

INSTITUTO UNIVERSITARIO NAVAL

ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR



Tesina de Licenciatura

“Detección de errores de localización de los pozos históricos de YPF, mediante imágenes satelitales de alta resolución”

Alumno: Gabriel Oscar Alvarez

Director: Ing. Raúl Días

Subdirector: Ing. Adrián Benítez

Diciembre 2016

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar al ingeniero Raúl Días que me convenció para que hiciera la licenciatura en cartografía y que, a modo de retribución y agradecimiento, le pedí que fuera el director de esta tesina, para lo que aceptó gratamente.

A los dos grandes maestros que tuve en YPF y que me enseñaron todos los pormenores de la problemática de los sistemas geodésicos locales: los agrimensores Osvaldo Della Palma, y el fallecido Héctor Osvaldo García.

Al ingeniero Ricardo Soto quien fuera mi profesor en asignaturas de Física general, Física de instrumentos, y Mareas y Sondajes, durante los años que cursé y me gradué con el título de Cartógrafo en la Escuela de Cartógrafos Buenos Aires. Él fue quien me despertó la curiosidad sobre geoide, elipsoides, datum, sistemas de posicionamiento satelital, etc.

Al profesor Néstor Navarro, ya fallecido, quien también fuera mi profesor en las asignaturas de Topografía y Geodesia. Y con quien, a fuerza de cálculos de todo tipo y de muchísima práctica de instrumentos, aprendí a desenvolverme en las mediciones de campo.

Al ingeniero Adrián Benitez, un experto en todo lo que se refiere a sensores remotos. Quien fue protagonista clave en la georreferenciación y ortorrectificación con apoyo de campo de las imágenes usadas por YPF en esta metodología, y además me prestó enorme ayuda en los ítems referidos a teledetección para la elaboración de esta tesina.

Al ingeniero Ezequiel Pallejá, de quien leo cuanto artículo publica, porque de cada uno de ellos aprendo algo más.

Al ingeniero Sergio Cimbaro, actual presidente del IGN, y a quien conozco desde que era un colaborador más en el sector de Geodesia del ex IGM. Cada una de sus presentaciones en congresos me resulta de enorme utilidad para mantenerme actualizado en toda la actividad geocientista.

Al licenciado Fernando Flanzbaum, un experto notable en Sistemas de Información Geográfica, con quien diseñamos el proyecto GIS primigenio en YPF, cuando no había prácticamente nada en formato digital. Al día de hoy lo sigo consultando ante cualquier tarea compleja que deba hacer con el GIS en YPF.

Al agrimensor Rubén Rodríguez, de quien aprendo cada día a través de la lectura de sus notas en páginas de internet tales como el blog “café geodésico”.

Al agrimensor Rubén Ramos, quien en infinidad de ocasiones me recibió consultas y me aclaró dudas.

Al cartógrafo Germán Ramírez, quien fue el principal impulsor de esta metodología de trabajo, durante su paso por YPF.

Al actualmente consultor Carlos de la Cuesta, el mejor de los jefes que tuve cuando yo era un colaborador más en el sector Cartografía de YPF en su primera etapa y en mis primeros años de empleado en la empresa. Carlos no sólo informatizó y modernizó al sector, sino que al día de hoy lo sigo consultando periódicamente por ser un verdadero compendio de conocimiento de la información histórica de YPF.

A mi esposa Leila. A mi madre Mercedes. A mi hermana Adriana.

ÍNDICE

RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVOS	9
1. Objetivos secundarios	9
2. Objetivo principal.....	9
RESEÑA HISTÓRICA	10
1. Los primeros descubrimientos de hidrocarburos en cada cuenca	10
2. La creación de Yacimientos Petrolíferos Fiscales y sus sucesivas transformaciones.....	10
3. Las primeras redes geodésicas del IGM.....	11
4. La red del sistema Chos Malal.....	11
5. La red del sistema Pampa del Castillo	12
6. Otras redes locales	12
MARCO GEOGRÁFICO.....	13
1. Argentina y sus cuencas sedimentarias.....	13
2. La cuenca Neuquina	15
3. La cuenca el Golfo San Jorge.....	17
MARCO TEÓRICO.....	20
1. De la exploración de hidrocarburos.....	20
1.1 Introducción	20
1.2 La Geofísica.....	20
1.3 Antecedentes históricos de la aplicación de la geofísica	21
1.4 Métodos de exploración geofísica.....	21
a- Método gravimétrico	22
b- Método magnetométrico.....	22
c- Método geoléctrico	23
d- Método magnetotelúrico	23
e- Método sísmico	23
1.5 Geología del Petróleo.....	24
1.6 Finalización del proceso exploratorio	24
2. De los marcos de referencia geodésicos	25
2.1 Definición	25
2.2 Antecedentes históricos.....	25
2.3 Descripción de las redes geodésicas de Argentina	26
a- Redes locales	26
b- Marco Nacional Campo Inchauspe.....	27
c- Marcos geocéntricos	29
-Red POSGAR 94	29
-Red POSGAR 98	31
-Red POSGAR 2007	33
-Red de Estaciones de Monitoreo Satelital GNSS.....	34
-Síntesis de las redes geodésicas oficiales en Argentina.....	35
3. De la teledetección.....	35

3.1	Antecedentes históricos	35
3.2	Definición	37
3.3	Concepto de imagen satelital.....	38
3.4	Resoluciones de las imágenes	39
	a- Resolución espacial	39
	b- Resolución espectral.....	39
	c- Resolución radiométrica	42
	d- Resolución temporal	43
3.5	Tipos de imágenes.....	43
3.6	Sensores remotos.....	44
3.7	Georreferenciación y ortorrectificación de imágenes	48
	a- Introducción.....	48
	b- Definición de georreferenciación	49
	c- Definición de ortorrectificación	49
	d- Métodos de georreferenciación	49
	e- Métodos de transformación geométrica	50
	f- Métodos de remuestreo (resample).....	51
3.8	Procesamiento de imágenes.....	52
3.9	Técnicas de clasificación de imágenes	53
	a- Clasificaciones Supervisadas	53
	b- Clasificaciones no Supervisadas	53
METODOLOGÍA.....		53
1.	Recopilación de puntos trigonométricos	53
2.	Densificación de puntos GPS.....	54
3.	Cálculo de desplazamientos geocéntricos y planimétricos	62
4.	Cálculo de alturas	70
5.	Georreferenciación de imágenes satelitales de alta resolución	72
6.	Procesamiento de las imágenes	73
7.	Obtención de resultados	80
ANALISIS DE RESULTADOS		83
CONCLUSIONES.....		87
BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....		88
SITIOS WEB CONSULTADOS		90

RESUMEN

El presente trabajo propone una metodología que, a través del análisis de los desplazamientos planimétricos de los pozos históricos de la base GIS de YPF con respecto a sus bocas de perforación, visibles en una imagen satelital de alta resolución georreferenciada y ortorrectificada con apoyo de campo, permite identificar y asignar el correcto sistema geodésico en que los pozos fueron medidos, con el fin de obtener su localización precisa.

En este caso la metodología fue utilizada para los pozos históricos perforados por la ex Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Pero su aplicación puede hacerse extensiva a cualquier otro elemento vectorial que sea identificado en una imagen satelital.

El desarrollo de esta metodología fue la resultante de aprovechar la tecnología disponible (imágenes satelitales de alta resolución, sistema de información geográfica, software para procesamiento de imágenes, y sistemas de posicionamiento satelital) y las tareas ejecutadas previamente, de densificación de la red POSGAR (POSiciones Geodésicas ARGentinas) en las cuencas con mayor actividad productiva (Neuquina y Golfo San Jorge).

INTRODUCCIÓN

Durante 109 años de actividad exploratoria ininterrumpida se perforaron hasta el 31 de diciembre de 2015, un total 40.480 pozos de hidrocarburos en todo el país.

Al principio, los datos de los pozos se consignaban de forma analógica en legajos, informes y listados, en papel, y los mapas en film poliéster.

A mediados de los 80 la difusión de los equipos informáticos permitió que se iniciara el proceso de digitalización de los pozos. Es decir que, lo que estaba en listados de papel, pasó a estar en planillas de cálculo.

En el inicio de los 90 se incorporó a YPF el primer sistema de información geográfica, que permitió visualizar los pozos y otros activos estratégicos en un contexto geográfico, y diseñar mapas automatizados. En este período comenzó a tomar importancia el sistema de referencia de los datos, ahora digitales.

Con el nuevo milenio llegaron las imágenes satelitales de alta resolución que al superponerlas con los pozos se evidenciaba claramente la imprecisión en gran parte de las ubicaciones de los pozos. Hecho que determinó la necesidad de resolver el problema con la tecnología disponible, cuya metodología se describe en esta tesina.

De acuerdo a la Resolución N° 1040/2009 de la Secretaría de Energía de la Nación de fecha 11 de diciembre de 2009, los pozos de hidrocarburos se clasifican en los siguientes tipos con sus respectivas finalidades:

- De estudio: Estudiar la columna litológica y la estructura.
- De exploración: Descubrir hidrocarburos.
- De exploración profunda: Descubrir hidrocarburos en niveles profundos.
- De exploración somera: Descubrir hidrocarburos en niveles poco profundos.
- De extensión: Determinar la extensión de la mineralización y su explotabilidad económica.
- De avanzada: Comprobar la mineralización del área probable.
- De desarrollo: Desarrollar un yacimiento.
- Inyectores de gas, agua, vapor y terciarios. Sumideros. Control: Coadyuvar a la exploración o explotación.

Del total citado anteriormente, 6436 son pozos exploratorios (incluyen los profundos, someros, de estudio y de extensión), que revisten gran importancia para los nuevos estudios focalizados en la exploración de hidrocarburos.

Tanto en la cuenca Neuquina (la que tuvo mayor publicidad en los medios), como en la cuenca Golfo San Jorge, se descubrieron recientemente importantes yacimientos de hidrocarburos de esquistos bituminosos (shale gas y shale oil), que son los denominados no convencionales, ya que requieren de otro tipo de procedimientos no tradicionales para su extracción, que consiste en inyectar agua a alta presión conjuntamente con la aplicación de agentes de sostén (arenas especiales), lo que permite que los hidrocarburos atrapados en la formación fluyan hacia la superficie.

La explotación convencional como así también la de este nuevo recurso implica la necesidad de disponer de todos los pozos históricos, con énfasis en los exploratorios, de las dos cuencas, en su correcta ubicación.

No obstante, considerando el gran volumen de pozos históricos (37.169), la tarea de identificación y asignación de los sistemas geodésicos a cada pozo, a

lo que en forma simultánea se le suma la corrección de errores humanos que requiere la revisión de los legajos, o el replanteo in situ como último y más costoso recurso, se está llevando a cabo en forma metódica y meticulosamente.

En primer lugar se encararon los pozos de los yacimientos con mayor actividad de las dos cuencas más extensas, la Neuquina y la del Golfo San Jorge.

Se consideran pozos históricos a los comprendidos entre el período que va desde los primeros perforados en cada cuenca hasta los perforados antes de entrar en vigencia, el 1 de septiembre de 2009, la normativa interna de YPF denominada "Sistema de Referencia para la Información georreferenciada" (AB-STT-NO-001-01.pdf) y su Anexo 01: "Especificaciones Técnicas para Trabajos de Topografía y Geodesia".

A partir de esa fecha se hizo obligatorio el uso de la red POSGAR 2007 para la localización de los nuevos pozos, sin inhabilitar a que todos los pozos se midan en los 3 sistemas.

Para la identificación y asignación del correcto sistema geodésico a cada pozo se debe tener en cuenta que desde los primeros pozos perforados a inicios del siglo XX y hasta al menos 1969, es decir, durante más de 50 años las únicas redes geodésicas que existían en cada cuenca eran las locales. A partir de 1970 y hasta 1997 el marco nacional Campo Inchauspe empezó a convivir con las redes locales. Sin embargo estas fechas no son rígidas. Por el contrario, son totalmente flexibles, ya que durante las décadas siguientes se determinaban las posiciones de los pozos indistintamente en cualquier marco de referencia. Y como para esos años la perforación seguía en auge, se la priorizaba, en detrimento de la correcta asignación del marco de referencia. Así, en los informes de pozos, muy rara vez aparecía consignado cuál de los dos sistemas geodésicos se tomaba. Fue entonces que en esos años de superposición (o coexistencia de sistemas) aparecen las primeras discrepancias entre sistemas geodésicos, y que subsistieron hasta la actualidad. Pero con la modernización de la tecnología de medición y del posicionamiento satelital, los sistemas de información geográfica y las imágenes de alta resolución, ahora las inconsistencias pueden ser fácilmente identificables.

Paralelamente a estos avances surgió un tercer marco de referencia que se oficializó en 1997 y que empezó a coexistir con los dos anteriores, la red Posgar. Pero a pesar de ser el sistema más moderno, de mayor precisión y de carácter global, contribuyó indirectamente a agravar aún más la confusión imperante al momento de decidir en qué marco de referencia apoyarse, hasta que se redactaron normativas internas para su uso obligatorio en todo trabajo topo-geodésico que encare la compañía en forma directa o a través de tercerizaciones.

OBJETIVOS

1. Objetivos secundarios (previos)

- Determinación de los parámetros promedio de transformación geocéntrica y planimétrica entre los tres marcos de referencia que coexisten en las cuencas Neuquina y Golfo San Jorge, obteniéndose coordenadas en los tres sistemas para cada punto de la red.
- Adquisición de imágenes satelitales de alta resolución, y georreferenciación y ortorrectificación con la máxima precisión posible, usando los puntos de la red densificada como apoyo de campo.
- Procesamiento de las imágenes satelitales para que los resultados que se obtengan permitan ejecutar un proceso automático de generación de polígonos alrededor de las planchadas de los pozos y de detección del punto de perforación (boca de pozo), a partir de los cuales se miden las distancias con respecto a los pozos exploratorios históricos de la base GIS de YPF.

2. Objetivo principal

- Implementación de una metodología para la corrección de las coordenadas de localización de los pozos históricos de YPF mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución georreferenciadas con apoyo de campo, y de sistemas de información geográfica.

RESEÑA HISTÓRICA

1. Los primeros descubrimientos de hidrocarburos en cada cuenca.

En los comienzos de la exploración, primero se identificaron las cuencas sedimentarias con potencial productivo.

Si bien fue a finales del siglo XIX que se descubrieron emanaciones naturales de petróleo en la región de Cuyo, y en el norte de Argentina (provincia de Jujuy), no fue sino hasta el 13 de diciembre de 1907 que se descubrió oficialmente, pero por accidente, ya que se estaba buscando agua en Comodoro Rivadavia, con el pozo perforado número 2, según cuentan los anales de la exploración de hidrocarburos.

En 1918 se descubrió en la cuenca Neuquina con el pozo 4 Plaza Huinul.

En 1926 en la cuenca Noroeste.

En 1932 en la cuenca Cuyana con el pozo Cacheuta 1.

Y en 1949 en la cuenca Austral (sur de Santa Cruz y norte de Tierra del Fuego, y con una extensa zona offshore).

2. La creación de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Sociedad del Estado, y sus sucesivas transformaciones.

Con los descubrimientos iniciales en las cuencas Golfo San Jorge y Neuquina se empezó a pensar en la forma de regular la exploración y la explotación del recurso energético.

Pero no fue hasta el 3 de junio de 1922, durante la presidencia de Hipólito Yrigoyen, que se fundó la empresa estatal YPF S.E. (Yacimientos Petrolíferos Fiscales Sociedad del Estado), haciéndose cargo durante décadas de la exploración, la explotación y la producción de petróleo.

A partir de la década del 60 del siglo XX, comenzaron a participar empresas privadas, mediante contratos de concesión que firmaban con la empresa estatal.

Con fecha 31 de diciembre de 1990, el Gobierno Nacional a cargo de Carlos Menem, a través del Decreto 2778/90 dispuso la transformación en sociedad anónima de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, aprobándose el Plan de Transformación.

A partir de ese momento, la empresa emblema pasó a llamarse YPF S.A. y a desprenderse de sus activos en dos (Cuenca Noroeste y Cuenca Austral) de las cinco cuencas productoras de hidrocarburos. Quedándose con áreas para exploración y desarrollo solamente en las cuencas Cuyana, Neuquina y Golfo San Jorge.

En agosto de 1999 hubo otro punto de inflexión trascendente para la principal empresa de Argentina. Fue vendida a la española Repsol. Y pasó a llamarse Repsol-YPF primero, y RepsolYPF más tarde, argumentándose en aquel momento que no debería existir guión que las separara porque eran dos empresas completamente fusionadas. Repsol llegó a tener el 97,81% de las acciones.

En 2007 ingresó como accionista el Grupo Petersen de la familia Eskenazi con el 14,9% que amplió en 2011 al 25,46%.

Finalmente, el 16 de abril de 2012 el gobierno argentino concretó la expropiación de YPF, quedando el paquete accionario distribuido entre el Estado Nacional y las provincias con el 51%. Y del resto, el 17,09% en la Bolsa, el 6,43% aún pertenece a Repsol, y el 25,46% al grupo Petersen.

Se puede considerar que la exploración sistemática de hidrocarburos, se inició aquel 13 de diciembre de 1907, con la perforación del primer pozo en la cuenca del Golfo San Jorge. Es decir, mucho antes de que las comisiones geodésicas del IGM (Instituto Geográfico Militar) pudieran constituir una red de referencia única y de alta precisión para todo el país. En los comienzos el propio pozo 1 ofició de punto origen 0,0 de un rudimentario sistema de coordenadas planas. En cada cuenca con actividad productiva se realizaron trabajos geodésicos que hasta hoy perduran y sobre los cuales se apoyaron las tareas exploratorias iniciales. Aún se pueden encontrar legajos de los pozos más antiguos con sus coordenadas referidas a otros pozos, o a elementales sistemas rectangulares como el Pampa Minerales, Mina, etc.

3. Las primeras redes geodésicas del IGM.

En 1948, el IGM publicó un volumen sobre coordenadas provisionales en el sistema Castelli, cuyo prólogo dice textualmente: “Los primeros trabajos geodésicos ejecutados en el país no pudieron ser conducidos en la forma racional que técnicamente hubiese sido deseable ya que fueron ejecutados en distintas zonas a medida que iban surgiendo las necesidades locales y que al extenderse e irse integrando mostraban discrepancias que no respondían sólo a los errores de observación, sino a las conocidas desviaciones de la vertical, propias de los distintos orígenes utilizados”.

Este sistema agrupó provisionalmente todos los trabajos geodésicos ejecutados hasta ese año en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Corrientes, Entre Ríos, Mendoza, Misiones y San Juan.

El sistema Castelli tiene su origen en la estación astronómica ubicada en el extremo sudeste de la base Castelli en la provincia de Buenos Aires.

Los primeros sistemas locales ejecutados fueron:

-Yavi en la provincia de Jujuy.

-Chos Malal en la provincia del Neuquén.

-Pampa del Castillo en la zona del Golfo San Jorge y que no estuvo vinculado al sistema Castelli

-Ubajay, superpuesto con el sistema Castelli, que corresponde a la cadena internacional desarrollada sobre el río Uruguay.

4. La red del sistema Chos Malal.

La inició el IGM en 1914, partiendo de un punto astronómico que fue ubicado en el patio trasero de la comisaría de la localidad de Chos Malal (antigua capital de Territorio Nacional del Neuquén), y que se extendió a 56 puntos trigonométricos. La escala fue dada por una base de unos 6,5 km medida con alambres de invar. Años después fue ampliada por YPF que la rebautizó Quiñi-Huao, al partir de la otra base de la red, ubicada en Río Negro. Y llegó a tener 757 puntos en los cuatro órdenes de precisión establecidos (de los cuales solamente 35 son comunes a Campo Inchauspe). Si bien la densificación efectuada por YPF no se apoyó en el datum, sino que fue en uno de los extremos de la base Quiñi-Huao de la red original, a los fines prácticos no existen diferencias significativas entre Chos Malal y Quiñi-Huao.

En la década del 70 el IGM llegó a la zona con la triangulación con origen en Campo Inchauspe conformando los anillos 1H, 2H, 1I y 2I.

El emplazamiento de la nueva red se efectuó en algunos casos coincidentes con la antigua y en otros casos se relacionaron los puntos lo que permitió al IGM transformar la red Chos Malal al sistema campo inchauspe 69.

La revista IGM 2-3 del año 1987 publicó los desplazamientos planimétricos entre el sistema Chos Malal y el sistema Campo Inchauspe en la provincia del Neuquén, dando estos valores:

Y (este) en Chos Malal + 161,8 metros = Y (este) en Campo Inchauspe

X (norte) en Chos Malal + 50,5 metros = X (norte) en Campo Inchauspe

Pero en cálculos más recientes la empresa YPF obtuvo los siguientes valores promedio para toda la extensión de la cuenca neuquina:

Y (este) en Chos Malal + 164,65 metros = Y (este) en Campo Inchauspe

X (norte) en Chos Malal + 49,33 metros = X (norte) en Campo Inchauspe

5. La red del sistema Pampa del Castillo.

La comenzó el IGM en 1943 y fue parcialmente densificada por YPF, con un total de 95 puntos trigonométricos, 3 de ellos en común con Campo Inchauspe.

El origen de esta red es la estación astronómica del mismo nombre.

Las discrepancias con respecto a Campo Inchauspe fueron recalculadas por YPF y se obtuvieron estos valores promedio para toda la cuenca Golfo San Jorge:

Y (este) en Pampa del Castillo - 127,49 metros = Y (este) en Campo Inchauspe

X (norte) en Pampa del Castillo + 124,48 metros = X (norte) en Campo Inchauspe

6. Otras redes locales.

En años posteriores a la promulgación de la primera Ley de la Carta N° 12696, promulgada el 3 de octubre de 1941, el IGM ejecutó otros sistemas locales en respuesta a las necesidades de la época, y que constituían también sistemas aislados. Así aparecieron:

-Tapi Aike, levantada entre 1945 y 1946 en la parte sur de la provincia de Santa Cruz. Fue ampliada parcialmente por YPF hasta alcanzar los 258 puntos trigonométricos, con 30 de ellos en común con Campo Inchauspe.

-Huemules en la provincia del Chubut en 1947

-Carranza (o Chumbicha) en la provincia de Catamarca en 1952

-25 de Mayo en la provincia de San Juan en 1962

Otros organismos, como el Servicio de Hidrografía Naval, la Comisión Nacional de Límites y también YPF, realizaron trabajos geodésicos.

El Servicio de Hidrografía Naval ejecutó la red costera

-Ministerio de Marina en Tierra del Fuego, a partir de las mediciones conocidas como Campaña Malleville de 1933. YPF, al hacer uso de esta red para apoyo de sus actividades exploratorias la dividió en Ministerio de Marina I (o Norte) y Ministerio de Marina II (o Sur).

La Comisión Nacional de Límites concretó conjuntamente con Chile el sistema

-Hito XVIII, que también se lo conoce con el nombre Datum Provisional del Sur de Chile, el que fue ejecutado en 1963 en forma conjunta con el país vecino, y por eso se despliega por el límite argentino-chileno en la isla de Tierra del Fuego. Su origen es el punto astronómico de la sección I (el Hito XVIII que define el límite entre ambos países en la isla).

Y la compañía YPF, además de densificar las redes existentes Tapi Aike, Pampa del Castillo y Chos Malal (Quiñi-Huao), creó la red:

-Aguaray, en el norte argentino, ejecutada a partir de 1953 por la empresa aerofotogramétrica IFTA y continuada en años posteriores por las comisiones topográficas Norte, 72, 73 y 76 de YPF que alcanzaron a establecer más de 900 puntos trigonométricos. A pesar de la extensión y la cantidad de puntos, no es una red precisa. No obstante existe mucha información histórica de pozos y planimetría sísmica referida a esta red.

Además de las mencionadas, existen otras redes geodésicas antiguas, pero que no tuvieron relevancia en la exploración de hidrocarburos porque ninguna de ellas se encuentra en las cuencas productivas:

-Ubajay, sobre el río Uruguay, y que materializa la llamada cadena internacional porque sus puntos se distribuyen entre Argentina (Entre Ríos y Corrientes) y Uruguay, donde al sistema se lo denomina Queguay. La red Ubajay tiene la base geodésica más larga medida en el país de 34 km.

-Uspallata, calculada y ejecutada en 1978 por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires que cubre una zona de la Provincia de Mendoza.

-Yavi, que cubre una parte de la provincia de Jujuy.

Los sistemas preexistentes fueron en su mayoría recuperados a Campo Inchauspe mediante mediciones efectuadas para el sistema antiguo y a partir de ahí se efectuó el cálculo y ajuste de la mayoría de los puntos con los parámetros del sistema Campo Inchauspe.

La tabla 1 muestra los desplazamientos entre las coordenadas planas del sistema Campo Inchauspe 1969 y algunos sistemas locales, en puntos comunes a ambos. Los valores están en metros y son promedios de carácter indicativo.

El ΔX es el desplazamiento en sentido norte-sur, y el ΔY en sentido este-oeste. También se muestra la cantidad de puntos que alcanzaron las redes, y los que son comunes a Campo Inchauspe.

Sistema	Año	Organismo	Provincia/s	Cantidad puntos		deltas respecto CAI	
				total	CAI	ΔX	ΔY
25 de Mayo	1962	IGM	San Juan	136	67	-364	-178
Aguaray	1953	YPF	Sta, Jj, Fsa	970			
Castelli	1948	IGM	Buenos Aires	53	2	-21	10
Chos Malal	1914	IGM-YPF	Nq, Mz, RN, LP	757	35	-50	-153
Carranza	1952	IGM	Catamarca	27	20	-152	-235
Hito XVIII	1963	CONALI	Tierra del Fuego				
Huemules	1947	IGM	Chubut				
Malezales		IGM	ER, Corrientes	145	44		
Ministerio de Marina	1933	Mrio.Marina	Tierra del Fuego				
Pampa del Castillo	1943	IGM-YPF	Chubut, SC	95	3	-126	128
Tapi Aike	1945	IGM-YPF	SC	258	30		
Ubajay		IGM	ER, Corrientes	127	6	84	58
Uspallata	1978	UBA	Mendoza				
Yavi		IGM	Jujuy	42	13	102	89

Tabla 1: Redes antiguas

MARCO GEOGRÁFICO

1. Argentina y sus cuencas sedimentarias.

El Territorio Argentino continental americano (incluyendo las islas australes: Malvinas, Georgias del Sur y Sandwich del Sur) tiene una superficie de 2.795.277 km² que sumados a los 965.597 km² del Sector Antártico, da un total

de 3.751.274 km² (datos oficiales obtenidos de www.ign.gov.ar el 3 enero 2016).

La Plataforma Continental Argentina considerándola hasta las 200 millas náuticas sin tomar al sector de la Antártida Argentina, cubre una superficie de casi 960.000 km². Si se toma hasta el pie del talud (350 millas náuticas en promedio), asciende a más de 1.400.000 km².

Pero las superficies tanto continental como oceánica que realmente interesan a los fines de estudios geológicos son:

2.780.400 km² (continental americano excluyendo las islas australes)

960.000 km² (plataforma continental hasta las 200 millas náuticas)

Lo que da un total de 3.740.400 km².

De este total, más de 2.500.000 km² corresponden a 24 cuencas sedimentarias identificadas hasta la actualidad, donde sólo 5 de ellas son productivas (Turic, M. et al, 1999).

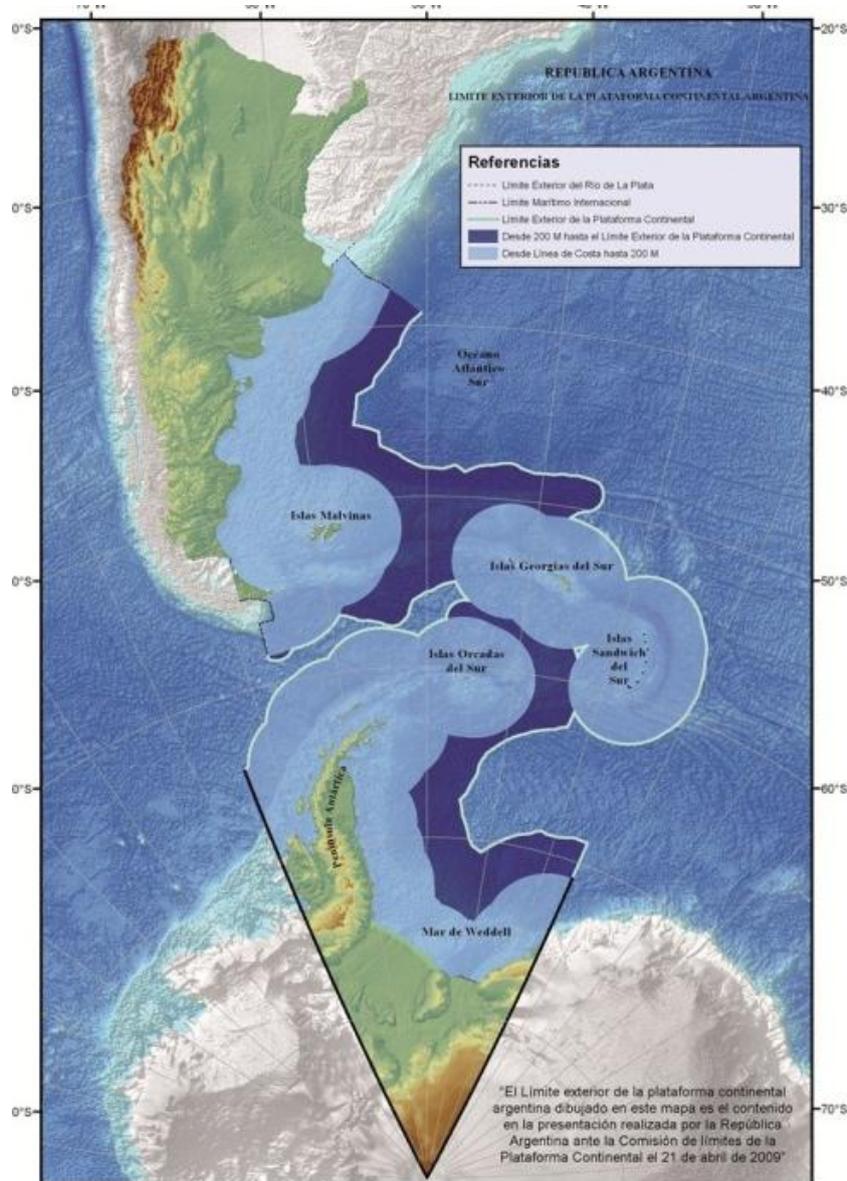


Fig. 1: Plataforma continental (fuente: <http://www.plataformaargentina.gov.ar/es/mapaPlataforma>)

Las cuencas sedimentarias pueden ser onshore (enteramente terrestres), offshore (enteramente marinas), o mixtas (parte en tierra y parte en el mar). En dos de las cuencas productivas se hicieron numerosos trabajos geodésicos previos al desarrollo de esta tesina.

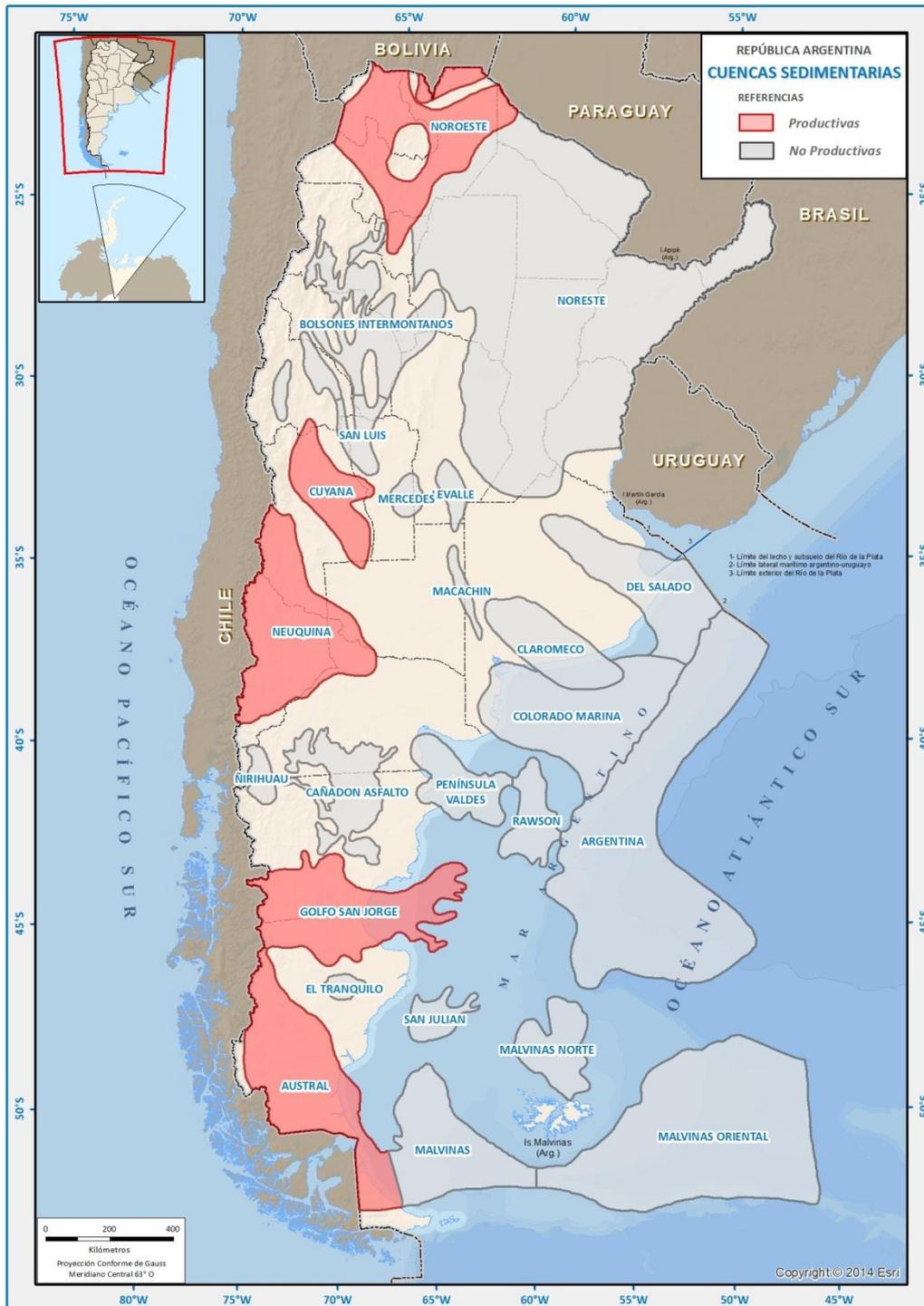


Fig. 2: Cuencas sedimentarias (fuente: elaboración propia)

2. La cuenca Neuquina, con una superficie enteramente terrestre de casi 150.000 km² abarca las provincias del Neuquén casi en su totalidad, sudoeste de Mendoza, sudoeste de La Pampa, y noroeste de Río Negro.

Los límites noreste y sudeste son de naturaleza cratónica y están constituidas respectivamente por el sistema de la Sierra Pintada y el macizo Norpatagónico. Mientras que por el oeste es una estructura de arco volcánico.

Considerando la relación entre el número de pozos perforados y la superficie de la cuenca, se puede afirmar que hasta el momento está moderadamente explorada. Esto se verifica en sectores adosados a los bordes nororiental y sudoriental, donde los principales rasgos morfo-estructurales ya fueron evaluados, restando sólo la prospección de trampas sutiles.

El resto de la cubeta se encuentra en un estadio inicial, especialmente en los niveles estratigráficos localizados a más de 3500 metros de profundidad.

-Marco Tectónico: Desde el Jurásico inferior comenzó a desarrollarse el Mesozoico, con depósitos de origen volcánico que se acumularon en depocentros discontinuos generados a partir de una fase tectónica tensional que afectó a rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas de edades paleozoica superior y triásica.

Durante el Jurásico, en un amplio sector del oeste de Argentina, se produjo la deposición de sedimentos marinos que encontraron en ese ámbito una depresión pronunciada a través de la que se expandieron en dirección oriental.

A partir de ese momento el relleno sedimentario se caracterizó por una notoria ciclicidad definida por la presencia de sedimentos marinos y continentales en forma alternada. Situación que perduró hasta el Terciario.

-Geología del Petróleo: La columna estratigráfica de la cuenca tiene tres secciones con acentuadas condiciones oleogénicas: las formaciones Los Molles, Vaca Muerta y Agrio, que en algunas zonas exceden en conjunto los 2800 metros de espesor.

Los hidrocarburos generados en estas formaciones se alojan en diversos tipos de trampas en la mayoría de las unidades litoestratigráficas de la cuenca.

En la actualidad casi todas las trampas estructurales ya fueron prospectadas. Pero todavía queda por desarrollar más intensamente la exploración de trampas estratigráficas o combinadas.

Desde este punto de vista la cuenca ofrece interesantes perspectivas debido a la ciclicidad que caracteriza a su relleno, posibilitando la existencia de importantes cambios de facies, capaces de generar entrampamientos dentro de prácticamente todas las unidades.

El sector Andino está escasamente explorado, al igual que los niveles profundos.

La formación Quintuco-Vaca Muerta, de facies carbonáticas, es la unidad que brinda el mayor volumen de hidrocarburos líquidos extraídos hasta el presente. De menor magnitud son los volúmenes de hidrocarburos líquidos recuperados en secciones clásticas fluvio-deltaicas y fluviales de las formaciones Lajas, Challaco y Tordillo. Todas ellas infrayacentes a la Formación Vaca Muerta que actúa como roca madre y sello.

Los yacimientos de Puesto Hernández (petróleo) y Loma La Lata (gas y condensado) son ejemplos típicos de entrampamiento estratigráfico. Mientras que el campo petrolífero de Sierra Barrosa es el más representativo de trampa estructural.

Los yacimientos al sur de la provincia de Mendoza, tales como Puesto Rojas, Sierra Palauco, Valle del Río Grande, etc., responden a un esquema estructural, con porosidad y permeabilidad secundarias en la zona plegada central que fueron adquiriendo progresiva importancia exploratoria, debido a su

excelente productividad, especialmente los filones de andesitas terciarias intruidos dentro de las secciones de roca madre de las formaciones Agrio y Vaca Muerta.

En la zona de plataforma hay escasos yacimientos, de poca importancia relativa, y de carácter estratigráfico.

Se llevan perforados más de 12.000 pozos, siendo 8.000 de ellos productivos.

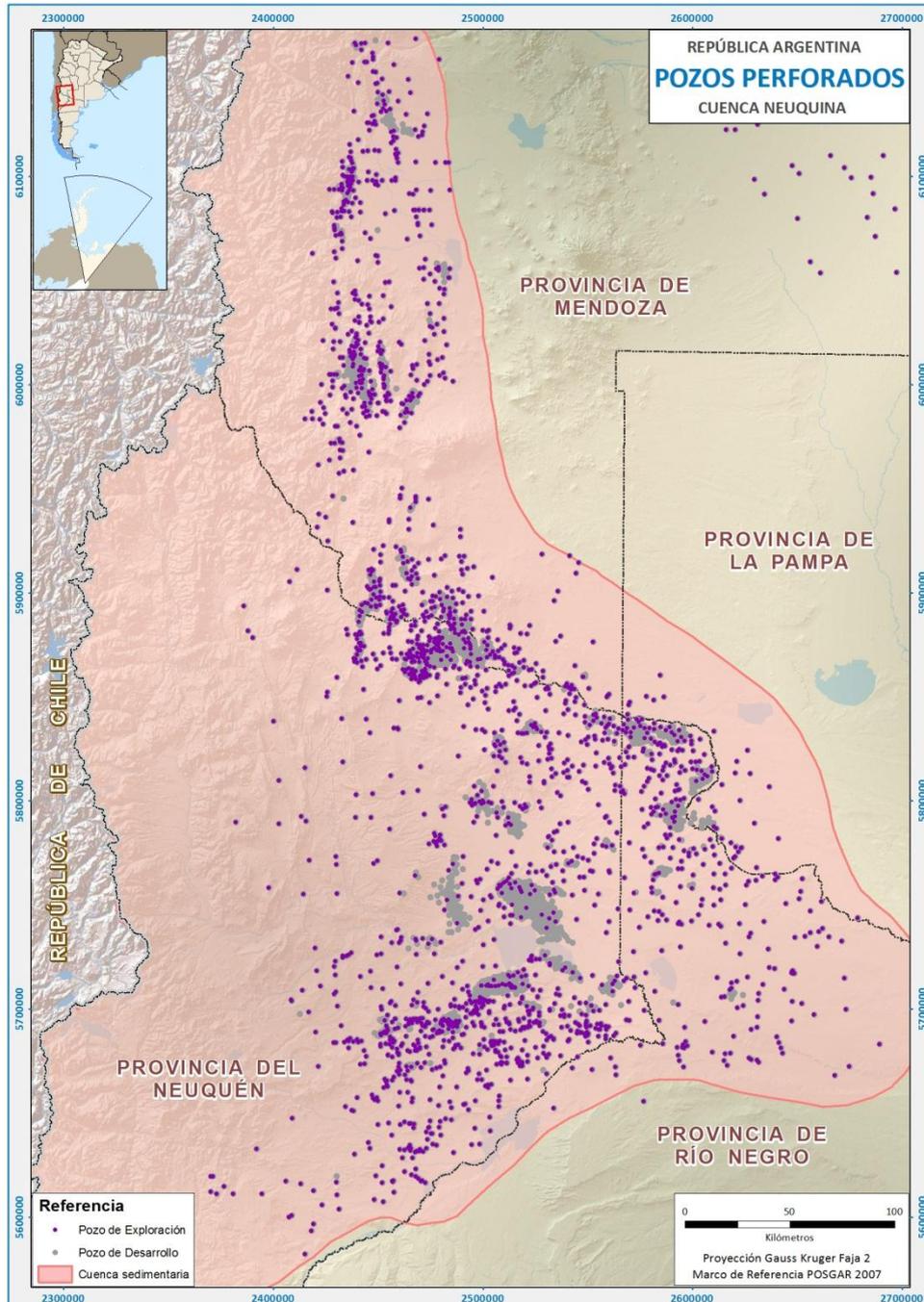


Fig. 3: Pozos en la Cuenca Neuquina (fuente: elaboración propia)

3. La cuenca del Golfo San Jorge tiene una parte continental (onshore) que abarca la franja sur de la provincia del Chubut, y la franja norte de la de Santa Cruz. Y una parte marina (offshore) en el golfo San Jorge. Tiene una superficie total de casi 135.000 km², de los cuales 90.000 km² están en el continente.

