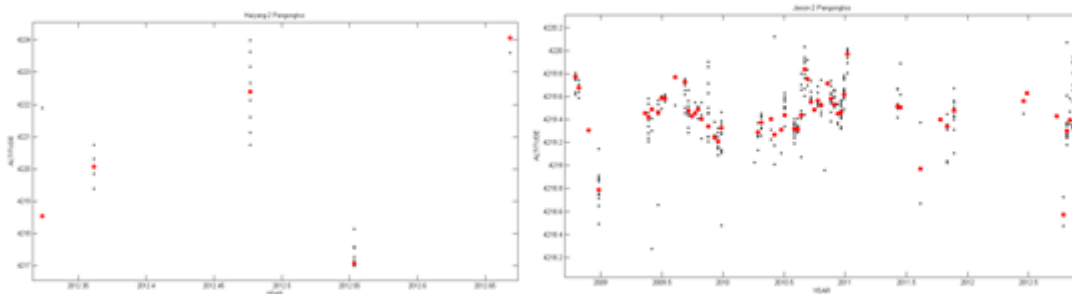
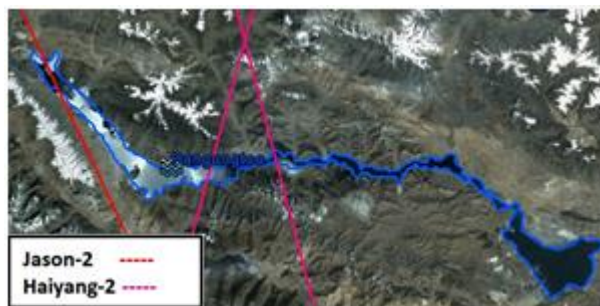
Ngangtsetso

El Ngangtsetso es un lago de tamaño mediano de 569 kms. Cuenta con una traza de Jason-2 de unos 24 kms, aunque muy próximo a la costa en uno de los extremos. En el caso de Haiyang-2, aunque tiene dos trazas, están muy próximas a tierra y parece que en zonas poco profundas. En estas trazas sus medidas son de gran disparidad y sin tendencia clara, variando entre los 4630 y 4690 metros. En Jason-2 tenemos buena cantidad de medidas y con una tendencia claramente apreciable, con cierta coherencia. Su altitud fluctúa entre los 4657 y los 4659 metros de altitud. De los datos in-situ, el que más se aproxima de lejos es Google con 4690. En LEGOS, sus medidas afirman que el nivel del lago ha ido aumentando con los años, ya que con respecto a 1995 se ha producido un aumento de entre 10 y 15 metros, situándose en la última década en el rango entre 4.687 y 4.692 metros.



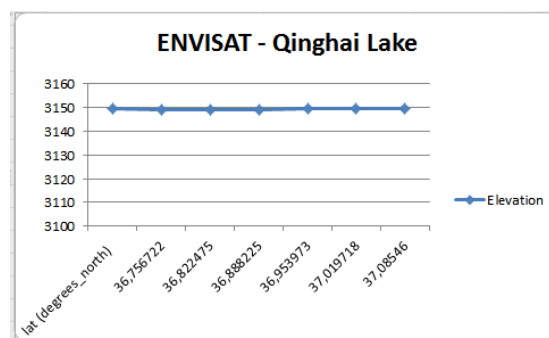
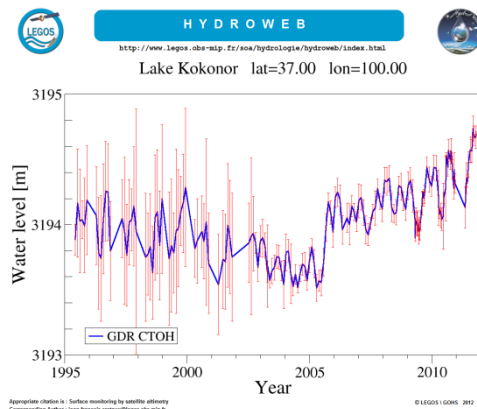
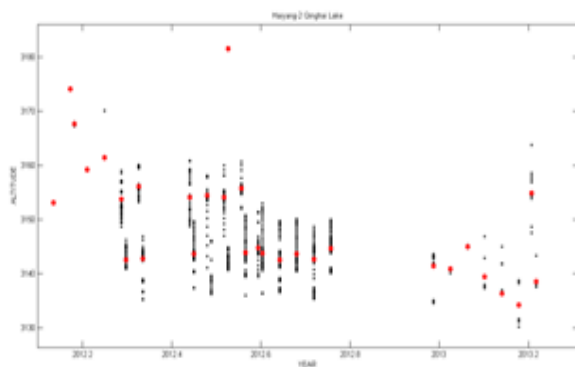
Pangongtso

