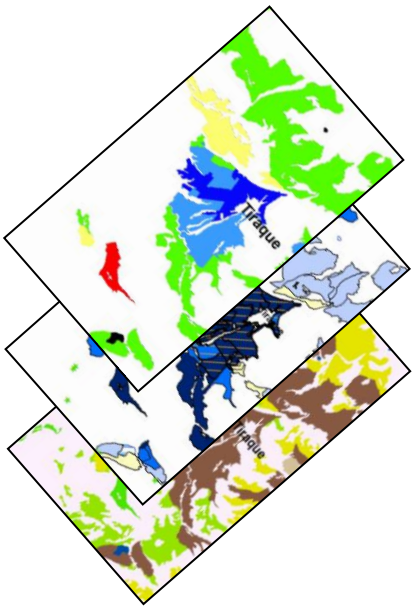
Balance hídrico para riego en la cuenca Pucara



Anibal Mayta Lopez

Rígel F. Rocha López

Abril 2013

Cochabamba – Bolivia

Contenido

1. INTRODUCCION 4
2. EL CONTEXTO DEL ESTUDIO 5
3.1 Ubicación 5
3.2 Clima 6
3.3 Uso de tierra 7
4. METODOLOGIA DE INVESTIGACION 8
4.1 Estudios preliminares 8
4.2 Diseño y estructuración de bases de datos 9
4.2.1 Demanda de agua para riego 9
4.2.1 Oferta de agua para riego 10
4.3 Balance hídrico: Desarrollo y establecimiento de un modelo SIG 12
5. RESULTADOS 14
5.1 Demanda de agua para riego: Las Zonas de Sistemas de Producción Dominantes (ZSPDs) 14
5.1.1 Zonas de Sistemas de Producción Dominantes (ZSPDs) 14
5.1.2 Demanda de agua para riego quincenal 18
5.1 Oferta de agua para riego: Las Zonas Organizativas de Aplicación de Agua (ZOAAs) 21
5.1.1 Zonas Organizativas de Aplicación de Agua (ZOAAs) 21
5.1.2 Oferta de agua para riego quincenal 23
5.3 El balance hídrico: Déficits hídricos de agua para riego quincenales 26
6. CONCLUSIONES 33
7. BIBLIGRAFIA 34

Índice de Figura

Figura 1. Ubicación del área de estudio 5
Figura 2. Zonas agroecológicas de la zona de estudio 6
Figura 3. Esquema metodológico del Balance Hídrico para riego 8
Figura 4. Representación grafica sobre la sobreposición de mapas para establecer el balance hídrico 12
Figura 5. Zonas de Sistemas de Producción Dominantes 16
Figura 6. Demanda de agua quincenal 18
Figura 7. Mapas quincenales de demanda de agua 19
Figura 8. Demanda de agua para riego en mm para los ZSPDs 20
Figura 9. Demanda de agua para riego en Hm3 para los ZSPDs 21
Figura 10. Fuentes de agua y zonas de riego en la cuenca Pucara 22
Figura 11. Oferta de agua mensual de los diferentes fuentes de agua 24
Figura 12. Oferta de agua quincenal 25
Figura 13. Mapas quincenales de oferta de agua 26
Figura 14. Oferta y demanda de agua para las diferentes quincenas 27
Figura 15. Déficit hídrico en la zona de Tiraque y Punata 28
Figura 16. Oferta y demanda de agua para las zonas de Tiraque y Punata 29
Figura 17. Déficits de agua expresados en lámina para las 24 quincenas 30
Figura 18. Mapas quincenales de déficits de agua 31

Índice de cuadros

Cuadro 1. Proyecto e investigaciones 9
Cuadro 2. Coeficientes de eficiencia de conducción en distintos tipos de canales (en % / kilómetro) 11
Cuadro 3. Caracterización de zonas de sistemas de producción dominantes 14
Cuadro 4. Resumen del mapeo de uso de tierra de la cuenca Pucara 17
Cuadro 5. Síntesis de Sistemas de riego en la cuenca Pucara 23

1. INTRODUCCION

Por las características climáticas y geográficas que presenta la Cuenca hidrográfica Pucara y el valle de Punata, existen condiciones aptas para la producción de una gran gamma de cultivos. Sin embargo la reducida precipitación pluvial que se encuentra mal distribuida a lo largo del año no cubre los requerimientos mínimos de agua de los cultivos, por lo que los agricultores deben recurrir a fuentes alternativas de agua para riego como reservorios, vertientes y pozos, que les permita por una parte asegurar su producción y por otra incrementar la productividad.

Los aportes de agua para riego no siempre satisfacen las reales demandas de agua de los cultivos, por lo que algunas zonas presentan déficits hídricos. Estos desbalances están estrechamente relacionados por la compleja distribución de los recursos hídricos, creando zonas con alta disponibilidad de agua que otros. En zonas que cuentan con aportes significativos de agua para riego presentan procesos de intensificación del uso de tierra y diversificación de la producción. Estos procesos también están estrechamente relacionados con el incremento de la disponibilidad de agua para riego.

El Proyecto SIDAGUA (Desarrollo de un sistema demostrativo de apoyo a la gestión de recursos hídricos en la cuenca Pucara, Bolivia), es financiado por AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo) y ejecutado por el Centro Andino para la Gestión y Uso del AGUA (Centro AGUA) de la UMSS. A través de este programa de investigación se pretende contribuir al desarrollo de instrumentos técnicos de apoyo que faciliten los procesos de generación de conocimiento sobre el ciclo del agua y de planificación y toma de decisiones para la gestión participativa de cuencas, de forma que sus resultados constituyan insumos para la consolidación de un enfoque y una estrategia para la gestión integral de recursos hídricos en Bolivia.

En este marco el presente reporte presenta los resultados del estudio de Balance Hídrico para riego en la cuenca Pucara. La metodología aplicada considera por un lado la determinación de la demanda de agua considerando la dinámica de la agricultura bajo riego a partir de la delimitación de Zonas de Sistemas de Producción Dominantes (ZSPD), y la determinación de la oferta de agua considerando la complejidad de la gestión y uso del agua de riego a partir de la delimitación de las Zonas Organizativas de Aplicación de Agua (ZOAA). El balance de demandas y ofertas de agua para riego permitió la identificación de zonas y el cálculo de déficits hídricos quincenales.

2. EL CONTEXTO DEL ESTUDIO

3.1 Ubicación

El área de estudio comprende la cuenca hidrográfica Pucara y el abanico aluvial de Punata, cuya superficie abarca las provincias de Tiraque, Punata y Arani, del departamento de Cochabamba. Se localizan a 45 y 60 km de la ciudad de Cochabamba y cuenta con una superficie total de 15724 ha. La altitud varía desde 2700 a 4500 msnm (Figura 1).

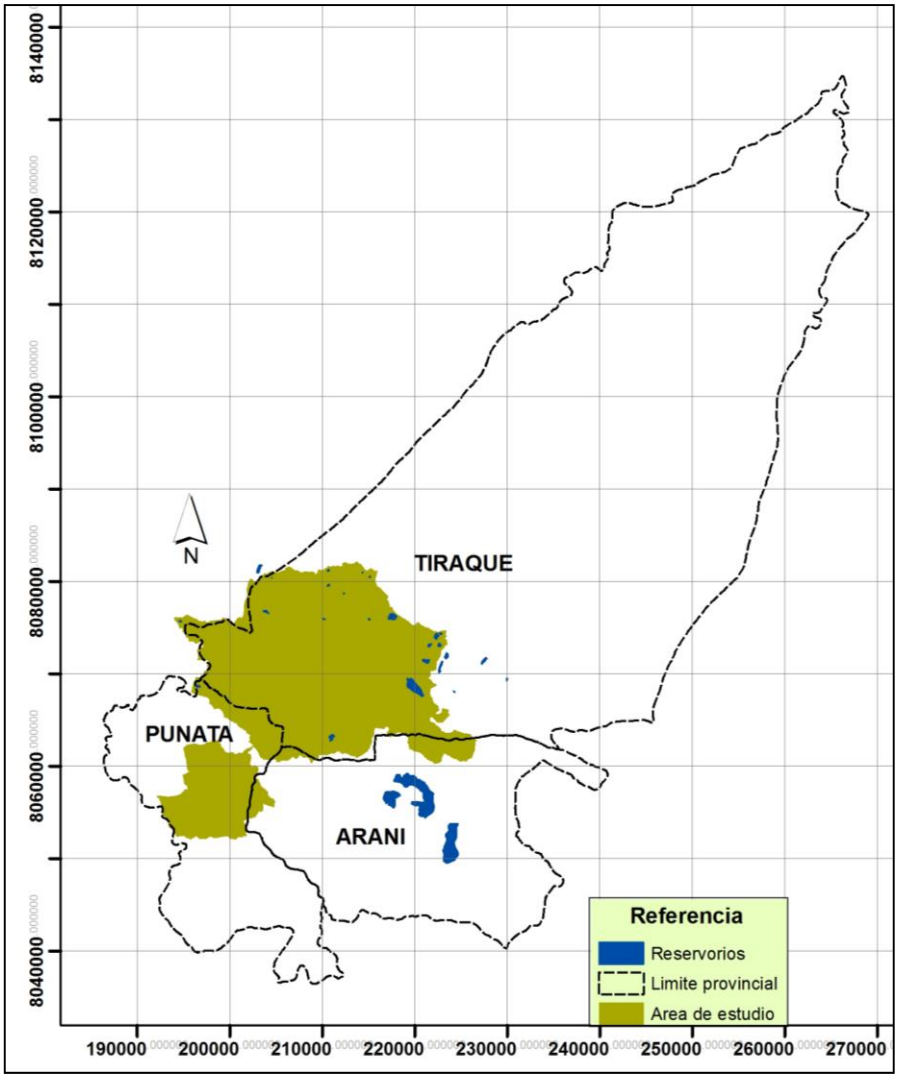


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Esta zona se caracteriza por presentar condiciones favorables para la producción agrícola y pecuaria, siendo la escasez de agua la principal limitante para un mayor desarrollo de la agricultura bajo riego. i

3.2 Clima

De forma general la zona de estudio presenta una época seca y fría durante el periodo comprendido entre los meses de mayo y octubre y una época lluviosa de noviembre y abril. El área de riego está ubicada en diferentes pisos ecológicos debido a su variación altitudinal. Las zonas que se distinguen son Puna, Transición, Cabecera de Valle y Valle (Figura 2). El clima varía de acuerdo a los pisos ecológicos presentando un clima templado en el valle y un clima frio en la zona de la Puna (Cruz, 2009). Dentro de estas 4 zonas, el área de riego de Punata comprende la zona ecológica de valle, sin embargo la zona de riego Tiraque está constituido en las zonas de Puna, Transicion, Cabecera de Valle y Valle.