Su forma bastante irregular, con una mayor elongación en la dirección este-oeste. Por el norte va más allá del curso medio del río Chubut. Hacia el sur se extiende hasta sobrepasar el río Deseado. Por el este llega hasta el alto del basamento oriental fuera de las aguas del golfo (aguas interiores) y del mar territorial (3 millas marinas). Y por el oeste llega a la Cordillera de los Andes.

-Marco tectónico: Es una cuenca intracratónica, limitada por dos zonas que permanecieron relativamente estables: el macizo Norpatagónico en el norte de Chubut y el Nesocratón del Deseado en el centro y norte de Santa Cruz. A lo largo de fallas tensionales se formó una gran fosa tectónica alargada en la dirección este-oeste, cuya generación está directamente relacionada con la tectónica de placas.

Las distintas velocidades de migración hacia el oeste de los bloques limitados por fallas que componen a la Placa Sudamericana produjeron la curvatura de su margen occidental y, probablemente, la separación entre el macizo Norpatagónico y el Nesocratón del Deseado.

-Basamento: Está constituido por varios tipos litológicos. Siendo las plutonitas los más comunes y, entre ellas, se destacan los granitos que fueron detectados en algunos sondeos de los flancos Norte y Sur, del sector noroeste y también afloraron en el norte, sur y oeste del relleno sedimentario. Apoyándose en diversas dataciones radiométricas y algunas relaciones de campo, se considera que la mayoría de los cuerpos graníticos son del Paleozoico, y espacialmente del Carbónico-Pérmico. En menor proporción hay granitos del Eopaleozoico, Triásico y Cretácico.

Estos granitos intruyeron a distintas rocas metamórficas originando un variado grado de metamorfismo que son atribuidas al Paleozoico. Entre ellas están los esquistos, las anfibolitas, los gneises, etc.

En el sector oriental de este basamento se apoyaron sedimentos cretácicos y vulcanitas del Jurásico medio. Mientras que el sector occidental fue cubierto por sedimentos carbónico-pérmicos y liásicos depositados en un ambiente marino en una parte y continental en la otra parte.

El Basamento Económico para la explotación de hidrocarburos en la cuenca es, hasta el momento, la unidad predominantemente volcánica y de aglomeradas con intercalaciones volcánicas.

-Geología del petróleo: El sector oriental de la parte onshore de la cuenca es tectónicamente menos activo y aporta gran parte del petróleo extraído en el país. Su acumulación y entrapamiento en el subsuelo es en forma de fajas siguiendo el arrumbamiento regional de las fallas tensionales y de los suaves pliegues formados entre ellas. Además del entrapamiento estructural de los hidrocarburos (pliegues y fallas) es también importante el entrapamiento estratigráfico-sedimentario, ya que las rocas reservorios (areniscas) no son tabulares, sino que tienen una sección irregular y lenticular, y pueden constituir trampas por sí mismas al estar incluidas dentro de un material impermeable pelítico.

Al principio la producción provenía de la base del Terciario, más exactamente, del miembro inferior de la formación Salamanca, conocido en el ámbito petrolero como "glauconítico".

El grupo Chubut se convirtió en la entidad que aporta la mayor cantidad del petróleo extraído a partir del momento en que se profundizaron las perforaciones. En los últimos años se volvió a incrementar la perforación de pozos profundos (de más de 3500 metros), y es la formación Mina del Carmen

la que ofrece una muy buena productividad. Aunque a medida que aumenta la profundidad se hacen más erráticos los niveles de reservorios.

El sector occidental de la cuenca se caracteriza porque muchas de las estructuras anticlinales están erosionadas, la distribución de fluidos es muy variable y su productividad es considerablemente inferior a la oriental.

La franja productiva de hidrocarburos de la cuenca tiene una forma hemielíptica que la bordea internamente de forma bastante ordenada desde el punto de vista regional, abarcando una amplia superficie de las provincias del Chubut y de Santa Cruz.

El Grupo Chubut, con un espesor máximo de 3500 metros atravesado por sondeos, comprende a las unidades de mayor interés petrolero actual, y tiene un origen exclusivamente continental.

El petróleo se descubrió oficialmente en Argentina en el subsuelo de esta cuenca a la profundidad de 535 metros y en la base del Terciario (formación Salamanca).

Desde entonces se perforaron más de 20.000 pozos entre exploratorios y de desarrollo, pero sólo 29 en el offshore de la cuenca. Resultaron productivos más de 10.000, permaneciendo actualmente 5000 pozos en explotación de petróleo y/o gas. Su producción diaria oscila alrededor de 30.000 m³ de petróleo.

Si bien en la mayoría de los yacimientos de la cuenca ya se explotaron los niveles superiores con cierta intensidad, aún falta investigar y desarrollar casi todos los profundos.

Hasta el momento permanece prácticamente virgen la zona continental del centro de cuenca (unos 5500 km²) y, escasamente explorada toda la parte offshore (45.000 km²), la sub cuenca de Paso Río Mayo y la extensa comarca al norte de los ríos Chico y Senguer.

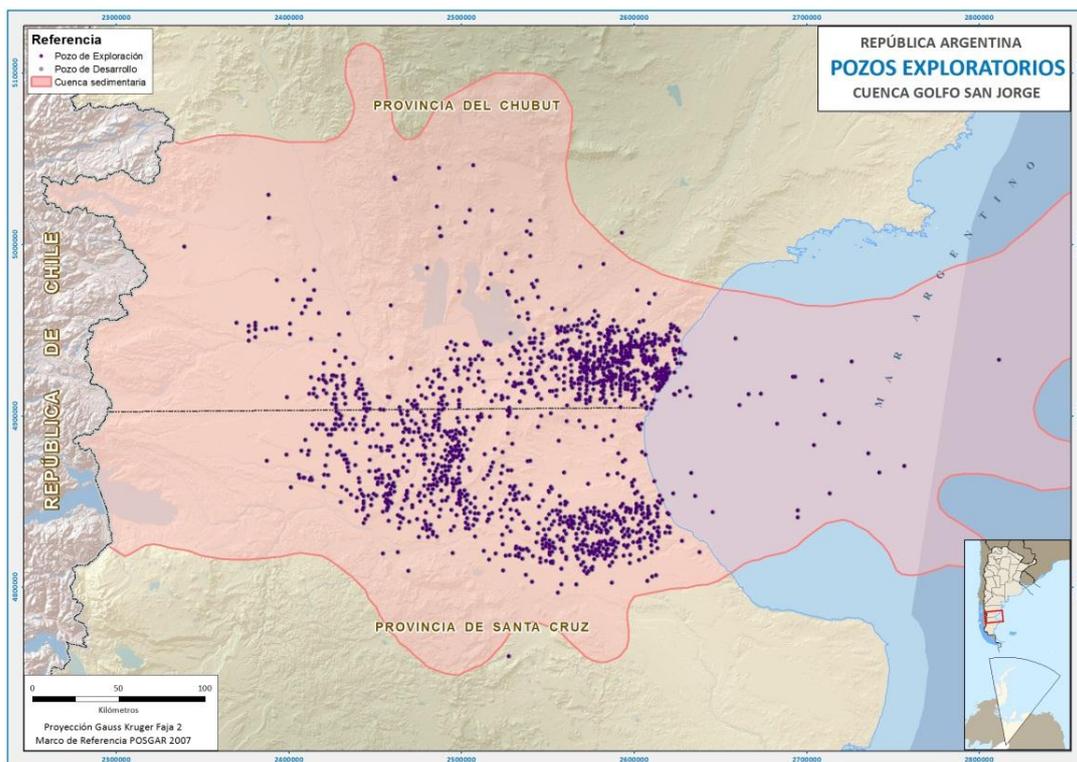


Fig. 4: Pozos en la Cuenca Golfo San Jorge (fuente: elaboración propia)

MARCO TEÓRICO

1. De la exploración de hidrocarburos.

1.1 Introducción.

Desde hace más de un siglo, geólogos y geofísicos están buscando hidrocarburos y realizando importantes descubrimientos en muchas partes del mundo. Numerosos especialistas consideran que en la actualidad la gran mayoría de los denominados “campos gigantes” de tipo convencional (mayores a 500 millones de barriles de petróleo o gas equivalente recuperable, que representan casi 82 millones de m³) ya fueron encontrados y que probablemente los hallazgos futuros sean cada vez más pequeños y más complejos.

Las compañías petroleras tienen un proceso secuencial para alcanzar el objetivo fundamental que es el descubrimiento de hidrocarburos a un costo razonable. Por esta razón es normal trabajar durante varios años antes de tomar la decisión final de perforar un pozo. Durante ese período se analizan la historia y los antecedentes geológicos del área explorada, para cuantificar la incertidumbre y analizar el riesgo del proyecto. Los estudios previos incluyen trabajos de campo, levantamientos, estudios potenciales (magnéticos y gravimétricos) y estudios sísmicos.

La secuencia más usada en los proyectos exploratorios, una vez seleccionada la región, es delimitar la cuenca. Para esto se realizan estudios geológicos de superficie y estudios geofísicos. Estos últimos son los que permiten entender lo que ocurre en el subsuelo y están orientados a encontrar trampas de hidrocarburos. Una vez corroborada la presencia de una cuenca sedimentaria, el primer dato geofísico que se interpreta son las anomalías de gravedad y magnéticas.

1.2 La Geofísica.

Es la ciencia que estudia los campos físicos vinculados a la Tierra. Es decir, que estudia la Tierra mediante métodos de la física, de carácter indirecto, a fin de conocer su evolución y características actuales (geofísica pura) y también como herramienta de prospección de recursos (geofísica aplicada). Pueden medirse directamente los campos físicos naturales (gravedad, magnetismo, radioactividad, geotermas, etc.) o generarse campos artificiales por emisión de electricidad, energía sísmica, etc., para así obtener mediciones más efectivas a los fines exploratorios.

En otras palabras, la Geofísica estudia la composición de la Tierra y su dinámica, sobre la base de medidas de campos físicos que normalmente se realizan desde la superficie del planeta o desde el aire. El objetivo es deducir las propiedades o el estado físico de las rocas y minerales que forman la Tierra, junto con su composición interna, a partir de diversos fenómenos físicos. La Geofísica Pura se la asocia con la física de la Tierra y es la investigación de todo el interior del planeta, desde su superficie hasta su centro (0 a 6371 km). A partir de los fenómenos físicos observados se deducen sus propiedades físicas y su formación. Mientras que la Geofísica Aplicada refiere a la prospección geofísica, e investiga solamente hasta los 10 km de profundidad. La finalidad primigenia de la geofísica en la prospección es la de separar las zonas estériles de las que tienen posibilidades de contener yacimientos.

La prospección geofísica, o tecnología geofísica, es un conjunto de métodos físicos y matemáticos aplicados a la exploración del subsuelo para encontrar estructuras o yacimientos de sustancias útiles (petróleo, carbón, minerales, aguas subterráneas, etc.), mediante observaciones en la superficie de la Tierra de las propiedades físicas de los materiales en su interior. Sin embargo, los métodos geofísicos no permiten medir directamente esas propiedades, sino que detectan discontinuidades, o sea variaciones en las propiedades físicas, que se denominan anomalías.

Las anomalías son las que evidencian estructuras o acumulaciones de sustancias útiles que tienen valor económico. Por tal razón, para la prospección geofísica es más importante detectar las anomalías que focalizarse en descubrir el mineral buscado. Para el geofísico tienen más interés las desviaciones respecto al valor normal de las propiedades que su valor absoluto. La mayoría de las interpretaciones geofísicas se llevan a cabo con el propósito de determinar la geología profunda por el análisis de las anomalías, pero en muy pocas ocasiones se busca el mineral directamente.

En general los métodos geofísicos aportan datos para aproximarse a la solución de un problema geológico, minero o geotécnico, que se suman a los proporcionados por geología de superficie, perforaciones, ensayos de penetración, ensayos estáticos sobre muestras o in situ, etc. Sólo en casos muy particulares la información geofísica por sí sola es suficiente para resolver el problema.

1.3 Antecedentes históricos de la aplicación de la geofísica.

En 1843 se postuló que el teodolito magnético, instrumento de laboratorio usado para medir variaciones de la declinación (ángulo que forma la dirección al norte magnético con el norte geográfico), podía usarse para descubrir vetas de minerales magnéticos. Este acontecimiento significó el inicio del uso de la Geofísica con fines prácticos. Pocos años después, en 1879 se construyó el primer instrumento para ser usado en la prospección de mineral de hierro. Aunque la prospección minera fue la primera aplicación práctica de la geofísica, fue a partir de 1924 que tuvo un avance y expansión notorios, ya que en ese año se descubrió por primera vez petróleo con medios geofísicos (sísmica de refracción).

La demanda de hidrocarburos no para de crecer y los probables nuevos yacimientos que pueden ser hallados con medios geológicos convencionales son cada vez menos. Por ello, el gran desafío de descubrir futuras reservas recae sobre los geofísicos.

1.4 Métodos de Exploración Geofísica.

Los métodos geofísicos permiten obtener información detallada de las condiciones del suelo y rocas del subsuelo sin perturbarlos, y a bajos costos y menores riesgos. No obstante, frecuentemente es necesario utilizar más de un método para lograr obtener la información deseada.

Los métodos tienen una primera clasificación que los divide en:

-Métodos Directos. Permiten conocer las características de un sitio mediante la observación directa de las cualidades del suelo y de las rocas.

-Métodos Indirectos. Son los más usados en prospección geofísica, y pueden ser:

Pasivos (o naturales): Miden la variación de alguna propiedad natural del terreno. Entre ellos están: Gravimetría, Sismología, Eléctrico (Potencial o polarización espontánea), Magnetometría, Radiometría.

Activos (o provocados): Introducen una alteración en el terreno y miden su respuesta. Se cuentan el Eléctrico (polarización inducida), el Electromagnético, la Sísmica de refracción, la Sísmica de reflexión, el Geo-radar.

En general los métodos activos, si son aplicables, permiten determinaciones más precisas. Las técnicas utilizadas son muy variadas, están en continuo desarrollo y necesitan de especialistas para su aplicación e interpretación.

Los métodos más usados para la prospección geofísica son:

- Gravimétrico
- Magnetométrico
- Geoeléctrico
- Magnetotelúrico
- Sísmico
- Perfilaje en pozos

a- Método Gravimétrico.

La Gravimetría estudia las variaciones del campo de gravedad causadas por la desigual distribución de masas en el interior de la Tierra. El método consiste en medir e interpretar las anomalías que las variaciones de la densidad en el subsuelo generan sobre el campo gravitatorio terrestre.

Es necesario obtener y calcular las diferencias entre el valor real y el teórico de la aceleración de la gravedad para establecer las anomalías. En el valor teórico se consideran los efectos geográficamente variables debidos a la forma general del planeta (elipsoide de revolución) y su fuerza centrífuga de rotación. En el valor real entran en consideración las variaciones de densidad locales que son el objetivo de la gravimetría prospectiva.

Las correcciones que deben aplicarse a las mediciones de gravedad son fundamentalmente las de reducción al geoide:

- Corrección de Aire Libre: Es la diferencia de distancias al centro de la Tierra entre el punto de observación y la superficie del geoide.
- Corrección de Bouguer: Es debida a la atracción gravitacional de los materiales existentes en el tramo definido por la corrección de Aire Libre.
- Corrección Topográfica: Es originada por los materiales que se encuentran alrededor de la vertical del punto de observación (sobrantes y faltantes).

b- Método Magnetométrico.

El campo magnético terrestre tiene su origen en el núcleo de la Tierra, y es permanentemente modificado por cambiantes componentes externas a la masa sólida del planeta. Pero también existe una componente mucho menor de la corteza, que puede ser significativa a una escala local.

La prospección magnetométrica se basa en evaluar la desigual distribución de fuerzas magnéticas dentro de la corteza terrestre. El alto contenido en minerales de hierro produce anomalías positivas y su defecto anomalías negativas. Este método se emplea en la búsqueda de hidrocarburos para determinar la extensión, dimensión y potencia de cuencas sedimentarias, que pueden generar, migrar, almacenar y entrapar hidrocarburos. También para identificar estructuras significativas, como anticlinales, pilares tectónicos, y domos salinos, por su carencia de minerales magnéticos.

c- Método Geoeléctrico.

La Geoeléctrica se fundamenta en el registro de magnitudes eléctricas del campo electromagnético en el suelo y subsuelo terrestres. Estas magnitudes, después de procesadas e interpretadas, permiten identificar los valores anómalos vinculados a objetivos de interés científico.

La prospección geoeléctrica puede aprovechar las respuestas de los campos eléctricos naturales de la Tierra, o generar campos artificiales cuya mayor intensidad o mejor control permiten obtener registros más claros del terreno estudiado.

d- Método Magnetotelúrico.

La Magnetoteluria se trata de corrientes eléctricas naturales que circulan por la corteza terrestre, de amplitud y frecuencia variables según las horas, y de un día a otro. Se originan por la inducción del campo magnético externo de la Tierra, el que interactúa con otros campos menores inducidos desde el interior terrestre, más la eventual interacción con las tormentas eléctricas troposféricas. El método magnetotelúrico (MT) consiste en medir tanto las componentes eléctricas del campo magnético, como también las componentes magnéticas (con un magnetómetro), a fin de combinar las mediciones en conjuntos de datos más robustos.

e- Método Sísmico.

La prospección sísmica utiliza ondas elásticas generadas artificialmente para localizar depósitos de minerales. Se basa en el mismo principio que las mediciones de los terremotos. Pero a diferencia de éstos, las fuentes de energía de la exploración sísmica están controladas y son móviles. Las distancias entre la fuente (shot, o source) y los puntos de registro (receivers) son relativamente pequeñas. La mayor parte del trabajo sísmico consiste en la cobertura continua, en donde la respuesta de porciones sucesivas de tierra se muestra a lo largo de líneas de perfilaje. Los explosivos y otras fuentes de energía menos agresivas, como los camiones vibradores, se usan para generar ondas sísmicas, y los tendidos de sismómetros o geófonos, para detectar el movimiento de tierra resultante. Los datos obtenidos se registran en forma digital, lo que permite que puedan ser procesados por software específicos.

El objetivo de la exploración sísmica consiste en deducir información de las rocas, especialmente de las posiciones de las capas, partir de los tiempos de llegada observados y, hasta cierto límite, de las variaciones en la amplitud, frecuencia y forma de las componentes longitudinales y transversales de la onda sísmica.

El método de exploración sísmica se aplica para reducir costos ya que es más barato y rápido que las perforaciones. No las sustituyen, pero contribuyen a disminuir su número, al situarlas estratégicamente, y el resto de la zona de estudio se rellena con perfiles sísmicos.

Los métodos de prospección sísmica se clasifican según el tipo de ondas usadas para obtener información del subsuelo, pudiendo ser Ondas reflejadas, Ondas cónicas o refractadas críticamente, y Ondas directas

Actualmente el método más utilizado para prospección de hidrocarburos es el de reflexión.

1.5 Geología del petróleo.

Es una aplicación de la geología que estudia la formación de yacimientos petrolíferos y su prospección. Sus objetivos son la localización de posibles yacimientos, la caracterización de su geometría, y la estimación de sus reservas potenciales.

La geología del petróleo combina diversos métodos o técnicas exploratorias para seleccionar las mejores oportunidades o plays para la búsqueda de hidrocarburos.

El desarrollo de esta especialización de la geología tuvo lugar entre los años 1970 y 1980, cuando las empresas petroleras crearon grandes departamentos de geología y destinaron importantes recursos a la exploración.

Al mismo tiempo, los geólogos de las compañías aportaron avances a la geología, desarrollando nuevos tipos de análisis estratigráfico (estratigrafía secuencial, microfacies, quimioestratigrafía, etc.).

La geología del petróleo busca rocas reservorios con buena porosidad y permeabilidad que permiten la acumulación y flujo de los hidrocarburos líquidos y gaseosos. Busca también rocas sello que sirven de trampas y al ser impermeables evitan el paso de los hidrocarburos a otras formaciones.

Los anticlinales, las fallas geológicas y los domos salinos son las estructuras ideales para la acumulación del petróleo.

Los métodos geofísicos, descritos anteriormente, son muy importantes en la geología del petróleo porque permiten conocer las propiedades físicas del subsuelo sin tener que ingresar dentro de la Tierra.

1.6 Finalización del proceso exploratorio.

Para alcanzar los objetivos, además de los medios disponibles, es fundamental basarse en todo el conocimiento previo (geología superficial, datos de pozos, geoquímica, etc.), en la objetividad y en el trabajo interdisciplinario.

Después de identificar los sectores de mayor interés prospectivo asociados, se procede a adquirir el dato sísmico bidimensional (2D) de tipo regional, con un gran espaciamiento entre líneas. Esta información permite representar en una sección en profundidad las características geológicas de la cuenca, además de su estratigrafía y estructura. Las campañas sísmicas 2D cubren grandes áreas con el fin de acotar los objetivos anteriormente identificados para encontrar indicios de trampas estructurales y/o estratigráficas que eventualmente contengan el hidrocarburo atrapado. Una vez analizados los resultados de la sísmica 2D se definen las zonas, menores en superficie, pero de mayor potencial de contener reservas de hidrocarburos, para ejecutar la sísmica 3D que al proveer de imágenes de forma sólida, permite minimizar los riesgos en la perforación y reducir dudas en la interpretación de los datos con respecto a la geometría y la posición de las capas en el subsuelo.

Toda la información recolectada permite analizar e interpretar la geología del subsuelo y definir posibles trampas donde puedan existir acumulaciones de interés para prospectar. La decisión de perforar un prospecto se toma luego de la cuantificación de sus recursos, de las posibilidades de éxito de encontrar hidrocarburos y de la evaluación frente a todas las opciones definidas en la zona, de acuerdo con criterios de tamaño, riesgos e inversiones.

Los resultados del pozo perforado permiten validar el concepto estudiado, ya que no hay otra manera de comprobar la presencia de hidrocarburos en el subsuelo. Un pozo exploratorio por lo general es perforado en una región

donde hay incertidumbre y riesgo debido al poco conocimiento del modelo geológico al inicio del estudio.

Los pozos perforados se convierten en descubridores cuando se comprueba que encuentran acumulaciones de petróleo y/o gas. Luego se analizan los datos aportados y se establece si los hallazgos otorgan al proyecto viabilidad económica. Por el contrario, si el pozo no encuentra hidrocarburos (puede producir agua de formación o directamente no tener productividad), se lo denomina pozo seco (Cabanillas, L. et al, 2013), o pozo estéril.

Todos los pozos que fueron y son perforados actualmente disponen de un documento de propuesta inicial con coordenadas provisionales, una monografía y un croquis. El siguiente paso consiste en el estaqueo in situ, o sea, marcar la coordenada propuesta por el geólogo. Después se construye la locación y la bodega donde se ubicará el equipo de perforación. Una vez construida la bodega se procede a medir las coordenadas y cota definitivas del pozo, ya que en el proceso de construcción las coordenadas varían levemente y la cota también se modifica a causa del rellenado. Finalmente se elabora el informe final del pozo (legajo) con una descripción detallada desde el inicio de la perforación hasta el fin de la terminación, o suspensión, en caso de que no se haya llegado a terminar por cualquier tipo de razón, la cual también se consigna en este informe.

Cuando se tiene dudas sobre la ubicación de un pozo en la base GIS, el primer documento al que se recurre es el Informe. Pero si son pozos muy antiguos, es probable que no esté especificado el sistema geodésico de sus coordenadas.

2. De los marcos de referencia geodésicos.

2.1 Definición.

Un Marco de Referencia Geodésico, o Red Geodésica, es la materialización a través de puntos reales sobre el terreno de un determinado sistema de referencia.

En los sistemas geodésicos tradicionales (locales), el marco de referencia queda definido (materializado) por los puntos trigonométricos de distintos órdenes que a través de cadenas y mallas cubren una región o el territorio de un país.

En los sistemas geocéntricos, se constituyen redes de puntos medidos con posicionamiento satelital y vinculados a puntos de las redes anteriores.

Las redes geodésicas son los cimientos sobre los que se apoyan las actividades de las Geociencias. Son indispensables para el estudio teórico de la forma y las dimensiones de la Tierra (objetivo principal de la Geodesia), así como para la planificación, el diseño y la ejecución de cualquier tipo de infraestructuras. Por tal razón se dice que las redes geodésicas son las "infraestructuras de las infraestructuras".

Las redes geodésicas pueden ser:

- de planimetría (coordenadas geodésicas en latitud y longitud referidas a un Datum horizontal)
- de altimetría o nivelación (altura en metros referidas a un Datum vertical)
- de gravimetría (valores de gravedad en miligales referidos al Datum gravimétrico IGSN71 -International Gravity Standardization Net 1971-)

2.2 Antecedentes históricos.

Las redes geodésicas clásicas consistían en una serie de puntos distribuidos por la superficie de una región o de un país, constituyendo un mallado de triángulos (triangulación) o de polígonos (poligonación) formando cadenas principales a lo largo de meridianos y paralelos. Cada punto de la Red Geodésica que se denomina vértice geodésico, o también punto trigonométrico, está monumentado con un pilar de hormigón, y dispone de una monografía con toda su información, como ser, nombre, coordenadas y croquis de acceso, entre otros datos.

Para determinar las coordenadas de los vértices geodésicos se partía de las coordenadas del Punto Astronómico Fundamental (Datum geodésico), donde se las determinaban por métodos exclusivamente astronómicos. Luego se calculaban las coordenadas del resto de los puntos, teniendo especial cuidado en las mediciones de los tres ángulos de cada triángulo que son de muy alta precisión, de igual modo que la línea determinada por dos de los vértices, que se denominaba “base” ya que era la base de toda la Red Geodésica.

Estas redes geodésicas se clasificaban en de primer, segundo, tercer y cuarto orden. Cada orden variaba en precisión y en longitud de los lados de los triángulos. La red de primer orden era la de mayor precisión, con longitudes de los lados que oscilaban entre los 15 y los 30 km, y formaban las cadenas principales. La red de segundo orden se apoyaba y densificaba a la de primer orden, siendo sus lados de longitudes que variaban entre los 10 y 15 km. La de tercer orden se apoyaba en la de segundo y sus lados iban de 5 a 10 km. La de cuarto orden eran densificaciones de las de los órdenes anteriores y estaban destinadas a trabajos topográficos que prescindían de la curvatura terrestre.

Esta descripción corresponde a la ejecución de las redes geodésicas clásicas, o sea anteriores a la tecnología satelital, donde los puntos eran fijos, estáticos o pasivos, ya que nunca modificaban sus coordenadas.

Actualmente siguen en pie gran cantidad de vértices de estas redes iniciales.

Con el avance de la ciencia y especialmente de la tecnología satelital se pudo comprobar que ningún punto es fijo sobre la superficie terrestre, sino que están en permanente movimiento a causa del desplazamiento de las placas tectónicas que fragmentan la corteza terrestre. De este modo los puntos que forman un marco de referencia moderno dejaron de ser pasivos para ser activos, ya que sus coordenadas varían con el transcurso del tiempo.

Al igual que en el resto del mundo, en Argentina, los marcos de referencia geodésicos evolucionaron a la par de los avances científicos y tecnológicos.

2.3 Descripción de las redes geodésicas de Argentina

a- Redes locales

A principios del siglo XX, los primeros trabajos geodésicos ejecutados en Argentina se restringieron a ciertas zonas que, por determinadas actividades (exploración minera o de hidrocarburos) requerían del establecimiento de un marco geodésico.

Estas redes antiguas presentaban deficiencias en sus cálculos, no eran compensadas, y en algunos casos se hacían ampliaciones con criterios de ejecución y de cálculo muy disímiles. Además, en sus densificaciones (extensiones) no se dispone de parámetros promedio generales y sus valores pueden variar mucho de acuerdo a la zona donde se los calcula.

Las redes locales ya fueron mencionadas, y varias de ellas fueron descritas, en el título sobre Reseña Histórica.

b- Marco Nacional Campo Inchauspe

El 30 de noviembre de 1946 el IGM emitió la Disposición Permanente N° 440 en la que se ponía de manifiesto la necesidad de crear un Sistema de Referencia Nacional. Es así que surgió Campo Inchauspe que permitió integrar a la mayoría de los sistemas locales antiguos.

Campo Inchauspe es el datum que dio origen y nombre a este sistema de referencia (o sistema geodésico). Está emplazado en el punto astronómico fundamental del mismo nombre, localizado en la provincia de Buenos Aires, partido de Pehuajó, a $35^{\circ}58'16'',56$ Sur y $62^{\circ}10'12'',03$ Oeste.

El sitio fue elegido en base a los análisis de la desviación posible de la vertical estudiada por el doctor Guillermo Schulz y el ing. Guillermo Riggi O'Dwyer y se le asignó la característica dominante en la época para un punto datum que eran que las coordenadas elipsóidicas (latitud, longitud y acimut) fueran iguales a las astronómicas, que hubiera tangencia entre el elipsoide y el geoide, es decir con ondulación igual a cero, que tuviera escasas anomalías gravimétricas, y ausencia de perturbaciones magnéticas.

La ejecución y desarrollo de Campo Inchauspe demandó más de 100 años de labor del IGM, empleando técnicas clásicas (triangulación y poligonación) de medición, recorriendo cada sector del territorio y determinando gran cantidad de puntos de alta precisión geodésica para la época.

El elipsoide asociado fue el Internacional de 1924 que ya había sido adoptado por Argentina junto con la proyección Gauss-Krüger mediante la Disposición Permanente Nro. 197 (24 abril 1925) del IGM.

Como dato anecdótico cabe aclarar que los trabajos geodésicos anteriores (Chos Malal) se apoyaban inicialmente en el elipsoide de Bessel.

Alrededor del punto se iniciaron los trabajos de la triangulación fundamental que en 1954 alcanzó a cubrir un área de 10 polígonos, los que fueron compensados por métodos manuales en el mismo año y que constituyó la primera red de envergadura ejecutada en el país. Las coordenadas resultantes se conocieron como Campo Inchauspe 1954.

En 1969 los polígonos cerrados alcanzaron a 19 y se realizó un recálculo de su estación astronómica para reducirla al Origen Convencional Internacional (OCI) recomendado por la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (UGGI) en su asamblea de 1967, y el ajuste de la red (1000 puntos con 5000 observaciones de ángulos, distancias y acimutes) mediante el método de variación de coordenadas geográficas.

Esta segunda versión de la red recibió el nombre de Campo Inchauspe 1969.

Luego se realizó una compensación general de los 19 polígonos de triangulación que se encontraban medidos, a los que se adicionaron otros 16. Esta Red Fundamental de puntos de I orden y II orden se fue densificando, dentro del marco rígido de cada orden superior, con puntos de III y IV orden. Y también se redujeron los trabajos previos de redes locales existentes.

El corrimiento del datum del Sistema Campo Inchauspe 69 respecto del datum del Sistema Campo Inchauspe 54 es de 0,6 m en latitud y 1,5 m en longitud.

La Red Fundamental se desarrolló a través de cadenas de triangulación con triángulos dobles superpuestos (cuadriláteros) de unos 200 km de longitud, formando un reticulado uniforme siguiendo aproximadamente los meridianos y paralelos pares (cadenas de triangulación meridianas y paralelas).

Dos cadenas meridianas y dos cadenas paralelas definen lo que se denomina Unidad Geodésica. Su relleno se llama Malla y constituye la densificación de la Unidad Geodésica.

En las intersecciones se establecieron puntos de Laplace y bases geodésicas, que inicialmente fueron medidas con alambres de invar y posteriormente con distanciómetros electro-ópticos. En los últimos tramos de la red se empleó la combinación de la medida de ángulos y lados en todas las figuras.

La ubicación de los puntos trigonométricos de la red Campo Inchauspe 69 responde a los criterios de elección de los sitios de la triangulación y poligonación de la época: puntos dominantes, visuales despejadas, fuerza de las figuras, limitación de distancias.

La marcación típica de los puntos de primer, segundo y tercer orden fue un pilar de hormigón coronado con una chapa de bronce con la leyenda Ejército Argentino – Instituto Geográfico Militar y la sentencia “hasta cuatro años de prisión a quién destruya esta señal”.

Los puntos de cuarto orden son, en su mayoría, molinos de viento o torres de iglesias.

Para encontrar los puntos se disponía de sus correspondientes monografías, es decir de croquis elaborados por los equipos de reconocimiento.

A pesar de su ubicación de difícil acceso, algunos de los puntos fueron utilizados por las redes posteriores Doppler, POSGAR y redes provinciales.

Todos los vértices de la red Campo Inchauspe tienen un punto cercano, que se le llama pilar de acimut, para la orientación de los trabajos derivados, con la característica adicional de estar ubicado en un lugar fácilmente identificable en las fotografías aéreas.

El Sistema de Referencia Campo Inchauspe 69 está compuesto de 8050 puntos de I y II orden y 14186 puntos de III y IV orden, que hacen un total de 22.236 puntos, más o menos uniformemente distribuidos en todo el territorio nacional, aunque ninguna cadena llegó a la isla de Tierra del Fuego.

La finalización de los trabajos de triangulación y poligonación fue determinada por el advenimiento de la geodesia satelital.

La precisión de la red es del orden de 3 a 10 ppm (partes por millón) en base a los resultados estadísticos de las compensaciones parciales. Esto significa entre 3 y 10 mm en un millón de milímetros. O lo que es lo mismo 3 y 10 mm en 1 km.

Campo Inchauspe 69 fue el datum que estableció la Ley 22.963 (Ley de la Carta, sancionada el 2 de noviembre de 1983) a adoptar en todo trabajo geodésico, y que perduró como datum oficial hasta la llegada de la red Posgar. Con la tecnología satelital se pudo determinar que su origen se encuentra desplazado del centro de masas de la Tierra en aproximadamente 200 metros.

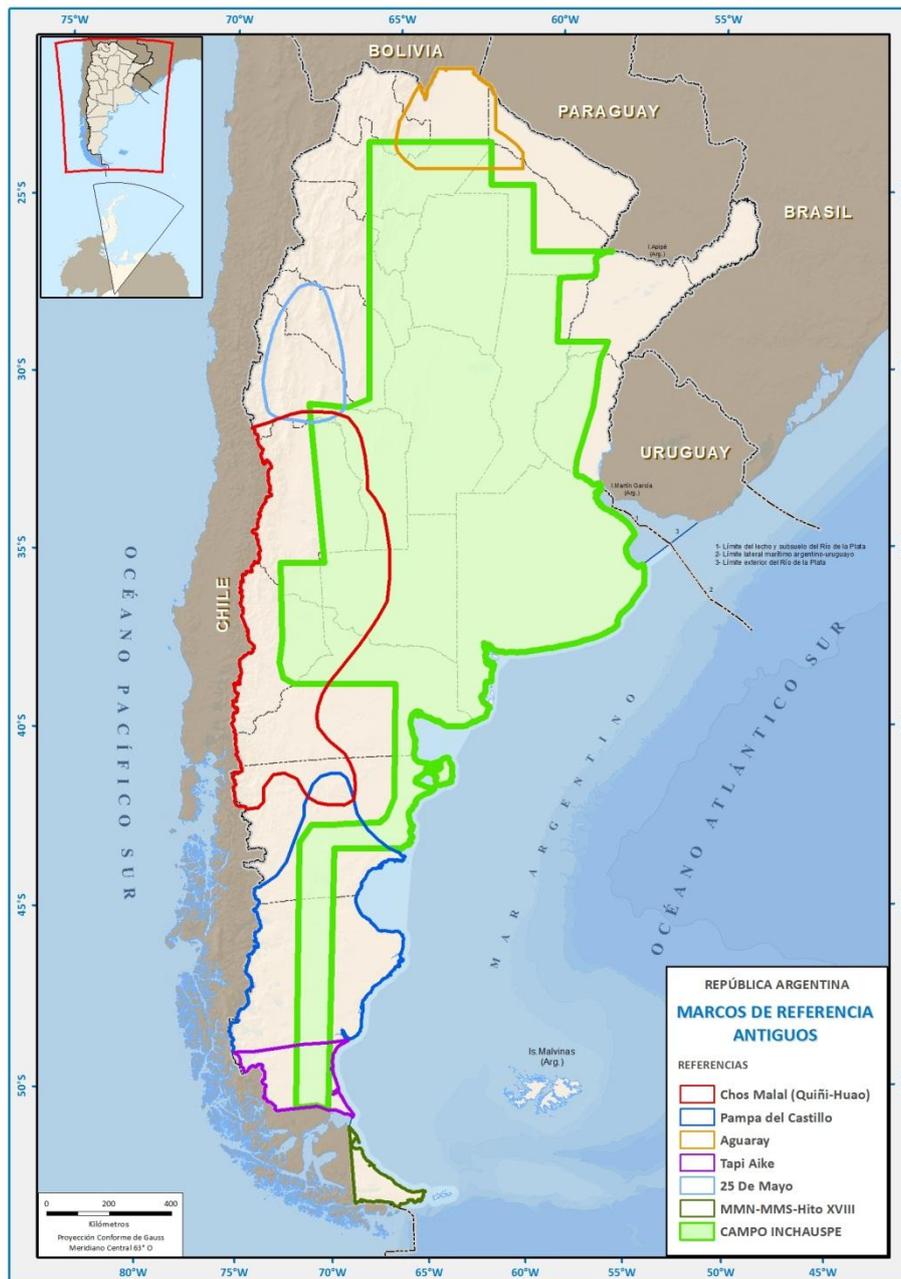


Fig. 5: Marcos de referencia antiguos (fuente: elaboración propia)

c- Marcos geocéntricos.

- Red POSGAR 94

Durante los años 1993 y 1994, el IGM, en un trabajo conjunto con el Consorcio de Universidades Americanas (UNAVCO), midió la Red POSGAR 94, encomendando el procesamiento a la Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

La red fue calculada mediante la realización de tres campañas de medición:

-Posgar 93: desde el 10 de febrero hasta el 12 de abril de 1993;

-CAP 93: desde el 11 de febrero hasta el 11 de marzo de 1993;

y finalmente

-Posgar 94: desde el 8 de marzo hasta el 5 de mayo de 1994.

La definición de POSGAR 94 fue un punto de inflexión y un hito fundamental en las redes geodésicas argentinas, puesto que se pasaba de la antigua geodesia

clásica con un datum tangencial y sin vinculación con el resto del mundo (Campo Inchauspe), a una muy avanzada geodesia satelital, geocéntrica, vinculada mundialmente y de alta precisión.

Por tal razón la red Posgar 94 materializaba en Argentina al Sistema Geodésico Mundial de 1984, WGS 84 (World Geodetic System 1984).