La forma de este lago es bastante peculiar, largo y estrecho, con unos 150 kms de punta a punta y muy irregular. La traza de Jason-2 pasa justo por un extremo, sus medidas muy homogéneas fluctúan en un rango de un metro en la cota 4218. En lo que se refiere a Haiyang-2, las trazas son muy cortas debido a la morfología del propio lago. Las medidas con más coherencia están en el rango entre 4217 y 4224 metros. Hay diferencia sustanciosa respecto de las medidas in-situ, aunque ello puede deberse a la propia morfología del lago, que puede tener distintas alturas al ser tan estrecho y sinuoso. Contamos con medidas de LEGOS entre 2004 y 2010 muy estables que siempre están dentro del rango entre los 4.242 y 4.243 metros.



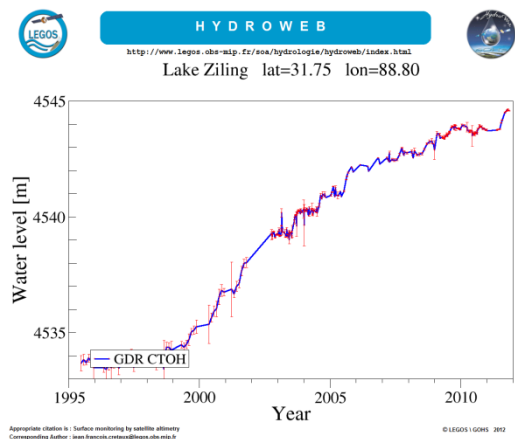
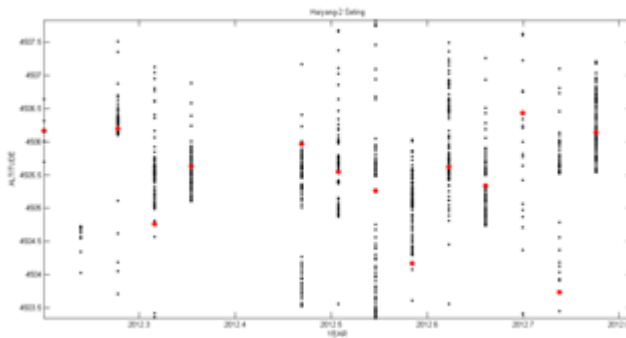
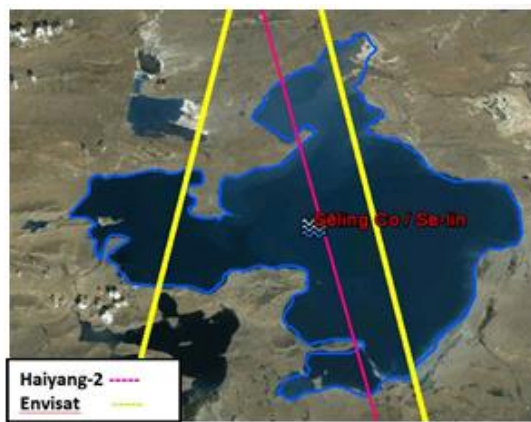
Qinghai Lake