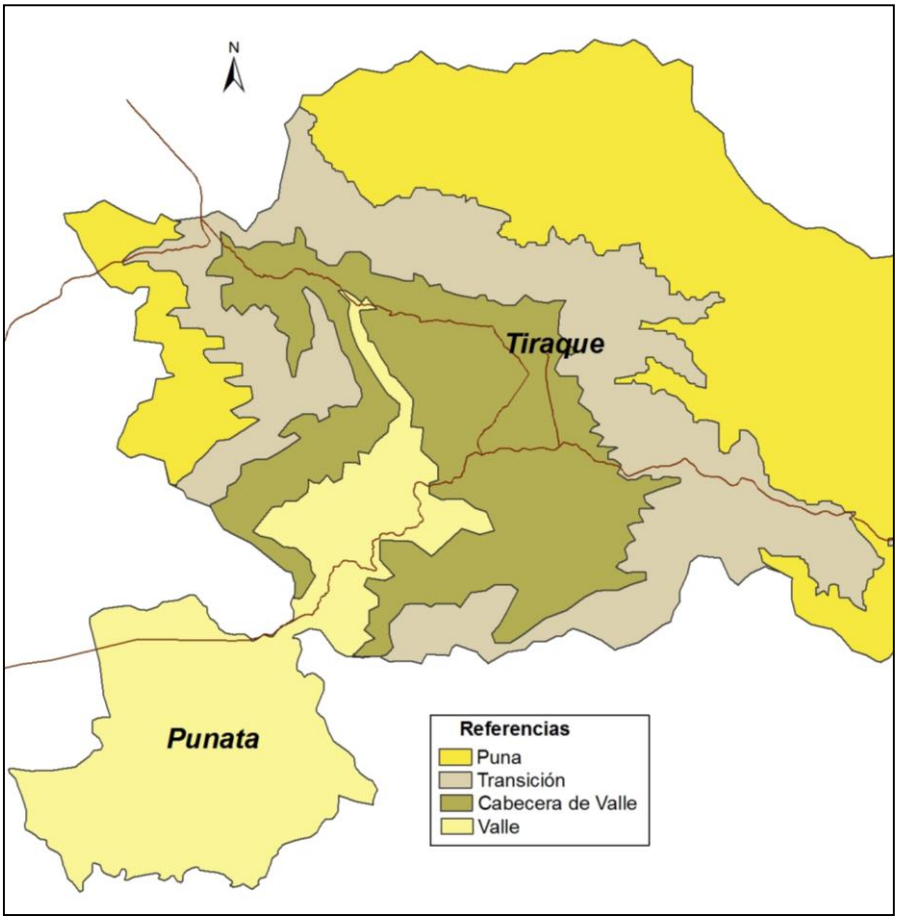


Figura 2. Zonas agroecológicas de la zona de estudio

Según Cruz (2009), en la zona agroecológica Puna la precipitación es mayor registrando entre 600 a 700 mm/año, la misma que disminuye en la zona de valle hasta 400 a 300 mm/año. De acuerdo a CIDETI (1994), la temperatura media ambiente anual para la estación termo pluviométrico de Tiraque (comunidad Plano Alto) es de 11,8 ºC y el promedio de temperatura mínima es 5,2 ºC, siendo el promedio de temperatura máxima 18,4 ºC. Según datos de la estación meteorológica de Chaupisuyu la temperatura máxima media anual es de 20.9 ºC y la mínima media es de 6.2 ºC, registrando en ambas zonas temperaturas altas en octubre y bajas en Junio.

Por encontrarse a altitudes que fluctúan entre 2700 y 3800 msnm, la zona es sumamente ventosa, presentándose en horas de la tarde las mayores intensidades de viento, cuya

dirección dominante es de Norte a Noroeste. Entre los meses de enero y marzo, el viento es menor, y entre julio y noviembre es más fuerte (CIDETI, 1994).

3.3 Uso de tierra

La formación de los suelos está íntimamente ligada a la naturaleza de los paisajes fisiográficos presentes. Tal como se señalo anteriormente el area de estudio abarca diferentes pisos agroecológicos lo cual permitirá una variación en cuanto a la formación de los suelos.

En Tiraque las comunidades que se encuentran la zona agroecológica Puna, presentan suelos superficiales, asociados con áreas de afloramientos rocosos con un grado de disección intensa, debido a las pendientes fuertes existe la erosión hídrica. En esta zona los suelos presentan texturas francos, arena francosas y franco arcilloso. En las zonas de Transición y Cabecera de Valle y Valle los suelos tienen su formación a través de deposiciones coluvie aluviales de piedemonte, como son los abanicos y terrazas bajas, medias y altas, se encuentran en áreas inclinadas a ligeramente inclinadas con suelos superficiales a moderadamente profundos de texturas de varían desde francos hasta franco arcillosos.

Punata se encuentra en un amplio abanico aluvial, la formación de los suelos fue principalmente por el rio Pucara Mayu, que forma parte de la cuenca Pucara que tiene una superficie de 439 Km2. El río Pucara Mayu ha jugado un papel importante en la formación de estos suelos, arrastrando gran cantidad de sedimentos de las zonas montañosas y depositándolos en el Valle. Debido al cambio brusco entre el área montañosa y el área de topografía más suave las formación son terrazas bajas y medias, playas de río, depresiones y bancos de material grueso. Gran parte de estas formaciones son de topografía relativamente uniforme, ligeramente inclinada hacia S y SO.

Según estudios realizados por el CLAS (2002), identificaron dos unidades geomorfológicas claramente diferenciadas: abanico aluvial y llanura lacustre. Por consiguiente los suelos se distinguen de acuerdo a estas unidades geomorfológicas. La zona I (parte apical a media del abanico aluvial) tiene suelos poco profundos y de textura más liviana (F, FL); en cambio, la zona II (parte media a distal del abanico), los suelos son profundos a muy profundos y de textura más pesada (FYL, YL), presentando en algunas zonas a floraciones de sal.

4. METODOLOGIA DE INVESTIGACION

La metodología aplicada considera por un lado la determinación de la demanda de agua a partir de la delimitación de Zonas de Sistemas de Producción Dominantes (ZSPD), y la determinación de la oferta de agua a partir de la delimitación de las Zonas Organizativas de Aplicación de Agua (ZOAA). El balance de demandas y ofertas de agua para riego permitió la determinación de zonas con déficits hídricos quincenales. La Figura 3, esquematiza la metodología seguida para la determinación de los déficits hídrico quincenales, la misma que se describe detalladamente a continuación

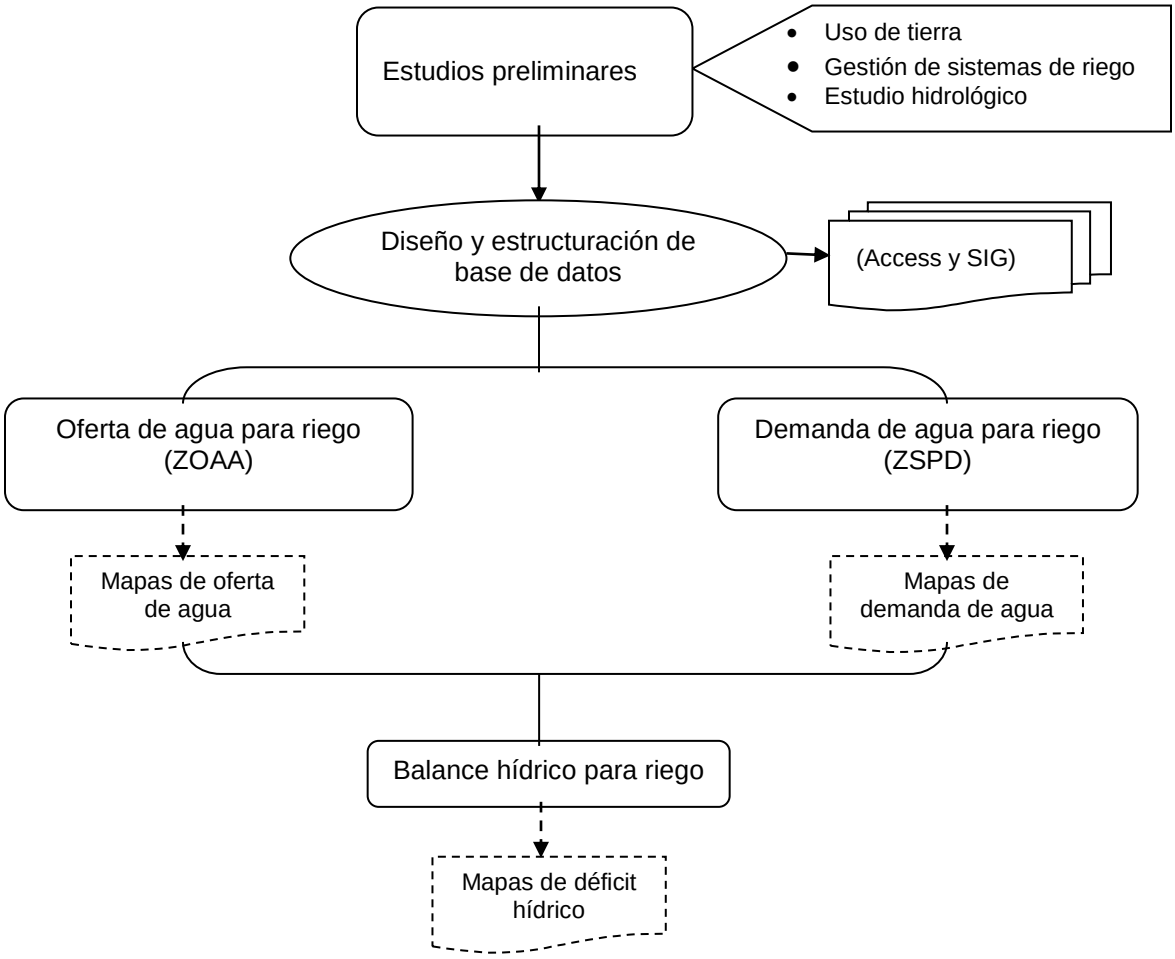


Figura 3. Esquema metodológico del Balance Hídrico para riego

4.1 Estudios preliminares

La información necesaria para realizar el balance hídrico se desarrollaron en diferentes investigaciones ejecutados por el Centro AGUA en la zona. En el Cuadro 1, se presentan las investigaciones principales que proporcionaron información para la determinación de la oferta y demanda de agua para riego. Si bien los proyectos se ejecutaron en diferentes

épocas de año, sin embargo se realizo un esfuerzo para uniformizar la información tanto de oferta y demanda de agua para el año 2009.