En la realización de esta obra además del IGM que ejecutó la mayor parte de las tareas de campo, también participaron el Servicio de Hidrografía Naval; un consorcio de universidades que por esa época estaba efectuando la medición de la red geodinámica CAP (Central Andean Project - Proyecto Andes Centrales); la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata que realizó el cálculo y el posproceso de las observaciones; y el Programa Provincias I que apoyó económicamente parte de las tareas de cálculo.

Una disyuntiva al momento de iniciar el cálculo fue el programa de procesamiento a utilizar. Los programas “científicos” (Bernese, por ejemplo) permitían extraer la máxima precisión posible de las observaciones, pero no se disponía de expertos. Mientras que los programas “comerciales” aseguraban la realización de un cálculo compatible con la precisión requerida y el tiempo disponible. Así fue que se optó por un programa comercial de posproceso que permitió disponer a comienzos de 1995 de las coordenadas del nuevo marco de referencia.

Los estimadores “internos” de precisión, es decir los que se obtenían luego de compensar los vectores medidos, resultaron muy satisfactorios, mostrando una red homogénea con una precisión del orden de 1 parte por millón. Tiempo después se pudo disponer de controles “externos” que permitieron estimar de una forma más confiable la exactitud del marco de referencia POSGAR 94. Estos controles fueron aportados principalmente por el proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) y, en menor medida, por el proyecto geodinámico SAGA (South American Geodynamics Activities). Las comparaciones efectuadas confirmaron el acuerdo interno de la red, obtenido mediante la compensación, pero además mostraron que POSGAR 94 materializa un sistema geocéntrico con una precisión menor a un metro.

La red estaba compuesta de 127 puntos, separados en promedio por una distancia de 200 km, lo que aseguraba la posibilidad de que todas las redes geodésicas provinciales pudieran vincularse a ella mediante no menos de 4 puntos ubicados dentro del territorio provincial o en sus cercanías.

La red fue calculada con el objetivo prioritario de brindar un marco de referencia homogéneo, con una precisión relativa del orden de 1 parte por millón, apto para georreferenciar los numerosos levantamientos GPS que se realizan en el país.

El sistema de referencia fue materializado mediante las coordenadas de 54 puntos IGM, 23 puntos pertenecientes a la red CAP y un punto DORIS del Instituto Geográfico Nacional de Francia.

DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) es un sistema satelital de Francia usado para la determinación de las órbitas de otros satélites.

Las coordenadas geocéntricas de estos puntos fueron transformadas del sistema ITRF 92 al WGS 84 y utilizadas como control en la compensación final de POSGAR 94. Por tal razón está vinculado a WGS 84 época 1993.8.

La Red POSGAR 94, debido a las grandes ventajas de la tecnología GPS, empezó a extender su uso a todos los ámbitos de la agrimensura y la topografía, por lo que las coordenadas de los puntos de la red se hicieron cada vez más imprescindibles para cualquier aplicación que requiera de precisión.

A causa de esto el punto IGM0, integrante de POSGAR 94, tomó trascendencia para la comunidad geodésica al constituir el único punto de la red ubicado en la ciudad de Buenos Aires.

En 1998 se decidió emplazar un nuevo punto en las instalaciones del Servicio Internacional de la Hora, predio ubicado cercano a la estación Migueletes del FF.CC. Gral. Bartolomé Mitre y dependiente del IGM. Ese punto fue vinculado a la red en forma precisa, por lo que mantenía la misma calidad que el IGM0.

Luego de esto, en el punto IGM0 se instaló un receptor GPS geodésico con el fin de recolectar datos en forma permanente y ponerlos a disposición de los usuarios. Hecho que fue el punto inicial para que en agosto de 1998 se creara la primera estación GPS permanente de la red POSGAR 94 operada en su totalidad por el IGM.

El 9 mayo de 1997, mediante la Resolución 13/97, el IGM adoptó el marco de referencia POSGAR 94 como la materialización del sistema de referencia nacional en reemplazo de Campo Inchauspe. El proyecto POSGAR permitió contar con una red de control geodésico compatible con las modernas tecnologías GIS y GPS, y era capaz de satisfacer las incipientes necesidades de los usuarios de geoposicionamiento de precisión.

- Red POSGAR 98

Un nuevo cálculo efectuado sobre la red POSGAR 94 con el objetivo de cumplir con las especificaciones de integración con SIRGAS, dio lugar a la red POSGAR 98.

El sistema de referencia que materializaba a Posgar 98 era el ITRS (International Terrestrial Reference System). Se accedía a él a través de puntos argentinos del marco de referencia SIRGAS, que a su vez densificaba al marco ITRF94 en América del Sur. Las coordenadas estaban referidas a la época 1995.4. Esta elección se acordó con el resto de los países sudamericanos en el marco del proyecto SIRGAS por lo que garantizaba la máxima compatibilidad posible de Posgar 98 con los marcos de referencia de los países de la región.

En la época de ejecución 6 de los 10 puntos argentinos de SIRGAS eran comunes con POSGAR 98, lo que permitió una comparación directa de las coordenadas.

Con los resultados obtenidos se comprobó que la diferencia entre las coordenadas absolutas apenas superaron el metro, mientras que las coordenadas relativas tenían diferencias por debajo de 1 parte por millón de la longitud del vector. Aunque estos resultados no pueden generalizarse a todos los puntos, la comparación constituye un excelente resultado desde dos puntos de vista diferentes:

-Muestra que POSGAR 98 materializa un marco de referencia de muy buena calidad, tanto en su posicionamiento geocéntrico como en su precisión relativa.

-Permite inferir que las coordenadas POSGAR 98 tendrán pequeñas variaciones que serán prácticamente imperceptibles para la mayoría de las aplicaciones prácticas, al momento de realizar la vinculación con SIRGAS.

El Marco de Referencia POSGAR 98 materializa al ITRS en Argentina (a diferencia de POSGAR 94 que materializa a WGS 84).

Esta red nunca fue oficializada a nivel nacional, aunque algunas provincias como Mendoza, Tucumán y Salta decidieron adoptarla como oficial dentro de sus territorios provinciales.

El ITRS es un sistema de referencia internacional que fue definido en 1988 por el IERS (International Earth Rotation Service - Servicio de Rotación Terrestre Internacional). El origen del ITRS es el baricentro de la Tierra, incluyendo a la atmósfera, y la unidad de longitud es el metro. Su materialización es el Marco de Referencia Internacional Terrestre (ITRF: International Terrestrial Reference Frame) constituido por un conjunto de coordenadas y velocidades geocéntricas de unas 180 estaciones con precisión de 1 a 3 cm en coordenadas y de 2 a 5 mm/año en velocidades.

ITRF representa un nuevo concepto de materialización constituido por un conjunto de coordenadas y velocidades de las estaciones que lo materializan.

Su continua evolución permite agregar nuevas estaciones cada año y mejorar la precisión general del conjunto. Por esa razón, cada nueva realización lleva indicado el año de su determinación, como también, la época fundamental a la cual se refieren las coordenadas listadas. Hasta hoy existen las versiones: ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF95, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008 y ITRF2014.

Por ejemplo el ITRF 93 difiere del ITRF 94, época 1993.0 porque se agregó más información para calcular este último, lo que se traduce en pequeñas variaciones de posiciones y velocidades. En su conjunto, estas diferencias permiten encontrar parámetros de transformación entre las distintas materializaciones del sistema terrestre internacional.

Actualmente estas transformaciones están en niveles milimétricos por lo que no tienen importancia práctica para aplicaciones geodésicas convencionales.

Por el contrario, sí tiene importancia el efecto de las velocidades, que debe ser considerado cuando se trabaja en redes regionales que involucran varias placas tectónicas, y también cuando se usan distintas estaciones con coordenadas ITRF.

Un marco de referencia geocéntrico, se caracteriza por tener alcance global, estar realizado en base a técnicas geodésicas espaciales, ser tridimensional y ser dinámico.

Esta última característica implica tener en cuenta la variable tiempo como la "cuarta coordenada", es decir, considerar que los puntos que materializan las redes se mueven por los efectos del desplazamiento de las placas tectónicas de la corteza terrestre. Si bien esta problemática era perfectamente conocida, los desplazamientos de los puntos fijos no podían cuantificarse hasta la aparición del sistema GPS. Si los puntos se mueven y esos movimientos pueden detectarse mediante observaciones permanentes, se pueden determinar sus velocidades.

POSGAR 98 se encuentra apoyado en ITRF 94 época 1995.4 (al igual que SIRGAS 1995).

SIRGAS como sistema de referencia se define igual al ITRS y su realización es la densificación regional del ITRF en las Américas.

El procesamiento de las coordenadas POSGAR 98 se realizó con el software científico Bernese V4.0.

Analizando las diferencias entre POSGAR 94 y POSGAR 98 a partir de 122 estaciones comunes, se obtuvieron diferencias promedio en latitud y en

longitud del orden de 0,53 y 0,16 metros respectivamente, siendo todas del mismo signo. En alturas elipsoidales las diferencias variaron entre positivas y negativas, por lo que se consideró un promedio en valor absoluto de 0,43 metros.

Las distorsiones en altura de POSGAR 94 son notables en todas las comparaciones realizadas, por lo que si se necesita trabajar con alta precisión en las 3 coordenadas, es recomendable usar POSGAR 98. Pero, si se trabaja en áreas menores que una provincia y no se tienen exigencias de precisión sobre las alturas elipsoidales, no habrá mayor diferencia entre usar uno u otro marco de referencia.

De la comparación se obtuvo que POSGAR 98 es más preciso que POSGAR 94 en factores que llegan a algo más que cuatro en latitud y longitud y hasta diez en altura elipsoidal.

No obstante esto, en la práctica y para la mayoría de los usuarios, las diferencias entre uno y otro resultan prácticamente imperceptibles.

En definitiva, POSGAR 98 no es más que un refinamiento en la precisión de la red POSGAR 94 con el objetivo de vincularla a SIRGAS.

A partir de POSGAR 98 se incluye el concepto de época: fecha para la cual corresponden las coordenadas. Así POSGAR 98 tiene como época 1995.4.

- Red POSGAR 2007

La instalación, en agosto de 1998, de un receptor GPS geodésico en el punto IGM0 representó la creación de la primera estación permanente, que posteriormente se convertiría en una Red de Estaciones Permanentes y que fue el paso previo a la creación de un nuevo marco de referencia: POSGAR 2007.

Por disposición del director del IGM el 15 de mayo de 2009 se adoptó a POSGAR 2007 como nuevo "Marco de Referencia Geodésico Nacional" en reemplazo del hasta ese momento vigente POSGAR 94.

Basado en ITRF2005 época 2006.632, constituye la materialización sobre el territorio nacional del más moderno sistema de referencia a nivel mundial compatible con el marco regional SIRGAS y responde a los más estrictos estándares de precisión y ajuste vigentes.

POSGAR 2007 Incorpora los puntos de las redes provinciales y los de la red PASMA (Proyecto de Apoyo al Sector Minero Argentino) asegurando parámetros de transformación entre ellas y la nueva definición a fin de facilitar una georreferenciación unívoca en todo el país.

POSGAR 2007 fue medido sobre los puntos de la red POSGAR 94, incorporando más de 50 nuevos que mejoran la geometría espacial de la red y optimizan los resultados del ajuste. Considerando la incorporación de las demás redes para su integración al nuevo marco, el IGM midió, desde el año 2005 un total de 436 puntos.

Este nuevo marco fue calculado con el software científico de procesamiento y ajuste de redes geodésicas GAMIT-GLOB K.

En conclusión, POSGAR 2007 es el nuevo marco de referencia geodésico nacional y oficial.

Las diferencias geocéntricas con POSGAR 94 son: $\Delta X = 0,41$ m, $\Delta Y = -0,46$ m, $\Delta Z = 0,35$ m, que a los fines prácticos resultan despreciables.



Fig. 6: Red POSGAR 94

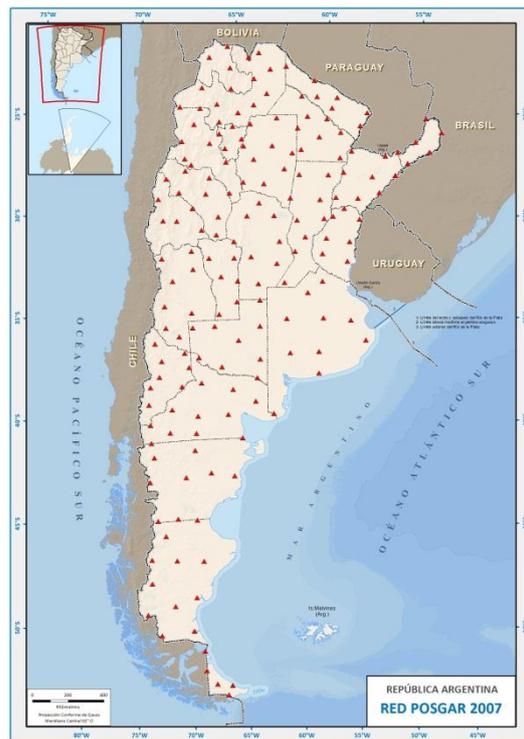


Fig. 7: Red POSGAR 2007

- Red de Estaciones de Monitoreo Satelital GNSS

Una estación de monitoreo satelital está constituida por un receptor que recibe en forma continua datos provenientes de las constelaciones de satélites NAVSTAR GPS y GLONASS (formando en conjunto la red GNSS), y por una plataforma que permite el almacenamiento, la administración, la disponibilidad y la distribución a los usuarios que lo requieran.

GNSS es Global Navigation Satellite System, Sistema Global de Navegación por Satélite.

Un conjunto de estaciones de monitoreo constituye una red que, extendida a todo el planeta, permite definir los marcos de referencia instantáneos a nivel mundial, con máxima precisión.

Los países diseñaron sus propias redes de estaciones de monitoreo satelital y le asignaron un nombre. En Argentina se las denomina Estaciones Permanentes, y a la red se la llama RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo).

RAMSAC brinda un servicio de captura continua de datos en todo el territorio nacional.

En 1998 el IGM aprobó la ejecución de este proyecto con 7 estaciones iniciales en funcionamiento que participaban de programas científicos independientes. A partir de ahí y por iniciativa del IGM, los datos de las estaciones por primera vez fueron publicados en un servidor nacional de acceso público y gratuito, concretándose así la creación de RAMSAC, que actualmente cuenta con 45 estaciones GNSS permanentes en todo el país.

Se creó también un centro de procesamiento que es el encargado de procesar los datos de las estaciones GNSS permanentes de Argentina y actualizar y mantener el Marco de Referencia Geodésico Nacional.

Los objetivos de RAMSAC, definidos por el IGN son:

- Contribuir al perfeccionamiento y mantenimiento del Marco de Referencia Geodésico Nacional (responsabilidad del Instituto Geográfico Nacional).
- Contribuir con estaciones GNSS permanentes al mantenimiento del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF en sus siglas en inglés).
- Satisfacer requerimientos de orden técnico por parte de los usuarios de las modernas técnicas de posicionamiento satelital.
- Asesorar y colaborar en la instalación de nuevas estaciones GPS permanentes a todas las Instituciones que deseen incorporarse a la Red RAMSAC, para que los datos sean publicados en Internet y puedan ser accesibles en forma libre y gratuita.

La mayor ventaja para el usuario de GPS es que los datos capturados por las estaciones permanentes permiten hacer cálculos diferenciales.

- Síntesis cronológica de las redes geodésicas oficiales en Argentina

1-Campo Inchauspe surgió a partir de la Disposición Permanente N° 440 del IGM, del 30 de noviembre de 1946. Pero fue la Ley 22.963 del 2 de noviembre de 1983 que establece que debe adoptarse en todo trabajo geodésico. Estuvo vigente hasta el 8 de mayo de 1997.

2-POSGAR 94 vigente como marco oficial, desde el 9 de mayo de 1997 hasta el 14 de mayo de 2009.

3-POSGAR 2007 entró en vigencia el 15 de mayo de 2009 y continúa hasta la actualidad.

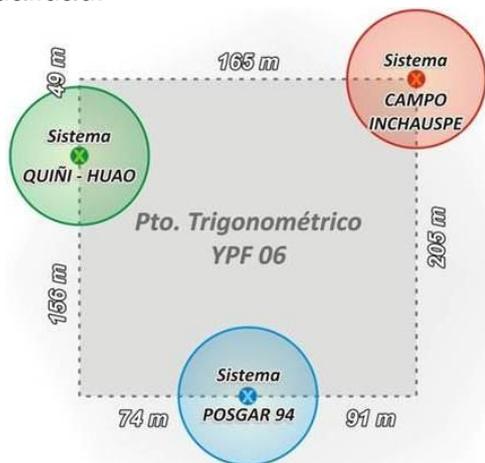


Fig. 8: Desplazamiento entre redes CN

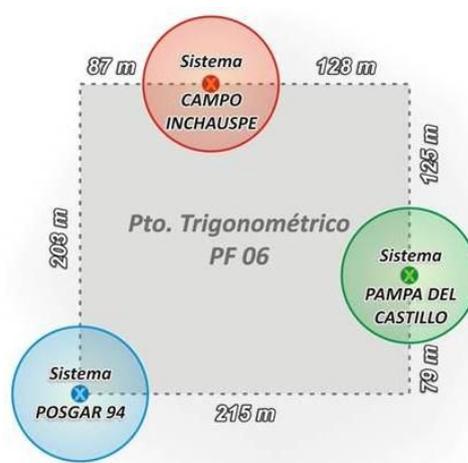


Fig. 9: Desplazamientos entre redes CGSJ

Hasta la fecha sigue vigente la Resolución de la Secretaría de Energía de la Nación N° 309/1993: "Método para la realización de trabajos de deslinde y mensura por los concesionarios de áreas de explotación y permisionarios de áreas de exploración", donde en el Capítulo III (Normas para áreas terrestres), en el inciso referido a metodología (página 4) dice textualmente: "Mediante la materialización de una red de primer orden que permita su replanteo, esta red debe estar vinculada como mínimo a tres puntos de la red del Sistema Campo Inchauspe 1969".

3. De la teledetección.

3.1 Antecedentes históricos.

La teledetección como es entendida actualmente se inició en el periodo de 1946 a 1950 cuando se lanzaron desde Nuevo México los primeros cohetes norteamericanos V-2 que tenían instaladas pequeñas cámaras fotográficas. A partir de ese momento se sucedieron los proyectos de cohetes, misiles balísticos y satélites con cámaras a bordo y que, entre sus tareas, involucraban la toma de fotografías de la Tierra. Sin embargo, al no ser este el objetivo principal de las misiones, la calidad de las fotografías no era muy buena, si bien lo suficiente como para poder demostrar el verdadero potencial de la teledetección desde el espacio.

La observación sistemática de la Tierra comenzó el 1 de abril de 1960 con el lanzamiento del TIROS-I, primer satélite meteorológico con una cámara de televisión de baja resolución espacial, que permitía a los meteorólogos discriminar entre nubes, agua, hielo y nieve.

La serie de satélites TIROS (Television Infrared Observation Satellite, en español: Satélite de Observación por Televisión e Infrarrojos) fue reemplazada por la serie NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, en español: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica) con el lanzamiento del NOAA-1 el 11 de diciembre de 1970, y continúa vigente hasta la actualidad, siendo el satélite NOAA-19 el último en haber sido puesto en órbita el 6 de febrero de 2009.

En la década de los 60 la misión Apolo 9 llevó a cabo el primer experimento controlado de fotografía multispectral para estudiar los recursos de la Tierra.

Las fotografías fueron tomadas usando una película pancromática con filtros rojos y verdes, otra película en blanco y negro del infrarrojo próximo y una última en color.

Los buenos resultados obtenidos en el estudio de los recursos naturales terrestres, con las imágenes de los primeros satélites meteorológicos y las misiones espaciales, condujeron a la NASA y al Departamento de Interior de Estados Unidos a desarrollar en 1967 el Programa de Observación ERTS (Earth Resources Technology Satellites), conocido comúnmente como LANDSAT. El primer satélite de esta serie fue lanzado el 23 de julio de 1972 y operó hasta el 6 de enero de 1978. Llevaba un sensor MSS (Multi Spectral Scanner) que medía reflectividades de la superficie en cuatro intervalos espectrales diferentes, situados entre 0,5 y 1,1 μm y con una resolución radiométrica de 6 bits. Este proyecto fue uno de los más fructíferos para aplicaciones no militares. El 15 de abril de 1999 fue lanzado el LANDSAT 7, y el 11 de febrero de 2013 se inició el proyecto LDCM (Landsat Data Continuity Mission) con la puesta en órbita del LANDSAT 8 y de este modo se retomó la continuidad de la serie.

Desde el LANDSAT 5 ya se disponía de un nuevo sensor que reemplazó al MSS, el TM (Thematic Mapper) con 7 canales que abarcaban desde el visible hasta el infrarrojo térmico, una resolución espacial de 30 metros y una radiométrica de 8 bits.

El LANDSAT 7 incorporó nuevas mejoras, como ser su mejor calibración, mayor almacenamiento de información a bordo y la adición de un canal en el pancromático con 15 metros de resolución espacial.

El LANDSAT 8 tiene un sensor ETM (Enhanced Thematic Mapper) que permite captar información de 6 bandas espectrales, desde el visible hasta el infrarrojo,

un canal pancromático con resolución de 15 metros, aunque manteniendo la misma resolución de 30 metros que los anteriores para la multispectral.

A partir de los LANDSAT, el interés por la teledetección de la comunidad científica internacional empezó a crecer exponencialmente.

Después del éxito rotundo de la NASA con la serie LANDSAT, se sucedieron numerosos satélites lanzados por otros países, tales como el SPOT francés, el MOS japonés, el ASTER en convenio entre la NASA y Japón, el RadarSAT canadiense, el IRS indio, el ERS de la Agencia Espacial Europea. Y ya entrado el nuevo milenio proliferaron los de cada vez más alta resolución, como Ikonos, QuickBird, GeoEye, RapidEye, WorldWide.

3.2 Definición.

Como aún no existe una definición aceptada universalmente para el concepto de Teledetección, se citan en orden cronológico la de varios autores, los cuales, todos ellos la focalizan hacia un mismo fin, que es la adquisición y el procesamiento digital de imágenes.

La definición de Teledetección está vinculada con la del término "Remote Sensing", el cual fue propuesto por la geógrafa y oceanógrafa Evelyn Pruitt (1958) en un simposio realizado en la universidad de Michigan. Pruitt se refirió al término como "la obtención de información acerca de características de un objeto desde la distancia".

A partir de ese momento surgieron muchas otras definiciones.

Para Carneggie & Lauer (1966), "el término teledetección se refiere a la detección e identificación de objetos mediante el uso de cámaras aéreas o de otros dispositivos de detección que se encuentran a una apreciable distancia de los elementos objeto de la investigación".

De esta forma, la teledetección es una herramienta de ayuda para la recolección de información sobre la cubierta terrestre, con una mínima verificación sobre el terreno. La cantidad de información que es extraída de los datos de la observación depende del tipo de sensor y la parte del espectro electromagnético utilizada, de la calidad de los datos registrados y de ciertas limitaciones físicas incluidas como altura de plataforma, la topografía, las variaciones en ángulo solar y altura solar, y la interferencia atmosférica. (Aldrich, 1979).

El término "teledetección" es más comúnmente usado en forma conjunta con las técnicas electromagnéticas de adquisición de información, es decir, la obtención de información de la superficie terrestre a partir de imágenes tomadas a una cierta distancia, apoyándose en medidas de energía electromagnética reflejadas o emitidas por aquellas (Ruiz, 1998).

Arozarena Villar (2002) define a la teledetección como un "sistema integral de captura de información territorial (a partir de la radiación electromagnética captada por el sensor) que se emplea para la captura tanto de información temática (medioambiental), como de información topográfica (MDT, planimetría)".

"La observación de la Tierra mediante teledetección es la interpretación, comprensión de las mediciones de la energía electromagnética, realizadas por satélites o sensores aerotransportados, que es reflejada o emitida por los objetos presentes en los continentes, océanos o superficies heladas o dentro de la atmósfera y el establecimiento de las relaciones entre esas mediciones y

la naturaleza y distribución de los fenómenos de la superficie terrestre o de la atmósfera.” (Mather, 2004).

Por su parte, Elachi & Van Zyl, (2006) definieron a la teledetección como la adquisición de información de un determinado objeto sin tener un contacto físico. La información es adquirida detectando y midiendo los cambios que el objeto impone en el campo circundante, el cual puede ser electromagnético, acústico o potencial.

Por otro lado la International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) considera a la teledetección como el arte, ciencia y tecnología de obtención de información fiable acerca de objetos físicos y del medioambiente, a través de procesos de registro, medición e interpretación de imágenes y representaciones digitales de patrones de energía derivados de sensores a distancia.

García H. (2013) sugiere que la teledetección es “la ciencia y arte de obtener información acerca de la superficie de la Tierra sin entrar en contacto con ella. Esto se realiza detectando y grabando la energía emitida o reflejada y procesando, analizando y aplicando esa información”.

Las propiedades compartidas por todos los autores son:

-La información es adquirida a distancia, sin realizar contacto con el objeto.

-El proceso de adquisición de la información es realizada por sensores.

-Lo que se adquiere es radiación electromagnética.

-Se usan técnicas para transformar los datos recolectados en información útil.

Esto fue posible debido al desarrollo de las técnicas de procesamiento digital de las imágenes, lo que facilitó la obtención de datos significativos del territorio. Y por otro al acceso a la exhaustiva información digital provista por sensores, en su aspecto espacial, radiométrico, espectral y temporal.

Teledetección es el vocablo usado por los hispanoparlantes para referirse al término inglés “Remote Sensing”, que se traduce literalmente como Percepción Remota. Hace referencia a la ciencia, técnica o, incluso “arte” para algunos, de obtener información a distancia de la superficie de la Tierra a partir de imágenes. La teledetección incluye también todo el trabajo posterior realizado con esas imágenes, es decir, su procesamiento e interpretación.

La teledetección identifica un objeto o superficie analizando la información que recibe, que es una estimación de la realidad.

La teledetección se efectiviza mediante la captura de imágenes desde satélites o desde plataformas aéreas (aviones, helicópteros o vehículos aéreos no tripulados como los drones). Sin embargo, las ventajas que ofrece la observación espacial desde satélites, esto es, la cobertura global y exhaustiva y la observación multiescala, no destructiva y periódica de la superficie terrestre contribuyeron al desarrollo y al uso sistemático de este proceso.

En definitiva, la teledetección es una técnica de adquisición y tratamiento digital de imágenes (principalmente satelitales) con el objeto de recopilar datos para ser usados en el análisis de la superficie terrestre.

Se divide en dos partes:

-La adquisición de imágenes por medio de sensores situados a bordo de distintos tipos de plataformas aéreas o espaciales.

-El procesamiento (tratamiento) de las imágenes capturadas.

La teledetección identifica el objeto o la superficie, analizando la información recibida.

3.3 Concepto de imagen satelital.

Una imagen es una matriz de celdas formada por un número variable de columnas y filas. Cada celda representa un área geográfica indivisible, que determina el detalle espacial mínimo discernible dentro de la imagen. El valor digital correspondiente a cada celda es la expresión en energía recibida por el sensor que define a esa área geográfica. Tanto la dimensión del área geográfica que representa cada celda, como la cantidad diferente de valores que pueda contener, varía dependiendo del origen de la imagen.

Una imagen digital es una transformación (discretización) de una señal analógica de origen, y por lo tanto continua.

Desde el punto de vista del usuario final, una imagen digital es genéricamente una matriz bidimensional discretizada en niveles de grises con una expresión por celda. Cada celda de la matriz se denomina pixel. Cada pixel representa un valor de la radiación electromagnética total reflejada, por cada pixel en un instante dado. Su tamaño constituye la resolución espacial (espaciamiento muestral) de la imagen. En imágenes escaneadas se expresa en pixeles por pulgada.

3.4 Resoluciones de las imágenes satelitales.

Resolución es la capacidad que tiene un sistema sensor para discriminar la información en detalle.

Existen cuatro tipos de resoluciones:

a- Resolución espacial:

Se refiere al nivel de detalles visibles en una imagen. Cuanto menor es el área terrestre representada por cada pixel en una imagen digital, mayores son los detalles que pueden ser captados y mayor es la resolución espacial. También es la menor distancia angular o lineal que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra. Como el pixel representa la unidad mínima que conforma una imagen satelital, el tamaño de la superficie terrestre que representa, determina la resolución espacial de la imagen. La unidad de la resolución espacial es una distancia lineal (km, metro o cm).

Esta resolución depende fundamentalmente del sistema óptico del sensor y de la altitud de la plataforma. Pero en realidad son varios los factores que la determinan (distancia sensor-superficie terrestre, ángulo de visión). En los sensores espaciales todos estos factores son prácticamente fijos, por lo que la resolución espacial es considerada constante, a menos que el ángulo de visión sea demasiado grande. Por ejemplo, la resolución espacial del sensor del satélite Geoeye-1 es de 1,6 metros en visión vertical (nadir) pero en un ángulo de inclinación de 28° es de 2 metros (22% menos de resolución). Cuanto mayor es la resolución espacial menor superficie representa un pixel de la imagen, más pequeños son los objetos que se pueden distinguir en la superficie.

Para que un objeto homogéneo pueda ser detectado, su tamaño tiene que ser generalmente igual o más grande que la superficie de terreno que representa un pixel. Si el objeto es más pequeño no será detectado y el sensor hará un promedio de todo lo que haya dentro. No obstante, algunas veces se detectan objetos muy pequeños porque su reflectancia domina dentro de la superficie del pixel y puede ser detectado por contraste con su entorno.

Los sensores se clasifican según el tamaño del pixel en:
 Alta: 0,41 a 3,99 metros Media: 4 a 29,99 metros Baja: 30 a 1000 metros

b- Resolución espectral:

En primera instancia especifica el número de bandas espectrales en el que el sensor puede obtener radiación reflejada o emitida. Pero también es importante la posición y amplitud de las bandas en el espectro electromagnético. Por lo tanto está relacionado con el número y ancho de bandas del espectro electromagnético que discrimina y capta el sensor. Existen sensores multiespectrales e hiperespectrales. La presencia de dos o más bandas en un sensor permite trabajar con firmas espectrales de los objetos.

Los diferentes tipos de superficies tienen distintas respuestas a la radiación electromagnética. Es decir que se puede obtener una firma espectral específica para cada superficie. Cada una de ellas se puede identificar en base a su firma espectral.

Los sensores sólo muestrean el espectro electromagnético detectando la radiación en determinados intervalos de longitudes de onda. Por ejemplo, un sensor que es sensible a las longitudes de onda entre 0,4 y 0,5 μm detecta la luz azul.

Este intervalo es la banda espectral, o canal de los datos de una imagen.

A mayor número de bandas espectrales de una imagen mayor es el incremento en su resolución espectral, pero también se incrementa el volumen de datos y el tiempo de procesamiento de la imagen.

Según la cantidad de bandas la resolución espectral puede ser

Alta: ≥ 220 bandas Media: 3 a 15 bandas Baja: < 3 bandas

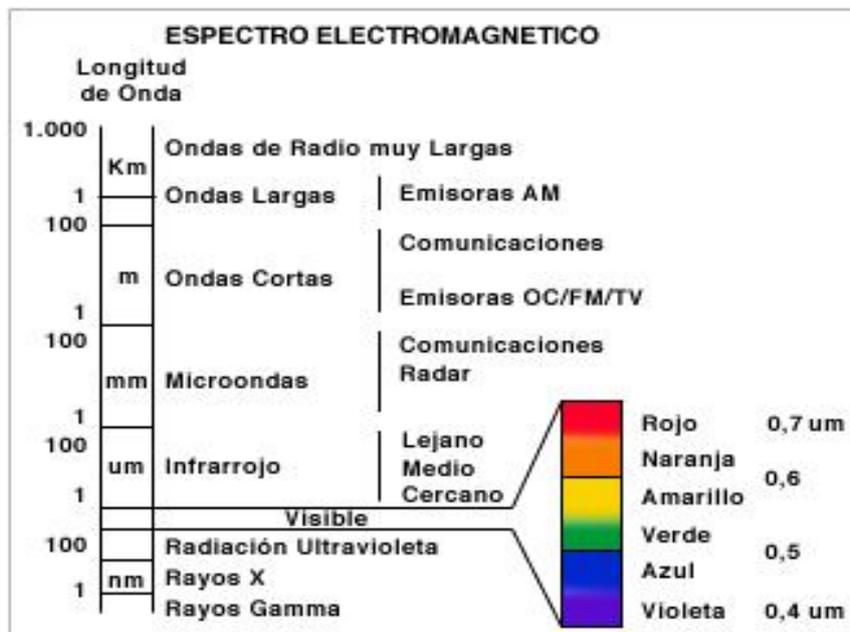


Fig. 10: Espectro electromagnético

Las tablas 2 y 3 muestran las bandas del espectro con su rango, sus usos y algunas de sus características.

BANDA	RANGO (um)	Aplicabilidad
Banda 1	0.45 – 0.52	Diseñada para mayor penetración en cuerpos de agua así como para apoyar características del uso de la tierra, diferencia entre suelo y vegetación. Cartografía de costas.
Banda 2	0.52 – 0.60	Medición del pico de máxima reflectancia de la vegetación en el color verde del rango visible y estimación de su vigor.
Banda 3	0.63 – 0.69	Enfatiza el contraste entre áreas con vegetación y sin ella así como los contrastes entre clases de vegetación, por absorción de clorofila.
Banda 4	0,76 – 0.90	Responde a las cantidades de biomasa presentes en una escena. Por tanto favorece la identificación de cultivos y los contrastes suelo-cultivo y tierra –agua.
Banda 5	1.55 – 1,75	Importante para la determinación de tipos de cultivos, contenido de humedad en el suelo y las plantas. Distingue nieve de nubes.
Banda 6	10.40 – 12.52	Contribuye a la clasificación de la vegetación, análisis del stress, discriminación de humedad en el suelo y el inventario de datos térmicos en la escena.
Banda 7	2.08 – 2.35	Importante en la identificación de formaciones rocosas.

Tabla 2: Rango y Aplicabilidad de bandas del Espectro

Región o Banda Espectral	Longitud de Onda (λ)	Características
Rayos Gamma	< 0,03 nm	Radiación completamente absorbida por las capas superiores de la atmósfera. No se utilizan en teledetección.
Rayos X	0,03 – 30 nm	
Ultravioleta (UV)	0,03 – 0,4 μm	La radiación con $\lambda < 0,3 \mu\text{m}$ es completamente absorbida por la capa de ozono de la atmósfera.
Visible (azul, verde, rojo)	0,4 – 0,5 μm (azul) 0,5 – 0,6 μm (verde) 0,6 – 0,7 μm (rojo)	Se puede detectar a través de fotodetectores y películas fotosensibles normales (color y B/N).
Infrarrojo (IR)	Infrarrojo reflejado 0,7 - 1,3 μm (IR cercano) 1,3 - 3,0 μm (IR medio)	Radiación solar reflejada que no contiene información acerca de las propiedades térmicas de los materiales. El rango 0,7 a 0,9 μm se puede detectar usando películas fotosensibles (infrarrojo fotográfico).
	Infrarrojo térmico 3,0 – 5,0 μm 8,0 – 14,0 μm	Corresponden a dos ventanas atmosféricas en la región térmica.
Radar (región de la microondas)	0,1- 100 cm.	Radiación de grandes longitudes de onda, capaces de penetrar nubes, nieblas y lluvia.
Ondas de Radio y TV	> 100 cm.	Radiación con las mayores longitudes de onda del espectro. Se utilizan en telecomunicaciones.

Tabla 3: Características de las bandas del Espectro

- Firma espectral.

La energía electromagnética al llegar a la superficie terrestre, interactúa con cada tipo de material, ya sea por reflexión, absorción o transmisión, según un patrón de respuesta espectral particular. Cada tipo de material tiene un comportamiento propio al que se lo denomina su firma espectral. Este comportamiento es aprovechado en procesos de clasificación de imágenes. Pero para su determinación consistente existen algunas dificultades tales como:

- La vegetación que tiene un comportamiento dinámico a causa de sus cambios estacionales. Lo que significa que su firma espectral cambia durante el año.
- Las condiciones de iluminación asociadas a la topografía (pendiente y orientación), la posición del sol durante el año (elevación y azimut), y la humedad y tipo de cobertura del suelo pueden provocar variaciones importantes en el patrón de respuesta espectral.

-En los sensores de baja resolución espacial (por ejemplo las imágenes LANDSAT TM de 30x30 metros), la información contenida en un pixel es el resultado de una mezcla espectral de varios tipos de materiales, por lo que el área cubierta por ese pixel puede estar compuesta por vegetación herbácea, vegetación arbórea, suelo desnudo y pavimento, todo lo cual queda registrado en un único nivel digital.

Entonces, firma espectral se la define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los rangos del espectro electromagnético. Una forma gráfica de estudiar este comportamiento es disponer los datos de reflectancia (%) en el eje Y, y la longitud de onda λ en el eje X. Al unir los puntos con una línea continua se origina una representación bidimensional de la firma espectral.

El ojo humano normal es capaz de percibir el patrón de respuesta espectral en el rango visible del espectro electromagnético ($\lambda = 0,4$ a $0,7 \mu\text{m}$), lo que se interpreta como el color característico del objeto observado. Fuera de los rangos del espectro visible, todos los materiales presentan respuestas espectrales características que se pueden detectar por medio de sensores.

c- Resolución radiométrica:

Es la capacidad de un sensor para detectar y registrar pequeños cambios de energía. Es decir, variaciones en la radiación espectral que recibe. Está relacionado con el número de niveles de reflectancia o emisividad que es capaz de cuantificar el sensor.

Estos niveles de energía son codificados digitalmente, por lo que la unidad utilizada es el número de bits usados por cada pixel.

Por esa razón se mide en cantidad o riqueza de grados de intensidad de niveles de grises.

La resolución radiométrica de los datos de teledetección es la cantidad mínima de energía requerida para incrementar el valor de un pixel en un nivel digital (ND). Un ND es el valor numérico discreto asignado por el sistema formador de imágenes a cada celda en respuesta a la irradiancia recibida sobre el plano focal del sensor. También se lo llama intensidad, nivel de gris, luminancia, valor de pixel, etc. Existe una relación lineal entre el ND grabado y la radiancia correspondiente a cada celda de terreno.

Por otra parte, la amplitud (o extensión) radiométrica es el intervalo dinámico, o máximo número de niveles digitales que pueden ser detectados por un sensor.

La resolución radiométrica fue aumentando de los 8 bits de las imágenes Landsat, pasando por resoluciones de 10, 11, 12 y hasta los 16 bits de las imágenes actuales de alta resolución.

Una imagen de 8 bits da por resultado 256 niveles de energía (2^8) que son captados por el sensor, es decir 0 a 255 niveles de grises.

En el caso de las imágenes de 16 bits, el rango va de 0 a 65535 ($2^{16} = 65536$ niveles de grises).

Cuanto mayor sea la resolución radiométrica mayor número de detalles podrán captarse en la imagen.

Sin embargo el ojo humano solo puede percibir unos 30 tonos de gris, lo que implica que la información visual en las imágenes digitales es menor a la que realmente contienen.

También es necesario tener en cuenta que los datos pueden ser PACKED o UNPACKED. En el primer caso se optimiza el almacenamiento de la información porque los datos ocupan 10 bits, un 25% más de un byte (8 bits). En el caso de los “unpacked”, cada pixel involucra 16 bits (2 bytes), aunque en realidad solo se utilizan 10. El problema con la opción “packed” es que no todos los programas pueden leerlo.

Aunque la resolución radiométrica define el máximo número de niveles digitales detectables por un sensor, una imagen real no los contiene a todos y además, no hay máximos y mínimos simultáneamente. En estos casos se aplican técnicas de tratamiento de imágenes para mejorar su apariencia visual, pero nunca la resolución radiométrica propia del sensor.

La dispersión y absorción que provoca la atmósfera en la radiación que alcanza el sensor reducen el número de ND en las imágenes, especialmente en las longitudes de onda más cortas, lo que visualmente representa una pérdida de contraste. Existen procedimientos que permiten obtener medidas de reflectancia relativas a los objetos de la superficie eliminando o reduciendo el efecto de la atmósfera.

d- Resolución temporal:

Especifica la frecuencia de visitas del sensor sobre una misma ubicación.

Es la periodicidad, o intervalo de tiempo entre dos adquisiciones de imágenes sucesivas de la misma zona de la superficie terrestre. Este ciclo de repetición, o frecuencia, al que habitualmente se lo denomina “período de visita”, no depende del sensor, sino de las características orbitales de la plataforma (satélite). La unidad de esta resolución es el día.