El Qinghai Lake es el lago más extenso de nuestra zona de estudio, con unos 4100 km². Contamos con medidas de dos misiones, Haiyang-2 y Envisat. En las medidas de Haiyang parece que en fechas cercanas toma altitudes diferentes, como si tomase medidas diferentes en la ascendente y en la descendente, fácilmente diferenciables en la gráfica. Las medidas a tener en cuenta se encuentran entre las cotas 3135 y 3160 metros. Hay que destacar que el Qinghai es junto con otro pequeño lago, los dos únicos lagos del estudio que han quedado fuera de la máscara de calibración de Envisat. Tenemos una altitud en nuestras medidas de 3.148 metros. En los datos in-situ tenemos 3176 metros en WWF y 3198 en Google. Mientras en LEGOS las medidas entre 1995 y 2011 se encuentran todas dentro del rango entre 3.193 y 3.195 metros.



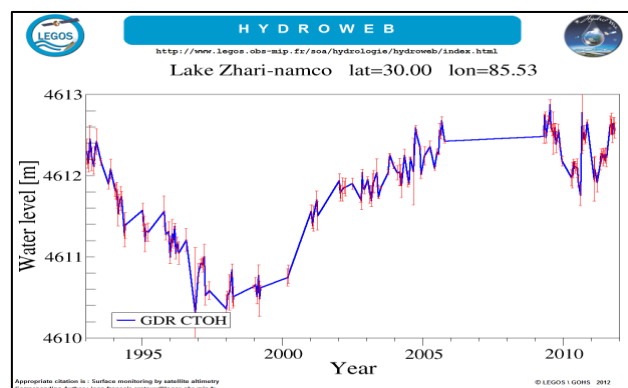
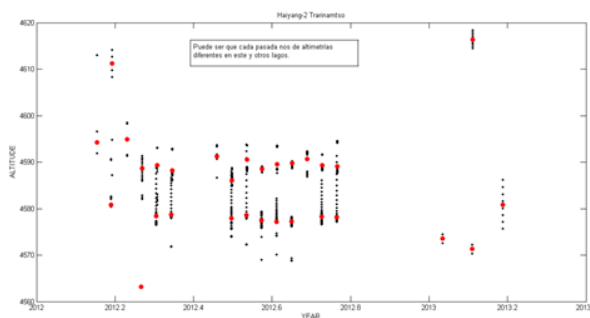
Seling Co

El lago Seling Co es el segundo más grande de nuestra región de estudio. Tenemos trazas de Haiyang-2 y Envisat, aunque estas últimas dentro de la máscara. Contamos con una sola traza pero muy larga, de unos 60 kms, aunque en varias ocasiones toca tramos de tierra. Los datos que nos da son muy estables, variando entre los 4504 y los 4506 metros aproximadamente, en un rango dentro de lo normal que puede fluctuar. Aunque las medidas in-situ no coinciden con nuestras medidas una vez más, mientras que en WWF nos da una altitud de 4557 metros, en Google nos da una altitud de 4544 metros. Según los datos de LEGOS Hydroweb, este lago ha experimentado un continuado ascenso desde 1995 hasta 2011, con una diferencia en su cota de unos 10 metros. Las últimas medidas se sitúan en torno a los 4.544 metros, exactamente igual que los datos de Google.