Cuadro 1. Proyecto e investigaciones

Proyecto	Nombre del reporte
Escenarios Futuros de Uso de Agua (2003-2005)	• Dinámica del Cambio del Uso de Tierra en Punata (1983-1996-2005) • Gestión de los sistemas de aprovechamiento de agua en el municipio de Punata • Potencial hídrico superficial y subterráneo del abanico de Punata
GIRH (2008-2010)	• Gestión de sistemas de riego cuenca hidrográfica Pucara • Requerimiento de riego cuenca hidrográfica Pucara • Uso actual de tierra cuenca hidrográfica Pucara
COAGUA (2007-2010)	• Estudio hidrológico de la Micro Region-Tiraque Valle
SIDAGUA (2009-2013)	• Disponibilidad de agua subterránea en el Abanico de Punata

Así mismo la información cartográfica proviene de diferentes proyectos los cuales también fueron complementados y actualizados en la finalidad de disponer la información necesaria para el desarrollo y establecimiento de un modelo para realizar el balance hídrico para riego

4.2 Diseño y estructuración de bases de datos

La información existente sobre la oferta y demanda de agua para riego de la zona de estudio se sistematizo en una base de datos desarrollado en el programa Acces y Sistemas de Información Geográfica (SIG). A continuación se explica el proceso y establecimiento de las bases de datos.

4.2.1 Demanda de agua para riego

Las demandas de agua para riego se determinaron en la base de datos Acces a partir datos relacionados al cultivo y datos climáticos:

La información necesaria para caracterizar los cultivos fueron extraídas de las ZSPDs, como calendarios agrícolas (fechas de siembra y cosecha) y superficie cultivadas, cuya información permitirá inicialmente la determinación de los coeficientes de cultivo y posteriormente los requerimientos de agua para cada cultico.

- ***Fases fenológicas del cultivo.*** Un paso previo a la determinación de coeficientes de cultivo fue el ajuste de la duración en días de las fases fonológicas o estadios del cultivo (inicio, desarrollo, medio y final). Para ello se consideró los datos que presenta la FAO 56, con información de duración de las cuatro etapas de crecimientos de distintos cultivos, luego de manera proporcional se distribuyo al ciclo de duración de los cultivos identificados en cada ZSPD.

- ***Coeficientes de cultivo (Kc).*** El Programa Nacional de Riego (PRONAR) cuenta con base de datos de los Coeficientes de cultivo (Kc) mensuales para de zonas de valle, altiplano y chaco de nuestro país. Para el presente estudio se utilizó los datos de kc para valles, estos datos fueron ajustados de acuerdo a la duración del ciclo de cada cultivo y de forma quincenal para lo cual se aplico una regresión lineal

La información climática permitió la determinación por un lado las necesidades de agua los cultivos (evapotranspiración) y por otro lado los aportes de agua (precipitación pluvial). Para tener una mejor representatividad de la información climática en toda la zona de estudio se consideraron tres estaciones meteorológicas ubicadas en tres zonas agroecológicas (Puna, Cabecera de Valle y Valle). Para las tres zonas mencionadas se determinaron la Evapotranspiración de referencia (ETo) y precipitación efectiva:

- ***Evapotranspiración de referencia (ETo).*** Este parámetro se determinó mediante la ecuación de Penman-Monteith. La ecuación determina la ETo a partir de datos meteorológicos (Temperatura, Radiación, Viento y Humedad relativa).

- ***Precipitación Efectiva (Pef).*** A los datos de aporte de precipitaciones pluviales, se aplico una determinación de probabilidad de ocurrencia de precipitación de un 80%, lo que significa demandas de riego bajo condiciones de mayor sequía. A partir de esos datos se determinaron las precipitaciones efectivas considerando la siguiente ecuación *Pef = (pp mm/mes – 15)*0.75.* La ecuación considera, que solo el 75 % de la lluvia es efectiva y precipitaciones menores a 4 mm/quincena no tienen un aporte efectivo al agua disponible en el suelo.

Para la determinación de los requerimientos de riego para cada cultivo inicialmente se determinaron la evapotranspiración de los cultivos (ETc), a partir de la multiplicación de la evapotranspiración de referencia (ETo) y los coeficientes de cada cultivo (Kc). Finalmente por diferencia de ETc-Pef se determinaron los requerimientos de riego. Los valores señalan si los cultivos requieren aportes de riego adicional o ningún aporte, casos donde los aportes de precipitación son mayores a los requerimientos de agua de los cultivos.

4.2.1 Oferta de agua para riego

En la zona de estudio existen diferentes fuentes de agua sobre el cual se constituyen sistemas de riego. Los sistemas son gestionados por los agricultores, quienes tratan de cubrir las demandas de agua de los cultivos, para lo cual cuentan con agua de uno más sistemas de riego. Además existe un movimiento continuo de agua de acuerdo a la demanda de agua de los cultivos. Para resolver estos dos problemas metodológicos, se considera el concepto de Zona Organizativa de Aplicación de Agua (ZOAA) que define como “un área espacial, conformada por una serie de parcelas pertenecientes a un determinado grupo de usuarios, a los que se asigna el uso de un cierto caudal de agua durante un periodo de tiempo establecido”(PEIRAV, 1999). Un sistema de riego consiste en mínimamente una ZOAA, pero en la mayoría de los casos contará con un número mayor: al sumar todas las ZOAAs de un sistema de riego, se genera su área de influencia total.

La mayoría de los sistemas existentes en la zona realizan las entregas de agua a nivel comunal por consiguiente en la mayoría de los casos una ZOAA es equivalente a los limites de una comunidad. Sin embargo por limitaciones topográficas e infraestructura hidráulica existente, el área de algunas ZOAAs son menores que una comunidad. A este último caso también corresponden a algunos sistemas donde el área de influencia está claramente definida en una pequeña proporción de una comunidad.

A continuación se detalla la metodología que permite determinar las láminas quincenales de aplicación de agua de riego.

- ***Determinación del tiempo de aplicación en la quincena.*** Los tiempos de aplicación para cada ZOAA son variables de acuerdo a los derechos adquiridos por los usuarios en cada sistema de riego. Los datos fueron adquiridos a partir de los registros que disponen los sistemas sobre los tiempos de riego correspondientes para cada usuario, el tiempo de aplicación para un ZOAA será el resultado de la identificación del grupo de usuarios que riegan una determinada zona de aplicación. De acuerdo a la disponibilidad de agua que cuente cada sistema de riego, variara la duración de aplicación de agua en una o más quincenas, además pueden ser continuas (caso pozos) o discontinuas (caso represas).

- ***Determinación del caudal de entrada a la ZOAA.*** Los caudales de entrega al ZOAA se determinaron a partir de los caudales registrados en la fuente (a la salida del reservorio o punto de captación) aplicando una eficiencia para descontar las pérdidas de agua en el tramo de la conducción. Las pérdidas en la conducción del agua desde la fuente hasta la ZOAA dependen de la longitud de los distintos tramos de canal y el material construcción. La siguiente formula permitió determinar las pérdidas en la conducción desde la fuente hasta el ZOAA:

$$\mathbf{Fef = [Cef1]^{d1} * [Cef2]^{d2} * [Cef3]^{d3}}$$

Donde:

Fef = Factor de eficiencia de fuente a ZOAA

Cef1,2,3 = Coeficiente de eficiencia de canal de material 1,2,3 (en pérdida por kilómetro)

d1,2,3 = Longitud de canal de material 1,2,3 (en kilómetro)

Para el presente estudio se tomaron los coeficientes de eficiencia determinados en el estudio “Balance hídrico para el valle de Cochabamba” (Cuadro 2). La información fue revisada con aforos realizados en la zona de estudio, donde las eficiencias no presentan variaciones considerables en sistemas de flujo discontinuo y caudales superiores a 50l/s. Sin embargo en caudales menores a 20 l/s y flujo continuo (vertientes y pozos) existe mucha variación, presentando eficiencias bajas para tramos largos y canales de tierra. Estas eficiencias se mejoraron con aforos realizados en la zona, donde las eficiencias para canales de tierra alcanzan hasta 95%/Km con flujo continuo.

Cuadro 2. Coeficientes de eficiencia de conducción en distintos tipos de canales (en % / kilómetro)

Material de construcción	Rango de caudales (l/s)				
	0 – 20	**20 - 40**	**50 – 80**	**80 – 120**	**≥ 120**
Hormigón ciclópeo	90.61	93.4	94.72	95.52	95.77
Mampostería de piedra	83.77	89.77	92.36	93.83	94.29
Tierra	62.52	87.27	93.56	96.1	96.74
Arena (lecho de río)	60	85	92	95	96
Entubado	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99

Cabe señalar que una ZOAA que recibe agua de diferentes fuentes puede tener distintos factores de eficiencia, de acuerdo a los tramos de canal usados para conducir el agua desde cada fuente hasta su punto de entrega.

- ***Volumen de aplicación en la quincena.*** Los volúmenes de aplicación básicamente provienen del producto de los caudales de entrega a cada ZOAA y los tiempos de aplicación en cada quincena.
- ***Calculo de la lámina de aplicación sobre el total de la superficie de la ZOAA.*** Las láminas de aplicación son el resultado de la división de los volúmenes de entrega y el área del ZOAA. Es importante señalar que no toda la superficie correspondiente a la ZOAA recibe riego, existe un porcentaje de la superficie como (calles, casas, lecho de rio, áreas verdes, etc) no podrán ser regados. Estas superficies se estimaron mediante la digitalización sobre un área conocida, para lo cual se uso imágenes satelitales disponibles para zona. Las estimaciones se realizaron en diferentes lugares considerando las variaciones de la fisiografía con respecto a la altitud. El porcentaje de área no regable varía desde 10-15%.