Los satélites meteorológicos son los que tienen mayor frecuencia. De un día o aún menor (12 horas). Mientras que en los de recursos naturales es de entre 15 y 20 días como el LANDSAT, muchos satélites actuales de alta resolución como SPOT, IKONOS y QUICKBIRD poseen sensores que pueden orientarse según diferentes ángulos que les permite registrar imágenes no sólo en el nadir sino también a través de enfoques laterales, frontales o traseros. De esta forma se logran períodos de visita mucho más cortos (2 o 3 días) que son de gran utilidad en el seguimiento de desastres naturales o para detectar procesos de poca perdurabilidad temporal.

La resolución temporal depende de 3 factores: capacidad de reorientación del sensor a ambos lados de la línea de paso del satélite, ancho de barrido y de la latitud, ya que en órbitas cuasi polares, a mayor latitud, menor periodo de visita.

La capacidad de captar imágenes de una misma zona en diferentes periodos de tiempo o épocas del año, es de gran utilidad para comparar imágenes multitemporales y detectar cambios sobre la superficie terrestre.

Según su periodicidad, la resolución temporal se clasifica en:

Alta: <24 horas a 3 días Media: 4 a 16 días Baja: >16 días

3.5 Tipos de imágenes.

El producto más común de los satélites de teledetección es la imagen digital tipo raster, donde cada pixel tiene asignado uno o varios valores numéricos (niveles digitales) que hacen referencia a la energía media recibida dentro de una determinada banda espectral.

Existen diferentes tipos de imágenes:

-Pancromática (PAN): también llamada Uniespectral por disponer de una sola banda que abarca gran parte del visible y el infrarrojo cercano. La imagen que se obtiene es en escala de grises. Sin embargo presenta la ventaja de tener mayor resolución espacial que las multiespectrales proporcionadas por el mismo satélite. La imagen pancromática es de mucha utilidad para la detección de pequeños elementos de la superficie terrestre que no son distinguibles en una imagen multiespectral.

-Multiespectral (MS): lleva asociado varios valores numéricos a cada pixel, tantos como bandas espectrales sea capaz de detectar el sensor. Permite identificar la firma espectral de los distintos elementos presentes en la imagen. Por ejemplo, el satélite IKONOS provee una imagen multiespectral con 4 bandas, que cubren las regiones espectrales azul, verde, rojo e infrarrojo cercano. A mayor número de bandas del sensor, mayor es la capacidad de análisis de los elementos presentes en la imagen.

-Hiperespectral: dispone de información en un gran número de bandas, con el objetivo de cubrir todo el espectro. Se las usa para estudios que requieren alta precisión, como la identificación y clasificación de elementos en mineralogía. Hasta el momento el único sensor hiperespectral es el Hyperion, a bordo del satélite EO-1 (Earth Observing) de la NASA, que puede captar 220 bandas.

-Fusionada (PS): se obtiene por medio de la fusión de una imagen multiespectral con una pancromática. La sigla PS significa pan-sharpened, su denominación en inglés. Básicamente, consiste en asignar a cada pixel de la imagen pancromática los valores procedentes de un algoritmo que combina la imagen pancromática con la multiespectral. El resultado final es una imagen multiespectral con la resolución espacial de la pancromática. El inconveniente de estas imágenes es que se modifica la información espectral original captada por los sensores a través de los algoritmos usados, por lo que en general se usan únicamente para la interpretación visual y no para análisis espectral.

-Estéreo: son dos imágenes de una misma zona tomadas con distintos ángulos de visión. Muchos satélites pueden reorientar el sensor para tomar, en una o en sucesivas pasadas, este tipo de imágenes. Se las emplea para la generación de modelos digitales de elevación.

3.6 Sensores Remotos.

Definición:

Como se explicó anteriormente, la Percepción Remota es la técnica para obtener información de un objeto o un proceso, por análisis de datos obtenidos mediante un instrumento que no está en contacto físico con los objetos. El tipo de datos susceptible de ser obtenido por percepción remota puede originarse en la distribución o cambios de diferentes fuerzas (gravedad, magnetismo), de ondas acústicas o de energía electromagnética.

El sensor remoto es el instrumento capaz de percibir esos datos. La visión, la audición y el olfato son sistemas de sensores remotos tanto del ser humano como de los animales.

A la percepción remota de energía electromagnética también se la llama teledetección. La luz visible, la emisión infrarroja y las microondas son algunas expresiones que forman parte del espectro electromagnético y se propagan a la velocidad de 300.000 kilómetros por segundo.

Clasificación:

Los sensores remotos se pueden clasificar en primera instancia según la altura de la plataforma que los sustentan, en:

- Terrestres: sobre la superficie de la Tierra.
- Aéreos: dentro de la atmósfera. Ejemplo: avión, dron (o drone, en inglés).
- Espaciales: fuera de la atmósfera. Ejemplo: satélites artificial

Con respecto a los satélites (sensores espaciales), se pueden clasificar según el tipo de órbita, en:

- GEO (Geo-stationary Earth Orbit): a partir de los 36.000 km
- MEO (Medium Earth Orbit): 1500 a 15.000 km
- LEO (Low Earth Orbit): 300 a 1500 km

Según el tipo de captación de energía en:

- Pasivos: detectan la radiación electromagnética emitida o reflejada de fuentes naturales.
- Activos: poseen fuentes internas que generan artificialmente la radiación (Radar, Lidar).

A continuación se describen los satélites de teledetección de alta resolución espacial, cuyas imágenes fueron adquiridas por YPF en diferentes momentos durante el avance de la aplicación de la presente metodología. En este caso se considera alta resolución espacial a píxeles de 10 metros y menores.

Spot

El programa francés SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre), aprobado en 1978, y desarrollado por el CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), en colaboración con Bélgica y Suecia está constituido hasta la actualidad por un total de 7 satélites de uso civil. El primer satélite de la serie (SPOT-1) fue lanzado el 22 de febrero de 1986.

El SPOT-4 fue lanzamiento el 24 de marzo de 1998 y SPOT-5 el 4 de mayo de 2002.

El inicio del programa SPOT representó un salto tecnológico trascendente para la observación de la Tierra al generar imágenes de una resolución espacial inédita en aquel momento para un satélite civil (10 metros/píxel).

Los satélites SPOT, que en la actualidad son operados por Airbus Defence and Space tienen en órbita al SPOT-6 desde el 9 de septiembre de 2012, y al SPOT-7 desde el 30 de junio de 2014.

Ambos disponen de sensores HRS para la adquisición simultánea de pares estereoscópicos. Y de imágenes:

- MS: imagen multiespectral de 4 bandas y 6 metros de resolución.
- PAN: imagen pancromática de 1,5 metros de resolución.

Ikonos

Primer satélite comercial en proporcionar imágenes de muy alta resolución espacial (1 metro en el canal pancromático y 4 metros en el multiespectral), lo que marcó un nuevo hito en la historia de la observación de la Tierra desde el espacio.

Comenzó a orbitar el 24 de septiembre de 1999.

Fue diseñado y construido por Lockheed Martin para su controlada Space Imaging. Esta compañía fue adquirida por Orbimage en 2006 y renombrada como GeoEye. En 2013 GeoEye fue adquirida por DigitalGlobe que pasó a operar el satélite hasta abril de 2015 cuando fue decomisado.

El sensor era de 4 bandas espectrales a una resolución de 4 m/pixel y una banda pancromática a 1 m/pixel. El ancho de barrido en la vertical es de 11,3 km, que permite un periodo de revisita de 3 a 5 días dependiendo del ángulo que se emplee para tomar las imágenes y de la latitud de la zona a la que se apunte.

Las características de las imágenes son exactamente iguales a las del satélite GEOEYE-1 en cuanto a los tipos (PAN, MS y PS).

QuickBird

Satélite comercial de muy alta resolución operado por DigitalGlobe.

Se puso en órbita el 18 de octubre de 2001.

Junto a los satélites WorldView-1 y WorldView-2 que también pertenecen a Digital Globe, conforman una constelación de satélites con una alta frecuencia de revisita.

Provee de imágenes con una resolución espacial máxima de 2,44 m/pixel en multiespectral y 0,61 m/pixel en pancromático.

Los tipos de imágenes que provee son:

-PAN: Imagen pancromática, de 0,61 a 0,85 m/pixel de resolución espacial.

-MS: Imagen multiespectral de 4 bandas y de 2,44 a 2,88 m/pixel de resolución espacial.

-PS: Fusión de las imágenes PAN y MS, que consigue una imagen de 3 ó 4 bandas con una resolución espacial igual a la de la imagen pancromática.

Con respecto al grado de procesado suministra 4 tipos de imágenes:

-Basic: Imagen corregida radiométricamente que incluye una depuración de las distorsiones del sensor. Va acompañado de la información necesaria para que el usuario pueda efectuar correcciones geométricas y de localización.

-Estándar: Imagen corregida radiométrica y geoméricamente, y proyectada sobre un plano teniendo en cuenta un sistema de referencia y un datum, pero no está ortorrectificada. Para esto se suministra la información necesaria para su ortorrectificación con el apoyo de un modelo de elevación del terreno.

-Ortho: Imagen ortorrectificada y proyectada en el sistema de coordenadas elegido por el usuario.

-Estéreo-imágenes: Dos imágenes de una misma zona tomadas desde distintos ángulos de visión y permiten la generación de modelos digitales del terreno.

GeoEye

Satélite comercial norteamericano de muy alta resolución lanzado el 6 de septiembre de 2008.

Es actualmente uno de los de mayor resolución espacial. El principal inversor y cliente del satélite es National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), y el segundo inversor y además cliente es Google, que tiene acceso directo a las imágenes con las que actualiza el website Google-Earth.

Los tipos de imágenes que provee son:

-PAN: Imagen pancromática de 0,5 metros de resolución espacial.

-MS: Imagen multiespectral (4 bandas), de 2 metros de resolución espacial.

-PS: Fusión de las imágenes PAN y MS, que consigue una imagen de 3 ó 4 bandas con una resolución espacial de 0,5 metros.

Según el grado de procesado se suministran los siguientes tipos de productos comerciales:

-Geo: Imagen corregida radiométricamente y proyectada en un sistema de coordenadas, pero que no está ortorrectificada, para lo cual se entrega junto con la imagen la información necesaria para poder ortorrectificarla con los programas estándar que manejen este tipo de imágenes.

-Geoprofessional: Imagen corregida radiométricamente y ortorrectificada.

-GeoStereo: Dos imágenes de una misma zona tomadas desde distintos ángulos de visión que permiten la elaboración de modelos digitales del terreno o la extracción de alturas de edificios.

WorldView

Satélite comercial norteamericano de muy alta resolución operado por la compañía DigitalGlobe. Su primer lanzamiento fue el 8 de octubre de 2009, y marcó un nuevo hito, al ser el primer satélite comercial capaz de captar 8 bandas espectrales con una resolución de 2 m/pixel.

WorldView-2 posee un sensor multiespectral con 8 bandas y 1,84 m/pixel de resolución espacial y uno pancromático de 0,46 m/pixel. Pero esas muy altas resoluciones no son permitidas por el gobierno de Estados Unidos.

Los tipos de imágenes que entrega son:

-PAN: Imagen pancromática de 0,5 m/pixel de resolución espacial.

-MS: Imagen multiespectral (de 4 u 8 bandas), de 2 m/pixel de resolución espacial.

PS: Fusión de las imágenes PAN y MS, que consigue una imagen de 3 ó 4 bandas con una resolución espacial de 0,5 m.

Según el grado de procesado, los tipos que provee son los mismos que las de Quickbird (Basic, Estándar y Ortho).

RapidEye

Constelación formada por 5 satélites comerciales propiedad de RapidEye AG, compañía alemana proveedora de información geoespacial. Los cinco satélites, llamados TACHYS (Rapid), MATI (Eye), CHOMA (Earth), CHOROS (Space) y TROCHIA (Orbit), están equipados con sensores idénticos y situados en el mismo plano orbital, lo que multiplica su capacidad de revisita y de captación de imágenes. Los 5 satélites fueron puestos en órbita el 29 de agosto de 2008. El ancho de barrido (77 km) y el trabajo conjunto de los 5 satélites clónicos permite una revisita diaria. El sensor proporciona 5 bandas espectrales. No disponen de sensor pancromático.

Dependiendo del grado de procesado provee estos tipos de imágenes:

-Nivel 1B: Imagen corregida radiométricamente y sin las distorsiones que se producen por el escaneado y la óptica del sensor. Se entrega con los correspondientes archivos RPC (Rational Polynomial Coefficient), y con los metadatos para que el usuario realice las correcciones geométricas necesarias.

-Nivel 3A: Imagen corregida y también ortorrectificada con un modelo de elevación del terreno y con puntos de control en el terreno. Se entregan con una resolución de 5 m/pixel y con las 5 bandas que registra el sensor.

SATELITE	RESOLUCIÓN		
	ESPACIAL		ESPECTRAL
	PAN	MS	BANDAS
SPOT	1,5	6	4
IKONOS	1	4	4
QUICKBIRD	0,61	2,44	4
GEOEYE	0,5	2	4
WORLDVIEW	0,5	2	4
RAPIDEYE	no	5	5

Tabla 4: Resoluciones de satélites

RadarSAT

Satélite canadiense de observación que puede operar de día y de noche y en cualquier condición atmosférica, como cobertura de nubes, lluvia, nieve, polvo, granizo, etc.

El primero fue puesto en órbita el 4 de noviembre de 1995.

El procesamiento e interpretación de sus imágenes requiere una metodología muy diferente de las imágenes que cubren las otras bandas del espectro.

Tiene siete modos de observación con diferentes resoluciones.

El Radarsat-1 usa un radar de apertura sintética (SAR) para realizar imágenes de la Tierra, con una sola frecuencia de microonda. Esto lo que lo convierte en un satélite activo, a diferencia de los satélites ópticos (pasivos), que reciben la radiación lumínica solar reflejada, los sistemas SAR transmiten energía de microondas hacia la superficie y registran las reflexiones.

Tiene 7 modos de haces ofreciendo diferentes resoluciones de imágenes:

-Fino: cubre área de 50 km x 50 km, y una resolución de 10 metros.

-Estándar: área de 100 km x 100 km, y resolución de 30 metros.

-Ancho ScanSAR: área de 500 km x 500 km y resolución de 100 metros.

Los Radarsat tiene la capacidad única de poder dirigir el haz en diferentes ángulos.

El Radarsat-2 fue lanzado el 14 de diciembre de 2007 y con una resolución de 3 metros.

3.7 Georreferenciación y Ortorrectificación de imágenes

a-Introducción

Si bien ambos términos, la mayoría de las veces, se usan como sinónimos, en realidad no lo son.

En esencia la georreferenciación es el procedimiento para vincular a la Tierra cualquier tipo de imagen raster, identificando puntos conocidos y asignándoles coordenadas de un sistema de referencia determinado.

Mientras que la orrorrectificación es la eliminación de la distorsión de la imagen raster que puede ser causada por diversos factores, tales como el escaneo, o las variaciones del relieve topográfico, y la inclinación del sensor del satélite con respecto al nadir (posición vertical), en caso de ser una imagen satelital.

En los softwares específicos para procesamiento de imágenes, y en los sistemas de información geográfica, ambos procedimientos son prácticamente simultáneos.

Las imágenes raster procedentes de escaneos, no están vinculadas a la Tierra, por lo tanto, no están georreferenciadas.

En cambio las imágenes procedentes de los satélites ya tienen un sistema de referencia, por lo que sólo requieren la ortorrectificación.

b- Definición de georreferenciación

Es la técnica para posicionar espacialmente a una entidad vectorial (puntos, líneas, polígonos, que representan objetos físicos), o raster (imágenes de mapas de píxeles), en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y marco de referencia geodésico (datum) específicos. La georreferenciación es un aspecto fundamental en el análisis de geodatos, porque es la base para la correcta localización de la información de mapa y, por ende, de la adecuada fusión y comparación de datos procedentes de diferentes sensores en distintas localizaciones espaciales y temporales. Por ejemplo, dos entidades georreferenciadas en sistemas de coordenadas diferentes pueden superponerse correctamente al aplicarle una adecuada transformación al sistema de coordenadas del primer objeto o al del segundo.

c- Definición de ortorrectificación

Es el procedimiento que permite corregir geoméricamente una imagen para eliminar las distorsiones producidas por el ángulo de toma de los satélites, y el relieve de la escena, lo que genera que cada pixel tenga distinta escala que los demás. Una imagen ortorrectificada es representada en una proyección ortogonal sin efectos de la perspectiva ni del relieve, lo que permite realizar mediciones con mayor precisión sobre la imagen.

El desplazamiento del terreno puede llegar a cientos de metros. Si un sensor satelital de alta resolución adquiere imágenes de un área con un kilómetro de relieve vertical y con un ángulo de elevación del sensor de 60° (30° del nadir) la imagen resultante tendrá un desplazamiento del terreno de 600 metros. Por esta razón se requieren altos ángulos de elevación del sensor cuando se adquieren imágenes de satélite de alta resolución sobre terreno accidentado.

Para eliminar las distorsiones de escala debido al relieve se usa un modelo digital de elevación (DEM) en el momento de la ortorrectificación de la imagen original. El DEM se puede generar en forma semiautomática con Erdas a partir de pares de imágenes en estéreo. Cuando no se dispone de imágenes estereoscópicas, existen DEMs de 30 metros de resolución que se pueden descargar por cuadrante de $1^\circ \times 1^\circ$ del website de ASTER DEM.

En el proceso de ortorrectificación con Erdas es imprescindible contar con el archivo de los parámetros de la imagen satelital (metadatos).

d- Métodos de georreferenciación

-Orbital: en la que se modelan las fuentes de error geométrico conocidas (curvatura terrestre, distorsión panorámica, rotación terrestre, etc.) y se aplican transformaciones inversas que corrigen de forma automatizada estos errores intrínsecos y sistemáticos. La ventaja de este método es que no necesita intervención humana una vez que es implementado. Pero puede dar lugar a grandes errores en las coordenadas de las imágenes si su sistema de posicionamiento no tiene la suficiente precisión. Aunque este problema disminuyó considerablemente con los precisos sistemas de navegación modernos.

-Por puntos de control: en la que a partir de un conjunto de puntos bien identificados en la imagen y de los que se conocen sus coordenadas se

calculan las funciones de transformación (lineales, cuadráticas) que mejor se ajustan a estos puntos. Para que esta georreferenciación resulte satisfactoria es necesario elegir apropiadamente la cantidad, ubicación y distribución de los puntos de control. Este método consiste en un proceso manual que requiere de intervención humana.

e- Métodos de transformación geométrica

La transformación geométrica va aparejada a la georreferenciación. Existen varios métodos, y para todos ellos se deben crear puntos de control (links), cuya cantidad depende de la complejidad de la transformación que se deba realizar. Más cantidad de puntos no implica una mejor calidad de registración. Lo recomendable es que los puntos de control que se creen estén lo más espaciados posibles y cubran la mayor superficie de la imagen, en vez de concentrarlos en un área reducida. Lo ideal es tener un punto en cada esquina y unos pocos puntos distribuidos por el interior.

Una vez creados los links se podrá transformar la imagen raster para que coincida permanentemente con las coordenadas de los datos utilizados como referencia. Los métodos de transformación disponibles son:

-Polinomio de cero orden (Zero order polinomial – shift)

Se aplica para imágenes previamente georreferenciadas que sólo necesitan un leve desplazamiento de alineación.

Es suficiente un solo punto de control para realizar esta transformación.

-Polinomio de primer orden (First order polinomial - affine)

Es el método por defecto (default) por ser el de uso habitual. Se lo utiliza para desplazar, escalar y rotar una imagen. Las líneas rectas que se observan en la imagen original se mantendrán de la misma forma luego de la transformación.

Si bien requiere un mínimo de 2 puntos de control para aplicarlo, que son los necesarios para darle dimensión, lo aconsejable es crear 3 puntos para que la ecuación matemática utilizada pueda ubicar cada punto de la imagen exactamente en la coordenada de destino, al efectuar la rotación necesaria.

Más de 3 puntos de control pueden inducir a errores que se distribuyen sobre todos los demás. No obstante, en la práctica, se deberían agregar siempre más de 3 dado que si uno de ellos estuviera mal posicionado, tendría un impacto negativo mucho mayor en la transformación. De modo que, si bien el error de la transformación matemática aumenta con la cantidad de puntos de control, la precisión general de la transformación también aumentará.

Cuanto más alto el orden polinómico de la transformación, más compleja es la distorsión a ser corregida. No obstante, transformaciones más altas que las de tercer orden son raramente necesarias. Este tipo de transformaciones requieren de mayor cantidad de puntos de control que demanda mayor tiempo de procesamiento.

Si la imagen necesita ser desplazada, escalada y/o rotada, se utiliza una transformación polinómica de primer orden (affine). Pero si la imagen necesita doblarse o curvarse, se debe utilizar las de segundo o tercer orden.

-Polinomio de segundo orden (Second order polinomial):

Se aplica para ajustar los puntos de control a una superficie irregular.

Requiere de un mínimo de 6 puntos de control.

-Polinomio de tercer orden (Third order polinomial):

Se utiliza para superficies muy irregulares y complejas.

Requiere de un mínimo de 10 puntos de control.

-Ajuste (Adjust):

Esta transformación optimiza tanto la precisión global como la local mediante la realización de una primera transformación polinómica. A continuación efectúa el ajuste de puntos de control localmente, para adaptarse mejor a los puntos de control de destino (map points), utilizando la técnica de interpolación de red irregular de triángulos (TIN).

Requiere de 3 puntos de control como mínimo.

-Spline:

Es un método de “rubber sheeting” (deformación de la imagen). Está optimizado para precisión local, pero no global. Transforma los puntos de control fuente, exactamente a la posición indicada. No garantiza que los píxeles que están a cierta distancia de los puntos de control mantengan la precisión. Es útil cuando los puntos de control son importantes y se necesita que su registración sea precisa. A mayor cantidad de puntos de control, mayor precisión de la transformación. Requiere un mínimo de 10 puntos de control.

-Proyectiva (Projective transformation):

Puede deformar las líneas paralelas. Es especialmente útil para imágenes oblicuas como las Landsat y Digital Globe, y para mapas escaneados.

Requiere un mínimo de 4 puntos de control. Cuando se utilizan solo 4 puntos de control, el error RMS será cero. Pero al agregar más puntos, el error irá aumentando levemente por arriba de cero.

-Interpretación del Error Medio Cuadrático RMS (Root Mean Square error):

Al aplicar los diferentes algoritmos a los puntos de control se va generando un error residual que es la diferencia entre el lugar donde quedó ubicado el punto luego de la transformación y la posición original que se había definido. El error total es la suma de los errores RMS individuales. Este valor indica la consistencia de la transformación entre los diferentes puntos de control. Cuando el error es alto se puede disminuirla removiendo o agregando puntos de control.

Aunque el error RMS es un buen indicativo de la precisión de la transformación, no se debe confundir un bajo error RMS con una registración precisa. Por ejemplo, la transformación aún podrá contener errores importantes debido a puntos de control pobremente ingresados. A mayor cantidad de puntos de igual calidad utilizados, con mayor precisión la polinomial podrá convertir los datos de entrada en coordenadas de salida. Típicamente las transformaciones de Ajuste y Spline producen un RMS cercano o igual a cero, lo que no significa que la imagen vaya a quedar perfectamente georreferenciada porque son funciones que se ajustan automáticamente a los puntos de control ingresados.

f- Métodos de remuestreo (resample)

La rectificación establece la correspondencia entre las coordenadas de los píxeles de la imagen y las coordenadas reales sobre el terreno de los objetos que estos píxeles representan. La imagen obtenida refleja más fielmente el terreno y corrige los errores geométricos que se producen durante la toma de la imagen.

El remuestreo permite determinar cuál es el valor de nivel digital de la imagen original que debe tomar cada pixel de la imagen georreferenciada, y se basa en métodos matemáticos de interpolación. Las más habituales son:

-Vecino más próximo (Nearest Neighbor): se asigna el nivel digital del pixel original con coordenadas más próximas a las del pixel georreferenciado. Es el

método más rápido y se lo aplica para remuestrear datos discretos, dado que conserva los valores originales. En el remuestreo puede haber píxeles originales que no son asociados a ningún pixel georreferenciado. Es usado cuando no se quiere perder el valor digital original de cada pixel (clasificaciones digitales)

-Interpolación bilinear (Bilinear Interpolation): calcula el valor del pixel georreferenciado como una media ponderada de los 4 vecinos más próximos en la imagen original. Es útil para magnitudes continuas.

Lleva asociado intrínsecamente un suavizado de los datos originales en la imagen georreferenciada.

-Convolución cúbica (Cubic Convolution): se le asigna al pixel georreferenciado su valor en la curva que mejor ajusta los 16 vecinos originales más próximos. Es apropiado para magnitudes continuas, aunque pueden aparecer valores fuera del rango del raster original. Este método es usado para mejorar la calidad visual de la imagen.

-Por mayoría (Majority): el pixel georreferenciado toma el valor que más se repite en una ventana en torno a su vecino más próximo en la imagen original.

-Lanczos: en la asignación del valor en el pixel georreferenciado emplea el filtro de convolución de Lanczos. Es útil cuando se requiere la conservación local del contraste de la imagen y cuando en el remuestreo es necesario que los datos no sufran suavizado.

3.8 Procesamiento de imágenes

Es un conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información.

-Reflectancia: relación entre la energía que llega del objeto y la que sale. A mayor radiación electromagnética tendrá el pixel y más claro aparecerá en la imagen obtenida. Cuanto mayor es el número de bandas del sensor, mayor capacidad para discriminar información.

-Preprocesamiento: Los datos primarios obtenidos por el sensor se corrigen mediante un pretratamiento que consiste en la corrección de efectos atmosféricos, errores de instrumentales, etc. a través de transformaciones radiométricas y geométricas.

Las correcciones radiométricas sirven para hacer más interpretables las imágenes para el operador o para normalizar las mediciones a un patrón radiométrico. Se llevan a cabo a través de operaciones pixel a pixel (como el realce de histogramas) u operadores espaciales a través de la aplicación de filtros digitales (eliminación de ruidos, realce de bordes, etc.)

También existen técnicas de extracción de información, como por ejemplo la clasificación espectral de imágenes: Las imágenes se clasifican en áreas homogéneas que equivalen a una determinada propiedad de la cobertura del suelo. Es una partición de sectores de la imagen mediante métodos matemáticos y/o estadísticos, realizada automáticamente en forma total o parcial, por el sistema informático, interpretando la imagen a través de los algoritmos que selecciona el usuario de acuerdo a su necesidad.

-Aplicaciones: Las imágenes clasificadas proporcionan diversas características de la superficie estudiada. Directa o indirectamente, permiten evaluar y caracterizar un área según su cobertura vegetal, tipos de cultivo, áreas y grado de afectación por daños por granizo, incendios o inundaciones, grados de erosión del suelo, grados de desertificación, localización e intensidad de plagas

agrícolas, seguimiento y monitoreo de cultivos y rendimientos, ingeniería forestal (zonas de deforestación, identificación de especies), geología (mapas estructurales), hidrología (reconocimiento de zonas inundadas y humedad del suelo), masas de hielo (tipos, concentración y movimiento de los hielos), uso de la tierra (mapas de biomasa), océanos y litorales (características, color, detección de mareas negras).

3.9 Técnicas de clasificación de imágenes

Es un conjunto de métodos automáticos que se agrupan en dos técnicas:

a- Clasificaciones Supervisadas

En estas clasificaciones se requiere de la participación activa del analista que debe interactuar proveyendo al software con datos de campo para que los patrones de cada cobertura sean reconocidos y sean aplicados al resto de la imagen satelital. Las muestras del reconocimiento de campo son volcadas al sistema a partir de la definición de unas áreas de entrenamiento (training areas) de las cuales se conoce de antemano la cobertura del suelo.

b- Clasificaciones no Supervisadas

Estas clasificaciones tienen relación con el valor relacionado con el color, el tono o el cluster (grupo o agrupamientos), para identificar entidades. El analista debe validar el resultado de la clasificación después de realizada. En las clasificaciones supervisadas el operador puede influir en el proceso mientras se desarrolla y controla. En las no supervisadas el operador prácticamente no ejerce influencia, a excepción de seleccionar el algoritmo de clasificación a utilizar y de determinar la cantidad de clases a obtener.

Por norma general se debe llevar a cabo varias veces el mismo proceso para obtener diferentes resultados hasta obtener un resultado final que se considera válido.

Ambos procesos de clasificación se pueden hacer tanto con una sola banda (en este caso se lo denomina density slicing), o usando varias bandas (multi spectral classification).

METODOLOGÍA

Consiste en los siguientes siete pasos:

1- Recopilación de puntos trigonométricos

Este proceso se dividió en dos partes.

- Puntos trigonométricos históricos medidos por YPF

Estaban descriptos en las fojas de un bibliorato que mantenía actualizado el sector de Topografía y Geodesia dependiente de la Gerencia de Geofísica. Ese sector ya no existe más, y actualmente el bibliorato se encuentra archivado en el Depósito de Avellaneda. No obstante, todos los datos de los puntos trigonométricos contenidos en ese documento analógico fueron transcritos a formato digital en un archivo Excel. El total de puntos recuperados es de 2213 y su tabla de atributos contiene, además de su Denominación, sus coordenadas Gauss Kruger, su Cota en algunos casos, su Sistema Geodésico original, la Provincia, la institución de Procedencia, ya que no todos son de YPF, y finalmente algunas Observaciones de interés.

Se muestra una vista del Excel original conteniendo los puntos trigonométricos:

DENOMINACION	X GAUSS KRUGER	Y GAUSS KRUGER	COTA	SISTEMA GEODESICO	PROVINCIA	PROCEDENCIA	AÑO	OBSERVACIONES
BALZA POZOS	4273108,81	3293971,78			SANTA CRUZ	SERVICIO DE HIDROGRAFIA NAVAL	1990	
C G 6-6	7233266,00	3322283,00	3484,00	INCHAUSPE	SALTA	GEOD Y TOP-S CENTRAL	1983	Puntos expeditivos - A
L 590	6297248,97	3322729,48					1976	
CO del Pozo	6646142,74	3322744,20		Inchauspe	San Juan	Comision Top Cuyo	1972	PROVISORIOS
C G 6-8	7293202,00	3325371,00	3486,00	INCHAUSPE	SALTA	GEOD Y TOP-S CENTRAL	1983	Puntos expeditivos - A
BALDE PADERE	6454662,09	3325706,75		INCHAUSPE	San Luis-La	IGM	1965	
Pozo Aquadita	6640246,74	3326160,82		Inchauspe	San Juan	Comision Top Cuyo	1972	PROVISORIOS
Mogote Amargo	6640993,09	3328988,86		Inchauspe	San Juan	Comision Top Cuyo	1972	PROVISORIOS
L 597	6303205,51	3330283,68					1976	
L 592	6291040,60	3330736,96					1976	
L 592	6291040,55	3330738,96					1976	
2-I-304 MED DE LA	6295545,39	3331459,63					1976	
CO Mogote de las Y	6613900,80	3337382,90		Inchauspe	San Juan	Comision Top Cuyo	1972	PROVISORIOS
L 654	6292062,23	3338271,76					1976	
L 655	6298252,65	3338379,88					1976	
LOMAS BAYAS	5793700,36	3342027,49		QUIÑI HUAO	LA PAMPA	GRUPO TOP NEUQUEN		III ORDEN

Tabla 5: Denominación y coordenadas de puntos trigonométricos

A partir del archivo Excel se generó una capa de datos en formato GIS (shapefile) que fue aprovechada para el paso siguiente de esta metodología.

- Puntos de la red Posgar del IGN

Todos los puntos de la red Posgar 2007 están disponibles para descargarlos en diversos formatos desde la página del IGN.

-La red Posgar 94 se puede descargar en Excel, Ozi Explorer, Google Earth, MapSource y Shapefile, desde este sitio:

<http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Posgar94/Red>).

-La red Posgar 2007 está disponible por provincia, en iguales formatos que los mencionados anteriormente, y el link es:

<http://www.ign.gob.ar/category/tem%C3%A1tica/geodesia/posgar-07>

También están disponibles al público los puntos de redes provinciales, de la densificación Posgar 2007 y de la red PASMA (Proyecto de Asistencia al Sector Minero Argentino).

2- Densificación de puntos

Consistió en el diseño de la geometría y materialización en el terreno de puntos medidos con GPS diferencial en los 3 sistemas que coexisten en las cuencas de estudio. Por lo que todos los puntos disponen de 3 pares de coordenadas, y a partir de ellas se obtuvieron los desplazamientos para cada punto y el promedio general de la cada cuenca.

El trabajo estuvo a cargo de la empresa contratista topo-geodésica Energicon que ejecutó las tareas en dos campañas sucesivas. Iniciando en la cuenca Golfo San Jorge en octubre 2000 y concluyendo en la cuenca Neuquina en abril 2001.

Teniendo en cuenta que las áreas de YPF de cada cuenca se encuentran en una gran extensión y no están uniformemente distribuidas, ambas densificaciones fueron planificadas como Redes Básicas, por lo que no todas las áreas contienen un punto de la red, por no justificarse económicamente en esta etapa del trabajo, pero que a los fines prácticos y de cumplir con los objetivos previstos, se contempló que todas las áreas operadas por YPF tengan puntos cercanos y de fácil acceso, lo que facilitó la ejecución de futuras densificaciones, cumplimentando con la resolución 309/93 y sus modificaciones posteriores, de la Secretaría de Energía de la Nación.

Para los diseños de ambas redes se usaron la mayor cantidad de mojones preexistentes, tanto de la Red de Nivelación del IGM, como de las redes nacionales de los sistemas Posgar y Campo Inchauspe en las dos cuencas, y

de Chos Malal – Quiñi-Huao (red local de la cuenca Neuquina), y Pampa del Castillo (red local de la cuenca Golfo San Jorge), a efectos de determinar:

- un marco de referencia planimétrico en los 3 sistemas de cada cuenca.
- un marco de referencia altimétrico para cada cuenca.
- los parámetros de transformación (geocéntrica y planimétrica) entre los 3 sistemas antes mencionados.
- la separación geode-elipsoide en cada cuenca.

Chos Malal, Pampa del Castillo y Campo Inchauspe son sistemas con origen en una determinación astronómica, y los tres con el elipsoide Internacional 1924 asociado.

Elipsoide Hayford 1909 – Internacional 1924

Semieje mayor $a = 6378388$

Semieje menor $b = 6356911,946$

Inversa aplanamiento $1/f = 297,000$

Segunda excentricidad $e^2 = 0,006788670$

Posgar 94 es un sistema geocéntrico con el elipsoide WGS84 asociado

Elipsoide WGS 84

Semieje mayor $a = 6378137$

Semieje menor $b = 6356752,314$

Inversa aplanamiento $1/f = 298,2572236$

Segunda excentricidad $e^2 = 0,006694380$

Posgar 2007 es un sistema geocéntrico con el elipsoide GRS 80 asociado

Elipsoide GRS 80

Semieje mayor $a = 6378137$

Semieje menor $b = 6356752,314$

Inversa aplanamiento $1/f = 298,257222101$

Segunda excentricidad $e^2 = 0,006694380$

- En la cuenca Golfo San Jorge

La medición de la que se denominó Red de Apoyo GPS Golfo San Jorge consistió en 31 vectores con 22 vértices, 20 de los cuales eran puntos preexistentes, y con el objeto de conformar una geometría homogénea y con puntos de fácil acceso, se construyeron los vértices PR01 y PR02. De acá en adelante la red será mencionada como Red YPF CGSJ.

Las mediciones fueron realizadas en método estático durante los 19 días que duró la campaña.

El tiempo de observación simultánea fue siempre mayor a una hora.

Las mediciones fueron planificadas consultando previamente la siguiente cartografía del IGM:

-Cartas a escala 1:250.000: Sarmiento, Escalante, El Pluma y Colonia Las Heras.

-Cartas-Imagen a escala 1:250.000: Sarmiento, Rada Tilly, Comodoro Rivadavia, El Pluma, Caleta Olivia y Bahía Lángara.

-Cartas a escala 1:100.000: Estancia La Nueva Oriental, Estancia Las Catalinas, Estancia Pampa el Castillo, Escalante y Estación km 162.

Y las siguientes cartas de triangulación de YPF: Sarmiento, Comodoro Rivadavia, Caleta Olivia y El Pluma.

A fin de evaluar la consistencia de la Red, se realizó un primer ajuste libre fijando el punto MCRV (Mareógrafo de Comodoro Rivadavia), que resultó consistente ya que muestra residuales de muy pocos centímetros para los vectores, y un error medio cuadrático de la unidad de peso de 1,016, para errores asumidos a priori de 20 mm + 2 ppm en las componentes planimétricas y 20 mm +/- 3 ppm en la componente altimétrica.

El total de ajustes fue de 7. Tres en Posgar fijando 3 puntos. Uno en Campo Inchauspe fijando 3 puntos. Y dos en Pampa del Castillo fijando 1 y 4 puntos respectivamente.