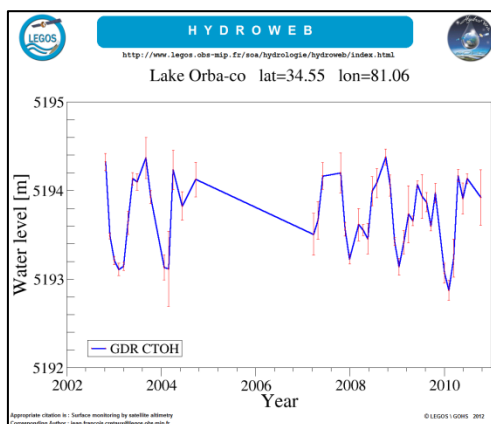
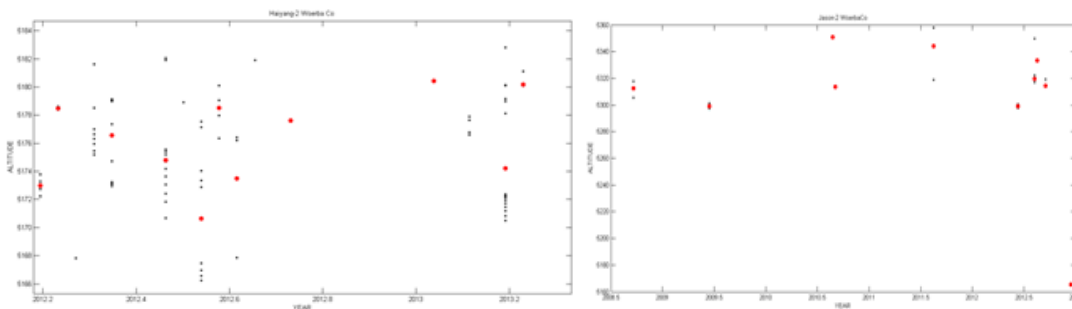
Trarinamtso

Se trata del 4º lago de mayor extensión de nuestro proyecto con unos 1000 km². Contamos con 2 trazas de Haiyang-2 y una de Jason-2, aunque esta última no cuenta con datos válidos. Como en algún otro lago con dos trazas, se repite la dinámica de la gráfica, con dos líneas de medidas con bastante coherencia cada una de ellas pero entre una línea y otra hay unos 10 metros de diferencia. Parece ser que tenemos cotas diferentes el satélite circula en sentido ascendente o descendente. El rango de las medidas está entre 4575 y 4590 metros de altitud. Hay alguna medida aislada que se asemeja a la medida in-situ de Google (4617 metros), sin embargo la de WWF está muy por encima, 4743 metros. En LEGOS nos encontramos con un descenso del nivel del lago desde 1993 a 1997, bajando de los 4.612 a los 4.610 para posteriormente estabilizarse en esta cota y a partir de 1998 volver a recuperar el nivel del comienzo de la década de los 90. A partir de 2003 aproximadamente se estabiliza en torno a la cota 4.612.



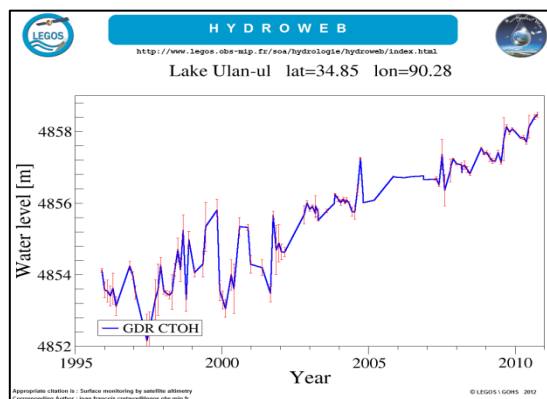
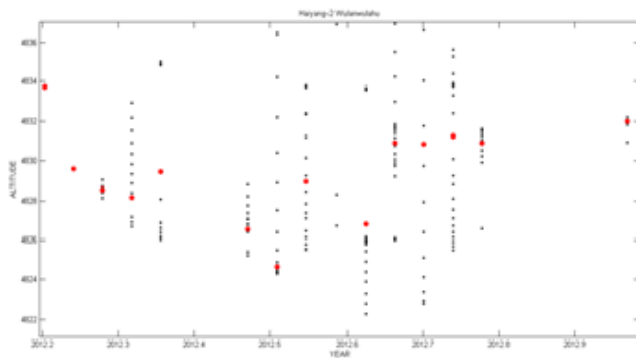
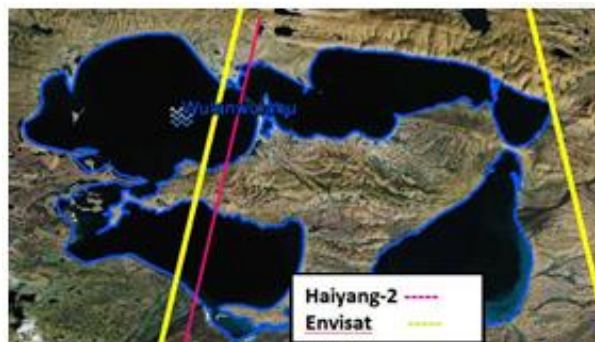
Woerba Co