4.3 Balance hídrico: Desarrollo y establecimiento de un modelo SIG

Si bien los cálculos de demanda y oferta de agua para riego se realizaron en la base de datos Access, sin embargo para la representación espacial de los datos se desarrollo en un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo cual fue estructurado en el software ArcGIS 9.3. Para toda la zona de estudio inicialmente se preparo los mapas de polígono tanto de ZOAAs y ZSPDs. Cada polígono fue representado por un código el cual permitió el enlace con la base de datos Access. Básicamente mediante los enlaces (Access y SIG) realizados se generaron los 24 mapas con información de láminas de oferta y demanda de agua para riego.

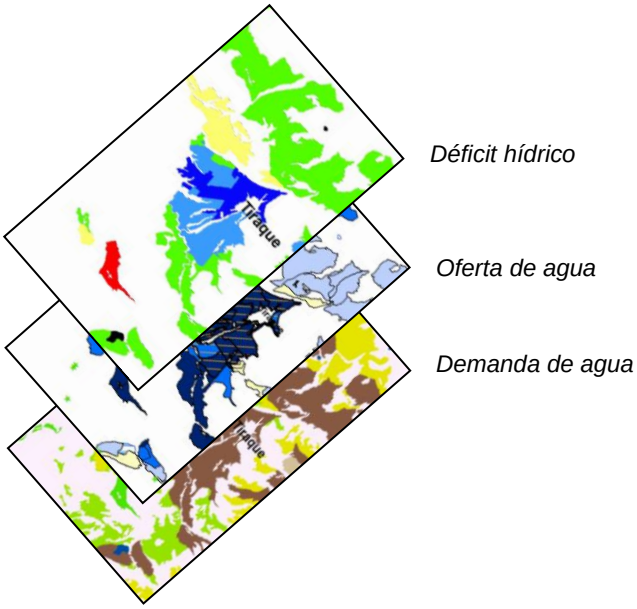


Figura 4. Representación grafica sobre la sobreposición de mapas para establecer el balance hídrico

A través de la sobreposición de mapas quincenales de oferta y demanda de agua se determinaron los mapas preliminares de déficit hídrico (Figura 4). El proceso fue ejecutado en el software ArcGIS, mediante las herramientas de algebra que permite realizar la diferencia de la oferta y demanda de agua. El resultado de la operación permitió generar mapas preliminares de zonas con déficit o exceso de agua. Para contar solo con mapas finales de déficit hídrico se realizaron una reclasificación de datos, donde “cero” representa ninguna deficiencia hídrica y los valores por encima de este representan falta de agua.

5. RESULTADOS

5.1 Demanda de agua para riego: Las Zonas de Sistemas de Producción Dominantes (ZSPDs)

5.1.1 Zonas de Sistemas de Producción Dominantes (ZSPDs)

La zona de estudio presenta como uso de tierra principal al uso agrícola y pecuario, ambos usos conforman diferentes sistemas de producción dominantes e intensidades de uso de tierra. Según el Cuadro 3, las tierras de uso agrícola están destinadas a una diversidad de cultivos, entre los cuales se puede mencionar la producción de hortalizas (cebolla, zanahoria y betarraga), granos (maíz y cereales), tubérculos (papa y oca), legumbres (haba y arveja) y frutales (durazno). El uso pecuario comprende tierras donde la actividad principal de los pobladores es la producción pecuaria, siendo la cría de ganado lechero la más importante, para lo cual dedican sus tierras al cultivo de forraje (alfalfa, avena y maíz forrajero) para la alimentación de su ganado.

Cuadro 3. Caracterización de zonas de sistemas de producción dominantes

ZSPD	Codigo	Uso de tierra	Cultivos	Intensidad de uso de tierra
Agricultor Horticultor Floricultor Semi Intensivo	AHFIN	Uso Agricola	Cebolla cabeza 1, Cebolla verde 1, Zanahoria 1, Papa 4, Zanahoria 2, Maíz grano 3, Clavel, Nardo, Alfa alfa y Pimpon	Intensivo
Agricultor Horticultor Intensivo	AHoIN		Cebolla verde 8, Cebolla verde 3, Zanahoria 3, Haba verde 1, Papa 3, Beterraga, Zanahoria 4, Papa 9, Cebolla verde 2, Zanahoria 2, Alfa alfa, Maíz choclo 1 y Papa 6	
Agricultor Horticultor Lechero Intensivo	AHLIN		Cebolla verde 5, Alfa alfa, Repollo, Zanahoria 5, Maíz grano 1, Cebolla cabeza 2 y Papa 7	
Agricultor Horticultor Diversificado Intensivo	AHDIN		Papa 7, Cebolla verde 6, Cebolla verde 4, Maíz grano 4, Haba verde 4, Alfa alfa, Durazno, Arveja verde 2, Rabano	
Agricultor Granero Semi intensivo	AGrSI		Maíz grano 4, Papa 14, Cebada grano 2, Papa 10, Trigo grano 2 y Arveja verde 1	Semi Intensivo
Agricultor Horticultor Semi Intensivo	AHoSI		Zanahoria 4, Cebolla verde 2, Cebolla verde 5, Maíz grano 3, Haba seca 1, Papa 12 y Alfa alfa	
Agricultor Horticultor Lechero Semi Intensivo	AHLSI		Alfa alfa, Cebolla cabeza 2, Maíz grano 4, Papa 1, Haba verde 2, Cebolla verde 5 y Zanahoria 6	
Agricultor Granero Diversificado Intensivo	AGDSI		Maíz grano 3, Cebada grano 3, Papa 7, Papa 10, Maíz grano 1, Arveja verde 1, Cebolla verde 6, Haba verde 4, Haba seca 1, Durazno y Cebolla verde 7	
Agricultor Diversificado Semi Intensivo	ADiSI		Papa 14, Papa 5, Arveja seca, Arveja verde 3, Maíz choclo 3, Haba verde 2, Maíz grano 4, Oca 1, Haba seca 2 y Alfa alfa	
Agricultor Papero Semi Intensivo	APaSI		Papa 11, Papa 2, Maíz grano 4, Cebada grano 2, Avena forrajera 3, Arveja verde 3, Haba seca 3, Trigo grano 2 y Oca 2	
Agricultor Papero Diversificado Semi Intensivo	APDSI		Papa 2, Papa 8, Papa 5, Haba seca 3, Cebada grano 2, Arveja verde 3, Oca 1, Cebolla verde 1, Avena forrajera 2 y Maíz grano 2	
Agricultor Granero Papero Semi Intensivo	AGPSI		Papa 14, Haba seca 3, Maíz grano 4, Avena forrajera 2, Cebada grano 2, Papa 7, Trigo grano 1, Papa 2, Haba verde 2 y Maíz grano 1	
Agricultor Papero Temporal	APaTE		Papa 11, Cebada grano 1, Avena forrajera 3, Haba seca 3, Papa 5, Haba verde 5 y Oca 2	Temporal

Agricultor Granero Temporal	AGrTE		Alfa alfa, Papa 1, Trigo grano 1, Maíz grano 2 y Maíz grano 1	
Agricultor Granero Papero Asecano	AGPAS		Papa 11, Avena forrajera 2, Cebada grano 2, Trigo grano 3 y Papalisa	Asecano
Productor Lechero Semi Intensivo	PLeSI	UsoPecuario	Alfa alfa, Maíz grano 4, Maíz choclo 2, Maíz choclo 1, Haba verde 2, Avena forrajera 1 y Papa 13	Semi Intensivo
Productor Lechero Fruticultor Semi Intensivo	PLFSI		Alfa alfa, Maíz grano 2, Durazno, Cebada grano 1 y Papa 10	Semi intensive
Productor Lechero Temporal	PLeTE		Alfa alfa y Maíz grano 3	Temporal

Según la Cuadro 4 y Figura 5, el uso agrícola presenta en mayor porcentaje a los cultivos de granos y papa, ubicados principalmente en las zonas agroecológicas de alturas y transición. Sin embargo las zonas de cabecera de valle y valle presentan mayor diversificación y cultivos hortícolas. El uso agrícola está conformado principalmente por los Agricultores Graneros Paperos (AGP) ubicados en dos zonas agroecológicas (alturas y cabecera de valle), ocupan una superficie de 8080 ha que corresponde al 28.5 % de la superficie total, destinando sus tierras a los cultivos de grano y papa principalmente, los cuales al no tener acceso al riego cultivan en la época de lluvia. Otro grupo importante de agricultores son los Agricultores Paperos Diversificados (APD) quienes cultivan papa en mayor porcentaje y en menor proporción legumbres (haba, arveja), granos (maíz, cebada y avena), llegando a cubrir una superficie de 2307 ha (8.1 %). Sin embargo en el valle de Punata los Agricultores Graneros ocupan mayor cantidad de superficie de 777 ha (2.7 %) y en menor superficie los Agricultores Horticultores.