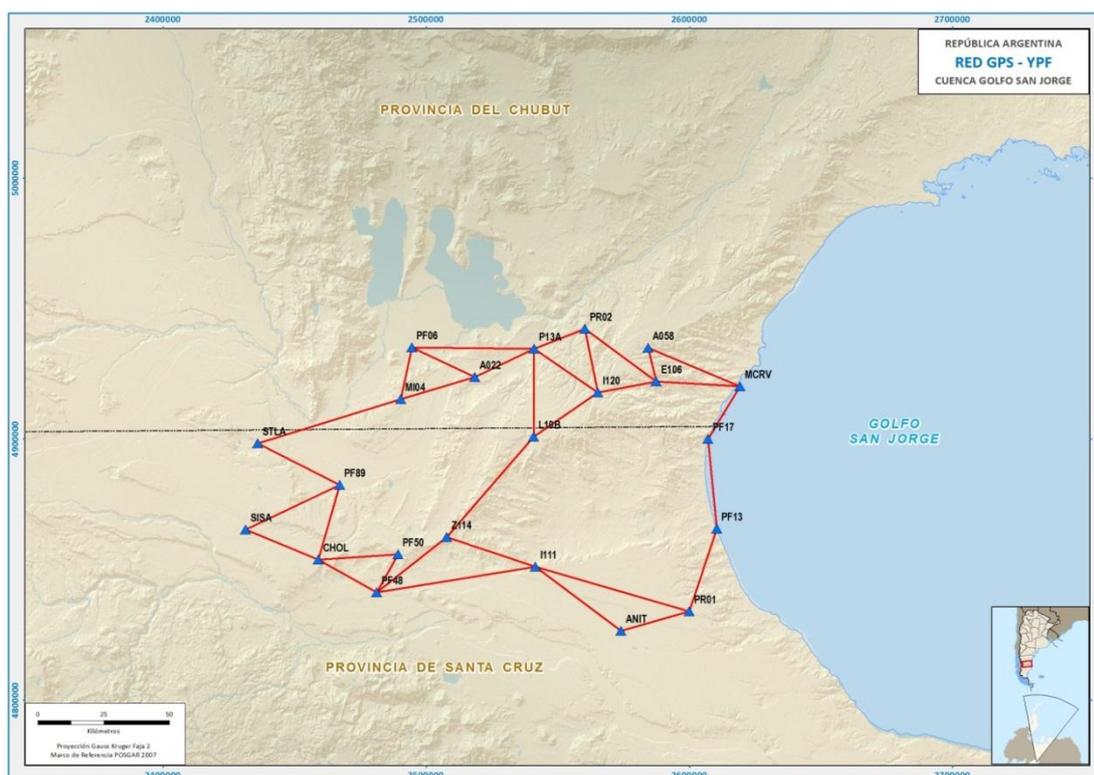


Fig. 11: Vectores y Vértices de la densificación de Posgar 94 en la CGSJ (fuente: elaboración propia)

Id. GPS	DENOMINACION	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PLANAS GAUSS-KRÜGER		COTA
		LATITUD	LONGITUD	X	Y	
A058	Y.P.F. A 58	-45° 43' 59,15674"	-67° 54' 58,12358"	4.935.201.21	2.584.365.54	698.31
E106	Y.P.F. E 106	-45° 50' 55,22323"	-67° 52' 26,28022"	4.922.309.77	2.587.467.66	678.84
MCRV	Comodoro Rivadavia	-45° 51' 38,52752"	-67° 27' 54,29418"	4.920.443.46	2.619.203.01	7.53
PF17	P.F. 17 N(340)	-46° 02' 37,61694"	-67° 36' 56,16489"	4.900.307.29	2.607.160.11	22.58
ANIT	Campo La Anita	-46° 42' 30,50091"	-68° 01' 52,58313"	4.826.894.97	2.574.080.55	290.24
PR01	Playa de Tanques YPF Cañadón León	-46° 38' 19,71378"	-67° 41' 38,08373"	4.834.266.36	2.600.007.46	307.16
PF13	P.F. 13 N(340)	-46° 21' 11,01375"	-67° 33' 55,08607"	4.865.859.89	2.610.432.12	7.39
I120	Holdich	-45° 53' 19,82840"	-68° 09' 34,84480"	4.918.118.28	2.565.227.23	750.94
PR02	Casco Establecimiento Gacela S.A.	-45° 40' 11,92858"	-68° 13' 29,66856"	4.942.496.02	2.560.399.92	435.41
P13A	P.F. 13 N(237)	-45° 44' 22,90904"	-68° 28' 19,63248"	4.934.903.76	2.541.084.55	333.11
A022	Y.P.F. A 22	-45° 50' 16,75881"	-68° 45' 38,48246"	4.924.086.26	2.518.592.67	451.49
PF06	P.F. 6 N(217)	-45° 44' 14,04948"	-69° 04' 07,27348"	4.935.310.55	2.494.653.90	279.00
MI04	Los Pozos	-45° 54' 53,27950"	-69° 07' 27,63800"	4.915.588.82	2.490.352.69	538.31
I111	Campo Mc Donald	-46° 29' 27,36840"	-68° 27' 32,86880"	4.851.391.53	2.541.527.38	361.24
PF48	P.F. 48 N(218)	-46° 34' 49,70103"	-69° 14' 37,36732"	4.841.551.42	2.481.318.70	318.06
Z114	Y.P.F. Z 114	-46° 23' 27,35347"	-68° 53' 49,69552"	4.862.645.37	2.507.912.13	659.49
PF50	P.F. 50 N(217)	-46° 26' 58,87997"	-69° 08' 18,08980"	4.856.109.55	2.489.368.97	527.27
CHOL	Ea. La Cholita	-46° 27' 58,98939"	-69° 31' 58,36382"	4.854.124.75	2.459.067.75	602.41
PF89	Y.P.F. P.F. 89	-46° 12' 34,12409"	-69° 25' 29,06746"	4.882.733.23	2.467.221.03	427.72
SISA	Pampa Sissac	-46° 21' 37,26508"	-69° 53' 25,74312"	4.865.664.43	2.431.466.25	582.01
STLA	La Estela	-46° 03' 52,43098"	-69° 49' 32,80095"	4.898.597.73	2.436.104.05	487.20
L10B	Lote 10 B	-46° 02' 33,43190"	-68° 28' 17,78450"	4.901.232.79	2.540.901.54	720.38

Tabla 6: Coordenadas en Campo Inchauspe de puntos de la red densificada en la CGSJ (fuente: Informe Energicon)

Id. GPS	DENOMINACION	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PLANAS GAUSS-KRÜGER		COTA
		LATITUD	LONGITUD	X	Y	
A058	Y.P.F. A 58	-45° 44' 03,14670"	-67° 54' 52,18380"	4.935.076.28	2.584.492.29	698.31
E106	Y.P.F. E 106	-45° 50' 59,20557"	-67° 52' 20,32390"	4.922.185.00	2.587.594.44	678.84
MCRV	Comodoro Rivadavia	-45° 51' 42,48385"	-67° 27' 48,32689"	4.920.318.84	2.619.329.39	7.53
PF17	P.F. 17 N(340)	-46° 02' 41,57319"	-67° 36' 50,18298"	4.900.182.90	2.607.286.61	22.58
ANIT	Campo La Anita	-46° 42' 34,44770"	-68° 01' 46,54640"	4.826.771.52	2.574.207.28	290.24
PR01	Playa de Tanques YPF Cañadón León	-46° 38' 23,64558"	-67° 41' 32,04064"	4.834.142.81	2.600.133.97	307.16
PF13	P.F. 13 N(340)	-46° 21' 14,95245"	-67° 33' 49,06858"	4.865.735.94	2.610.558.58	7.39
I120	Holdich	-45° 53' 23,82567"	-68° 09' 28,89009"	4.917.993.51	2.565.354.32	750.94
PR02	Casco Establecimiento Gacela S.A.	-45° 40' 15,93889"	-68° 13' 23,74333"	4.942.370.97	2.560.526.98	435.41
P13A	P.F. 13 N(237)	-45° 44' 26,93136"	-68° 28' 13,70706"	4.934.778.73	2.541.211.83	333.11
A022	Y.P.F. A 22	-45° 50' 20,79432"	-68° 45' 32,55521"	4.923.961.28	2.518.720.22	451.49
PF06	P.F. 6 N(217)	-45° 44' 18,10712"	-69° 04' 01,36855"	4.935.185.38	2.494.781.67	279.00
MI04	Los Pozos	-45° 54' 57,33348"	-69° 07' 21,71421"	4.915.443.85	2.490.480.55	538.31
I111	Campo Mc Donald	-46° 29' 31,35064"	-68° 27' 28,85939"	4.851.267.68	2.541.654.70	361.24
PF48	P.F. 48 N(218)	-46° 34' 53,73016"	-69° 14' 31,35606"	4.841.427.40	2.481.447.07	318.06
Z114	Y.P.F. Z 114	-46° 23' 31,36945"	-68° 53' 43,70406"	4.862.521.20	2.508.039.98	659.49
PF50	P.F. 50 N(217)	-46° 27' 02,90845"	-69° 08' 12,08977"	4.855.985.38	2.489.497.25	527.27
CHOL	Ea. La Cholita	-46° 28' 03,04070"	-69° 31' 52,37100"	4.854.000.51	2.459.196.46	602.41
PF89	Y.P.F. P.F. 89	-46° 12' 38,18023"	-69° 25' 23,10495"	4.882.808.67	2.467.349.52	427.72
SISA	Pampa Sissac	-46° 21' 41,34143"	-69° 53' 19,77634"	4.865.540.00	2.431.595.22	582.01
STLA	La Estela	-46° 03' 56,51695"	-69° 49' 26,87330"	4.898.472.89	2.436.232.76	487.20
L10B	Lote 10 B	-46° 02' 37,44168"	-68° 28' 11,82150"	4.901.108.13	2.541.028.93	720.38

Tabla 7: Coordenadas en Pampa del Castillo de puntos de la red densificada en la CGSJ (fuente: Informe Energon)

Id. GPS	DENOMINACION	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		ALTURA ELIPSOIDICA	PLANAS GAUSS-KRÜGER		COTA
		LATITUD	LONGITUD		X	Y	
A058	Y.P.F. A 58	-45° 43' 58,43302"	-67° 55' 02,02629"	712.874	4.934.997.55	2.584.277.52	698.31
E106	Y.P.F. E 106	-45° 50' 54,61395"	-67° 52' 30,18684"	693.178	4.922.106.14	2.587.379.60	678.84
MCRV	Comodoro Rivadavia	-45° 51' 37,83620"	-67° 27' 58,14250"	21.022	4.920.239.76	2.619.114.84	7.53
PF17	P.F. 17 N(340)	-46° 02' 36,93889"	-67° 37' 00,05221"	35.837	4.900.103.69	2.607.071.89	22.58
ANIT	Campo La Anita	-46° 42' 29,87675"	-68° 01' 56,59608"	303.357	4.828.691.74	2.573.992.07	290.24
PR01	Playa de Tanques YPF Cañadón León	-46° 38' 19,09710"	-67° 41' 42,03869"	319.777	4.834.062.99	2.599.918.97	307.16
PF13	P.F. 13 N(340)	-46° 21' 10,37145"	-67° 33' 58,99456"	20.111	4.865.656.39	2.610.343.75	7.39
I120	Holdich	-45° 53' 19,11129"	-68° 09' 38,79607"	765.724	4.917.914.74	2.565.139.23	750.94
PR02	Casco Establecimiento Gacela S.A.	-45° 40' 11,18529"	-68° 13' 33,61248"	460.721	4.942.292.42	2.560.311.96	435.41
P13A	P.F. 13 N(237)	-45° 44' 22,16318"	-68° 28' 23,62072"	348.792	4.934.700.22	2.540.996.56	333.11
A022	Y.P.F. A 22	-45° 50' 16,01151"	-68° 45' 42,52286"	467.265	4.923.882.81	2.518.504.68	451.49
PF06	P.F. 6 N(217)	-45° 44' 13,27782"	-69° 04' 11,35040"	295.179	4.935.107.15	2.494.565.98	279.00
MI04	Los Pozos	-45° 54' 52,52508"	-69° 07' 31,74015"	554.408	4.915.365.47	2.490.264.70	538.31
I111	Campo Mc Donald	-46° 29' 26,69983"	-68° 27' 36,92761"	375.574	4.851.188.38	2.541.439.02	361.24
PF48	P.F. 48 N(218)	-46° 34' 49,01006"	-69° 14' 41,54799"	333.669	4.841.348.43	2.481.230.49	318.06
Z114	Y.P.F. Z 114	-46° 23' 26,65700"	-68° 53' 53,80703"	674.759	4.862.442.23	2.507.823.94	659.49
PF50	P.F. 50 N(217)	-46° 26' 58,17957"	-69° 08' 22,24237"	543.036	4.855.906.48	2.489.280.80	527.27
CHOL	Ea. La Cholita	-46° 27' 58,27331"	-69° 32' 02,57529"	618.666	4.853.921.78	2.458.979.66	602.41
PF89	Y.P.F. P.F. 89	-46° 12' 33,38558"	-69° 25' 33,23881"	444.145	4.882.530.14	2.467.133.02	427.72
SISA	Pampa Sissac	-46° 21' 36,52112"	-69° 53' 29,99614"	598.988	4.865.461.53	2.431.378.27	582.01
STLA	La Estela	-46° 03' 51,65940"	-69° 49' 37,01620"	504.416	4.898.394.68	2.436.016.19	487.20
L10B	Lote 10 B	-46° 02' 32,71880"	-68° 28' 21,79690"	735.491	4.901.029.35	2.540.813.45	720.38

Tabla 8: Coordenadas en Posgar 94 de puntos de la red densificada en la CGSJ (fuente: Informe Energon)

- En la cuenca Neuquina

En esta cuenca se midieron 62 vectores con 47 vértices, de los que 39 eran preexistentes, y para conformar la geometría de la Red, se construyeron 8 mojoneros que se denominaron YPF1, YPF2, YPF3, YPF4, YPF5, YPF6, YPF7 y YPF8, constituyendo así la que se denominó Marco de Referencia Posgar-Campo Inchauspe-Chos Malal en las provincias del Neuquén y Mendoza. Pero para simplificar, se la denominará de acá en adelante Red YPF CN.

Previo a las mediciones, y con el objeto de planificarlas, se consultó la siguiente cartografía del IGM a escala 1:250.000:

Malargüe, Embalse el Nihuil, Barrancas, Agua Escondida, Chos Malal, Catriel, Zapala, Neuquén, Gobernador Duval, Picún Leufú y General Roca.

Y estas cartas de triangulación de YPF: Malargüe, San Rafael, Chos Malal, Colonia 25 de Mayo, Zapala y Neuquén.

La campaña se dividió en dos etapas. En la primera de ellas que duró 45 días se midieron 51 vectores, se vinculó el extremo norte de la Red al punto Nihuil con 5 puntos Posgar uniformemente distribuidos. Se vinculó la Red al punto

Bardas Blancas por ser este el punto Campo Inchauspe más al norte existente en la zona. Y finalmente, se la vinculación a los puntos Base Chos Malal Extremo Norte, Costa Neuquén, Chihuido Sur y Barracas Limay.

En la segunda etapa, de 34 días se completaron los 11 vectores restantes. Dando como resultado de estas mediciones una red geodésica conformada por 62 vectores homogénea y consistentemente apoyada.

El tiempo de observación simultánea para vectores menores a 40 km fue siempre mayor a una hora, y en vectores mayores a 40 km fue como mínimo de una hora y media.

Para evaluar la consistencia de la Red se efectuó un primer ajuste libre fijando el punto Bordo de la Tordilla (BLTO), obteniéndose un ajuste consistente con residuos de muy pocos centímetros para los vectores, y un error medio cuadrático de la unidad de peso de 0,993, para errores asumidos a priori de 20 mm + 2 ppm en las componentes planimétricas, y de 30 mm +/- 3 ppm en la componente altimétrica.

Además se realizaron otros 5 ajustes. Uno en Posgar, uno en Campo Inchauspe, y 3 en Chos Malal (con 7, 1 y 4 puntos planimétricos fijos respectivamente).

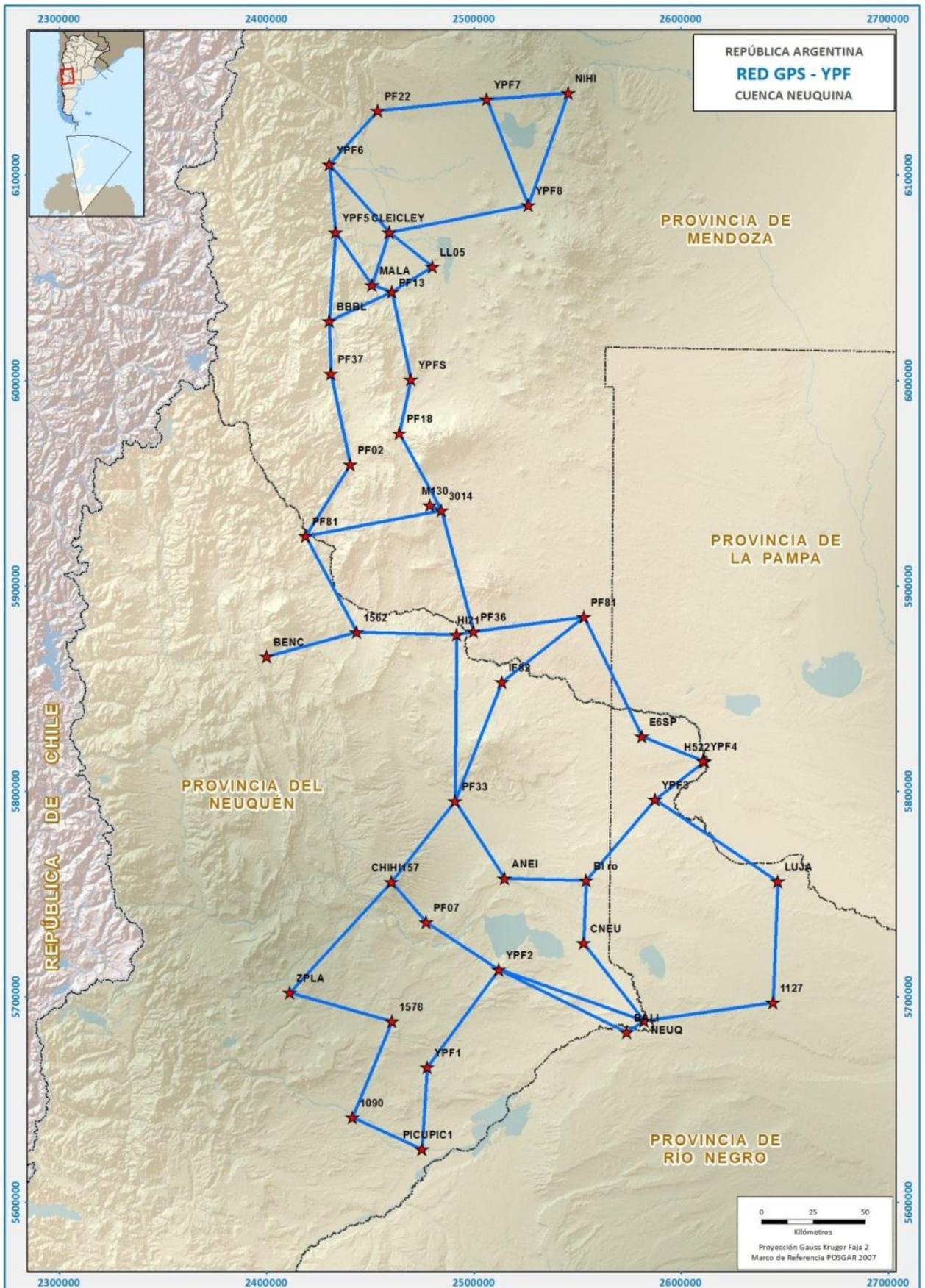


Fig. 12: Vectores y Vértices de la densificación de Posgar en la CN (fuente: elaboración propia)

Id. GPS	DENOMINACION	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PLANAS GAUSS-KRÜGER		COTA
		LATITUD	LONGITUD	X	Y	
ZPLA	ZAPL Posgar Zapala	-38° 49' 41.35424"	-70° 01' 22.29675"	5.702.292,18	2.411.174,35	1.031,96
I578	1I-II-578 El Abra del Portezuelo	-38° 57' 25.70930"	-69° 27' 18.27300"	5.688.371,09	2.460.552,79	909,07
CHIH	1-I-7 Co. Chihuido del Sur	-38° 20' 49.68300"	-69° 27' 19.44620"	5.756.089,49	2.460.188,35	1.295,56
PF07	PF7 n(38A)	-38° 31' 27.24972"	-69° 15' 45.72071"	5.736.495,25	2.477.090,57	641,30
YPF2	YPF2	-38° 43' 58.32159"	-68° 51' 38.76132"	5.713.358,31	2.512.107,03	832,31
PICU	Catastro Neuquén Picún Leufú	-39° 31' 08.14562"	-69° 17' 23.30435"	5.626.058,01	2.475.078,36	390,52
1090	1I-III-1090 Limay CTRO	-39° 22' 43.51830"	-69° 40' 42.58170"	5.641.441,66	2.441.536,16	591,66
YPF1	YPF1	-39° 09' 31.73500"	-69° 15' 30.09280"	5.666.048,02	2.477.668,37	616,90
PF33	PF33 n(351)	-37° 59' 39.01217"	-69° 06' 11.16686"	5.795.362,62	2.490.943,18	273,34
ANEL	1H-II-518 Añelo	-38° 19' 52.05570"	-68° 49' 42.15100"	5.757.950,64	2.515.006,87	496,29
BLTO	TRDL Posgar Bordo de la Tordilla (2-I-235)	-38° 20' 19.46160"	-68° 22' 40.63370"	5.756.936,38	2.554.386,26	689,08
IF82	Y.P.F. IF82	-37° 28' 12.79690"	-68° 50' 45.44527"	5.853.511,84	2.513.627,35	743,59
HI21	1H-I-21 Puesto Hernández	-37° 15' 49.57720"	-69° 05' 36.42400"	5.876.432,26	2.491.710,21	814,06
YPF3	YPF3	-37° 58' 52.78976"	-68° 00' 16.88956"	5.796.325,29	2.587.452,41	310,56
H522	2H-II-522 Mesilla Punta Barda	-37° 48' 41.15070"	-67° 44' 08.28090"	5.814.898,01	2.611.343,41	411,30
YPF4	YPF4	-37° 48' 35.95444"	-67° 44' 35.30010"	5.815.067,17	2.610.684,61	412,84
E6SP	Esq. Nro. 6 Señal Picada	-37° 42' 18.50379"	-68° 04' 40.84453"	5.827.048,86	2.581.308,12	473,02
LUJA	Puesto Luján	-38° 20' 03.46797"	-67° 19' 24.44408"	5.756.282,18	2.646.595,40	300,02
II27	2I-II-27 Puesto Giles	-38° 51' 52.31270"	-67° 20' 10.82420"	5.697.435,16	2.644.402,14	304,36
NEUQ	Nodal 62	-38° 57' 08.78756"	-68° 03' 11.05854"	5.688.564,92	2.582.088,34	269,14
PIC1	PICU Posgar Picún Leufú	-39° 31' 07.73375"	-69° 17' 24.39301"	5.626.070,64	2.475.052,30	390,31
PF81	Nodal 81	-37° 10' 59.27070"	-68° 24' 00.87338"	5.885.217,75	2.553.259,75	798,85
I562	1H-II-562 Filo Morado	-37° 14' 58.21200"	-69° 38' 14.81880"	5.877.829,46	2.443.442,64	912,33
PF36	P.F. 36 N(150)	-37° 14' 58.82268"	-69° 00' 04.48141"	5.878.001,06	2.499.889,57	711,47
PF80	P.F. 80 N (149)	-36° 49' 39.73669"	-69° 54' 35.24549"	5.924.445,35	2.418.831,12	1.145,27
M130	Y.P.F. M130	-36° 41' 46.49552"	-69° 14' 08.21084"	5.939.394,23	2.478.943,51	1.787,38
3014	1H-IV-3014 Aguada de los Ciegos (Doppler)	-36° 43' 08.28670"	-69° 10' 24.37864"	5.936.884,76	2.484.504,62	1.536,48
PF02	P.F. 2 n54a	-36° 30' 57.56862"	-69° 39' 51.15854"	5.959.218,63	2.440.501,83	1.090,79
PF37	P.F. 37 N(149)	-36° 06' 55.58844"	-69° 46' 00.50288"	6.003.599,69	2.430.959,12	1.400,99
YPF5	YPF5	-35° 29' 47.73202"	-69° 44' 05.15795"	6.072.290,15	2.433.328,76	1.730,20
YPF6	YPF6	-35° 11' 57.17311"	-69° 45' 52.39197"	6.105.264,55	2.430.371,14	1.697,57
PF18	P.F. 18 n(54)	-36° 22' 42.72432"	-69° 23' 58.87252"	5.974.603,27	2.464.134,08	2.215,45
PF22	P.F. 22 N(254)	-34° 57' 50.59010"	-69° 30' 25.72293"	6.131.504,87	2.453.681,15	1.632,31
YPF7	YPF7	-34° 54' 51.63351"	-68° 55' 53.85943"	6.137.135,15	2.506.248,38	1.324,06
YDFS	Y.P.F.S.	-36° 08' 37.36967"	-69° 20' 12.39495"	6.000.682,19	2.469.688,79	1.715,87
LL05	Y.P.F. LL=5	-35° 38' 54.05599"	-69° 13' 12.95856"	6.055.678,04	2.480.051,28	1.338,88
PF13	P.F. 13 N(148)	-35° 45' 29.86887"	-69° 26' 09.97784"	6.043.413,24	2.460.557,67	1.496,57
CLEI	Mojón del I.G.M. en Cerro León	-35° 29' 49.49162"	-69° 26' 55.25917"	6.072.391,58	2.459.287,86	1.392,20
CLEY	Mojón del Y.P.F. en Cerro León	-35° 29' 49.46413"	-69° 26' 55.47406"	6.072.392,42	2.459.282,43	1.392,67
YPF8	YPF8	-35° 22' 44.44350"	-68° 42' 34.45984"	6.085.545,35	2.526.390,99	1.486,44
MALA	MALR Posgar Malargue	-35° 43' 38.10847"	-69° 32' 29.35072"	6.046.810,40	2.451.007,63	1.737,68
BBBL	1-I-259 Base Ext. S.E. Bardas Blancas	-35° 53' 07.08400"	-69° 46' 13.53490"	6.029.134,59	2.430.431,33	1.404,76
BENC	1-I-166 Base Ext. Norte Chos Malal	-37° 21' 15.17358"	-70° 07' 40.78810"	5.865.801,39	2.400.056,63	1.253,44
I157	1-I-157 Chihuido Sur	-38° 20' 49.62373"	-69° 27' 19.30718"	5.756.091,32	2.460.191,72	1.295,63
BALI	2I-III-10 Barrancas Limay	-39° 00' 13.95938"	-68° 08' 50.02024"	5.682.935,02	2.573.872,46	327,79
CNEU	2I-I-509 Costa Neuquén	-38° 36' 48.23209"	-68° 23' 29.97053"	5.726.454,54	2.552.986,60	407,43
NIHL	NIHL Posgar Nihuil	-34° 53' 12.93666"	-68° 30' 07.34809"	6.140.065,69	2.545.522,40	1.075,27

Tabla 9: Coordenadas en Campo Inchauspe de puntos de la red densificada en la CN (fuente: informe Energicon)

Id. GPS	DENOMINACION	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PLANAS GAUSS-KRÜGER		COTA
		LATITUD	LONGITUD	X	Y	
ZPLA	ZAPL Posgar Zapala	-38° 49' 42.95598"	-70° 01' 29.09184"	5.702.240,94	2.411.010,99	1.031,96
I578	1I-II-578 El Abra del Portezuelo	-38° 57' 27.33090"	-69° 27' 25.04596"	5.688.320,26	2.460.389,95	909,07
CHIH	1-I-7 Co. Chihuido del Sur	-38° 20' 51.28915"	-69° 27' 26.19798"	5.756.039,15	2.460.024,64	1.295,56
PF07	PF7 n(38A)	-38° 31' 28.86272"	-69° 15' 52.47111"	5.736.445,05	2.476.927,19	641,30
YPF2	YPF2	-38° 43' 59.94378"	-68° 51' 45.50092"	5.713.308,55	2.511.944,16	832,31
PICU	Catastro Neuquén Picún Leufú	-39° 31' 09.77015"	-69° 17' 30.09775"	5.626.007,40	2.474.916,24	390,52
1090	1I-III-1090 Limay CTRO	-39° 22' 45.12771"	-69° 40' 49.38553"	5.641.390,79	2.441.373,69	591,66
YPF1	YPF1	-39° 09' 33.35332"	-69° 15' 36.86862"	5.665.997,65	2.477.505,83	616,90
PF33	PF33 n(351)	-37° 59' 40.62736"	-69° 06' 17.87197"	5.795.312,63	2.490.779,63	273,34
ANEL	1H-II-518 Añelo	-38° 19' 53.68494"	-68° 49' 48.85992"	5.757.900,71	2.514.843,82	496,29
BLTO	TRDL Posgar Bordo de la Tordilla (2-I-235)	-38° 20' 21.09021"	-68° 22' 47.31793"	5.756.887,26	2.554.223,59	689,08
IF82	Y.P.F. IF82	-37° 28' 14.40160"	-68° 50' 52.07760"	5.853.462,64	2.513.464,28	743,59
HI21	1H-I-21 Puesto Hernández	-37° 15' 51.20853"	-69° 05' 43.11869"	5.876.381,80	2.491.545,30	814,06
YPF3	YPF3	-37° 58' 54.41479"	-68° 00' 23.35781"	5.796.276,93	2.587.289,14	310,56
H522	2H-II-522 Mesilla Punta Barda	-37° 48' 42.77996"	-67° 44' 14.93159"	5.814.849,98	2.611.180,04	411,30
YPF4	YPF4	-37° 48' 37.58349"	-67° 44' 41.95103"	5.815.019,11	2.610.521,23	412,84
E6SP	Esq. Nro. 6 Señal Picada	-37° 42' 20.12765"	-68° 04' 47.50080"	5.827.000,40	2.581.144,58	473,02
LUJA	Puesto Luján	-38° 20' 05.10752"	-67° 19' 31.10406"	5.756.234,55	2.646.432,71	300,02
II27	2I-II-27 Puesto Giles	-38° 51' 53.95140"	-67° 20' 17.51536"	5.897.387,57	2.644.239,88	304,36
NEUQ	Nodal 62	-38° 57' 10.43041"	-68° 03' 17.77840"	5.888.515,95	2.581.926,01	289,14
PIC1	PICU Posgar Picún Leufú	-39° 31' 09.35828"	-69° 17' 31.18642"	5.626.020,02	2.474.890,19	390,31
PF81	Nodal 81	-37° 11' 00.89075"	-68° 24' 07.50800"	5.885.168,85	2.553.095,77	798,85
I562	1H-II-562 Filo Morado	-37° 14' 59.83432"	-69° 38' 21.57790"	5.877.778,32	2.443.276,39	912,33
PF36	P.F. 36 N(150)	-37° 15' 00.45549"	-69° 00' 11.17098"	5.877.950,73	2.499.724,69	711,47
PF80	P.F. 80 N (149)	-36° 49' 41.32292"	-69° 54' 41.97392"	5.924.394,87	2.418.664,82	1.145,27
M130	Y.P.F.M130	-36° 41' 48.09692"	-69° 14' 14.89108"	5.939.344,47	2.478.777,80	1.787,38
3014	1H-IV-3014 Aguada de los Ciegos (Doppler)	-36° 43' 09.89041"	-69° 10' 31.05712"	5.938.835,03	2.484.338,97	1.536,48
PF02	P.F. 2 n54a	-36° 30' 59.14426"	-69° 39' 57.85306"	5.959.168,92	2.440.335,60	1.090,79
PF37	P.F. 37 N(149)	-36° 06' 57.13894"	-69° 46' 07.17277"	6.003.550,56	2.430.792,69	1.400,99
YPF5	YPF5	-35° 29' 49.26995"	-69° 44' 11.79750"	6.072.241,50	2.433.161,76	1.730,20
YPF6	YPF6	-35° 11' 58.70383"	-69° 45' 59.01974"	6.105.216,08	2.430.203,83	1.697,57
PF18	P.F. 18 n(54)	-36° 22' 44.30719"	-69° 24' 05.54285"	5.974.553,78	2.463.968,03	2.215,45
PF22	P.F. 22 N(254)	-34° 57' 52.12311"	-69° 30' 32.32970"	6.131.456,77	2.453.513,78	1.632,31
YPF7	YPF7	-34° 54' 53.18217"	-68° 56' 00.44001"	6.137.087,55	2.506.081,28	1.324,06
YF8	Y.P.F.S.	-36° 08' 38.94643"	-69° 20' 19.05108"	6.000.633,02	2.469.522,55	1.715,87
LL05	Y.P.F. LL=5	-35° 38' 55.61362"	-69° 13' 19.58327"	6.055.629,66	2.479.884,74	1.338,88
PF13	P.F. 13 N(148)	-35° 45' 31.42074"	-69° 26' 16.61564"	6.043.364,67	2.460.391,12	1.496,57
CLEI	Mojón del I.G.M. en Cerro León	-35° 29' 51.03845"	-69° 27' 01.88665"	6.072.343,15	2.459.121,02	1.392,20
CLEY	Mojón del Y.P.F en Cerro León	-35° 29' 51.01096"	-69° 27' 02.10151"	6.072.343,98	2.459.115,60	1.392,67
YPF8	YPF8	-35° 22' 46.00900"	-68° 42' 41.05080"	6.085.497,58	2.526.224,49	1.486,44
MALA	MALR Posgar Malargue	-35° 43' 39.65676"	-69° 32' 35.99170"	6.046.761,75	2.450.841,00	1.737,88
BBBL	1-I-259 Base Ext. S.E. Bardas Blancas	-35° 53' 08.62277"	-69° 46' 20.18980"	6.029.085,84	2.430.264,78	1.404,76
BENC	1-I-166 Base Ext. Norte Chos Malal	-37° 21' 16.80000"	-70° 07' 47.59300"	5.865.749,25	2.399.889,74	1.253,44
I157	1-I-157 Chihuido Sur	-38° 20' 51.22980"	-69° 27' 26.05900"	5.756.041,00	2.460.028,00	1.295,63
BALI	2I-III-10 Barrancas Limay	-39° 00' 15.60090"	-68° 08' 56.74730"	5.682.885,90	2.573.710,10	327,79
CNEU	2I-I-509 Costa Neuquén	-38° 36' 49.86398"	-68° 23' 36.67440"	5.726.405,29	2.552.824,08	407,43
NIHL	NIHL Posgar Nihuil	-34° 53' 14.49689"	-68° 30' 13.90953"	6.140.018,45	2.545.355,54	1.075,27

Tabla 10: Coordenadas en Chos Malal de puntos de la red densificada en la CN (fuente: Informe Energon)

Id. GPS	DENOMINACION	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		ALTURA ELIPSOIDICA	PLANAS GAUSS-KRÜGER		COTA
		LATITUD	LONGITUD		X	Y	
ZPLA	ZAPL Posgar Zapala	-38° 49' 39.90240"	-70° 01' 26.18220"	1.054,43	5.702.085,64	2.411.084,12	1.031,96
I578	1I-II-578 El Abra del Portezuelo	-38° 57' 24.27969"	-69° 27' 22.07614"	929,99	5.688.164,81	2.460.462,77	909,07
CHIH	1-I-7 Co. Chihuido del Sur	-38° 20' 48.19927"	-69° 27' 23.23993"	1.317,40	5.755.883,04	2.460.097,78	1.295,56
PF07	PF7 n(38A)	-38° 31' 25.78197"	-69° 15' 49.49194"	662,44	5.736.289,04	2.477.000,12	641,30
YPF2	YPF2	-38° 43' 56.87110"	-68° 51' 42.47636"	852,25	5.713.152,61	2.512.016,81	832,31
PICU	Catastro Neuquén Picún Leufú	-39° 31' 06.75374"	-69° 17' 27.09529"	410,25	5.625.852,50	2.474.988,78	390,52
1090	1I-III-1090 Limay CTRO	-39° 22' 42.10513"	-69° 40' 46.42378"	612,51	5.641.235,97	2.441.446,51	591,66
YPF1	YPF1	-39° 09' 30.31168"	-69° 15' 33.86961"	637,11	5.665.842,38	2.477.578,58	616,90
PF33	PF33 n(351)	-37° 59' 37.49966"	-69° 06' 14.89649"	294,79	5.795.156,32	2.490.852,53	273,34
ANEL	1H-II-518 Añelo	-38° 19' 50.58000"	-68° 49' 45.84954"	516,69	5.757.744,52	2.514.916,45	496,29
BLTO	TRDL Posgar Bordo de la Tordilla (2-I-235)	-38° 20' 17.98330"	-68° 22' 44.26220"	708,48	5.756.730,81	2.554.296,01	689,08
IF82	Y.P.F. IF82	-37° 28' 11.23767"	-68° 50' 49.12489"	765,32	5.853.305,69	2.513.536,39	743,59
HI21	1H-21 Puesto Hernández	-37° 15' 47.99959"	-69° 05' 40.12642"	837,35	5.876.225,81	2.491.619,31	814,06
YPF3	YPF3	-37° 58' 51.27490"	-68° 00' 20.27716"	329,63	5.796.120,11	2.587.361,45	310,56
H522	2H-II-522 Mesilla Punta Barda	-37° 48' 39.62481"	-67° 44' 11.83020"	429,97	5.814.692,91	2.611.252,25	411,30
YPF4	YPF4	-37° 48' 34.42822"	-67° 44' 38.85047"	431,54	5.814.862,06	2.610.593,44	412,84
E6SP	Esq. Nro. 6 Señal Picada	-37° 42' 16.96603"	-68° 04' 44.43482"	492,65	5.826.843,49	2.581.217,02	473,02
LUJA	Puesto Luján	-38° 20' 01.98826"	-67° 19' 27.95106"	317,01	5.756.108,10	2.646.505,03	300,02
LI27	2I-II-27 Puesto Giles	-38° 51' 50.87267"	-67° 20' 14.35072"	320,65	5.697.231,01	2.644.311,43	304,36
NEUQ	Nodal 62	-38° 57' 07.36606"	-68° 03' 14.67239"	286,97	5.688.359,80	2.581.998,10	269,14
PIC1	PICU Posgar Picún Leufú	-39° 31' 06.34160"	-69° 17' 28.18330"	410,03	5.625.865,13	2.474.962,75	390,31
PF81	Nodal 81	-37° 10' 57.69087"	-68° 24' 04.48612"	820,01	5.885.011,82	2.553.168,56	798,85
I562	1H-II-562 Filo Morado	-37° 14' 56.61447"	-69° 38' 18.61532"	937,16	5.877.623,08	2.443.351,26	912,33
PF36	P.F. 36 N(150)	-37° 14' 57.24495"	-69° 00' 08.17133"	734,56	5.877.794,69	2.499.798,62	711,47
PF80	P.F. 80 N (149)	-36° 49' 38.08335"	-69° 54' 39.04559"	1.171,66	5.924.239,21	2.418.740,05	1.145,27
M130	Y.P.F.M130	-36° 41' 44.84782"	-69° 14' 11.91199"	1.812,21	5.939.188,18	2.478.852,45	1.787,38
3014	1H-IV-3014 Aguada de los Ciegos (Doppler)	-36° 43' 06.64197"	-69° 10' 28.07261"	1.561,12	5.936.678,74	2.484.413,55	1.536,48
PF02	P.F. 2 n54a	-36° 30' 55.88357"	-69° 39' 54.90923"	1.117,13	5.959.012,78	2.440.410,80	1.090,79
PF37	P.F. 37 N(149)	-36° 06' 53.85603"	-69° 46' 04.24458"	1.428,48	6.003.394,05	2.430.868,18	1.400,99
YPF5	YPF5	-35° 29' 45.95133"	-69° 44' 08.87691"	1.758,51	6.072.084,30	2.433.237,56	1.730,20
YPF6	YPF6	-35° 11' 55.36887"	-69° 45' 56.10648"	1.726,35	6.105.058,56	2.430.279,81	1.697,57
PF18	P.F. 18 n(54)	-36° 22' 41.03942"	-69° 24' 02.58146"	2.241,30	5.974.397,29	2.464.043,02	2.215,45
PF22	P.F. 22 N(254)	-34° 57' 48.77224"	-69° 30' 29.39762"	1.660,57	6.131.298,90	2.453.589,68	1.632,31
YPF7	YPF7	-34° 54' 49.82235"	-68° 55' 57.45707"	1.351,01	6.136.929,39	2.506.156,80	1.324,06
YF5	Y.P.F.S.	-36° 08' 35.66303"	-69° 20' 16.08827"	1.741,99	6.000.476,27	2.469.597,62	1.715,87
LL05	Y.P.F. LL=5	-35° 38' 52.29772"	-69° 13' 16.61770"	1.365,69	6.055.472,40	2.479.960,00	1.338,88
PF13	P.F. 13 N(148)	-35° 45' 28.11350"	-69° 26' 13.66637"	1.523,85	6.043.207,64	2.460.466,51	1.496,57
CLEI	Mojón del I.G.M. en Cerro León	-35° 29' 47.71652"	-69° 26' 58.94251"	1.419,79	6.072.185,82	2.459.196,56	1.392,20
CLEY	Mojón del Y.P.F en Cerro León	-35° 29' 47.68897"	-69° 26' 59.15734"	1.420,26	6.072.186,66	2.459.191,14	1.392,67
YPF8	YPF8	-35° 22' 42.67317"	-68° 42' 38.04053"	1.512,16	6.085.339,80	2.526.299,61	1.486,44
MALA	MALR Posgar Malargue	-35° 43' 36.34880"	-69° 32' 33.05190"	1.765,25	6.046.604,71	2.450.916,49	1.737,68
BBBL	1-I-259 Base Ext. S.E. Bardas Blancas	-35° 53' 05.32641"	-69° 46' 17.26620"	1.432,65	6.028.929,10	2.430.340,39	1.404,76
BENC	1-I-166 Base Ext. Norte Chos Malal	-37° 21' 13.57527"	-70° 07' 44.65159"	1.279,32	5.865.594,86	2.399.965,40	1.253,44
I157	1-I-157 Chihuido Sur	-38° 20' 48.14000"	-68° 27' 23.10091"	1.317,47	5.755.884,88	2.460.101,15	1.295,63
BALI	2I-III-10 Barrancas Limay	-39° 00' 12.54113"	-68° 08' 53.64868"	345,77	5.682.729,83	2.573.782,23	327,79
CNEU	2I-I-509 Costa Neuquén	-38° 36' 46.77692"	-68° 23' 33.61271"	426,50	5.726.249,06	2.552.896,41	407,43
NIHL	NIHL Posgar Nihuil	-34° 53' 11.13110"	-68° 30' 10.88720"	1.101,16	6.139.860,06	2.545.430,81	1.075,27

Tabla 11: Coordenadas en Posgar 94 de puntos de la red densificada en la CN (fuente: Informe Energicon)

3- Cálculo de desplazamientos geocéntricos y planimétricos

Usualmente la transformación de un sistema a otro se realiza desde sus coordenadas planas Gauss Kruger, o desde sus coordenadas cartesianas geocéntricas, razón por la cual se recopilaban y se calcularon parámetros de transformación para ambos tipos de coordenadas.

Los parámetros de transformación se agruparon en:

-Parámetros en coordenadas planas Gauss Kruger

En este grupo, el IGM determinó oportunamente estos valores entre Campo Inchauspe y Pampa del Castillo:

$\Delta x = +126$ metros

$\Delta y = -128$ metros

Y estos otros entre Campo Inchauspe y Chos Malal (Quiñi-Huao):

$\Delta x = +52,5$ metros

$\Delta y = +158,5$ metros

-Parámetros en coordenadas cartesianas geocéntricas

En 1991 la DMA (Defense Mapping Agency) publicó fórmulas de regresión múltiple para la transformación entre Campo Inchauspe 69 y WGS 84 con un desvío estándar de +/- 2 metros.