Se trata de un lago de menos de 100 km², pero aun así, tenemos trazas de dos misiones. La traza más larga es la de Haiyang-2, aunque en casi todo momento está próxima a la costa. La de Jason-2 está muy escorada y de apenas 1 km. Los datos de Haiyang-2 están en un rango de 9 m, entre 5171 y 5180 metros. En el caso de Jason-2 hay pocos datos y con mucha dispersión en su rango, en torno a 50 metros, de 5300 a 5350 m. Los datos in-situ no tienen nada que ver con nuestras medidas, según WWF 5216 m y según Google 5200 m. Tenemos datos de LEGOS entre 2002 y 2011 y sus medidas están entre los 5.193 y 5.194 metros.



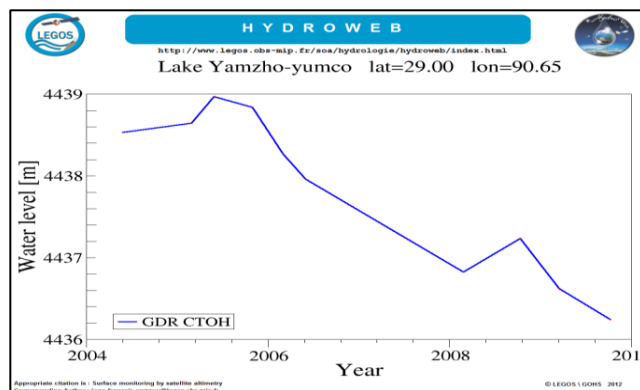
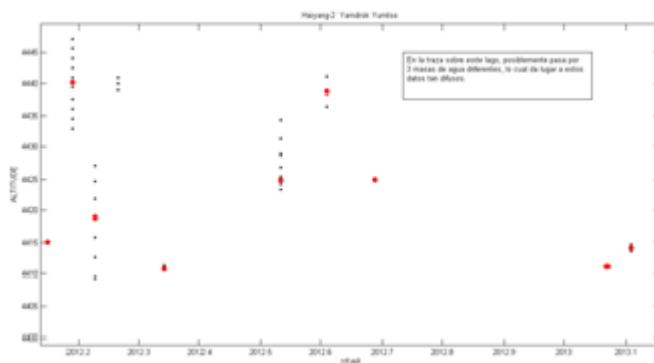
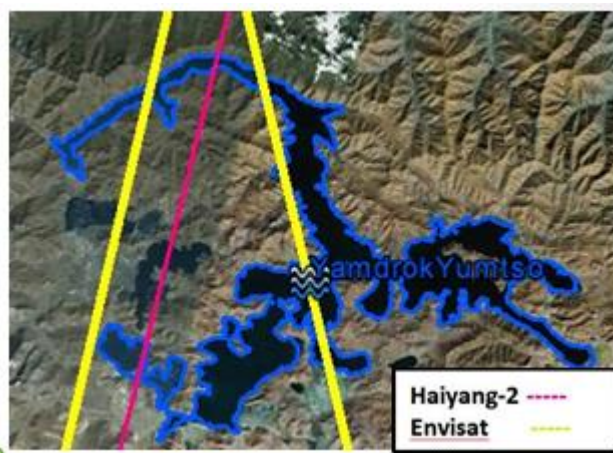
Wulanwulahu