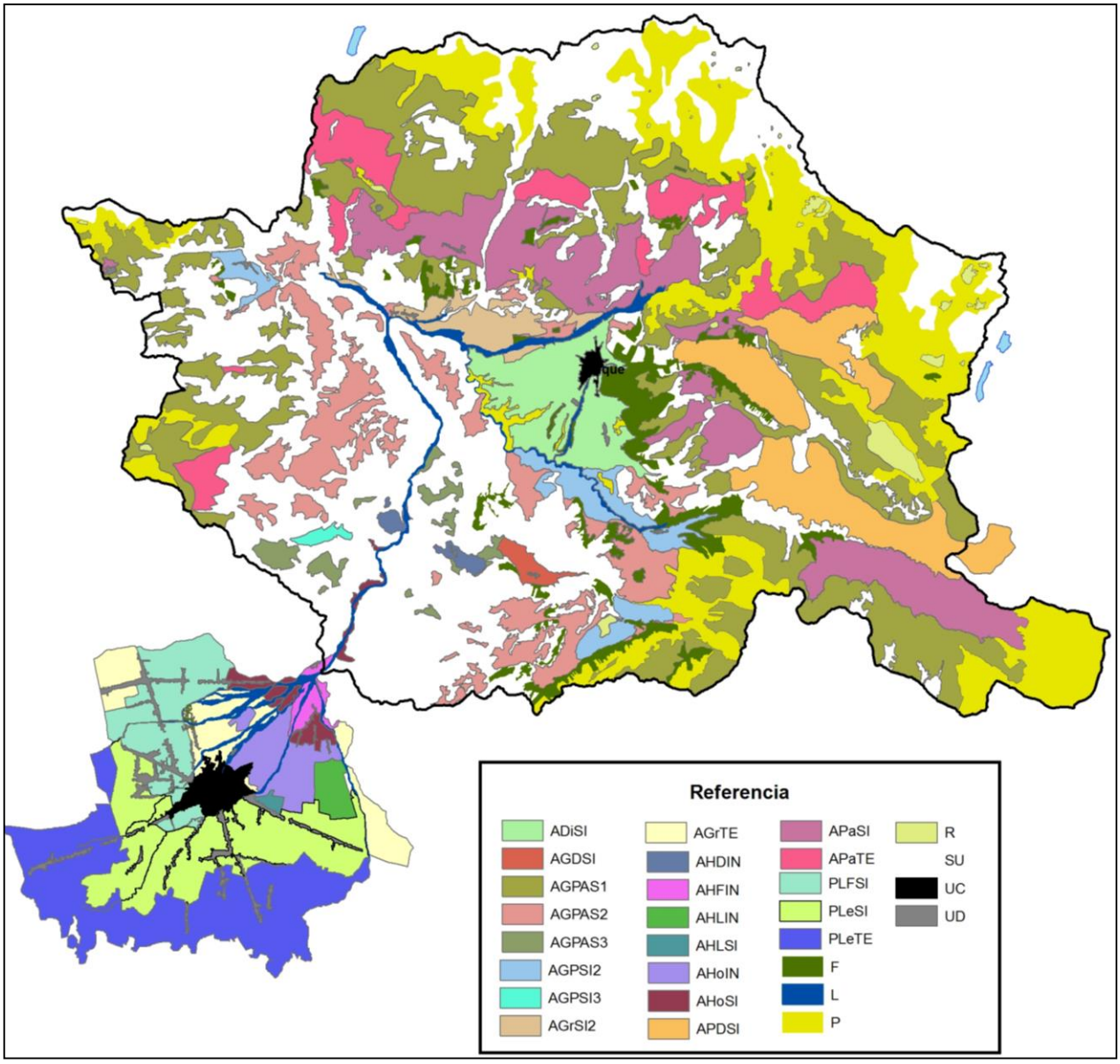


Figura 5. Zonas de Sistemas de Producción Dominantes

Cuadro 4. Resumen del mapeo de uso de tierra de la cuenca Pucara

Zona	Piso ecologico	Zonas de Sistemas de Produccion Dominantes		Area (ha)	Area (%)
Tiraque	Alturas	AGPAS1	Agricola Granero Papero A Secano	8080	28.5
	Alturas	APaSI	Agricola Papero Semi Intensivo	3267	11.5
	Alturas	APaTE	Agricola Papero Temporal	1706	6.0
	Alturas	APDSI	Agricola Papero Diversificado Semi Intensivo	2307	8.1
	Cabecera	ADiSI	Agricola Diversificado Semi Intensivo	1243	4.4
	Cabecera	AGPAS2	Agricola Granero Papero A Secano	2794	9.8
	Cabecera	AGPSI2	Agricola Granero Papero Semi Intensivo	797	2.8
	Cabecera	AGrSI2	Agricola Granero Semi Intensivo	509	1.8
	Valle	AHoSI	Agricola Horticultor Semi Intensivo	222	0.8
	Valle	AGDSI	Agricola Granero Diversificado Semi Intensivo	131	0.5
	Valle	AGPAS3	Agricola Granero Papero A Secano	340	1.2
	Valle	AGPSI3	Agricola Granero Papero Semi Intensivo	64	0.2
	Valle	AHDIN	Agricola Horticultor Diversificado Intensivo	121	0.4
Punata	Valle	AGrTE	Agricola Granero Temporal	777	2.7
	Valle	AHFIN	Agricola Horticultor Floricultor Intensivo	137	0.5
	Valle	AHLIN	Agricola Horticultor Lechero Intensivo	180	0.6
	Valle	AHLSI	Agricola Horticultor Lechero Semi Intensivo	35	0.1
	Valle	AHoIN	Agricola Horticultor Intensivo	542	1.9
	Valle	PLeSI	Pecuario Lechero Semi Intensivo	1775	6.3
	Valle	PLeTE	Pecuario Lechero Temporal	2373	8.4
	Valle	PLFSI	Pecuario Lechero Fruticultor Semi Intensivo	968	3.4
Total				28368	100

Entre las tierras de uso pecuario se encuentran a los productores lecheros con uso de tierra temporal (PLST) que ocupaban 2373 ha (8.4 %) destinadas al cultivo de maíz, alfalfa y avena para la alimentación de su ganado lechero. Los productores lecheros semi-intensivos (PLSI) ocupan un total de 1775 ha (6.3 %), se distinguen de los anteriores por contar con mayor disponibilidad de agua para riego tal que pueden adelantar sus siembras de maíz y mantener importantes superficies de alfalfa.

5.1.2 Demanda de agua para riego quincenal

La zona de estudio presenta una demanda de agua para riego anual de 99 Hm3, de los cuales la zona que presenta mayor demanda es Tiraque con un volumen de 58 Hm3 y la zona de Valle del Abanico de Punata un volumen de 41 Hm3. La demanda de agua en los diferentes meses del año es variable, las mayores demandas de agua para riego se encuentran entre los meses octubre a abril y la menor demanda de agua entre los meses mayo a septiembre (Figura 6). El periodo de mayor demanda de agua corresponde a los meses donde la actividad agrícola es intensiva.

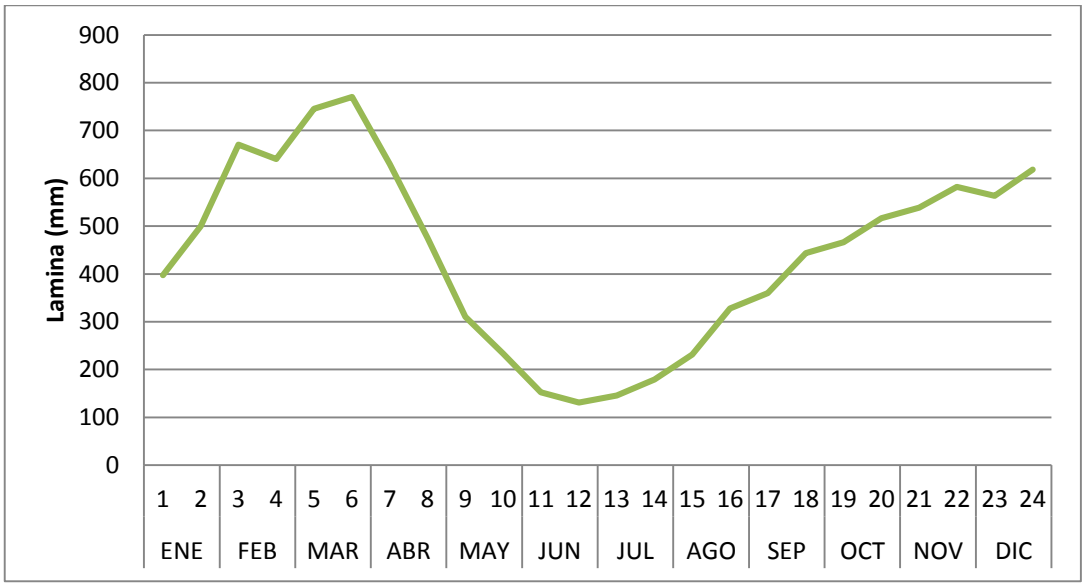


Figura 6. Demanda de agua quincenal

La quincena que registra mayor demanda de agua corresponde a la segunda quincena de marzo con una lámina de 769 mm, debido a que en esa época ya han cesado las lluvias, pero todavía en la mayor parte de las zonas existen cultivos en producción correspondientes a las siembras de año y siembras de hortalizas en los meses de enero y febrero. En los meses donde la actividad agrícola disminuye por las bajas temperaturas, se registran las menores demandas de agua. Para este periodo (segunda quincena de junio) tenemos registrado una lamina de 132 mm.

En las diferentes zonas agroecológicas las demandas de agua para riego son variables. Las zonas agroecológicas de Alturas y Cabecera de Valle pertenecientes a la zona de Tiraque presentan demandas bajas e incluso sin demanda porque disminuyen su actividad agrícola en los meses correspondientes al periodo de invierno. La mayor cantidad de superficie se encuentra sin actividad agrícola en el mes de julio, donde las temperaturas bajas dificultan esta actividad. Sin embargo en los valles, en una pequeña proporción de superficie en la zona de Tiraque y en su totalidad a Punata, se puede apreciar que la actividad agrícola requiere agua para riego todo el año, aunque los requerimiento disminuyen en los meses correspondientes a la época de estiaje