También publicó los siguientes 3 parámetros promedio de traslación del origen de Campo Inchauspe a WGS 84:

$\Delta x = -148$ metros

$\Delta y = +136$ metros

$\Delta z = +90$ metros

A los que se le asigna una incertidumbre de 5 metros.

- En la cuenca Golfo San Jorge

Se efectuó entre los 3 sistemas de la cuenca y permitió obtener un promedio general.

Los parámetros de transformación en coordenadas planas y en coordenadas cartesianas geocéntricas se determinaron como diferencias en el siguiente orden:

Posgar menos Campo Inchauspe

Posgar menos Pampa del Castillo

Campo Inchauspe menos Pampa del Castillo

A los valores obtenidos se los denominaron:

de Campo Inchauspe a Posgar

de Pampa del Castillo a Posgar

de Pampa del Castillo a Campo Inchauspe

-Parámetros en coordenadas planas

Para determinarlos se tomaron las coordenadas geodésicas compensadas en los 3 sistemas, se transformaron a coordenadas planas y se confeccionaron las tablas denominadas: Constantes entre sistemas de coordenadas planas y Constantes entre sistemas de coordenadas cartesianas.

Los valores promedios obtenidos y sus desvíos son:

de Campo Inchauspe a Posgar

$\Delta x = -203,34$ metros +/- 0,25 metros

$\Delta y = -88,12$ metros +/- 0,18 metros

de Pampa del Castillo a Posgar

$\Delta x = -78,85$ metros +/- 0,46 metros

$\Delta y = -215,61$ metros +/- 0,75 metros

de Pampa del Castillo a Campo Inchauspe

$\Delta x = +124,48$ metros +/- 0,50 metros

$\Delta y = -127,49$ metros +/- 0,82 metros

Id. GPS	INCHAUSPE		PAMPA DEL CASTILLO		POSGAR 94		DELTA INCH-PDC		DELTA POSGAR 94-INCH		DELTA POSGAR 94-PDC	
	X	Y	X	Y	X	Y	DX	DY	DX	DY	DX	DY
A058	4.935,201.21	2.584,365.54	4.935,076.28	2.584,492.29	4.934,997.55	2.584,277.52	124.93	-126.75	-203.66	-88.02	-78.73	-214.77
E106	4.922,309.77	2.587,467.66	4.922,185.00	2.587,594.44	4.922,106.14	2.587,379.60	124.77	-126.78	-203.63	-88.06	-78.86	-214.84
MCRV	4.920,443.46	2.619,203.01	4.920,318.84	2.619,329.39	4.920,239.76	2.619,114.84	124.62	-126.38	-203.70	-88.17	-79.08	-214.55
PF17	4.900,307.29	2.607,160.11	4.900,182.90	2.607,286.61	4.900,103.69	2.607,071.89	124.39	-126.50	-203.60	-88.22	-79.21	-214.72
ANIT	4.826,894.97	2.574,080.55	4.826,771.52	2.574,207.28	4.826,691.74	2.573,992.07	123.45	-126.73	-203.23	-88.48	-79.78	-215.21
PR01	4.834,266.36	2.600,007.46	4.834,142.81	2.600,133.97	4.834,062.99	2.599,918.97	123.55	-126.51	-203.37	-88.49	-79.82	-215.00
PF13	4.865,859.89	2.610,432.12	4.865,735.94	2.610,558.58	4.865,656.39	2.610,343.75	123.95	-126.46	-203.50	-88.37	-79.55	-214.83
I120	4.916,118.28	2.565,227.23	4.917,993.51	2.565,354.32	4.917,914.74	2.565,139.23	124.77	-127.09	-203.54	-88.00	-78.77	-215.09
PR02	4.942,496.02	2.560,399.92	4.942,370.97	2.560,526.98	4.942,292.42	2.560,311.96	125.05	-127.08	-203.60	-87.96	-78.55	-215.02
P13A	4.934,903.76	2.541,084.55	4.934,778.73	2.541,211.83	4.934,700.22	2.540,996.56	125.03	-127.28	-203.54	-87.99	-78.51	-215.27
A022	4.924,086.26	2.518,592.67	4.923,961.28	2.518,720.22	4.923,882.81	2.518,504.68	124.98	-127.55	-203.45	-87.99	-78.47	-215.54
PF06	4.935,310.55	2.494,653.90	4.935,185.38	2.494,781.67	4.935,107.15	2.494,565.98	125.17	-127.77	-203.40	-87.92	-78.23	-215.69
MI04	4.915,568.82	2.490,352.69	4.915,443.85	2.490,480.55	4.915,365.47	2.490,264.70	124.97	-127.86	-203.35	-87.99	-78.38	-215.85
I111	4.851,391.53	2.541,527.38	4.851,267.68	2.541,654.70	4.851,188.38	2.541,439.02	123.85	-127.32	-203.15	-88.36	-79.30	-215.68
PF48	4.841,551.42	2.481,318.70	4.841,427.40	2.481,447.07	4.841,348.43	2.481,230.49	124.02	-128.37	-202.99	-88.21	-78.97	-216.58
Z114	4.862,645.37	2.507,912.13	4.862,521.20	2.508,039.98	4.862,442.23	2.507,823.94	124.17	-127.85	-203.14	-88.19	-78.97	-216.04
PF50	4.856,109.55	2.489,368.97	4.855,985.38	2.489,497.25	4.855,906.48	2.489,280.80	124.17	-128.28	-203.07	-88.17	-78.90	-216.45
CHOL	4.854,124.75	2.459,067.75	4.854,000.51	2.459,196.46	4.853,921.78	2.458,979.66	124.24	-128.71	-202.97	-88.09	-78.73	-216.80
PF89	4.882,733.23	2.467,221.03	4.882,608.67	2.467,349.52	4.882,530.14	2.467,133.02	124.56	-128.49	-203.09	-88.01	-78.53	-216.50
SISA	4.865,664.43	2.431,466.25	4.865,540.00	2.431,595.22	4.865,461.53	2.431,378.27	124.43	-128.97	-202.90	-87.98	-78.47	-216.95
STLA	4.898,597.73	2.436,104.05	4.898,472.89	2.436,232.76	4.898,394.68	2.436,016.19	124.84	-128.71	-203.05	-87.86	-78.21	-216.57
L10B	4.901,232.79	2.540,901.54	4.901,108.13	2.541,028.93	4.901,029.35	2.540,813.45	124.66	-127.39	-203.44	-88.09	-78.78	-215.48
PROMEDIO							124.48	-127.49	-203.34	-88.12	-78.85	-215.61
DESVIO ESTÁNDAR							0.4989	0.8224	0.2530	0.1773	0.4558	0.7539

Tabla 12: Constantes planas entre los sistemas de la CGSJ (fuente: Informe Energicon)

-Parámetros en coordenadas cartesianas geocéntricas

Para determinarlos se tomaron las coordenadas geodésicas compensadas en los 3 sistemas, se transformaron a coordenadas cartesianas y se confeccionaron las tablas denominadas: Constantes entre sistemas de coordenadas planas y Constantes entre sistemas de coordenadas cartesianas.

Los valores promedios obtenidos y sus desvíos son:

de Campo Inchauspe a Posgar

$\Delta x = -146,73$ metros +/- 0,26 metros

$\Delta y = +136,55$ metros +/- 0,49 metros

$\Delta z = +87,85$ metros +/- 0,39 metros

de Pampa del Castillo a Posgar

$\Delta x = -233,43$ metros +/- 0,91 metros

$\Delta y = +6,65$ metros +/- 0,21 metros

$\Delta z = +173,64$ metros +/- 0,80 metros

de Pampa del Castillo a Campo Inchauspe

$\Delta x = -86,70$ metros +/- 1,00 metros

$\Delta y = -129,90$ metros +/- 0,33 metros

$\Delta z = +85,80$ metros +/- 1,17 metros

Id. GPS	INCHAUSPE			PAMPA DEL CASTILLO			DELTA INCHAUSPE - PDC		
	X	Y	Z	X	Y	Z	DX	DY	DZ
A058	1,676,911.17	-4,133,074.95	-4,545,172.93	1,676,997.01	-4,132,944.90	-4,545,258.92	-85.84	-130.05	85.99
E106	1,676,479.62	-4,123,295.86	-4,554,117.30	1,676,565.46	-4,123,165.71	-4,554,202.96	-85.84	-130.15	85.66
MCRV	1,705,315.22	-4,109,908.87	-4,554,566.86	1,705,400.53	-4,109,778.57	-4,554,651.93	-85.31	-130.3	85.07
PF17	1,688,946.15	-4,100,859.57	-4,568,726.28	1,689,031.59	-4,100,729.28	-4,568,811.07	-85.44	-130.29	84.79
ANIT	1,639,210.17	-4,063,571.92	-4,619,898.24	1,639,295.92	-4,063,441.70	-4,619,981.85	-85.75	-130.22	83.61
PR01	1,665,250.96	-4,059,072.85	-4,614,596.52	1,665,336.38	-4,058,942.41	-4,614,679.91	-85.42	-130.44	83.39
PF13	1,683,072.34	-4,076,430.83	-4,592,511.13	1,683,157.68	-4,076,300.38	-4,592,595.07	-85.34	-130.45	83.94
I120	1,654,723.92	-4,128,676.22	-4,557,278.24	1,654,810.14	-4,128,546.18	-4,557,364.16	-86.22	-130.04	85.92
PR02	1,656,408.83	-4,148,544.43	-4,540,084.66	1,656,495.08	-4,146,414.59	-4,540,171.18	-86.25	-129.84	86.52
P13A	1,636,440.92	-4,148,426.48	-4,545,423.29	1,636,527.45	-4,148,296.72	-4,545,509.97	-86.53	-129.76	86.68
A022	1,612,719.63	-4,149,393.24	-4,553,126.80	1,612,806.49	-4,149,263.58	-4,553,213.62	-86.86	-129.66	86.82
PF06	1,593,215.84	-4,165,387.72	-4,545,193.61	1,593,303.03	-4,165,258.31	-4,545,281.06	-87.19	-129.41	87.45
MI04	1,584,188.72	-4,153,875.07	-4,559,133.66	1,584,275.97	-4,153,745.55	-4,559,220.75	-87.25	-129.52	87.09
I111	1,615,289.49	-4,092,088.91	-4,603,333.16	1,615,375.97	-4,091,958.90	-4,603,417.85	-86.48	-130.01	84.69
PF48	1,556,533.68	-4,107,040.14	-4,610,149.15	1,556,621.34	-4,106,910.26	-4,610,234.67	-87.66	-129.88	85.52
Z114	1,586,934.65	-4,112,025.61	-4,595,888.06	1,587,021.76	-4,111,895.74	-4,595,973.60	-87.11	-129.87	85.54
PF50	1,567,891.01	-4,114,163.26	-4,600,295.37	1,567,978.57	-4,114,033.39	-4,600,381.08	-87.56	-129.87	85.71
CHOL	1,539,072.84	-4,123,649.52	-4,601,628.60	1,539,160.92	-4,123,519.81	-4,601,714.76	-88.08	-129.71	86.16
PF89	1,554,071.70	-4,139,967.86	-4,581,783.96	1,554,159.59	-4,139,838.27	-4,581,870.62	-87.89	-129.59	86.66
SISA	1,516,236.59	-4,141,179.94	-4,593,486.43	1,516,325.05	-4,141,050.50	-4,593,573.27	-88.46	-129.44	86.84
STLA	1,529,076.44	-4,161,685.01	-4,570,663.97	1,529,164.69	-4,161,555.75	-4,570,751.48	-88.25	-129.26	87.51
L10B	1,627,704.51	-4,126,171.12	-4,569,138.91	1,627,791.09	-4,126,041.15	-4,569,224.86	-86.58	-129.97	85.95
PROMEDIO							-86.70	-129.90	85.80
DESUDIO ESTÁNDAR							1.0031	0.3346	1.1688

Tabla 13: Constantes geocéntricas entre Campo Inchauspe y Pampa del Castillo de la CGSJ (fuente: Informe Energicon)

Id. GPS	POSGAR 94			INCHAUSPE			DELTA POSGAR 94 - INCHAUSPE		
	X	Y	Z	X	Y	Z	DX	DY	DZ
A058	1,676,764.62	-4,132,938.23	-4,545,085.28	1,676,911.17	-4,133,074.95	-4,545,172.93	-146.55	136.72	87.65
E106	1,676,333.00	-4,123,159.05	-4,554,029.55	1,676,479.62	-4,123,295.86	-4,554,117.30	-146.62	136.81	87.75
MCRV	1,705,168.44	-4,109,771.74	-4,554,478.87	1,705,315.22	-4,109,908.87	-4,554,566.86	-146.78	137.13	87.99
PF17	1,688,799.22	-4,100,722.31	-4,568,638.02	1,688,946.15	-4,100,859.57	-4,568,726.28	-146.93	137.26	88.26
ANIT	1,639,062.90	-4,063,434.71	-4,619,809.61	1,639,210.17	-4,063,571.92	-4,619,898.24	-147.27	137.21	88.63
PR01	1,665,103.65	-4,058,935.42	-4,614,507.82	1,665,250.96	-4,059,072.85	-4,614,596.52	-147.31	137.43	88.7
PF13	1,682,925.19	-4,076,293.39	-4,592,422.59	1,683,072.34	-4,076,430.83	-4,592,511.13	-147.15	137.44	88.54
I120	1,654,577.36	-4,128,539.57	-4,557,190.57	1,654,723.92	-4,128,676.22	-4,557,278.24	-146.56	136.65	87.67
PR02	1,656,262.40	-4,146,408.01	-4,539,997.25	1,656,408.83	-4,146,544.43	-4,540,084.66	-146.43	136.42	87.41
P13A	1,636,294.47	-4,148,290.21	-4,545,335.95	1,636,440.92	-4,148,426.48	-4,545,423.29	-146.45	136.27	87.34
A022	1,612,573.09	-4,149,256.92	-4,553,039.29	1,612,719.63	-4,149,393.24	-4,553,126.80	-146.54	136.32	87.51
PF06	1,593,069.35	-4,165,251.47	-4,545,106.08	1,593,215.84	-4,165,387.72	-4,545,193.61	-146.49	136.25	87.53
MI04	1,584,042.12	-4,153,738.81	-4,559,046.07	1,584,188.72	-4,153,875.07	-4,559,133.66	-146.6	136.26	87.59
I111	1,615,142.47	-4,091,952.22	-4,603,244.93	1,615,289.49	-4,092,088.91	-4,603,333.16	-147.02	136.69	88.23
PF48	1,556,386.83	-4,106,903.85	-4,610,061.19	1,556,533.68	-4,107,040.14	-4,610,149.15	-146.85	136.29	87.96
Z114	1,586,787.83	-4,111,889.20	-4,595,800.12	1,586,934.65	-4,112,025.61	-4,595,888.06	-146.82	136.41	87.94
PF50	1,567,744.25	-4,114,027.06	-4,600,207.59	1,567,891.01	-4,114,163.26	-4,600,295.37	-146.76	136.2	87.78
CHOL	1,538,926.13	-4,123,513.44	-4,601,540.81	1,539,072.84	-4,123,649.52	-4,601,628.60	-146.71	136.08	87.79
PF89	1,553,925.11	-4,139,831.83	-4,581,696.35	1,554,071.70	-4,139,967.86	-4,581,783.96	-146.59	136.03	87.61
SISA	1,516,090.01	-4,141,044.09	-4,593,398.78	1,516,236.59	-4,141,179.94	-4,593,486.43	-146.58	135.85	87.65
STLA	1,528,930.01	-4,161,549.19	-4,570,576.51	1,529,076.44	-4,161,685.01	-4,570,663.97	-146.43	135.82	87.46
L10B	1,627,557.86	-4,126,034.61	-4,569,051.23	1,627,704.51	-4,126,171.12	-4,569,138.91	-146.65	136.51	87.68
PROMEDIO							-146.73	136.55	87.85
DESUDIO ESTÁNDAR							0.2624	0.4887	0.3945

Tabla 14: Constantes geocéntricas entre Posgar 94 y Campo Inchauspe de la CGSJ (fuente: Informe Energicon)

Id. GPS	POSGAR 94			PAMPA DEL CASTILLO			DELTA POSGAR 94 - PDC		
	X	Y	Z	X	Y	Z	DX	DY	DZ
A058	1,676,764.62	-4,132,938.23	-4,545,085.28	1,676,997.01	-4,132,944.90	-4,545,258.92	-232.39	6.67	173.64
E106	1,676,333.00	-4,123,159.05	-4,554,029.55	1,676,565.46	-4,123,165.71	-4,554,202.96	-232.46	6.66	173.41
MCRV	1,705,168.44	-4,109,771.74	-4,554,478.87	1,705,400.53	-4,109,778.57	-4,554,651.93	-232.09	6.83	173.06
PF17	1,688,799.22	-4,100,722.31	-4,568,638.02	1,689,031.59	-4,100,729.28	-4,568,811.07	-232.37	6.97	173.05
ANIT	1,639,062.90	-4,063,434.71	-4,619,809.61	1,639,295.92	-4,063,441.70	-4,619,981.85	-233.02	6.99	172.24
PR01	1,665,103.65	-4,058,935.42	-4,614,507.82	1,665,336.38	-4,058,942.41	-4,614,679.91	-232.73	6.99	172.09
PF13	1,682,925.19	-4,076,293.39	-4,592,422.59	1,683,157.68	-4,076,300.38	-4,592,595.07	-232.49	6.99	172.48
I120	1,654,577.36	-4,128,539.57	-4,557,190.57	1,654,810.14	-4,128,546.18	-4,557,364.16	-232.78	6.61	173.59
PR02	1,656,262.40	-4,146,408.01	-4,539,997.25	1,656,495.08	-4,146,414.59	-4,540,171.18	-232.68	6.58	173.93
P13A	1,636,294.47	-4,148,290.21	-4,545,335.95	1,636,527.45	-4,148,298.72	-4,545,509.97	-232.98	6.51	174.02
A022	1,612,573.09	-4,149,256.92	-4,553,039.29	1,612,806.49	-4,149,263.58	-4,553,213.62	-233.4	6.66	174.33
PF06	1,593,069.35	-4,165,251.47	-4,545,106.08	1,593,303.03	-4,165,258.31	-4,545,281.06	-233.68	6.84	174.98
MI04	1,584,042.12	-4,153,738.81	-4,559,046.07	1,584,275.97	-4,153,745.55	-4,559,220.75	-233.85	6.74	174.68
I111	1,615,142.47	-4,091,952.22	-4,603,244.93	1,615,375.97	-4,091,958.90	-4,603,417.85	-233.5	6.68	172.92
PF48	1,556,386.83	-4,106,903.85	-4,610,061.19	1,556,621.34	-4,106,910.26	-4,610,234.67	-234.51	6.41	173.48
Z114	1,586,787.83	-4,111,889.20	-4,595,800.12	1,587,021.76	-4,111,895.74	-4,595,973.60	-233.93	6.54	173.48
PF50	1,567,744.25	-4,114,027.06	-4,600,207.59	1,567,978.57	-4,114,033.39	-4,600,381.08	-234.32	6.33	173.49
CHOL	1,538,926.13	-4,123,513.44	-4,601,540.81	1,539,160.92	-4,123,519.81	-4,601,714.76	-234.79	6.37	173.95
PF89	1,553,925.11	-4,139,831.83	-4,581,696.35	1,554,159.59	-4,139,838.27	-4,581,870.62	-234.48	6.44	174.27
SISA	1,516,090.01	-4,141,044.09	-4,593,398.78	1,516,325.05	-4,141,050.50	-4,593,573.27	-235.04	6.41	174.49
STLA	1,528,930.01	-4,161,549.19	-4,570,576.51	1,529,164.69	-4,161,555.75	-4,570,751.48	-234.68	6.56	174.97
L10B	1,627,557.86	-4,126,034.61	-4,569,051.23	1,627,791.09	-4,126,041.15	-4,569,224.86	-233.23	6.54	173.63
PROMEDIO							-233.43	6.65	173.64
DESVIO ESTÁNDAR							0.9069	0.2100	0.8049

Tabla 15: Constantes geocéntricas entre Posgar 94 y Pampa del Castillo de la CGSJ
(fuente: Informe Energicon)

- En la cuenca Neuquina

Se efectuó entre los 3 sistemas de la cuenca y permitió obtener un promedio general.

Los parámetros de transformación en coordenadas planas y en coordenadas cartesianas geocéntricas se determinaron como diferencias en el siguiente orden:

Posgar menos Campo Inchauspe
Posgar menos Chos Malal (Quiñi-Huao)
Campo Inchauspe menos Chos Malal (Quiñi-Huao)

A los valores obtenidos se los denominaron:

de Campo Inchauspe a Posgar
de Chos Malal (Quiñi-Huao) a Posgar
de Chos Malal (Quiñi-Huao) a Campo Inchauspe

-Parámetros en coordenadas planas

Para determinarlos se tomaron las coordenadas geodésicas compensadas en los 3 sistemas, se transformaron a coordenadas planas y se confeccionaron las tablas denominadas: Constantes entre sistemas de coordenadas planas y Constantes entre sistemas de coordenadas cartesianas.

Los valores promedios obtenidos y sus desvíos son:

de Campo Inchauspe a Posgar
 $\Delta x = -205,77$ metros +/- 0,55 metros
 $\Delta y = -90,82$ metros +/- 0,54 metros

de Chos Malal (Quiñi-Huao) a Posgar
 $\Delta x = -156,45$ metros +/- 0,89 metros
 $\Delta y = -73,84$ metros +/- 1,45 metros

de Chos Malal (Quiñi-Huao) a Campo Inchauspe

$\Delta x = +49,33$ metros $\pm 1,14$ metros

$\Delta y = +164,65$ metros $\pm 1,84$ metros

Id. GPS	INCHAUSPE		CHOS MALAL		POSGAR 94		DELTA INCH-CHM		DELTA POSGAR-INCH		DELTA POSGAR-CHM	
	X	Y	X	Y	X	Y	DX	DY	DX	DY	DX	DY
ZPLA	5.702.292,18	2.411.174,35	5.702.240,94	2.411.010,99	5.702.085,64	2.411.084,12	51,24	163,36	-206,54	-90,23	-156,30	73,13
I578	5.688.371,09	2.460.552,79	5.688.320,26	2.460.389,95	5.688.164,81	2.460.462,77	50,83	162,84	-206,28	-90,02	-155,45	72,82
CHIH	5.756.089,49	2.460.188,35	5.756.039,15	2.460.024,84	5.755.883,04	2.460.097,78	50,34	163,71	-206,45	-90,57	-156,11	73,14
PF07	5.736.495,25	2.477.090,57	5.736.445,05	2.476.927,19	5.736.289,04	2.477.000,12	50,20	163,38	-206,21	-90,45	-156,01	72,93
YPF2	5.713.358,31	2.512.107,03	5.713.308,55	2.511.944,16	5.713.152,61	2.512.016,81	49,76	162,87	-206,70	-90,22	-155,94	72,65
PICU	5.626.058,01	2.475.078,36	5.626.007,40	2.474.916,24	5.625.852,50	2.474.988,78	50,61	162,12	-205,51	-89,58	-154,90	72,54
1090	5.641.441,66	2.441.536,16	5.641.390,79	2.441.373,69	5.641.235,97	2.441.446,51	50,87	162,47	-205,69	-89,65	-154,82	72,82
YPF1	5.666.048,02	2.477.668,37	5.665.997,65	2.477.505,83	5.665.842,38	2.477.578,58	50,37	162,54	-205,64	-89,79	-155,27	72,75
PF33	5.795.362,62	2.490.943,18	5.795.312,63	2.490.779,63	5.795.156,32	2.490.852,53	49,99	163,55	-206,30	-90,65	-156,31	72,90
ANEL	5.757.950,64	2.515.006,87	5.757.900,71	2.514.843,82	5.757.744,52	2.514.916,45	49,93	163,05	-206,12	-90,42	-156,19	72,63
BLTO	5.756.936,38	2.554.386,26	5.756.887,26	2.554.223,59	5.756.730,81	2.554.296,01	49,12	162,67	-205,57	-90,25	-156,45	72,42
IFB2	5.853.511,84	2.513.627,35	5.853.462,64	2.513.464,28	5.853.305,69	2.513.536,39	49,20	163,07	-206,15	-90,96	-156,95	72,11
H121	5.876.432,26	2.491.710,21	5.876.381,80	2.491.545,30	5.876.225,81	2.491.619,31	50,46	164,91	-206,45	-90,90	-156,99	74,01
YPF3	5.796.323,29	2.587.452,41	5.796.276,93	2.587.289,14	5.796.120,11	2.587.361,45	48,36	163,27	-205,18	-90,96	-156,82	72,31
H522	5.814.899,01	2.611.343,41	5.814.849,98	2.611.180,04	5.814.692,91	2.611.252,25	48,03	163,37	-205,10	-91,16	-157,07	72,21
YPF4	5.815.067,17	2.610.684,81	5.815.019,11	2.610.521,23	5.814.862,06	2.610.593,44	48,06	163,38	-205,11	-91,17	-157,05	72,21
E6SP	5.827.048,86	2.581.308,12	5.827.000,40	2.581.144,58	5.826.843,49	2.581.217,02	48,46	163,54	-205,37	-91,10	-156,91	72,44
LUJA	5.756.282,18	2.646.595,40	5.756.234,55	2.646.432,71	5.756.077,63	2.646.504,47	47,63	162,69	-204,55	-90,93	-156,92	71,76
I127	5.697.435,16	2.644.402,14	5.697.387,57	2.644.239,88	5.697.231,01	2.644.311,43	47,59	162,26	-204,15	-90,71	-156,56	71,55
NEUQ	5.688.564,92	2.582.088,34	5.688.515,95	2.581.926,01	5.688.359,80	2.581.998,10	48,97	162,33	-205,12	-90,24	-156,15	72,09
PIC1	5.626.070,64	2.475.052,30	5.626.020,02	2.474.890,19	5.625.865,13	2.474.962,75	50,62	162,11	-205,51	-89,55	-154,89	72,56
PF81	5.885.217,75	2.553.259,75	5.885.168,85	2.553.095,77	5.885.011,82	2.553.168,56	48,90	163,98	-205,93	-91,19	-157,03	72,79
I562	5.877.829,46	2.443.442,64	5.877.778,32	2.443.276,39	5.877.623,08	2.443.351,26	51,14	166,25	-206,38	-91,38	-156,24	74,87
PF36	5.878.001,06	2.499.889,57	5.877.950,73	2.499.724,69	5.877.794,69	2.499.798,62	50,33	164,88	-206,37	-90,95	-156,04	73,93
PF80	5.924.445,35	2.418.831,12	5.924.394,87	2.418.664,82	5.924.239,21	2.418.740,05	50,48	166,30	-206,14	-91,07	-156,66	75,23
M130	5.939.394,23	2.478.943,51	5.939.344,47	2.478.777,80	5.939.188,18	2.478.852,45	49,76	165,71	-206,05	-91,06	-156,29	74,65
3014	5.936.884,76	2.484.504,62	5.936.835,03	2.484.338,97	5.936.678,74	2.484.413,55	49,73	165,65	-206,02	-91,07	-156,29	74,58
PF02	5.959.218,63	2.440.501,83	5.959.168,92	2.440.335,60	5.959.012,78	2.440.410,80	49,71	166,23	-205,85	-91,03	-156,14	75,20
PF37	6.003.599,69	2.430.959,12	6.003.550,56	2.430.792,69	6.003.394,05	2.430.868,18	49,13	166,43	-205,64	-90,94	-156,51	75,49
YPF5	6.072.290,15	2.433.328,76	6.072.241,50	2.433.161,76	6.072.084,30	2.433.237,56	48,65	167,00	-205,85	-91,20	-157,20	75,80
YPF6	6.105.284,55	2.430.371,14	6.105.216,08	2.430.203,83	6.105.058,56	2.430.279,81	48,47	167,31	-205,99	-91,33	-157,52	75,98
PF18	5.974.603,27	2.464.134,08	5.974.553,78	2.463.968,03	5.974.397,29	2.464.043,02	49,49	166,05	-205,98	-91,06	-156,49	74,99
PF22	6.131.504,87	2.453.681,15	6.131.456,77	2.453.513,78	6.131.298,90	2.453.589,68	48,10	167,37	-205,97	-91,47	-157,87	75,90
YPF7	6.137.135,15	2.506.248,38	6.137.087,55	2.506.081,28	6.136.929,39	2.506.156,80	47,60	167,10	-205,76	-91,58	-158,16	75,52
YPF8	6.000.682,19	2.469.688,79	6.000.633,02	2.469.522,55	6.000.476,27	2.469.597,62	49,17	166,24	-205,92	-91,17	-156,75	75,07
LL05	6.055.678,04	2.480.051,28	6.055.629,66	2.479.884,74	6.055.472,40	2.479.960,00	48,38	166,54	-205,64	-91,28	-157,26	75,26
PF13	6.043.413,24	2.460.557,67	6.043.364,67	2.460.391,12	6.043.207,64	2.460.466,51	48,57	166,55	-205,60	-91,16	-157,03	75,39
CLEI	6.072.391,58	2.459.287,86	6.072.343,15	2.459.121,02	6.072.185,82	2.459.196,56	48,43	166,84	-205,76	-91,30	-157,33	75,54
CLEY	6.072.392,42	2.459.282,43	6.072.343,98	2.459.115,60	6.072.186,66	2.459.191,14	48,44	166,83	-205,76	-91,29	-157,32	75,54
YPF8	6.085.545,35	2.526.390,99	6.085.497,58	2.526.224,49	6.085.339,80	2.526.299,61	47,77	166,50	-205,55	-91,38	-157,78	75,12
MALA	6.046.810,40	2.451.007,63	6.046.761,75	2.450.841,00	6.046.604,71	2.450.916,49	48,65	166,63	-205,69	-91,14	-157,04	75,49
BBBL	6.029.134,59	2.430.431,33	6.029.085,84	2.430.264,78	6.028.929,10	2.430.340,39	48,75	166,55	-205,49	-90,94	-156,74	75,61
BENC	5.865.801,39	2.400.056,63	5.865.749,25	2.399.889,74	5.865.594,86	2.399.965,40	52,14	166,89	-206,53	-91,23	-154,39	75,66
I157	5.756.091,32	2.460.191,72	5.756.041,00	2.460.028,00	5.755.884,88	2.460.101,15	50,32	163,72	-206,44	-90,57	-156,12	73,15
BALI	5.682.935,02	2.573.872,46	5.682.885,90	2.573.710,10	5.682.729,83	2.573.782,23	49,12	162,38	-205,19	-90,23	-156,07	72,13
CNEU	5.726.454,54	2.552.986,90	5.726.405,29	2.552.824,08	5.726.249,06	2.552.896,41	49,25	162,52	-205,48	-90,19	-156,23	72,33
NIHL	6.140.065,69	2.545.522,40	6.140.018,45	2.545.355,54	6.139.860,06	2.545.430,81	47,24	166,86	-205,63	-91,59	-158,39	75,27
PROMEDIO							49,33	164,65	-205,77	-90,82	-156,45	73,84
DESVIO ESTANDAR							1,14	1,84	0,50	0,54	0,89	1,45

Tabla 16: Constantes planas entre los sistemas de la CN (fuente: Informe Energicon)

-Parámetros en coordenadas cartesianas geocéntricas

Para determinarlos se tomaron las coordenadas geodésicas compensadas en los 3 sistemas, se transformaron a coordenadas cartesianas y se confeccionaron las tablas denominadas: Constantes entre sistemas de coordenadas planas y Constantes entre sistemas de coordenadas cartesianas.

Los valores promedios obtenidos y sus desvíos son:

de Campo Inchauspe a Posgar

$\Delta x = -148,73$ metros $\pm 0,32$ metros

$\Delta y = +133,91$ metros $\pm 1,84$ metros

$\Delta z = +87,00$ metros $\pm 1,06$ metros

de Chos Malal (Quiñi-Huao) a Posgar

$\Delta x = +15,75$ metros $\pm 1,88$ metros

$\Delta y = +164,93$ metros $\pm 1,98$ metros

$\Delta z = +126,18$ metros $\pm 1,29$ metros

de Chos Malal (Quiñi-Huao) a Campo Inchauspe
 $\Delta x = +164,47$ metros $\pm 1,75$ metros
 $\Delta y = +31,02$ metros $\pm 2,11$ metros
 $\Delta z = +39,17$ metros $\pm 0,46$ metros

Id. GPS	INCHAUSPE			CHOS MALAL			DELTA INCHAUSPE - CHM		
	X	Y	Z	X	Y	Z	DX	DY	DZ
ZPLA	1.700.142,04	-4.676.907,07	-3.978.185,64	1.699.977,36	-4.676.933,88	-3.978.224,07	164,68	26,81	38,43
I578	1.743.215,28	-4.651.319,95	-3.989.255,57	1.743.051,50	-4.651.347,69	-3.989.294,44	163,78	27,74	38,87
CHIH	1.758.140,48	-4.691.225,17	-3.936.603,47	1.757.976,12	-4.691.253,92	-3.936.642,30	164,36	28,75	38,83
PF07	1.769.398,95	-4.673.375,12	-3.951.598,66	1.769.235,04	-4.673.404,05	-3.951.637,57	163,91	28,93	38,91
YPF2	1.796.978,17	-4.647.500,02	-3.969.813,15	1.796.815,02	-4.647.529,53	-3.969.852,16	163,15	29,51	39,01
PICU	1.742.529,21	-4.608.989,74	-4.037.240,56	1.742.366,12	-4.609.017,28	-4.037.279,18	163,09	27,54	38,62
1090	1.714.710,88	-4.630.124,26	-4.025.349,67	1.714.547,20	-4.630.151,23	-4.025.388,00	163,68	26,97	38,33
YPF1	1.754.097,27	-4.631.900,17	-4.006.459,40	1.753.933,94	-4.631.928,28	-4.006.498,08	163,33	28,11	38,68
PF33	1.795.303,46	-4.702.198,88	-3.905.165,72	1.795.139,67	-4.702.228,60	-3.905.204,97	163,79	29,72	39,25
ANEL	1.809.545,15	-4.672.147,53	-3.934.713,74	1.809.381,94	-4.672.177,33	-3.934.753,14	163,21	29,80	39,40
BLTO	1.846.080,75	-4.657.431,12	-3.935.496,24	1.845.918,36	-4.657.462,01	-3.935.535,65	162,39	30,89	39,41
IF82	1.829.367,50	-4.727.634,76	-3.859.456,09	1.829.204,61	-4.727.665,49	-3.859.495,34	162,89	30,73	39,25
HI21	1.813.912,12	-4.748.537,62	-3.841.285,91	1.813.747,13	-4.748.568,03	-3.841.325,94	164,99	30,41	40,03
YPF3	1.885.457,37	-4.667.758,14	-3.904.065,34	1.885.294,96	-4.667.790,56	-3.904.104,88	162,41	32,42	39,54
H522	1.911.770,68	-4.669.648,64	-3.889.244,75	1.911.608,49	-4.669.681,87	-3.889.284,50	162,19	33,23	39,75
YPF4	1.911.196,65	-4.669.991,07	-3.889.119,09	1.911.034,43	-4.670.024,27	-3.889.158,86	162,22	33,20	39,77
E6SP	1.886.548,07	-4.687.736,76	-3.879.954,59	1.886.385,39	-4.687.769,27	-3.879.994,24	162,68	32,51	39,65
LUJA	1.931.481,00	-4.622.668,87	-3.934.868,05	1.931.319,70	-4.622.702,42	-3.934.907,81	161,30	33,55	39,76
II27	1.916.292,36	-4.589.218,07	-3.980.874,88	1.916.131,31	-4.589.251,07	-3.980.914,31	161,05	33,00	39,43
NEUQ	1.856.434,57	-4.607.118,75	-3.988.447,42	1.856.272,58	-4.607.149,69	-3.988.486,81	161,99	30,94	39,39
PIC1	1.742.507,68	-4.609.006,34	-4.037.230,62	1.742.344,59	-4.609.033,89	-4.037.269,24	163,09	27,55	38,62
PF81	1.873.218,24	-4.731.267,71	-3.834.149,18	1.873.054,94	-4.731.299,90	-3.834.188,97	163,30	32,19	39,79
I562	1.769.106,57	-4.766.517,84	-3.840.084,84	1.768.939,84	-4.766.547,40	-3.840.124,64	166,73	29,56	39,80
PF36	1.821.861,84	-4.746.420,55	-3.839.978,25	1.821.696,98	-4.746.451,20	-3.840.018,32	164,86	30,65	40,07
PF80	1.756.181,40	-4.801.533,28	-3.802.852,65	1.756.014,69	-4.801.563,04	-3.802.891,79	166,71	29,76	39,14
M130	1.815.834,69	-4.789.183,94	-3.791.547,02	1.815.669,13	-4.789.215,17	-3.791.586,62	165,56	31,23	39,60
3014	1.820.423,21	-4.785.613,66	-3.793.418,92	1.820.257,76	-4.785.644,99	-3.793.458,56	165,45	31,33	39,64
PF02	1.783.911,09	-4.813.296,19	-3.775.069,93	1.783.744,84	-4.813.326,98	-3.775.108,96	166,25	30,79	39,03
PF37	1.784.481,45	-4.841.421,47	-3.739.431,89	1.784.315,15	-4.841.452,72	-3.739.470,52	166,30	31,25	38,63
YPF5	1.801.198,88	-4.878.368,42	-3.683.922,45	1.801.032,30	-4.878.400,56	-3.683.961,04	166,58	32,14	38,59
YPF6	1.805.257,25	-4.897.194,19	-3.656.984,69	1.805.090,48	-4.897.226,66	-3.657.023,24	166,77	32,47	38,55
PF18	1.809.621,63	-4.814.340,45	-3.763.464,81	1.809.455,76	-4.814.371,86	-3.763.504,11	165,87	31,41	39,30
PF22	1.832.472,48	-4.903.034,21	-3.635.591,27	1.832.305,96	-4.903.067,53	-3.635.630,00	166,52	33,32	38,73
YPF7	1.882.673,45	-4.887.092,77	-3.630.892,76	1.882.507,73	-4.887.127,41	-3.630.931,93	165,72	34,64	39,17
YDFS	1.820.204,69	-4.826.398,68	-3.742.152,10	1.820.038,83	-4.826.430,59	-3.742.191,35	165,86	31,91	39,25
LL05	1.841.343,16	-4.852.539,88	-3.697.393,80	1.841.177,39	-4.852.572,86	-3.697.432,84	165,77	32,98	39,04
PF13	1.820.593,86	-4.852.894,55	-3.707.394,58	1.820.427,88	-4.852.926,96	-3.707.433,40	165,98	32,41	38,82
CLEI	1.825.426,80	-4.869.026,93	-3.683.770,36	1.825.260,63	-4.869.059,67	-3.683.809,18	166,17	32,74	38,82
CLEY	1.825.422,04	-4.869.029,66	-3.683.769,93	1.825.255,87	-4.869.062,39	-3.683.808,76	166,17	32,73	38,83
YPF8	1.890.869,67	-4.852.225,01	-3.673.149,51	1.890.704,51	-4.852.259,46	-3.673.188,92	165,16	34,45	39,41
MALA	1.812.436,98	-4.858.303,96	-3.704.738,89	1.812.270,82	-4.858.336,18	-3.704.777,65	166,16	32,22	38,76
BBBL	1.789.368,05	-4.855.624,52	-3.718.769,99	1.789.201,77	-4.855.656,14	-3.718.808,41	166,28	31,62	38,42
BENC	1.725.930,75	-4.775.120,04	-3.849.537,53	1.725.762,85	-4.775.148,32	-3.849.577,35	167,90	28,28	39,82
I157	1.758.144,06	-4.691.225,10	-3.936.602,09	1.757.979,70	-4.691.253,86	-3.936.640,91	164,36	28,76	38,82
BALI	1.847.540,95	-4.606.871,57	-3.992.923,69	1.847.378,83	-4.606.902,24	-3.992.963,03	162,12	30,67	39,34
CNEU	1.837.898,93	-4.640.029,08	-3.959.192,24	1.837.736,58	-4.640.059,62	-3.959.231,57	162,35	30,54	39,33
NIHL	1.919.825,22	-4.874.269,45	-3.628.255,42	1.919.660,12	-4.874.305,03	-3.628.294,93	165,10	35,58	39,51
PROMEDIO							164,47	31,02	39,17
DESIVIO ESTÁNDAR							1,75	2,11	0,46