Tiene una extensión de unos 500 km², por lo tanto de una extensión considerable pero con una morfología bastante irregular, lo cual empeora las medidas. Hay una traza de Haiyang-2, la cual nos da unas medidas bastante regulares, con un rango que no supera los 5 metros de diferencia, concretamente está entre 4825 y 4831. Los datos in-situ son sensiblemente superiores, 4860 para Google y 4876 para WWF. En los datos de LEGOS se aprecia un continuo aumento del nivel desde el año 1996 con unos 4.853 metros hasta los 4.858 del año 2010. Además tenemos dos trazas de Envisat, pero quedan dentro de la máscara de calibración.



Yamdruk Yumtso

Este lago tiene una morfología muy peculiar, lo cual dificulta las medidas de calidad. Hay una traza de Haiyang-2 que atraviesa hasta tres masas de agua diferentes, intercaladas con zonas de tierra. A este motivo se puede deber la disparidad de medidas, con una diferencia entre máximos y mínimos de unos 30 metros. Sus medidas van de 4410 a 4440 metros. En este caso las medidas in-situ son casi iguales y coincide con nuestras medidas en las de mayor altitud. WWF nos da una medida de 4446 metros y Google de 4447 metros. Según los datos de LEGOS este lago ha sufrido un ligero descenso de nivel, de los 4.438 de 2004 hasta los 4.436 de 2010. También dos trazas de Envisat que no nos sirven por la mencionada máscara de calibración.

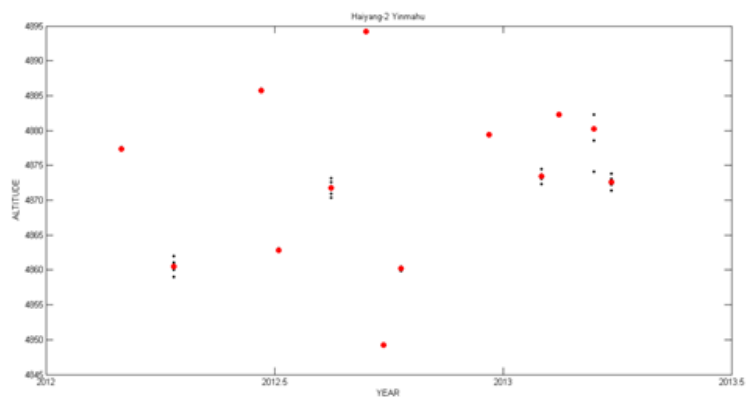


Yinmahu

Se trata de un lago pequeño de unos 100 km². Por el pasa una traza de Haiyang-2 y dos trazas de Envisat. La de Haiyang-2 es de apenas 7 kms, pero muy cercana a la costa.

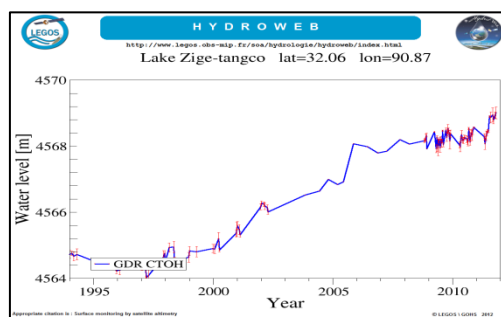
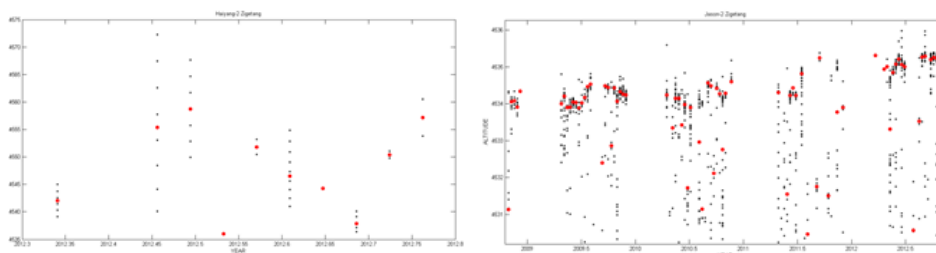
Las medidas que arroja son de gran disparidad, con una diferencia de unos 45 metros entre máxima y mínima. Tampoco se aprecia ninguna tendencia clara en sus medidas.