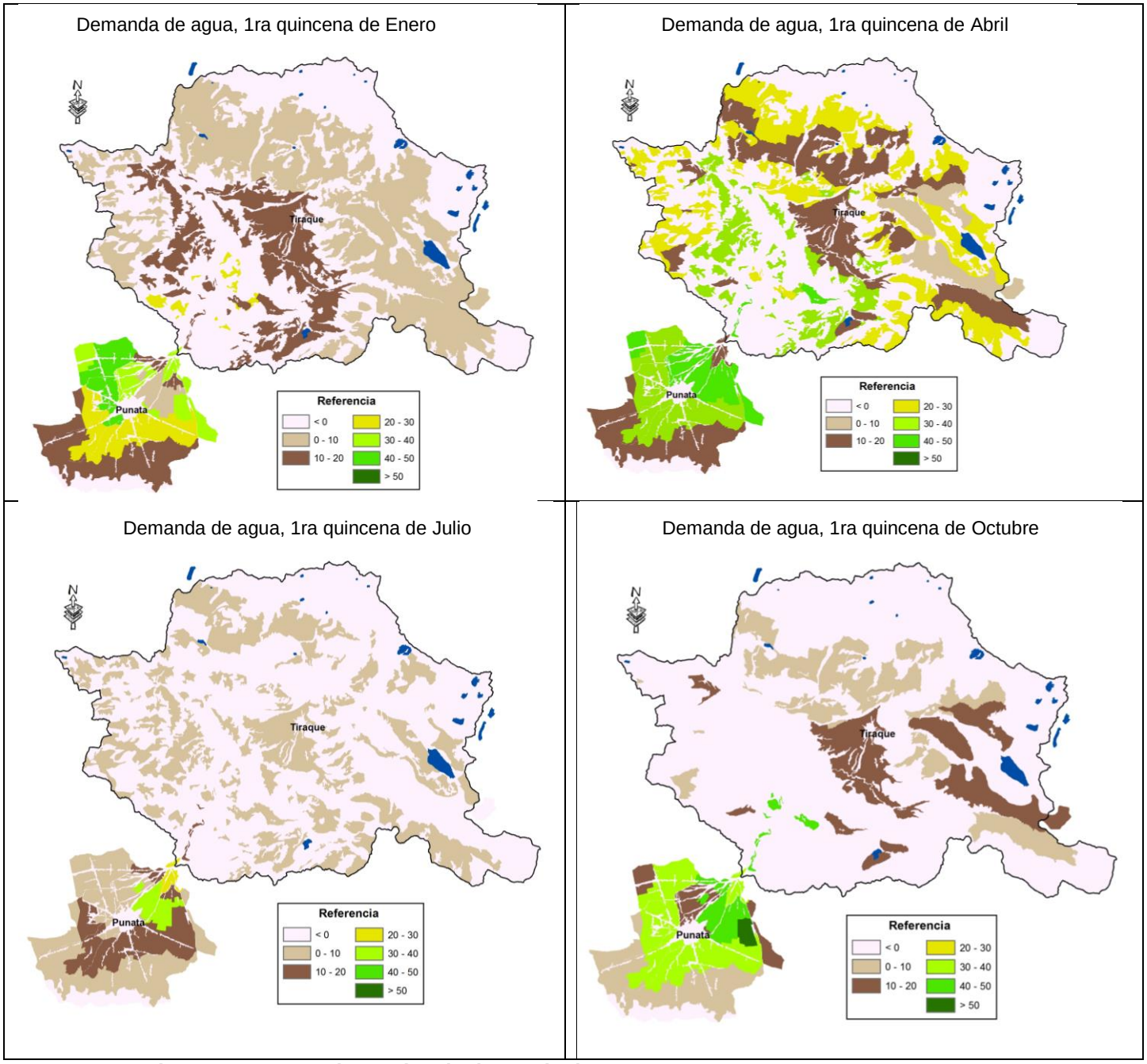


Figura 7. Mapas quincenales de demanda de agua

A continuación se analiza de forma espacial los requerimientos de agua para riego para la primera quincena de los meses de enero, abril, julio y octubre (Figura 7):

En la primera quincena de enero, se observa que los aportes de lluvia son menores a medida que se va descendiendo de las partes altas de cuenca Pucara hacia el Valle de Punata, por consiguiente los mayores requerimientos de riego se presentan en el Abanico de Punata, específicamente en la zona de Paracaya donde la actividad frutícola es intensiva

En el mes de abril, al haber disminuido o incluso desaparecido los aportes de las lluvias, los requerimientos de riego se incrementan en toda la zona de estudio. Las mayores demandas

de agua 40-50 mm se presentan en el Ápice del Abanico de Punata y la comunidad de Sacabambilla donde los agricultores destinan sus tierras a la producción intensiva de hortalizas. Las requerimientos bajos <10mm se presentan en las partes altas de la cuenca, específicamente en las zonas paperas ya que las fechas corresponden a la época de cosecha.

En la época de invierno (primera quincena de julio), los requerimientos de riego en toda la zona de estudio disminuyen considerablemente, presentándose requerimiento menores a 10mm en las partes altas de la cuenca, época que corresponde a las siembras tempranas de los cultivos. Los requerimientos más altos (30-40mm) en esta época corresponden a pequeñas áreas del valle de Punata donde los agricultores horticultores demandan entre 30-40mm de agua para riego.

Finalmente, en la época de mayor demanda, (primera quincena de octubre), los requerimientos en la zona hortícola y lechera de Punata, se incrementan a más de 50 mm. En las partes altas de la cuenca también se incrementa los requerimientos de agua para riego, tal es el caso de abanico de Tiraque con una demanda que varía entre 10-20mm, zona que se caracteriza a la producción diversificada de cultivos.

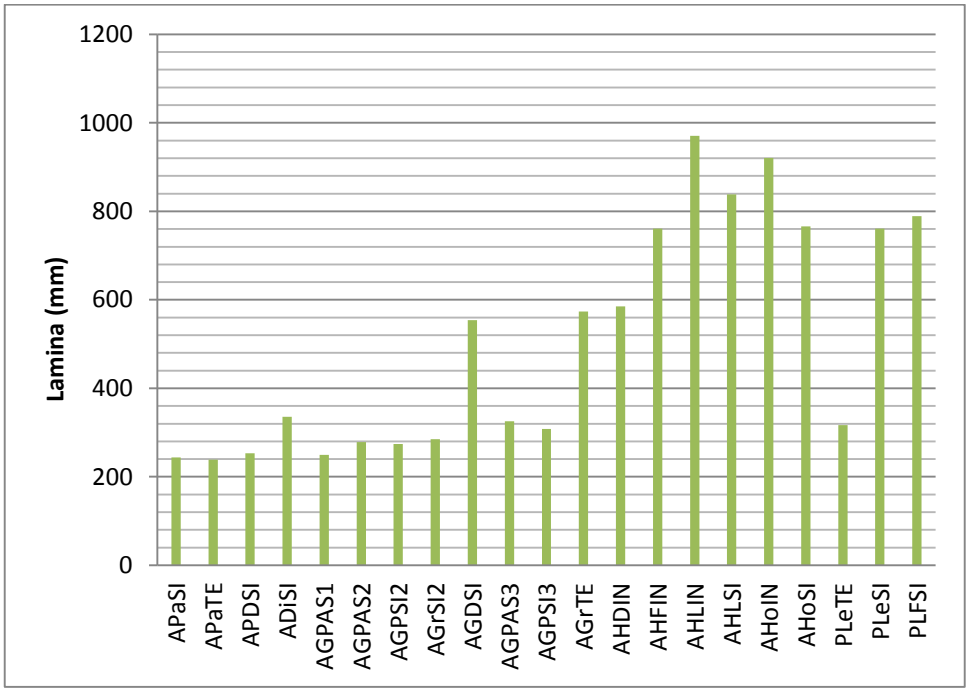


Figura 8. Demanda de agua para riego en mm para los ZSPDs

Es evidente que las unidades hortícolas tienen un mayor requerimiento de agua para riego pero las unidades de tierra que presentan áreas mayores son las que llegan a tener mayor demanda de agua, debido al área que cubren y son precisamente estas unidades las que tienen menor disponibilidad y acceso al agua (Figura 8 y Figura 9).

Tal como se muestra en la Figura 8, los requerimientos de riego teórico expresados en lamina es mayor en las unidades hortícolas (500- 900 mm) particularmente en la unidad Horticultor lechero Semi intensivo. En estas unidades el agua proveniente de los pozos tiene gran importancia en la producción. El mismo parámetro está entre (200 y 400 mm.) para las unidades paperas, graneros y pecuarias, por las características de producción de estas

unidades, pues presentan cultivos temporales o que permitan un acompañamiento del riego con las lluvias. La disponibilidad de agua en estas unidades es más incierta en el caso de los ríos y también de las represa pues ambos dependen de las precipitaciones, por lo que también se recurre al agua de los pozos y vertientes.

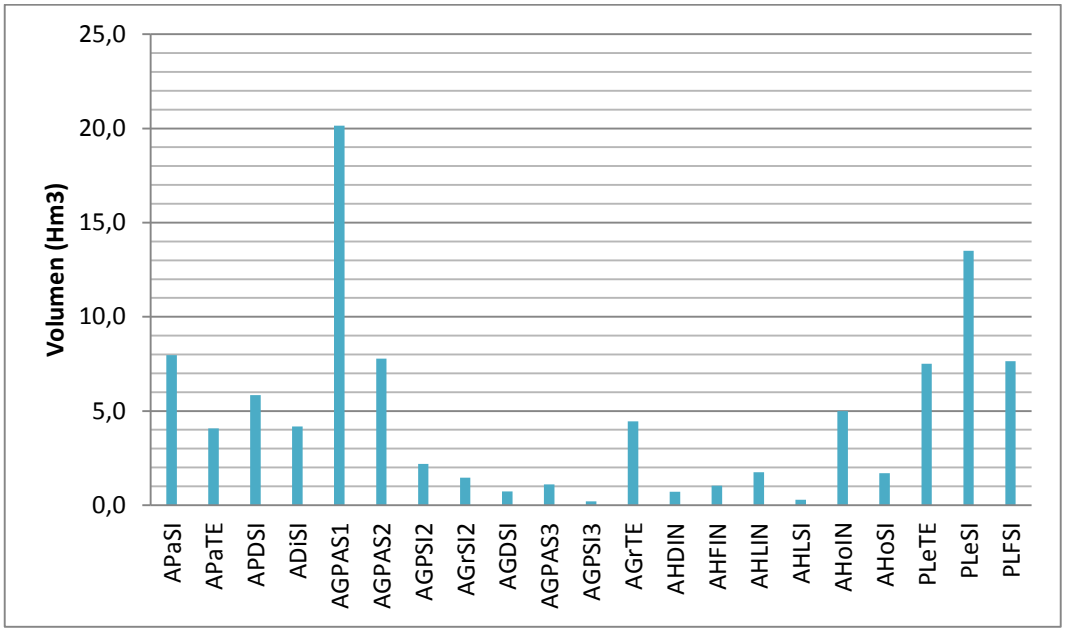


Figura 9. Demanda de agua para riego en Hm3 para los ZSPDs

Analizando la Figura 9, muestra las mayores demandas de agua en las unidades Granero papero y Pecuario lechero que representan un volumen entre 20 y 13 Hm3 respectivamente y las unidades Hortícolas registran 0.3 Hm3 de demanda de agua total.