Tabla 17: Constantes geocéntricas entre Campo Inchauspe y Chos Malal de la CN
(fuente: Informe Energon)

Id. GPS	POSGAR 94			INCHAUSPE			DELTA POSGAR 94 - INCHAUSPE		
	X	Y	Z	X	Y	Z	DX	DY	DZ
ZPLA	1.699.993,15	-4.676.771,84	-3.978.099,43	1.700.142,04	-4.676.907,07	-3.978.185,64	-148,89	135,23	86,21
I578	1.743.066,60	-4.651.184,19	-3.989.168,72	1.743.215,28	-4.651.319,95	-3.989.255,57	-148,68	135,76	86,85
CHIH	1.757.991,40	-4.691.089,96	-3.936.516,86	1.758.140,48	-4.691.225,17	-3.936.603,47	-149,08	135,21	86,61
PF07	1.769.249,99	-4.673.239,71	-3.951.511,72	1.769.398,95	-4.673.375,12	-3.951.598,66	-148,96	135,41	86,94
YPF2	1.796.829,48	-4.647.364,35	-3.969.725,53	1.796.978,17	-4.647.500,02	-3.969.813,15	-148,69	135,67	87,62
PICU	1.742.380,96	-4.608.853,73	-4.037.152,91	1.742.529,21	-4.608.989,74	-4.037.240,56	-148,25	136,01	87,65
1090	1.714.562,59	-4.629.988,62	-4.025.262,48	1.714.710,88	-4.630.124,26	-4.025.349,67	-148,29	135,64	87,19
YPF1	1.753.948,89	-4.631.764,41	-4.006.371,92	1.754.097,27	-4.631.900,17	-4.006.459,40	-148,38	135,76	87,48
PF33	1.795.154,42	-4.702.063,65	-3.905.078,74	1.795.303,46	-4.702.198,88	-3.905.165,72	-149,04	135,23	86,98
ANEL	1.809.398,28	-4.672.011,89	-3.934.626,45	1.809.545,15	-4.672.147,53	-3.934.713,74	-148,87	135,64	87,29
BLTO	1.845.932,14	-4.657.295,37	-3.935.408,26	1.846.080,75	-4.657.431,12	-3.935.496,24	-148,61	135,75	87,98
IF82	1.829.218,35	-4.727.499,92	-3.859.368,94	1.829.367,50	-4.727.634,76	-3.859.456,09	-149,15	134,84	87,15
H121	1.813.763,21	-4.748.403,48	-3.841.199,58	1.813.912,12	-4.748.537,62	-3.841.285,91	-148,91	134,14	86,33
YPF3	1.885.308,28	-4.667.622,78	-3.903.976,85	1.885.457,37	-4.667.758,14	-3.904.065,34	-149,09	135,36	88,49
H522	1.911.621,44	-4.669.513,26	-3.889.156,01	1.911.770,68	-4.669.648,64	-3.889.244,75	-149,24	135,38	88,74
YPF4	1.911.047,40	-4.669.855,69	-3.889.030,38	1.911.196,65	-4.669.991,07	-3.889.119,09	-149,25	135,38	88,71
E6SP	1.886.398,87	-4.687.601,59	-3.879.866,32	1.886.548,07	-4.687.736,76	-3.879.954,59	-149,20	135,17	88,27
LUJA	1.931.331,92	-4.622.533,01	-3.934.778,55	1.931.481,00	-4.622.668,87	-3.934.868,05	-149,08	135,86	89,50
II27	1.916.143,42	-4.589.082,04	-3.980.785,01	1.916.292,36	-4.589.218,07	-3.980.874,88	-148,94	136,03	89,87
NEUQ	1.856.285,89	-4.606.982,60	-3.988.358,82	1.856.434,57	-4.607.118,75	-3.988.447,42	-148,68	136,15	88,60
PIC1	1.742.359,45	-4.608.870,33	-4.037.142,96	1.742.507,68	-4.609.006,34	-4.037.230,62	-148,23	136,01	87,66
PF81	1.873.069,00	-4.731.132,90	-3.834.061,62	1.873.218,24	-4.731.267,71	-3.834.149,18	-149,24	134,81	87,56
I562	1.768.957,30	-4.766.384,58	-3.839.998,97	1.769.106,57	-4.766.517,84	-3.840.084,84	-149,27	133,26	85,87
PF36	1.821.712,91	-4.746.286,39	-3.839.891,81	1.821.861,84	-4.746.420,55	-3.839.978,25	-148,93	134,16	86,44
PF80	1.756.032,64	-4.801.400,81	-3.802.766,95	1.756.181,40	-4.801.533,28	-3.802.852,65	-148,76	132,47	85,70
M130	1.815.685,95	-4.789.050,88	-3.791.460,71	1.815.834,69	-4.789.183,94	-3.791.547,02	-148,74	133,06	86,31
3014	1.820.274,47	-4.785.480,54	-3.793.332,54	1.820.423,21	-4.785.613,66	-3.793.418,92	-148,74	133,12	86,38
PF02	1.783.762,54	-4.813.163,93	-3.774.983,86	1.783.911,09	-4.813.296,19	-3.775.069,93	-148,55	132,26	86,07
PF37	1.784.333,20	-4.841.289,89	-3.739.345,90	1.784.481,45	-4.841.421,47	-3.739.431,89	-148,25	131,58	85,99
YPF5	1.801.050,48	-4.878.237,19	-3.683.836,55	1.801.198,88	-4.878.368,42	-3.683.922,45	-148,40	131,23	85,90
YPF6	1.805.108,76	-4.897.063,12	-3.656.898,87	1.805.257,25	-4.897.194,19	-3.656.984,69	-148,49	131,07	85,82
PF18	1.809.473,03	-4.814.207,91	-3.763.378,65	1.809.621,63	-4.814.340,45	-3.763.464,81	-148,60	132,54	86,16
PF22	1.832.323,87	-4.902.902,92	-3.635.505,11	1.832.472,48	-4.903.034,21	-3.635.591,27	-148,61	131,29	86,16
YPF7	1.882.524,82	-4.886.961,09	-3.630.806,07	1.882.673,45	-4.887.092,77	-3.630.892,76	-148,63	131,68	86,69
YF8	1.820.056,09	-4.826.266,37	-3.742.065,88	1.820.204,69	-4.826.398,68	-3.742.152,10	-148,60	132,31	86,22
LL05	1.841.194,71	-4.852.408,17	-3.697.307,40	1.841.343,16	-4.852.539,88	-3.697.393,80	-148,45	131,71	86,40
PF13	1.820.445,53	-4.852.763,02	-3.707.308,37	1.820.593,86	-4.852.894,55	-3.707.394,58	-148,33	131,53	86,21
CLEI	1.825.278,35	-4.868.895,49	-3.683.684,18	1.825.426,80	-4.869.026,93	-3.683.770,36	-148,45	131,44	86,18
CLEY	1.825.273,59	-4.868.898,22	-3.683.683,76	1.825.422,04	-4.869.029,66	-3.683.769,93	-148,45	131,44	86,17
YPF8	1.890.721,15	-4.852.092,85	-3.673.062,54	1.890.869,67	-4.852.225,01	-3.673.149,51	-148,52	132,16	86,97
MALA	1.812.288,65	-4.858.172,51	-3.704.652,79	1.812.436,98	-4.858.303,96	-3.704.738,89	-148,33	131,45	86,10
BBBL	1.789.219,90	-4.855.493,21	-3.718.683,91	1.789.368,05	-4.855.624,52	-3.718.769,99	-148,15	131,31	86,08
BENC	1.725.781,56	-4.774.987,06	-3.849.452,12	1.725.930,75	-4.775.120,04	-3.849.537,53	-149,19	132,98	85,41
I157	1.757.994,98	-4.691.089,89	-3.936.515,47	1.758.144,06	-4.691.225,10	-3.936.602,09	-149,08	135,21	86,62
BALI	1.847.392,27	-4.606.735,43	-3.992.835,18	1.847.540,95	-4.606.871,57	-3.992.923,69	-148,68	136,14	88,51
CNEU	1.837.750,34	-4.639.893,21	-3.959.104,17	1.837.898,93	-4.640.029,08	-3.959.192,24	-148,59	135,87	88,07
NIHL	1.919.676,60	-4.874.137,39	-3.628.168,31	1.919.825,22	-4.874.269,45	-3.628.255,42	-148,62	132,06	87,11
PROMEDIO							-148,73	133,91	87,00
DESUDIO ESTANDAR							0,32	1,84	1,06

Tabla 18: Constantes geocéntricas entre Posgar 94 y Campo Inchauspe de la CN (fuente: Informe Energicon)

Id. GPS	POSGAR 94			CHOS MALAL			DELTA POSGAR 94 - CHM		
	X	Y	Z	X	Y	Z	DX	DY	DZ
ZPLA	1.699.993,15	-4.676.771,84	-3.978.099,43	1.699.977,36	-4.676.933,88	-3.978.224,07	15,79	162,04	124,64
I578	1.743.066,60	-4.651.184,19	-3.989.168,72	1.743.051,50	-4.651.347,69	-3.989.294,44	15,10	163,50	125,72
CHIH	1.757.991,40	-4.691.089,96	-3.936.516,86	1.757.976,12	-4.691.253,92	-3.936.642,30	15,28	163,96	125,44
PF07	1.769.249,99	-4.673.239,71	-3.951.511,72	1.769.235,04	-4.673.404,05	-3.951.637,57	14,95	164,34	125,85
YPF2	1.796.829,48	-4.647.364,35	-3.969.725,53	1.796.815,02	-4.647.529,53	-3.969.852,16	14,46	165,18	126,63
PICU	1.742.380,96	-4.608.853,73	-4.037.152,91	1.742.366,12	-4.609.017,28	-4.037.279,18	14,84	163,55	126,27
1090	1.714.562,59	-4.629.988,62	-4.025.262,48	1.714.547,20	-4.630.151,23	-4.025.388,00	15,39	162,61	125,52
YPF1	1.753.948,89	-4.631.764,41	-4.006.371,92	1.753.933,94	-4.631.928,28	-4.006.498,08	14,95	163,87	126,16
PF33	1.795.154,42	-4.702.063,65	-3.905.078,74	1.795.139,67	-4.702.228,60	-3.905.204,97	14,75	164,95	126,23
ANEL	1.809.396,26	-4.672.011,89	-3.934.626,45	1.809.381,94	-4.672.177,33	-3.934.753,14	14,34	165,44	126,69
BLTO	1.845.932,14	-4.657.295,37	-3.935.408,26	1.845.918,36	-4.657.462,01	-3.935.535,65	13,78	166,64	127,39
IF82	1.829.218,35	-4.727.499,92	-3.859.368,94	1.829.204,61	-4.727.665,49	-3.859.495,34	13,74	165,57	126,40
HI21	1.813.763,21	-4.748.403,48	-3.841.199,58	1.813.747,13	-4.748.568,03	-3.841.325,94	16,08	164,55	126,36
YPF3	1.885.308,28	-4.667.622,78	-3.903.976,85	1.885.294,96	-4.667.790,56	-3.904.104,88	13,32	167,78	128,03
H522	1.911.621,44	-4.669.513,26	-3.889.156,01	1.911.608,49	-4.669.681,87	-3.889.284,50	12,95	168,61	128,49
YPF4	1.911.047,40	-4.669.855,69	-3.889.030,38	1.911.034,43	-4.670.024,27	-3.889.158,86	12,97	168,58	128,48
E6SP	1.886.398,87	-4.687.601,59	-3.879.866,32	1.886.385,39	-4.687.769,27	-3.879.994,24	13,48	167,68	127,92
LUJA	1.931.331,92	-4.622.533,01	-3.934.778,55	1.931.319,70	-4.622.702,42	-3.934.907,81	12,22	169,41	129,26
II27	1.916.143,42	-4.589.082,04	-3.980.785,01	1.916.131,31	-4.589.251,07	-3.980.914,31	12,11	169,03	129,30
NEUQ	1.856.285,89	-4.606.982,60	-3.988.358,82	1.856.272,58	-4.607.149,69	-3.988.486,81	13,31	167,09	127,99
PIC1	1.742.359,45	-4.608.870,33	-4.037.142,96	1.742.344,59	-4.609.033,89	-4.037.269,24	14,86	163,56	126,28
PF81	1.873.069,00	-4.731.132,90	-3.834.061,62	1.873.054,94	-4.731.299,90	-3.834.188,97	14,06	167,00	127,35
I562	1.768.957,30	-4.766.384,58	-3.839.998,97	1.768.939,84	-4.766.547,40	-3.840.124,64	17,46	162,82	125,67
PF36	1.821.712,91	-4.746.286,39	-3.839.891,81	1.821.696,98	-4.746.451,20	-3.840.018,32	15,93	164,81	126,51
PF80	1.756.032,64	-4.801.400,81	-3.802.766,95	1.756.014,69	-4.801.563,04	-3.802.891,79	17,95	162,23	124,84
M130	1.815.685,95	-4.789.050,88	-3.791.460,71	1.815.669,13	-4.789.215,17	-3.791.586,62	16,82	164,29	125,91
3014	1.820.274,47	-4.785.480,54	-3.793.332,54	1.820.257,76	-4.785.644,99	-3.793.458,56	16,71	164,45	126,02
PF02	1.783.762,54	-4.813.163,93	-3.774.983,86	1.783.744,84	-4.813.326,98	-3.775.108,96	17,70	163,05	125,10
PF37	1.784.333,20	-4.841.289,89	-3.739.345,90	1.784.315,15	-4.841.452,72	-3.739.470,52	18,05	162,83	124,62
YPF5	1.801.050,48	-4.878.237,19	-3.683.836,55	1.801.032,30	-4.878.400,56	-3.683.961,04	18,18	163,37	124,49
YPF6	1.805.108,76	-4.897.063,12	-3.656.898,87	1.805.090,48	-4.897.226,66	-3.657.023,24	18,28	163,54	124,37
PF18	1.809.473,03	-4.814.207,91	-3.763.378,65	1.809.455,76	-4.814.371,86	-3.763.504,11	17,27	163,95	125,46
PF22	1.832.323,87	-4.902.902,92	-3.635.505,11	1.832.305,96	-4.903.067,53	-3.635.630,00	17,91	164,61	124,89
YPF7	1.882.524,82	-4.886.961,09	-3.630.806,07	1.882.507,73	-4.887.127,41	-3.630.931,93	17,09	166,32	125,86
YPF8	1.820.056,09	-4.826.266,37	-3.742.065,88	1.820.038,83	-4.826.430,59	-3.742.191,35	17,26	164,22	125,47
LL05	1.841.194,71	-4.852.408,17	-3.697.307,40	1.841.177,39	-4.852.572,86	-3.697.432,84	17,32	164,69	125,44
PF13	1.820.445,53	-4.852.763,02	-3.707.308,37	1.820.427,88	-4.852.926,96	-3.707.433,40	17,65	163,94	125,03
CLEI	1.825.278,35	-4.868.895,49	-3.683.684,18	1.825.260,63	-4.869.059,67	-3.683.809,18	17,72	164,18	125,00
CLEY	1.825.273,59	-4.868.898,22	-3.683.683,76	1.825.255,87	-4.869.062,39	-3.683.808,76	17,72	164,17	125,00
YPF8	1.890.721,15	-4.852.092,85	-3.673.062,54	1.890.704,51	-4.852.259,46	-3.673.188,92	16,64	166,61	126,38
MALA	1.812.288,65	-4.858.172,51	-3.704.652,79	1.812.270,82	-4.858.336,18	-3.704.777,65	17,83	163,67	124,86
BBBL	1.789.219,90	-4.855.493,21	-3.718.683,91	1.789.201,77	-4.855.656,14	-3.718.808,41	18,13	162,93	124,50
BENC	1.725.781,56	-4.774.987,06	-3.849.452,12	1.725.762,85	-4.775.148,32	-3.849.577,35	18,71	161,26	125,23
I157	1.757.994,98	-4.691.089,89	-3.936.515,47	1.757.979,70	-4.691.253,86	-3.936.640,91	15,28	163,97	125,44
BALI	1.847.392,27	-4.806.735,43	-3.992.835,18	1.847.378,83	-4.806.902,24	-3.992.963,03	13,44	166,81	127,85
CNEU	1.837.750,34	-4.639.893,21	-3.959.104,17	1.837.736,58	-4.640.059,62	-3.959.231,57	13,76	166,41	127,40
NIHL	1.919.876,80	-4.874.137,39	-3.628.168,31	1.919.860,12	-4.874.305,03	-3.628.294,93	16,48	167,64	126,62
PROMEDIO							15,75	164,93	126,18
DESUDIO ESTÁNDAR							1,88	1,98	1,29

Tabla 19: Constantes geocéntricas entre Posgar 94 y Chos Malal de la CN (fuente: Informe Energicon)

4- Cálculo de alturas

En ambas cuencas coexisten los siguientes marcos altimétricos:

- Nivelación del MOP (Ministerio de Obras Públicas)
- Cotas Trigonométricas de los Puntos de Triangulación
- Red de Nivelación del IGM (Nivelación geométrica)

La nivelación del MOP es la más antigua y fue la base de la nivelación de la Administración General de Ferrocarriles del Estado.

En la cuenca Golfo San Jorge la línea de nivelación que dio cota a la base Pampa del Castillo tiene como arranque la cota del riel en el eje de la Estación del mismo nombre, y es de 723,64 metros. A partir de estos puntos el IGM dio cota a los vértices de la red geodésica Pampa del Castillo mediante nivelación trigonométrica.

En la cuenca Neuquina constituye el origen de la nivelación trigonométrica del sistema Chos Malal. YPF continuó realizando la nivelación de los puntos en el mismo sistema.

Posteriormente a ambas cuencas llegó la Red de Nivelación del IGM.

- En la cuenca Golfo San Jorge

De los 22 puntos medidos de la red de apoyo, 6 de ellos corresponden a puntos fijos de la nivelación del IGM, los que fueron empleados para dar cota (altura sobre el nivel medio del mar) al resto de los puntos de la red, y al mismo tiempo obtener información del comportamiento del geode en la cuenca, a efectos de corregir las alturas elipsoidales de todos los puntos relevados.

Mediante la expresión:

$$N = h - H$$

Donde N es la ondulación geoidal

h es la altura elipsoidal, y

H es la cota ortométrica,

y usando las alturas elipsoidales Posgar 94, surgidas del ajuste de la red, se calculó la altura del geode sobre el elipsoide WGS84, es decir la ondulación geoidal N.

Nomenclatura	IDGPS	Alt.Elips.Psg94	Cota ortom.IGM	Alt.El.Psg94 - Cota IGM
		metros	metros	metros
PF17 N(340)	PF17	35,837	22,577	13,26
PF13 N(340)	PF13	20,111	7,386	12,725
PF13 N(237)	P13A	348,792	333,108	15,684
PF6 N(217)	PF06	295,179	278,995	16,184
PF48 N(218)	PF48	333,669	318,055	15,614
PF50 N(217)	PF50	543,036	527,269	15,767

Tabla 20: Alturas elipsoidales Posgar 94 y Cotas ortométricas (fuente: Informe Energicon)

Al mismo tiempo se calcularon las alturas del geode sobre el elipsoide WGS84 a partir de las alturas elipsoidales calculadas en Posgar 98 y se obtuvieron:

Nomenclatura	IDGPS	Alt.Elips.Psg98	Cota ortom.IGM	Alt.El.Psg98- Cota IGM
		metros	metros	metros
PF17 N(340)	PF17	36,081	22,577	13,504
PF13 N(340)	PF13	20,35	7,386	12,964
PF13 N(237)	P13A	349,072	333,108	15,964
PF6 N(217)	PF06	295,484	278,995	16,489
PF48 N(218)	PF48	333,972	318,055	15,917
PF50 N(217)	PF50	543,336	527,269	16,067

Tabla 21: Alturas elipsoidales Posgar 98 y Cotas ortométricas (fuente: Informe Energicon)

Todas las alturas geoidales obtenidas se compararon con el modelo EGM96 de 360x360 términos, y se obtuvieron los resultados que muestran la tabla siguiente:

	Posgar 94 - Cota	Posgar 98 - Cota	N EGM96	Dif en Posgar94	Dif en Posgar98
PF17 N(340)	13,26	13,50	13,87	-0,61	-0,37
PF13 N(340)	12,73	12,96	13,53	-0,80	-0,57
PF13 N(237)	15,68	15,96	15,02	0,66	0,94
PF6 N(217)	16,18	16,49	15,35	0,83	1,14
PF48 N(218)	15,61	15,92	14,58	1,03	1,34
PF50 N(217)	15,77	16,07	14,62	1,15	1,45
			PROMEDIO	0,38	0,66
			DESVIO ESTANDAR	0,86	0,89

Tabla 22: Comparación de alturas geoidales (fuente: Informe Energicon)

Los resultados mostraron que el EGM96 provee de valores que son aproximadamente 90 cm más altas que las observadas a partir de las alturas elipsoidales Posgar 94 en la cuenca, y que los residuales que dejan las diferencias halladas respecto del valor promedio de 0,37 metros son compatibles con ondulaciones locales y con la precisión altimétrica de la red GPS medida.

- En la cuenca Neuquina

En este caso fueron 47 los puntos medidos, y 10 de ellos correspondieron a puntos fijos de nivelación del IGM que fueron utilizados para realizar el mismo procedimiento que en la cuenca Golfo San Jorge.

CODIGO	N Egm96	ALT-COTA	DIF MODELO-MEDIDO
PF07	21.421	21.134	0.29
PF33	22.056	21.445	0.61
NEUQ	19.021	17.834	1.19
PF81	21.521	21.15	0.37
PF36	23.012	23.087	-0.07
PF80	26.506	26.394	0.11
PF02	27.058	26.346	0.71
PF37	27.527	27.491	0.04
PF22	27.736	28.259	-0.52
PF13	26.67	27.276	-0.61
		Promedio	0.21
		Desvio	0.55

Tabla 23: Alturas elipsoidales Posgar 94 y Cotas ortométricas (fuente: Informe Energicon)

Los resultados mostraron que el EGM96 provee de valores que difieren entre 0,61 metros en el punto PF22, y 1,19 metros en el Nodal 62 (NEUQ en el código de la tabla), lo que representa un promedio de 0,21 con un desvío estándar de 0,55 metros.

5- Georreferenciación y Ortorrectificación de las imágenes satelitales

Inicialmente las imágenes adquiridas por YPF para cubrir toda la superficie de ambas cuencas fueron Ikonos. Posteriormente, y ante la mayor oferta y la cada vez mejor resolución de las imágenes se adquirieron las de los satélites QuickBird, GeoEye y WorldView.

De todas las imágenes se disponen de pares estereoscópicos que permiten generar los correspondientes DEMs, cuyas resoluciones no deben ser menores a los 5 metros.

Para las georreferenciaciones y ortorrectificaciones se utiliza el software de procesamiento de imágenes Erdas-Imagine.

Para el ajuste planimétrico se usan los puntos de apoyo de las redes YPF tomando las coordenadas referidas al sistema local de cada cuenca (no a Campo Inchauspe ni a Posgar), y en la proyección Gauss Kruger faja 2. Esto es fundamental para obtener resultados confiables en las ubicaciones de los pozos. La imagen satelital original y todos sus subproductos, al estar en el sistema local pero sin tener asignado el sistema geodésico evita que ArcGIS realice una proyección al vuelo (on the fly) que alteraría la ubicación de los pozos de la base GIS de YPF. A la vez, esta base tampoco debe tener asignado el sistema de referencia, puesto que cada pozo tiene coordenadas referidas a diferentes datums, que son los que hay que determinar.

El ajuste altimétrico se hace con los DEMs generados previamente, y también se utilizan los puntos de apoyo, ya que todos ellos tienen cota calculada.

El método de remuestreo adoptado por ser el más apropiado para esta metodología es el de vecino más próximo porque como se dijo anteriormente, conserva los valores de pixel originales. A diferencia de los métodos bilinear, convolución cúbica y mayoría, que en mayor o menor medida los modifica.

Es fundamental que las imágenes después de ser georreferenciadas y ortorrectificadas conserven las características radiométricas y espectrales de las originales, ya que representan el apoyo sustentable para todos los procesos siguientes que deben realizarse con el fin de obtener los resultados deseados.

6- Procesamiento de las imágenes satelitales

Se describe cada subproceso de la secuencia que se sigue para alcanzar el resultado final que es un layer vectorial de puntos que representan las bocas de los pozos extraídos de la imagen satelital.

- **Combinación de bandas**

La combinación usada para el despliegue en pantalla es el Falso Color Compuesto Estándar (4-3-2), donde el canal del infrarrojo cercano se despliega como rojo, el canal del rojo como verde y el canal del verde como azul. Esta combinación es útil para discriminar la vegetación que aparece en color rojo.

Además, se aplica un efecto de realce de Desvíos estándares con $n = 3$ para poder discriminar pequeños detalles de la imagen, tal como las bocas de los pozos dentro de las planchadas.

Pero en la clasificación digital se utilizan todas las bandas de la imagen, para poder discriminar mejor las coberturas presentes.

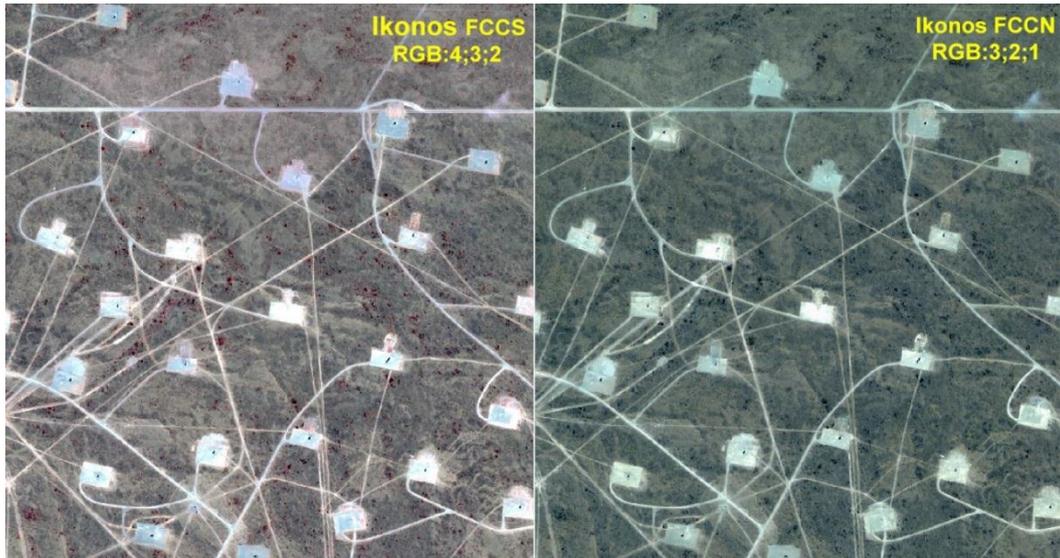


Fig. 13: Comparación entre Falso color compuesto estándar (izquierda) y normal (derecha)

- Clasificación supervisada

Con Erdas-Imagine se despliega la imagen satelital y sobre ella se dibujan algunos polígonos de planchadas y de la cobertura del suelo. Estos polígonos representan las áreas-muestra que el sistema reconocerá como las diferentes clases sobre las que el usuario hará la clasificación. De esta forma el sistema genera la firma espectral de cada clase para que esa misma firma sea reconocida en los restantes pixeles de la imagen. El objetivo de esta clasificación es establecer solamente dos clases: planchadas y estepa patagónica. Por lo que las áreas-muestra son polígonos basados en un clase definida. Sin embargo en esta etapa hay al menos 8 clases, ya que se toman variaciones de colores de a pares, con el fin de cubrir la mayor cantidad de variaciones de color tanto en las planchadas como en la cobertura de suelo.

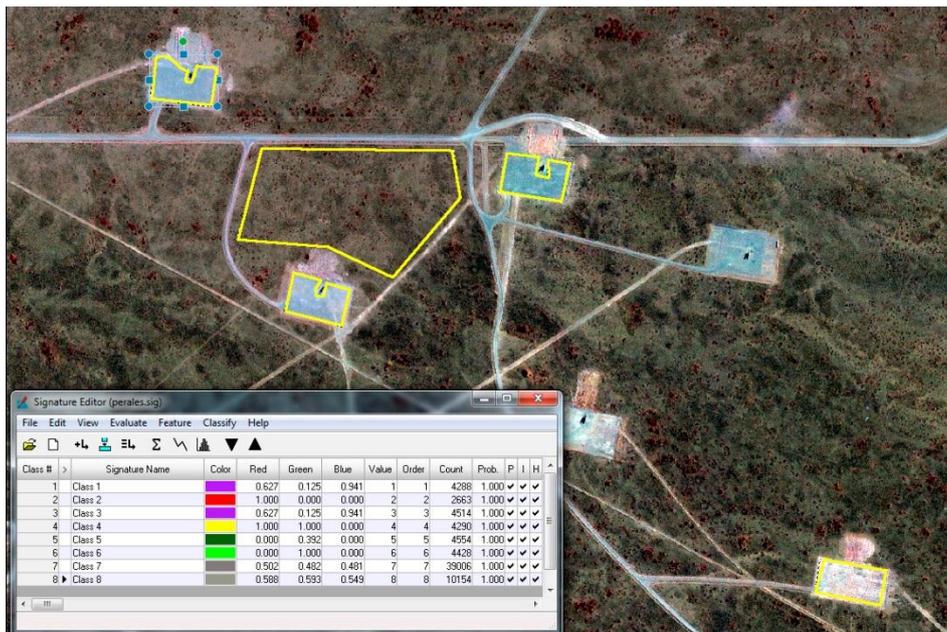


Fig. 14: Toma de muestras de las distintas clases espectrales

El paso final es hacer la clasificación propiamente dicha a partir de las firmas espectrales. El resultado de la clasificación es una imagen temática con las clases definidas anteriormente.

A cada clase se le asigna un color y un nombre para su fácil reconocimiento.

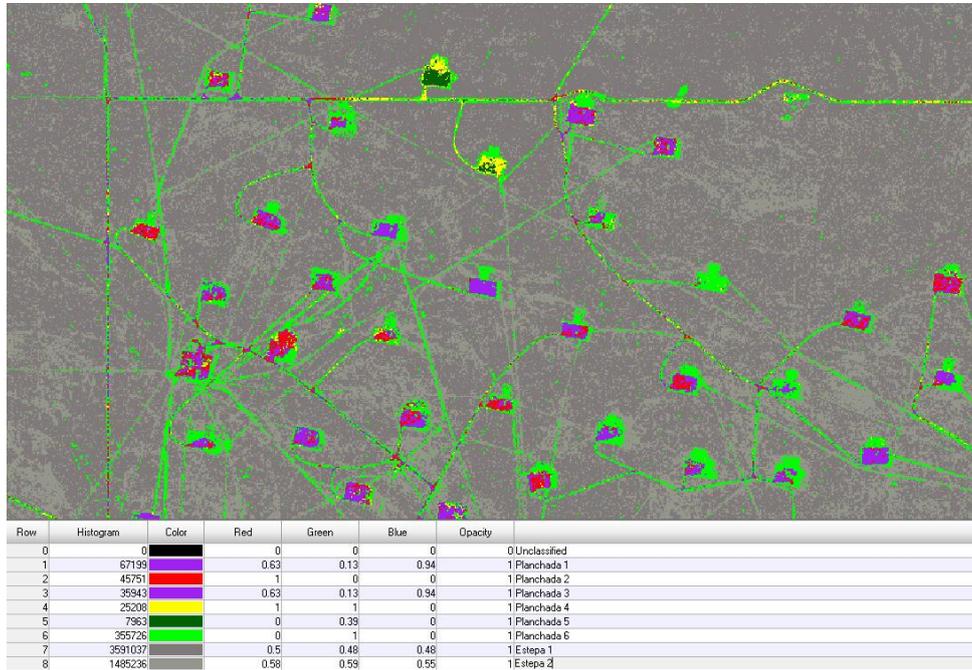


Fig. 15: Imagen temática producto de la clasificación supervisada

- Posclasificación

- Recodificación:

Consiste en agrupar las distintas clases de planchada en una sola, y las distintas clases de estepa en otra. De tal forma que la imagen temática resultante tenga solamente dos clases: las planchadas y la estepa.

En la Fig. 16 (derecha) se muestra en rojo la firma espectral de planchadas y en beige estepa.

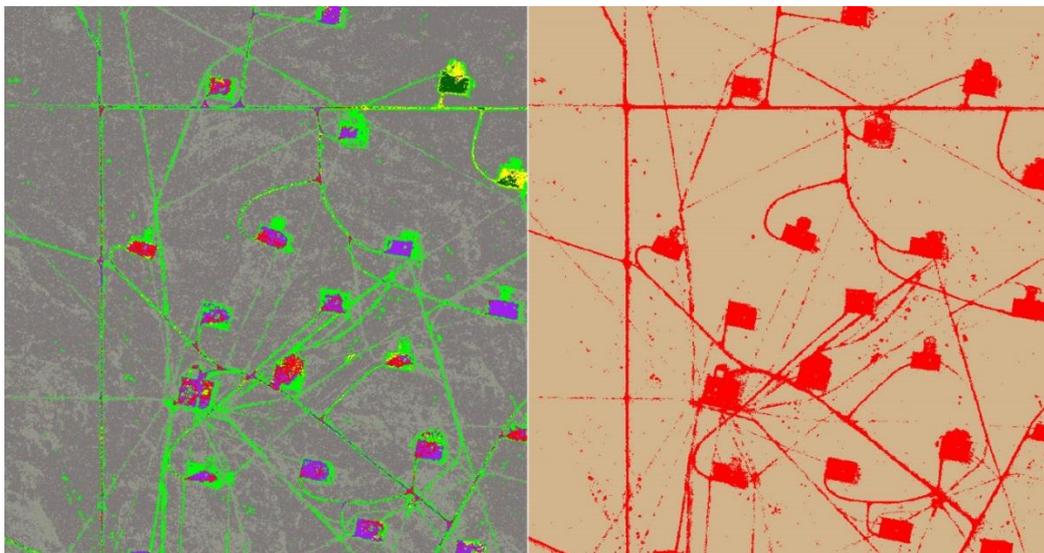


Fig. 16: Imagen temática producto de la recodificación en dos clases

-Limpieza de la imagen recodificada a través de técnica de enmascaramiento: Con ArcGIS se generan buffers de 5 metros a uno y otro lado de los layers de líneas que representan los caminos y los ductos disponibles (Fig. 17). Ambos buffer se unifican en un solo layer, ya que el único uso es de actuar como enmascaramiento en Erdas-Imagine para limpiar el ruido espectral que no son planchadas (Fig. 18).

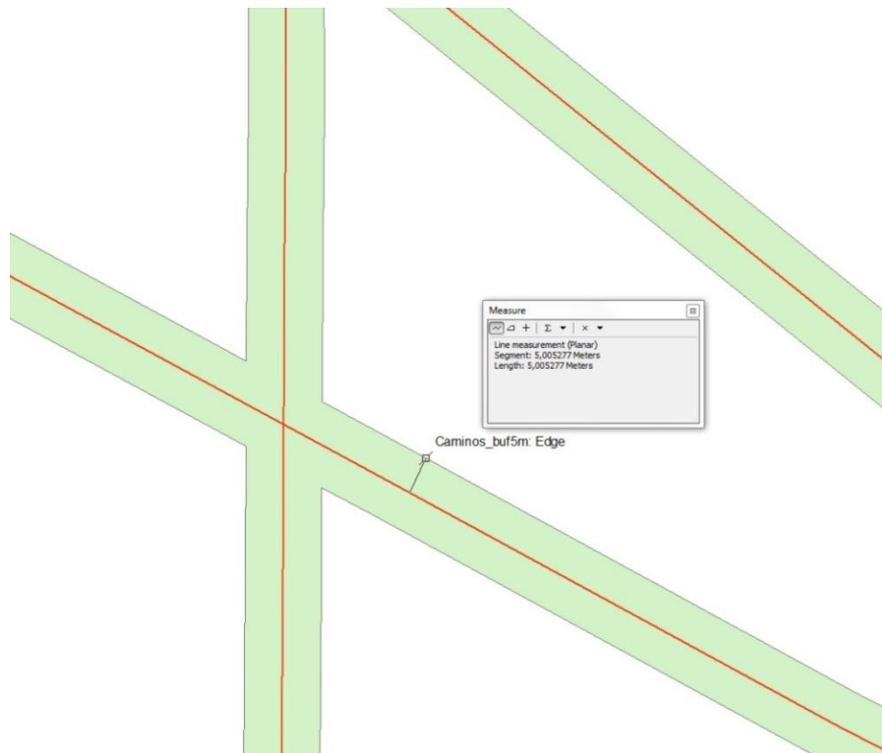


Fig. 17: Generación de buffer de 5 metros a partir de líneas de caminos y ductos

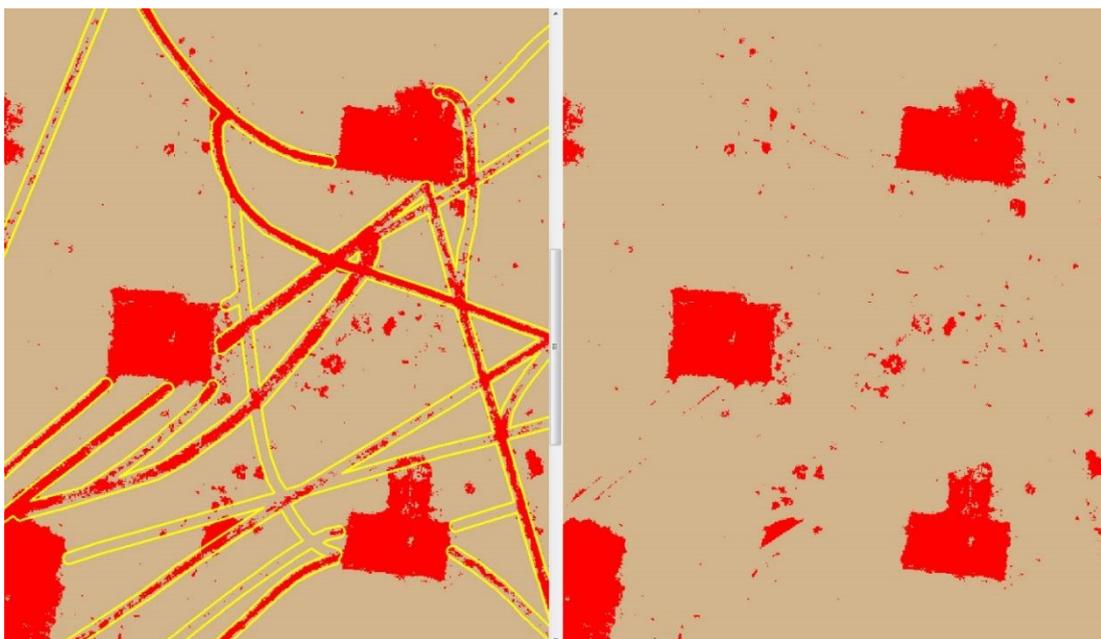


Fig. 18: Antes y Después de la limpieza de ruido espectral con buffer de enmascaramiento

-Eliminación de sectores mal clasificados

Si bien la técnica de enmascaramiento elimina casi todo lo que es lineal, aún quedan pequeñas zonas que no son planchadas de pozos. Para eliminarlas se usa Erdas-Imagine y se hace un clump (agrupamiento) en base a vecindad 4, para convertir los sectores conexos de la imagen temática con dos clases, en múltiples objetos que guardan el valor original del pixel del cual provienen, y da por resultado una imagen con objetos raster. Luego se filtran por superficie los objetos menores a 0,5 hectáreas. De esta forma se limpia la clasificación para dejar los objetos de mayor tamaño que corresponde a las planchadas (Fig. 19).