El rango entre el cual discurren mínimos y máximos es de 4850 a 4895 metros de altitud. Las medidas in-situ por su parte son superiores a éstas, en WWF tenemos 4933 y en Google 4916 metros.



Zigetang

Se trata de un lago de tamaño mediano, con 234 kms. Tenemos una traza de Haiyang-2 bastante escorada y otra de Jason-2 centrada y abundante en medidas. En los datos de Haiyang-2 tenemos unos 25 m de diferencia entre max y min. Sin embargo en Jason-2 se aprecia una tendencia clara ascendente y la diferencia entre mínimo y máximo es de apenas metro y medio, entre 4534 y 4535 metros. En datos in-situ WWF se aproxima a nuestra medida, 4538m. Mientras que Google nos da 4573 metros. Según LEGOS apreciamos un notable ascenso del nivel desde el año 2000 hasta 2010 que alcanza un nivel de 4.569 metros.



6. CONCLUSIONES

El estudio llevado a cabo ha permitido sistematizar un modelo de procesado de datos para el control y monitoreo de lagos, que era uno de los objetivos que se perseguían desde un principio.

La utilidad de sistematizar todo este proceso estriba en que para la realización de un estudio de este tipo resulta necesario el manejo de una enorme cantidad de datos, que una vez automatizado, ahorraría mucho tiempo en todo el proceso.

En cualquier caso, este trabajo serviría como base para posteriores fases, en las que se podrían desarrollar otras potencialidades. Además ofrece la posibilidad de que este sistema sea aplicable a ríos, mares interiores, humedales, etc, así como a otros países.

En un principio se iban a emplear tres misiones para la realización del estudio, pero debido a la eventualidad surgida con Envisat se ha hecho basado en dos misiones. Por lo tanto, esta sistematización podría ser aplicable a otras misiones altimétricas, así como también se podría realizar una retrospectiva con datos más antiguos de los que se tuviera disponibilidad.

En el apartado de propuestas de mejora, cabe decir que los resultados son mejorables, ya que en algunos de los lagos los datos obtenidos no guardan una coherencia total con las medidas in-situ que tenemos de otros proyectos, para lo cual habría que averiguar qué puede ser lo que lo produce. También sería interesante con vistas a una mejora del sistema, investigar en la causa de por qué se producen ciertos errores que se dan en la toma de medidas, así como intentar conocer la causa de los “data gaps”, que provoca que haya varios meses del año seguidos en los que no contamos con datos para analizar.

En el aspecto de las perspectivas de futuro, la investigación realizada en este proyecto de fin de master podría tener continuidad para el control de **presas** en un país como China donde la mayor parte de los grandes embalses se encuentran en la zona más poblada y, por tanto, que más agua demanda.

En la figura que se reproduce a continuación se ha delimitado la zona estudiada en nuestro proyecto (contorno negro) en la que puede apreciarse el área donde se encuentran la mayoría de los principales lagos y apenas alguna presa importante. En contraste, en la parte central, este y sudeste del mapa podemos ver representadas con

cruces las principales presas de China, justo en el lado opuesto a donde se encuentran los lagos de nuestro estudio.