5.1 Oferta de agua para riego: Las Zonas Organizativas de Aplicación de Agua (ZOAAs)

5.1.1 Zonas Organizativas de Aplicación de Agua (ZOAAs)

La zona de estudio cuenta con un total de 160 Zonas Organizativas de Aplicación de Agua (ZOAA), cada ZOAA es un área que aglutina a un grupo de usuarios quienes reciben cierta cantidad de agua durante un periodo de tiempo. Los parámetros mencionados anteriormente son variables espacial y temporalmente de acuerdo a la disponibilidad de agua y administración propia de cada sistema de riego. Un sistema de riego considera mínimamente un ZOAA, pero en la mayoría de los casos se contara con un número mayor: Es así que Punata cuenta con un total 88 ZOAAs y Tiraque con 72 del total de ZOAAs, por consiguiente tanto Punata y Tiraque cuenta con diferentes sistemas de riego (Figura 10).

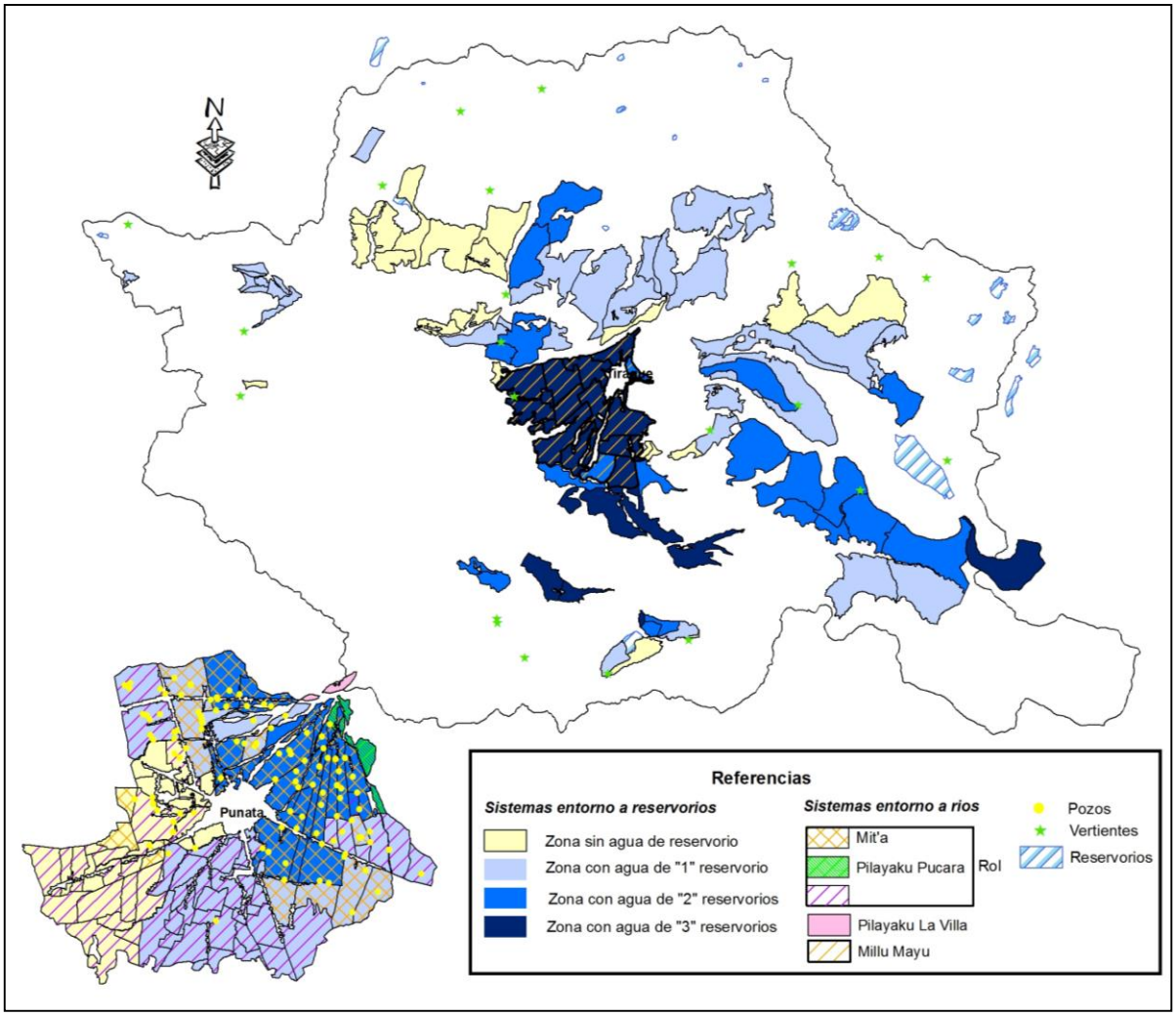


Figura 10. Fuentes de agua y zonas de riego en la cuenca Pucara

Según la Figura 10 y Cuadro 5, la zona de estudio cuenta con tres tipos de fuentes de agua para riego: Agua superficial, sub-superficial y agua subterránea. El agua superficial es aprovechado mediantes 18 reservorios ubicados principalmente en la parte alta de la cuenca cada uno de estos aglutina diferentes sistemas de riego, donde un ZOAA puede tener o no acceso a este fuente. Es así que la zona de Tiraque cuenta con la mayor cantidad reservorios, además varias ZOAAs ubicadas en el Abanico de Tiraque tienen acceso hasta 3 reservorios. También las partes altas de la cuenca están provistas de vertientes, cuya fuente conforma a 21 sistemas de riego. Cinco son los sistemas que aprovechan el escurrimiento superficial de la cuenca, de los cuales cuatro pertenecen a Punata (Pilayacu Villa, Pilayacu Pucara, Rol y Mit'a) y uno a Tiraque (Millu Mayu). A la salida de la cuenca se forma el abanico aluvial de Punata cuya formación litológica permite almacenar agua subterránea, el aprovechamiento de este recurso tiene relevancia tanto en cantidad de sistemas (110 sistemas) y volumen explotado.

Cuadro 5. Síntesis de Sistemas de riego en la cuenca Pucara

Zona	Tipo de Fuente		Número de Sistemas	Superficie bajo riego (ha)	Vol. (m3/año)	Vol. (Hm3/año)	Vol. (%)
Tiraque	Superficial	Embalses	15	12389	7080696	7.1	22
		Ríos	2	1412	1375042	1.4	4
	Sub-superficial	Vertientes	21	2749	2287856	2.3	7
	Aguas Subterráneas	Pozos	0	0	0	0.0	0
	Total Zona		*38*	*16550*	*10743594*	*10.7*	33
Punata	Superficial	Embalses	3	5539	6288660	6.3	19
		Ríos	4	7062	5186340	5.2	16
	Sub-superficial	Vertientes	0	0	0	0.0	0
	Aguas Subterráneas	Pozos	110	12224	10646088	10.6	32
	Total Zona		*117*	*24825*	*22121088*	*22.1*	67
Total			***155***	***41,375***	***32,864,682***	***32.9***	100

El área de influencia de cada sistema de riego es variable, donde el agua proveniente de los reservorios abarca una superficie de 17928 ha que representa el 43 % de la superficie total y en menor superficie 2749 ha (7%) corresponde al área de influencia de los sistemas conformados por los vertientes. Cada ZOAA cuenta con diferente cantidad de aporte de agua, esto se explica por la compleja configuración de sistemas existentes en cada zona. Así, para la zona alta, las represas y las vertientes son vitales, mientras que para la zona del abanico de Punata el agua subterránea y las represas son importantes. El agua de río es importante sobre todo en el periodo lluvioso, pues origina sistemas temporales que dependen de la existencia o no de agua de origen superficial

En los siguientes incisos se entra en detalle sobre el aporte de agua mensual y anual de los diferentes sistemas de riego.

5.1.2 Oferta de agua para riego quincenal

Cada uno de los sistemas abarca un área de riego diferente y existe una sobreposición de sistemas en diferentes áreas y épocas del año. Esto da lugar a que existan diferencias en la oferta de agua para riego en las diferentes zonas y meses del año. Según el Cuadro 5, analizando de forma espacial se puede apreciar que Punata cuenta 22.1 Hm3 de agua anual correspondiente al 67% del total de agua ofertado y la zona de Tiraque con una oferta anual de 10.7 Hm3 (33%) de agua para riego. Aunque la mayor cantidad de recursos hídricos se generan en la parte alta de la cuenca, sin embargo las familias campesinas de Punata realizaron diversas acciones para acceder a estos recursos, tal es el caso de Totora Khocha cuya represa se encuentra en la jurisdicción de Tiraque.