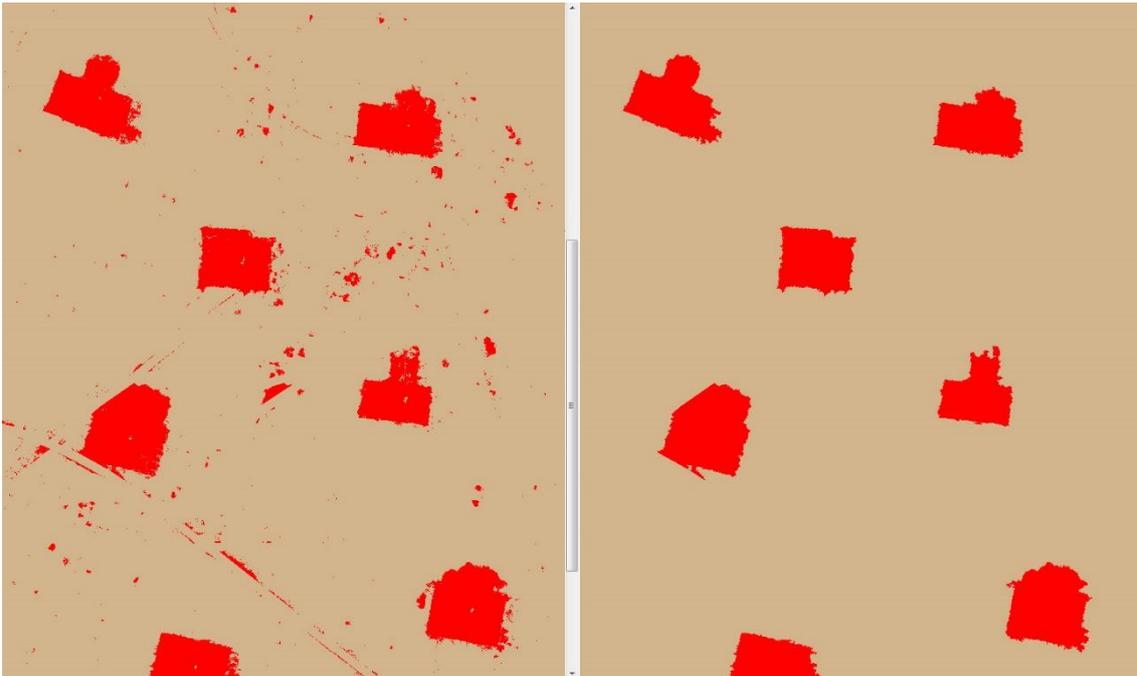


Fig. 19: Imagen temática resultante

- Vectorización de las planchadas de los pozos

De todos los resultados elaborados en cada subproceso se obtiene uno definitivo donde se puede discriminar con bastante certeza las zonas donde hay planchadas de pozos.

Con ArcGIS se genera de forma automática la capa vectorial de polígonos que corresponde a las planchadas de los pozos, a partir de la imagen temática definitiva (Fig. 19 derecha)

- Extracción de las planchadas desde la imagen

Con Erdas-Imagine y usando la capa vectorial de polígonos de las planchadas de los pozos, se extraen (clip) las partes de la imagen satelital donde hay planchadas, y se descarta el resto, tal como se observa en la Fig. 20 (derecha).



Fig. 20: Imagen extraída de las planchadas de los pozos

- Clasificación no supervisada

Tomando la extracción de imagen satelital correspondiente a las planchadas de los pozos, con Erdas-Imagine se realiza una clasificación no supervisada, con el fin de poder identificar las bocas de los pozos dentro de cada planchada.

En realidad no es específicamente la boca del pozo, sino la sombra de la torre de perforación, pero que es prácticamente coincidente con la boca.

Mediante observación de la imagen se definen las clases que pertenecen a la sombra de la torre para hacer una recodificación que simplifique la imagen a dos clases: boca de pozo y resto.

A continuación se realiza un filtrado temático por mayoría para eliminar los pixeles aislados que no corresponden a bocas de pozos.

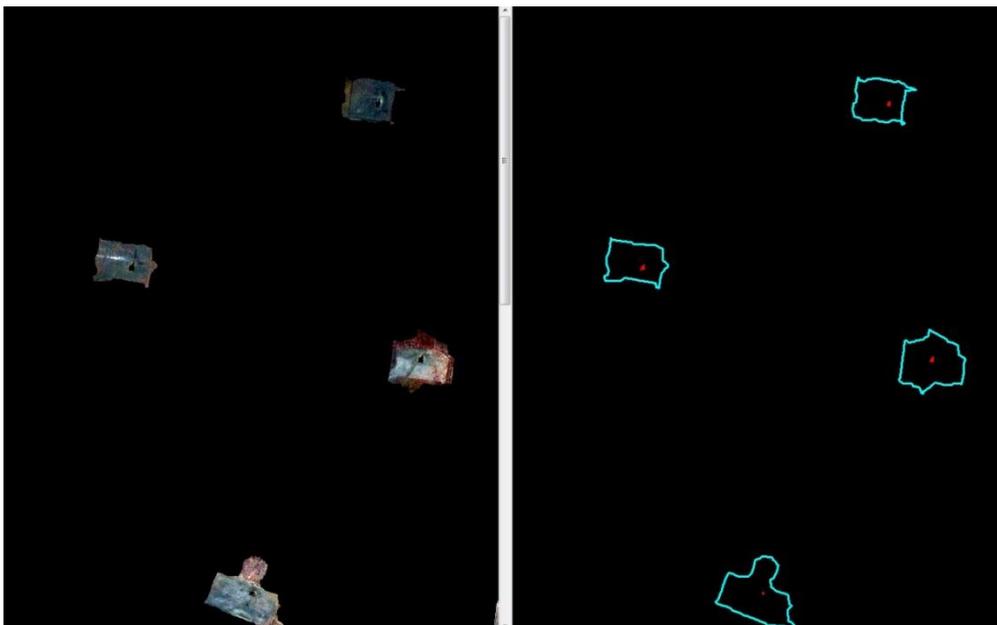


Fig. 21: Imagen temática obtenida

-Generación de capa vectorial de puntos correspondiente a las bocas de pozos
En primer lugar, y usando ArcGIS, se genera una capa de polígonos que corresponde a la boca de pozo, a partir de su correspondiente imagen temática.

A continuación se convierte la capa de polígonos a una capa de puntos que representan las bocas de los pozos. Siendo este el producto final que corresponde a las ubicaciones de los pozos extraídas de la imagen satelital, y que es fundamental para la comparación con los pozos vectoriales de la base GIS, calcular los desplazamientos, determinar el tipo de error, y en definitiva, poder identificar los sistemas geodésicos de los pozos de YPF.

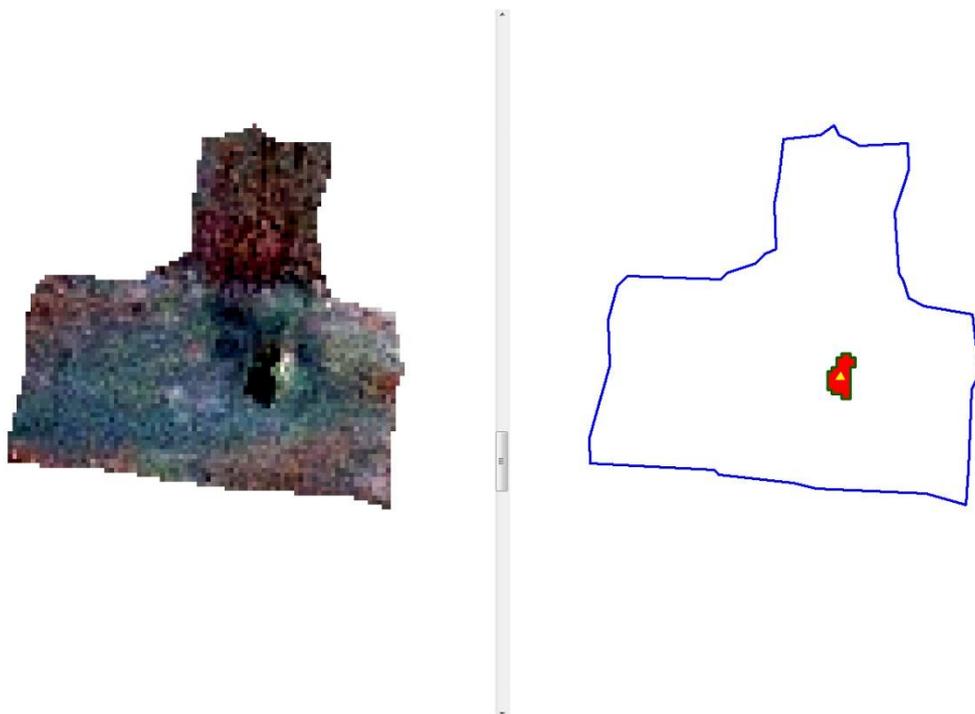


Fig. 22: Detalle del producto final obtenido para un pozo

-Solución para los casos de errores por omisión de bocas de pozos

En la Fig. 23 se ven resaltadas en borde celeste algunas planchadas donde la secuencia de subprocesos automática no pudo reconocer la sombra de la torre de perforación (boca de pozo), y por lo tanto la omitió.

Esta situación se presenta en un 15 % de los casos en imágenes satelitales de resolución radiométrica de 8 bits, y en menos del 10 % de las de 16 bits.

Las herramientas de selección por locación (Select by Location) de ArcGIS permiten visualizar fácilmente las planchadas que presentan este problema, y solucionarlo mediante la vectorización manual de los puntos correspondientes a las bocas de pozos omitidas. Ya que en la imagen de las planchadas se puede individualizar la zona aunque el subproceso automático no lo haya podido hacer.

La Fig. 24 muestra uno de estos casos, y la Fig. 25 tiene el pozo vectorizado manualmente.

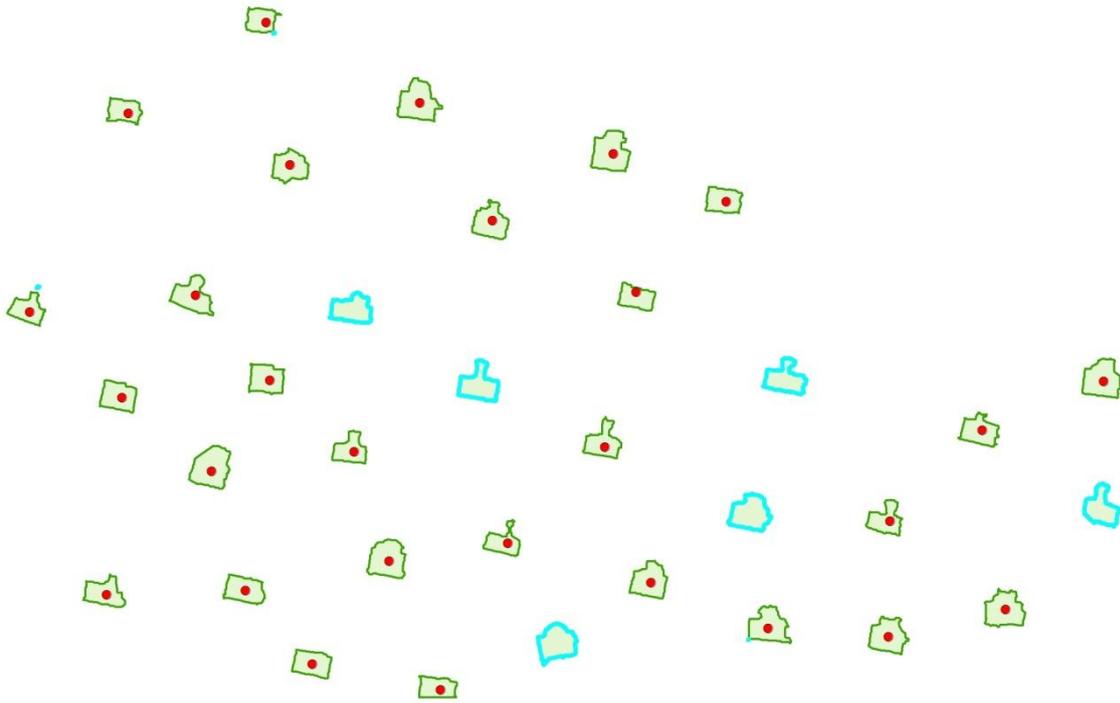


Fig. 23: Casos de errores por omisión



Fig. 24 Planchada con boca de pozo omitida por el software

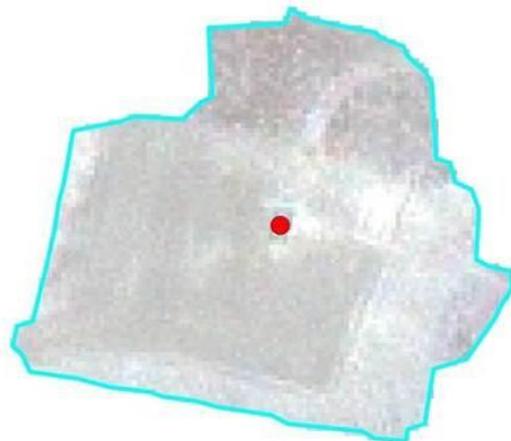


Fig. 25: Boca de pozo vectorizada

7- Obtención de resultados

Para obtener resultados confiables es indispensable comparar las siguientes capas con estas características:

1-Imágenes satelitales y todos sus subproductos deben estar en coordenadas planas Gauss Kruger, faja 2, referidas al sistema local de la cuenca, pero sin asignárselo.

2-capa vectorial de pozos de la base GIS de YPF en coordenadas planas Gauss Kruger faja 2, que no tiene sistema geodésico asignado.

En la Fig. 26 se aprecian los desplazamientos de los pozos de la base GIS de YPF con respecto a los obtenidos a través de la imagen satelital, con ésta de fondo.

Con estas diferencias se determina, en principio, el sistema geodésico de las coordenadas originales de la base de Pozos. Y en segunda instancia el tipo de error de las coordenadas originales que se consigna en el campo:

ERR_TYPE

Una vez identificados los sistemas geodésicos reales de las coordenadas originales de los pozos, se lo asignó en otro campo:

REFSIS_FIN

Finalmente se agregan los campos de coordenadas en el marco de referencia oficial Posgar 2007: X_Pos Y_Pos

Y los campos de coordenadas en Campo Inchauspe: X_CAI Y_CAI

En estos dos últimos casos se hacen las transformaciones (cuando es necesario), para disponer de la base de pozos GIS de YPF completamente validada en cuanto a su calidad posicional y tabular, y referida a los 3 sistemas de la cuenca.

El paso final consiste en levantar con ArcMap la tabla Excel con todos estos campos y crear un layer final de pozos en el marco de referencia oficial, pero conteniendo también las coordenadas originales con su correspondiente sistema geodésico perfectamente identificado y asignado.

Cabe destacar que los pozos con errores groseros que no puedan ser asociados con el de la imagen, probablemente requieran un replanteo en el terreno. En el caso que sí pueda ser identificado se le asigna el valor de coordenadas tomadas de la imagen satelital, referenciada en el sistema local.

WELL_NAME	YEAR	X_ORI	Y_ORI	REFSIS_ORI	X_IMAG_PdC	Y_IMAG_PdC	DeltaX	DeltaY	ERR_TYPE	REFSIS_FIN
YPF.SC.LM.a-572	2001	2467920,74	4891515,88		2468046,90	4891391,45	126,16	-124,43	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM.a-665	2003	2469297,84	4891123,06		2469425,76	4890998,60	127,92	-124,46	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-464	2001	2469343,11	4891759,32		2469469,49	4891635,19	126,38	-124,13	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-465	2001	2468585,34	4891733,91		2468712,93	4891610,65	127,59	-123,26	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-551	2000	2468783,53	4891082,66		2468910,36	4890960,03	126,83	-122,63	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-555	2001	2469828,01	4891619,23		2469956,31	4891494,17	128,30	-125,06	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-564	2000	2469193,28	4892189,33		2469321,97	4892064,57	128,69	-124,76	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-566	2001	2468971,83	4891964,08		2469098,90	4891839,22	127,07	-124,86	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-567	2000	2468613,17	4892142,36		2468742,33	4892018,13	129,16	-124,23	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-586	2002	2468061,40	4891743,76		2468190,60	4891618,96	129,20	-124,80	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-593	2002	2469601,38	4891390,85	PAMPA DEL CASTILLO	2469728,04	4891265,98	126,66	-124,87	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-594	2002	2468652,82	4891337,68		2468780,16	4891211,61	127,34	-126,07	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-598	2002	2468271,20	4891564,75		2468399,55	4891439,45	128,35	-125,30	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-631	2003	2469007,37	4891237,82		2469135,47	4891112,58	128,10	-125,24	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-683	2004	2468357,35	4891290,91		2468486,31	4891166,93	128,96	-123,98	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-706	2007	2467712,42	4892410,28		2467840,32	4892285,37	127,90	-124,91	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-717	2007	2467468,37	4891912,63		2467596,58	4891788,67	128,21	-123,96	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-727	2008	2468168,88	4891034,27		2468296,39	4890909,73	127,51	-124,54	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM-729	2008	2467696,41	4891700,64	POSGAR	2467825,19	4891575,11	128,78	-125,53	GEODESICO (SISTEMATICO)	CAMPO INCHAUSPE
YPF.SC.LM.a-570	2000	2470037,03	4891224,47		2470252,19	4891304,33	215,16	79,86	GEODESICO (SISTEMATICO)	POSGAR
YPF.SC.LM-565	2001	2468026,63	4892077,48		2468241,00	4892157,05	214,37	79,57	GEODESICO (SISTEMATICO)	POSGAR
YPF.SC.LME.x-7	2000	2468347,90	4892232,92		2468563,43	4892312,43	215,53	79,51	GEODESICO (SISTEMATICO)	POSGAR
YPF.SC.LME.x-2	1988	2469614,96	4890601,33	CAMPO INCHAUSPE	2468613,49	4890845,12	-1001,47	243,79	GROSERO (ACCIDENTAL)	
YPF.SC.LM.a-571	2001	2469020,92	4891452,13		2469020,88	4891452,25	-0,04	0,12	NO	PAMPA DEL CASTILLO
YPF.SC.LM.a-573	2001	2468131,03	4891093,72	PAMPA DEL CASTILLO	2468131,00	4891093,72	-0,03	0,00	NO	PAMPA DEL CASTILLO
YPF.SC.LM-552	2001	2470257,24	4891616,24		2470257,24	4891616,24	0,00	0,00	NO	PAMPA DEL CASTILLO
YPF.SC.LM-569	2001	2470014,16	4891045,24		2470013,75	4891045,59	-0,41	0,35	NO	PAMPA DEL CASTILLO
YPF.SC.LM-588	2002	2469383,26	4891289,43		2469382,99	4891289,65	-0,27	0,22	NO	PAMPA DEL CASTILLO
YPF.SC.LM-639	2003	2468181,30	4892513,45	PAMPA DEL CASTILLO	2468181,30	4892513,45	0,00	0,00	NO	PAMPA DEL CASTILLO
YPF.SC.LM-711	2007	2469722,23	4890977,85	PAMPA DEL CASTILLO	2469723,60	4890977,29	1,37	-0,56	NO	PAMPA DEL CASTILLO
YPF.SC.LM-728	2008	2467787,21	4891082,93	PAMPA DEL CASTILLO	2467787,17	4891082,92	-0,04	-0,01	NO	PAMPA DEL CASTILLO
YPF.SC.LM.x-1	1935	2467976,33	4891826,54	PAMPA DEL CASTILLO	2468007,08	4891831,72	30,75	5,18	PRECISION (ALEATORIO)	PAMPA DEL CASTILLO
YPF.SC.LM.x-3	1948	2469020,31	4892170,35		2469042,48	4892184,89	22,17	14,54	PRECISION (ALEATORIO)	PAMPA DEL CASTILLO
YPF.SC.LM.x-2	1942	2468430,16	4891776,84	PAMPA DEL CASTILLO	2468403,83	4891795,41	-26,33	18,57	PRECISION (ALEATORIO)	PAMPA DEL CASTILLO

Tabla 24: Determinación del sistema geodésico y del tipo de error encontrado (fuente: elaboración propia)

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se expresó al principio de esta tesina, son considerados pozos históricos a los perforados hasta el 31 de agosto de 2009, ya que el 1 de septiembre de ese mismo año entró en vigencia una normativa interna en YPF que hace obligatorio el uso de la red Posgar 2007 para toda tarea topográfica de medición, generación y adquisición de datos en la actividad exploratoria y de explotación de hidrocarburos.

La gran cantidad de años que van desde el inicio de la perforación hace que el volumen de pozos históricos representen el enorme porcentual de más del 92 % del total de pozos de la base GIS de YPF. A causa de esto, la metodología de trabajo que se describe en esta tesina es considerada de envergadura y lleva varios años ejecutándose.

En la tabla se muestra el total de pozos en ambas cuencas (Neuquina y Golfo San Jorge) al 31 de diciembre de 2015, que es de 33.068. De esta cifra, son pozos históricos 30.622. Y hasta el momento presente el porcentual de avance de identificación y asignación de los sistemas geodésicos está apenas llegando al 49,6 %.

TOTAL POZOS al 31 DIC 2015	33068				
HISTÓRICOS AL 31 AGO 2009	30622			% AVANCE	
POZOS RELEVADOS	15187	EVALUADOS	49,6		
		% s/15187	POZOS EVALUADOS		
CON ERRORES	11215	74			
SIN ERRORES	3972	26			
TIPOS DE ERRORES		% s/11215			
GROSEROS	580	5	% s/9579		
DE SISTEMA GEODESICO	9579	86	NO ASIGNADO	8797	92
			MAL ASIGNADO	782	8
DE PRECISION EN MEDICION	1056	9			

Tabla 25: Tabla de Errores totales (fuente: cálculos propios)

Este aparente retraso se debe fundamentalmente a que a la gran mayoría (el 74 % entre ambas cuencas) de los pozos evaluados se les detectaron algún tipo de error. Mientras que sólo el 26 % tienen su localización y sistema geodésico consistentes.

En una primera clasificación se dividieron a los pozos históricos en:

- Sin Errores
- Con Errores

Los pozos "Con Errores" se tipificaron en 3 clases:

-Errores Groseros. Tienen valores de desplazamientos grandes, por lo que son fáciles de identificar visualmente. Las causas de estos errores pueden ser variadas, e incluyen tanto humanas como de instrumental.

Las humanas pueden ser equivocaciones en la escritura a mano que antiguamente se hacía en los informes de los pozos en papel, y posteriormente de tipeo en planillas de cálculo de la computadoras.

Se detectaron valores de coordenadas con número equivocados, o números invertidos.

Este tipo de errores son lo que requieren un ineludible replanteo in situ. Es decir, que es necesario ir al terreno, localizar el pozo y volver a medirlo.

Los pozos con errores groseros llevan implícito también un error geodésico, ya que la mayoría no tenía especificado el sistema. Y aunque algunos de ellos sí lo tenían, no se podía determinar si era correcto o no, porque el error principal excedía cualquier parámetro de verificación.

Afortunadamente los errores groseros representan menos del 5 % del total de pozos con errores.

-Errores de Sistema Geodésico. Según la Teoría de los Errores de Medición, esta tipificación corresponde a los Errores Sistemáticos ya que, según el sistema geodésico del que se trate, el comportamiento siempre es en un mismo sentido. Por tener su origen en causas permanentes actúan siempre con el mismo signo y módulo, lo que facilita su corrección, que se efectúa directamente desde gabinete sin necesidad de visitas al terreno, aplicando los parámetros calculados de desplazamientos entre sistemas geodésicos.

Representan el 86% de los pozos con errores.

-Errores de Precisión en la Medición. Este caso se corresponde con los Errores Aleatorios de la misma Teoría. Muestran desplazamientos muy pequeños con respecto a la localización real del pozo, pero presentan un comportamiento aleatorio con signos tanto positivos como negativos. Se deben al instrumental usado en décadas pasadas antes del desarrollo y difusión masiva de la tecnología satelital. Partiendo de las mediciones con cintas invar, teodolitos, etc. que requerían una larga y tediosa serie de mediciones para calcular el valor más probable de una medición. Este tipo de errores se hace evidente al comparar las mediciones efectuadas en el pasado con las actuales para los mismos puntos de los sistemas geodésicos locales. Los desplazamientos nunca superaron los 25 metros en diagonal, y siempre estaban dentro de la planchada.

Como en el caso de los pozos con errores groseros, los pozos con errores de precisión en la medición también llevan implícito un error geodésico. Y al igual que los primeros, tuvieran o no asignados los correspondientes sistemas geodésicos, no era posible confirmarlo a causa del comportamiento errático y de pequeños desplazamientos de sus ubicaciones.

Los pozos con este tipo de errores representan el 9 % del total de pozos con errores, y se focalizan principalmente en las primeras cuatro décadas del siglo XX.

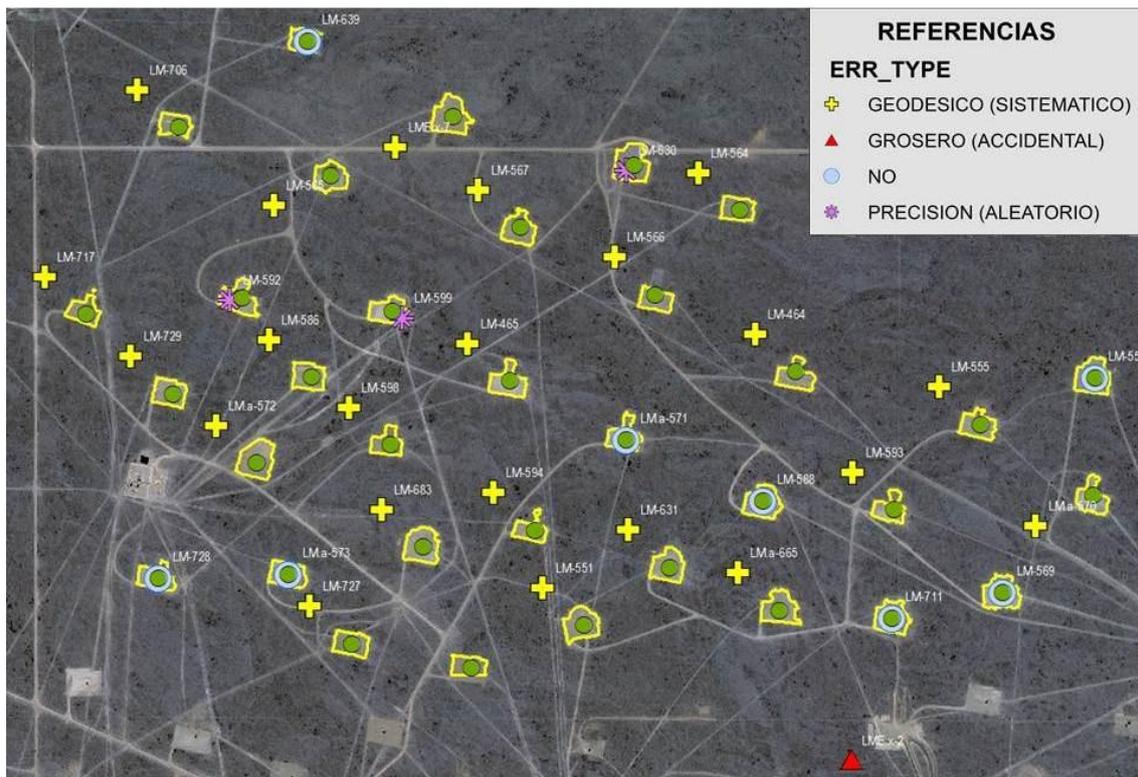


Fig. 27: Tipificación del tipo de error de desplazamiento de los pozos

- En la cuenca Golfo San Jorge

Del total de 19.312 pozos históricos, se llevan evaluados 8650 pozos. Lo que representa un porcentaje de avance del 44,8 %.

El mayor inconveniente que presenta esta cuenca es que además de los 3 marcos geodésicos representativos (Pampa del Castillo, Campo Inchauspe y Posgar), los primeros pozos eran medidos con respecto a otro pozo anterior. Y si el pozo anterior no se lo puede encontrar en su ubicación física, se hace muy difícil, o casi imposible la medición de todos los pozos referidos a aquél.

Otro gran inconveniente detectado es que se establecieron acotados marcos de referencia locales que actualmente no es posible localizar sus orígenes.

Entre estos marcos están los denominados Mina y Pampa Minerales, a los cuales fueron referidos varios pozos del yacimiento Campamento Central donde se descubrió petróleo por primera vez. Para referir estos pozos al marco oficial, requieren replanteo in situ.

En las estimaciones que se están llevando a cabo, muchos pozos van a quedar sin sistema geodésico asignado, tanto por los inconvenientes mencionados anteriormente, como también por el hecho de que un gran número de pozos están tapados por construcciones de viviendas, consecuencia del crecimiento demográfico de la ciudad de Comodoro Rivadavia.

De los 8650 pozos analizados, 2076 (24 %) no presentaron errores. Mientras que 6574 (76 %) sí lo hicieron.

De este total, el 6 % son errores groseros, el 9 % son errores de precisión en la medición, y el 85 % errores de sistema geodésico.

De los 5588 pozos con errores de sistema geodésico, el 91 % (5085 pozos) no tenía sistema asignado, y el 9 % restante (503 pozos) sí lo tenía, pero mal asignado.

TOTAL POZOS al 31 DIC 2015	20764				
HISTÓRICOS HASTA 31 AGO 2009	19312			% AVANCE	
POZOS RELEVADOS	8650	EVALUADOS	44,8		
		% s/8650	POZOS EVALUADOS		
CON ERRORES	6574	76			
SIN ERRORES	2076	24			
TIPOS DE ERRORES		% s/6574			
GROSEROS	394	6			% s/5588
DE SISTEMA GEODESICO	5588	85	NO ASIGNADO	5085	91
			MAL ASIGNADO	503	9
DE PRECISION EN MEDICION	592	9			

Tabla 26: Tabla de Errores en Cuenca Golfo San Jorge (fuente: cálculos propios)

- En la cuenca Neuquina

En esta cuenca el total de pozos históricos es de 11.310, y se llevan analizados el 57,8 % que representan 6537 pozos.

De este total, 4641 (el 71 %) tenían errores de diverso tipo, y 1896 (el 29 %) estaban correctos tanto en las coordenadas de su ubicación como en el sistema geodésico que tenían asignados.

De los 4641 pozos con errores, el 4 % son errores groseros, el 10 % errores de precisión en la medición, y el 86 % errores de sistema geodésico.

Finalmente, de este último tipo de errores que son 3991 pozos, 3712 (91 %) no tenían asignado el sistema, y 279 pozos (el 9 %) lo tenían mal asignado.

TOTAL POZOS al 31 DIC 2015	12304				
HISTÓRICOS HASTA 31 AGO 2009	11310			% AVANCE	
POZOS RELEVADOS	6537	EVALUADOS	57,8		
		% s/6537	POZOS EVALUADOS		
CON ERRORES	4641	71			
SIN ERRORES	1896	29			
TIPOS DE ERRORES		% s/4641			
GROSEROS	186	4			% s/3991
DE SISTEMA GEODESICO	3991	86	NO ASIGNADO	3712	93
			MAL ASIGNADO	279	7
DE PRECISION EN MEDICION	464	10			

Tabla 27: Tabla de Errores en Cuenca Neuquina (fuente: cálculos propios)

CONCLUSIONES

La aplicación de la presente metodología forma parte de lo que, en los procesos de gestión de calidad de los datos, se denomina “reparación del error histórico”.

Los pozos son considerados por las compañías petroleras como información estratégica para el negocio de los hidrocarburos. Por lo que es sumamente importante hacer una validación de la calidad de todos sus componentes.

Los componentes de la calidad de los pozos que se validan con esta metodología son:

-la exactitud posicional es la eliminación de la discrepancia entre las coordenadas de la base vectorial con respecto a las coordenadas reales del terreno que se observan en la imagen satelital.

-la exactitud tabular es la eliminación de la inconsistencia entre el atributo consignado en la tabla y el que le corresponde en la realidad. En el caso de los pozos, la tabla puede indicar un sistema geodésico erróneo, o estar ausente.

La gestión de calidad de los datos consiste en una serie de procesos sucesivos e interrelacionados que al momento de implementarlos representan un punto de inflexión a partir del cual se instala la solución al problema.

En este caso la solución estuvo fundamentada por dos hechos relevantes:

-uno teórico: la normativa interna que obliga al uso de la red posgar 2007.

-uno práctico: la implementación de la metodología que se describe en esta tesina.

A partir del momento de la instalación de la solución la gestión se divide en dos procesos:

-Un proceso continuo de calidad de los datos a futuro. En este caso todos los nuevos pozos que se perforen siguiendo las disposiciones de la normativa estarán validados en cuanto a su exactitud posicional y tabular.

-Un proceso de reparación del error histórico cuyo nivel de complejidad es directamente proporcional al volumen de datos históricos, y requiere también de un proceso continuo y meticoloso hasta el objetivo final.

La metodología descrita a lo largo de esta tesina hasta ahora se está aplicando sólo a los pozos históricos, pero es factible de extenderse a otros activos estratégicos del negocio, como ser las líneas sísmicas históricas, las instalaciones de superficie (ductos, baterías, plantas, etc.) y las mensuras de las áreas exploratorias y de producción.

Finalmente amerita mencionarse que la corrección que se está aplicando en las coordenadas de pozos y, a futuro, en las de las líneas sísmicas, tienen un carácter predominantemente geológico-geofísico. Mientras que las mensuras de las áreas refieren esencialmente al aspecto legal.

En el primer caso, la validación de la calidad de esos datos servirá para ajustar con mayor precisión toda la información necesaria (imágenes satelitales, estructurales, secciones sísmicas, litológicos, topográficos, etc.) para los proyectos y estudios geológicos-geofísicos posteriores, y propuestas de pozos futuros. Y en el caso de las áreas, evitará conflictos legales con áreas

contiguas operadas por otras compañías que ya tienen sus mensuras apoyadas en el sistema geodésico oficial.

BIBLIOGRAFÍA y DOCUMENTACION CONSULTADA

Acosta, N., 2009. La ciencia geofísica. Cátedra de geofísica aplicada, UNSJB, Argentina. 308 pág.

Álvarez, G., 2005. Underlying importance of geodetic systems in hydrocarbon exploration (paper). XXII Conferencia Cartográfica Internacional, Coruña (España), 10 pág.

Angelici, M., 2012. Clasificación digital de imágenes satelitales. 10 pág.

Arozarena Villar, A., 2002. Teledetección y tratamiento digital de imágenes satelitales. 47 pág.

Bayala, M., 2011. Utilidades del remuestreo de datos para uso conjunto de información proveniente de diferentes misiones de satélites (tesis de grado). 137 pág.

Berendorf, S., 1986. La actividad geodésica del IGM. Revista del IGM año 1, N° 1, 4 pág.

Cabanillas, L. et al, 2013. Hidrocarburos convencionales y no convencionales. Ciencia Hoy, volumen 23 número 134 agosto-septiembre 2013. 9 pág.

Cardozo, O. et al., 2013. Aplicaciones urbanas de los sensores remotos. Resúmenes. Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. 6 pág.

Carrillo Verastegui, L., 2010. Procedimientos físicos en la prospección de hidrocarburos. Tesis de licenciatura en física, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima (Perú). 62 pág.

Casanova, J.L. et al., 2014. Curso teórico experimental de teledetección espacial. Universidad de Valladolid.

Comité nacional de la UGGI, 1999. Sistemas geodésicos. 47 pág.

Energicon, 2000. Red GPS Cuenca Golfo San Jorge. YPF. 239 pág.

Energicon, 2001. Marcos de referencia en las provincias del Neuquén y de Mendoza. YPF. 438 pág.

García Cuesta, J.L. et al., 2013. Curso de introducción a los sistemas de información geográfica. Departamento de Geografía. Universidad de Valladolid.

García Martín, A. et al, 1994. Topografía básica para ingenieros. Universidad de Murcia. 273 pág.

García, H., 2013. Clasificación supervisada usando medidas de geoestadística. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). 94 pág.

Gende, M., 2011. Evolución histórica de los marcos geodésicos argentinos. Universidad Nacional de La Plata. 15 pág.

Gómez Lahoz, J., 2014. Georreferenciación de imágenes de satélite. Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno. Universidad de Salamanca.

Gonzaga Aguilar, C., 2014. Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador (Tesis de maestría). 120 pág.

Grismeyer, W., 2014. Curso de elementos de exploración geofísica. Escuela de Ciencias del Mar. 145 pág.

IGM, 1997. Disposición 13/97 (Adopción de Posgar 94 como marco de referencia geodésico nacional).

Introcaso, A., 2006. Geodesia física. 128 pág.

Labrador García, M. et al, 2012. Satélites de teledetección para la gestión del territorio. Universidad de La Laguna (España). 66 pág.

Lauría, E.; Ramos R.; Cimbaro, S., 2003. Geodesia satelital (curso del CCCG). 116 pág.

Larrosa, J., 2000. Un resumen sobre aspectos fundamentales de la teledetección y sus aplicaciones. 53 pág.

Martin Asin, F., 1990. Geodesia y Cartografía Matemática (Universidad de Murcia). 422 pág.

Monterroso Tobar, M.F., 2009. Guía práctica: Clasificación de imágenes satelitales. 29 pág.

Pallejá, E. et al, 2004. Contribuciones a la geodesia aplicada (Universidad de Buenos Aires). 54 pág.

Pérez, D., 2007. Introducción a los sensores remotos. Aplicaciones en geología. Curso teórico-práctico UBA. 45 pág.

Ramos, R., 2003. La georreferenciación en cartografía. 13 pág.

Ramirez, G. et al, 2002. Unificación de los sistemas geodésicos (paper).

I Jornadas de Geotecnología (Mar del Plata, Argentina). 5 pág.

Resolución N° 1040/2009: Clasificación y Nomenclatura de Pozos de Hidrocarburos. Secretaría de Energía de la Nación. 21 pág.

Resolución N° 309/1993: Método para la realización de trabajos de deslinde y mensura por los concesionarios de áreas de explotación y permisionarios de áreas de exploración. Secretaría de Energía de la Nación. 10 pág.

Rodriguez Chavez, O. E. et al, 2005. Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto Modis de la NASA, aplicado a estudios de ingeniería civil. Trabajo de grado. 230 pág.

Rodriguez, R., 1989. Una red GPS para el país: el proyecto Posgar. Revista del IGM año 4, N° 6. 4 pág.

Rodríguez, R., 2003. Geodesia física, el problema altimétrico (curso del CCCG). 150 pág.

Rodriguez, R., 2006. 50 años de geodesia argentina. 25 pág.

Rodriguez, R.C. et al, 1987. El sistema Chos Malal reducido a Inchauspe 69. Revista del Instituto Geográfico Militar N° 5. 6 pág.

Salas, H., 2007. Centenario del petróleo argentino, tomo I (Instituto Argentino del Petróleo y del Gas). 207 pág.

Sevilla de Lerma, M., 1999. Introducción histórica a la geodesia. Universidad Complutense de Madrid. 52 pág.

Subcomité de geodesia, Comité nacional de la UGGI, 1996. Estándares geodésicos, sistema de posicionamiento global GPS. 34 pág.

Turic, M. et al, 1999. La exploración de petróleo y gas en la Argentina: el aporte de YPF. 178 pág.

Usandivaras, J.C. et al, 1988. Sistemas de referencia. Revista del IGM año 3, N° 5. 28 pág.

YPF, 2009. Sistema de referencia para la información georreferenciada. Norma interna. 5 pág.

YPF, 2009. Especificaciones técnicas para trabajos de topografía y geodesia. Anexo 01 de la norma Sistema de referencia para la información georreferenciada. 31 pág.

SITIOS WEB CONSULTADOS

http://fcaglp.unlp.edu.ar/referenciacion/index.php?title=Evoluci%C3%B3n_hist%C3%B3rica_de_los_marcos_argentinos&redirect=no (15 mayo 2015)

<http://www.cartografia.cl/beta/index.php/home/medio-ambiente/561-uso-de-geotecnologias-para-analisis-de-la-cobertura-vegetal-urbana> (24 mayo 2015)

http://www.landinfo.com/espanol/productos_satellite.htm (30 mayo 2015)

ArcGIS Desktop_Clasificacion de imagenes.html (30 mayo 2015)

<http://www.jpereira.net/apuntes-breves/fundamentos-de-la-clasificacion-en-teledeteccion> (20 julio 2015)

[http://cafegeodesico.blogspot.com.ar/Sistemas Geodésicos Argentinos Antiguos](http://cafegeodesico.blogspot.com.ar/Sistemas_Geodésicos_Argentinos_Antiguos) (09 julio 2016)

-artículo de Rubén Rodríguez con fecha 28 septiembre 2015-

<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/160000-164999/161762/norma.htm> (14 agosto 2016)

http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h52.html (4 septiembre 2016)

<http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/procesamiento-imagenes-satelitales.htm> (4 septiembre 2016 con artículo de noviembre 2007)

<http://asterweb.jpl.nasa.gov/> (4 septiembre 2016)

<http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Imagenes.html> (4 septiembre 2016)

<http://www.intelligence-airbusds.com/es/884-spot-6-y-spot-7> (5 septiembre 2016)

<http://www.satimagingcorp.com/services/resources/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems/> (5 septiembre 2016)

<http://www.satimagingcorp.es/svc/orthorectification.html> (11 septiembre 2016)