Figura donde se aprecia el área de estudio en negro y los pantanos más grandes de China

Este modelo de trabajo sería a su vez exportable a países de gran tamaño y con unas reservas hídricas muy importantes como son **India, Brasil y Rusia**.

El empleo de altimetría radar puede resultar de importancia también para obtener perfiles de ondulación del **geoide**.

7. BIBLIOGRAFÍA y FUENTES

MA JUN, "China's water crisis", Ed. Pacific Century, 2004.

MURRAY, GEOFFREY, *China verde, en busca de alternativas ecológicas*, Barcelona, Ed. Bellaterra, 2004.

CHUNMIAO, ZHENG'S, <http://aquadoc.typepad.com/waterwired/2009/04/will-china-run-out-of-water.html>

LEON HERNANDEZ, J.G. DUQUE, J., DOMINGUEZ, E., Avances más Recientes Sobre la Aplicación de la Altimetría Radar por Satélite en Hidrología. Caso Particular de la Cuenca Amazónica Colombiana y Brasileira., Revista Ing. Investig., in press, 2008.

X PLAN QUINQUENAL DE LA R. POPULAR CHINA: www.china.org.cn/spanish/xi-jk/803.htm Y www.chinatoday.com.cn/hoy/2k1/hoy-2/lianghui/mingdan-5.htm.

XII PLAN QUINQUENAL DE LA R. POPULAR CHINA: www.oficinascomerciales.es/icex/cma/.../records/mostrarDocumento/

VVAA: *The Great Himalayan Watershed: Water Shortages, Mega-Projects and Environmental Politics in China, India, and Southeast Asia*: <http://japanfocus.org/-kenneth-pomeranz/3195>

AA.VV. *Development of SAR Altimetry Mode Studies and Applications over Ocean, Coastal Zones and Inland Water*, SAMOSA, 2008.

Páginas web utilizadas

Recursos

www.worldwater.org/data20082009/ch05.pdf

www.oecd.org/environment/country-reviews/37657409.pdf

www.mwr.gov.cn/english/

www.factsanddetails.com/china.php?itemid=390

www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/China-2030-complete.pdf

www.en.wikipedia.org/wiki/Water_resources_of_the_People's_Republic_of_China

Ríos y cuencas hidrográficas

www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/china/index.stm

[es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_la_Rep%C3%BAblica_Popular_China#Hidrograf.C3.ADa](http://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_la_Rep%C3%BAblica_Popular_China#Hidrograf%C3%ADa)

www.internationalrivers.org/taxonomy/term/1045

www.chincold.org.cn/dams/index.htm

Presas, lagos y embalses

www.es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Embalses_y_presas_de_China

<http://www.rfa.org/english/news/tibet/concerns-04172013125938.html>

Aguas subterráneas, residuales y desalinización

[www.iaqua.es/noticias/desalinizacion/13/04/05/china-pretende-triplicar-su-capacidad-para-desalinizar-el-agua-del-mar-en-2015-29015\)](http://www.iaqua.es/noticias/desalinizacion/13/04/05/china-pretende-triplicar-su-capacidad-para-desalinizar-el-agua-del-mar-en-2015-29015)

El ciclo del agua

www.agua.foroambientalista.org/2010/10/07/agua-recurso-%C2%BFrenovable-o-no-renovable/

Relación entre disponibilidad de recursos hídricos y población

www.chinawaterrisk.org/resources/water-universe/water-companies/

www.wds.worldbank.org “Addressing China’s Water Scarcity”.

www.wds.worldbank.org

www.en.wikipedia.org/wiki/Water_supply_and_sanitation_in_China

www.chinawaterrisk.org/

www.mwr.gov.cn/english/

www.en.wikipedia.org/wiki/Water_supply_and_sanitation_in_China

www.en.wikipedia.org/wiki/Water_supply_and_sanitation_in_China#Tariffs_and_cost_rec

everychinawaterrisk.org/

www.wds.worldbank.org

Oviedo, julio de 2013