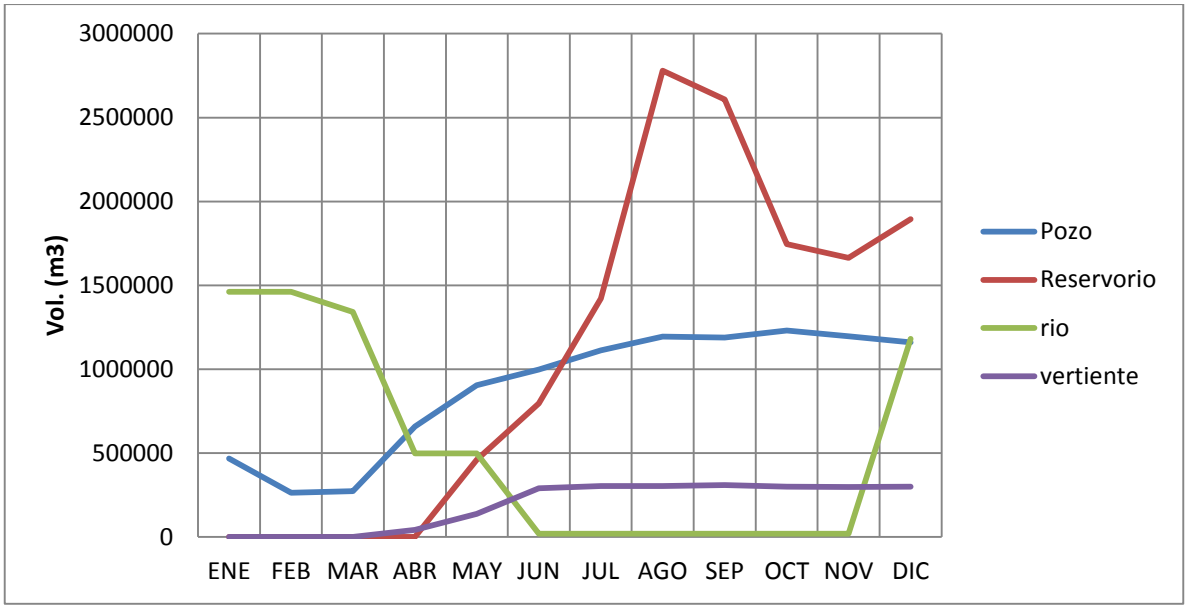


Figura 11. Oferta de agua mensual de los diferentes fuentes de agua

Las diferentes fuentes de agua ofertan de forma variada en los diferentes meses del año. La oferta de agua proveniente de los reservorios, pozos y vertientes se concentra principalmente en los meses de mayor demanda de agua para riego (junio-diciembre). Justamente en este periodo se realizan las largadas de las represas, tanto los pozos y las vertientes funcionan en su mayoría las 24 horas. Es así que la mayor oferta de agua 7427mm se registro en la primera quincena de diciembre. En época de lluvia la oferta de agua es menor registrando solo 392mm en la segunda quince de marzo. Los reservorios no aportan agua para riego en esta época ya que estas almacenan en estos meses, sin embargo la mayor oferta de agua proviene de los ríos a acepción del Pilayacu La Villa que tiene disponible este recurso durante todo el año. Otro de las fuentes que también oferta agua todo el año son los pozos ya es estas presentan mayor control y accesibilidad que las otras fuentes (reservorios y ríos) (Figura 11 y Figura 12).

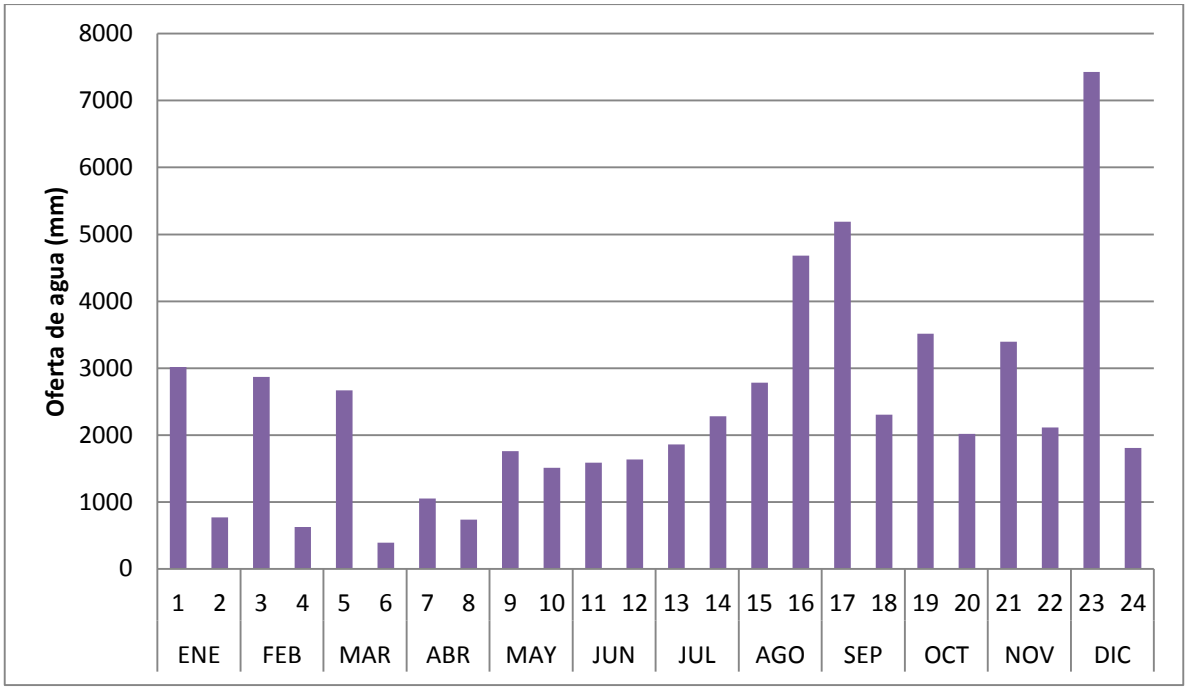


Figura 12. Oferta de agua quincenal

A continuación se analiza de forma espacial las ofertas de agua para riego para la primera quincena de los meses de enero, abril, julio y octubre (Figura 13):

En la primera quincena de enero, se observa que la oferta de agua es menor a medida que se va descendiendo desde las partes altas de cuenca hacia el Valle de Punata. En Tiraque la única zona que cuenta con aporte de agua es el Abanico de Tiraque, en esta zona los agricultores captan agua del rio Millu Mayu para riego complementario de los cultivos. Sin embargo el Abanico de Punata presenta ofertas de agua que varían desde 1-150mm, donde las ZOAAs que cuentan con agua del rio (Mit'a y Rol) y pozos son los que presentan mayor disponibilidad de agua

En el mes de abril, la oferta de agua disminuye ya que el aporte de agua de la precipitación es menor con respecto al mes de enero. Para el caso de Punata las ofertas de agua son principalmente de los pozos y en menor proporción del rio Pucara, las mayores ofertas (25-75mm) están ubicadas en norte del Abanico donde el agua es destinada a la producción de hortalizas y frutales. En la parte alta de la cuenca se incremente de la oferta de agua con respecto al mes de enero en las zonas donde los agricultores empiezan a aprovechar las vertientes para riego complementario.

En la época de invierno (primera quincena de julio), prácticamente la oferta de agua de los ríos desaparece a acepción del Pilayacu la Villa, en las otras zonas agrícolas, la producción es principalmente bajo riego suplementario, con recursos que provienen de las represas, pozos y vertientes. En la zona de Tiraque con las primeras largadas de las represas y agua proveniente de las vertientes los agricultores de esta zona realizan la preparación de terrenos para la siembra de tuberculos y legumbres, estas ofertas alcanzan hasta 50mm. En Punata la oferta de agua alcanza hasta 88mm, cuya fuente principal son las aguas subterráneas.

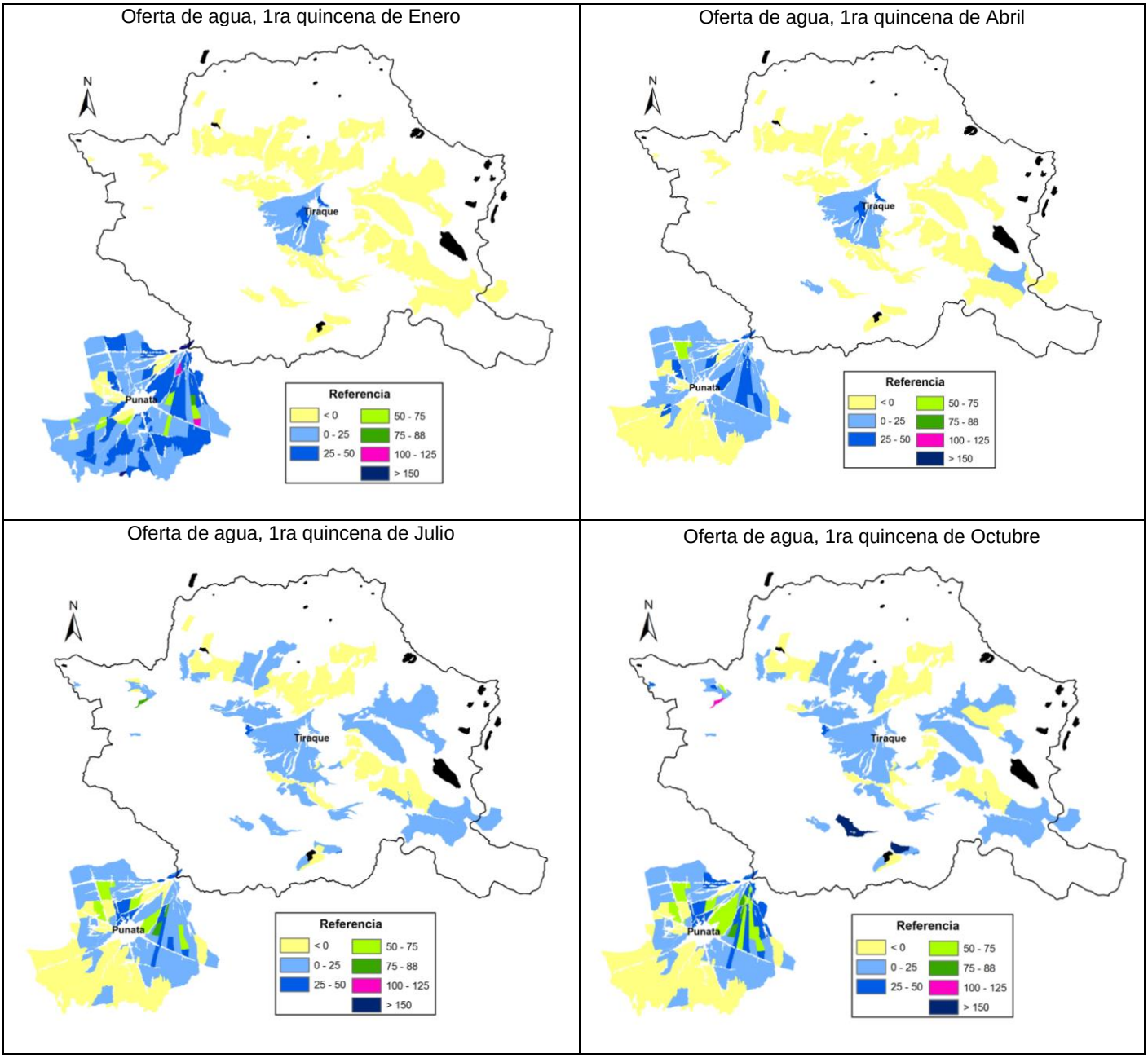


Figura 13. Mapas quincenales de oferta de agua

Finalmente, en la época de mayor demanda, (primera quincena de octubre) también las ofertas de agua son mayores registrando por encima de 150mm para las comunidades de Sacabambilla, estos agricultores cuentan con agua de 3 represas y vertiente. En Punata también las ofertan de agua para riego se incrementan alcanzando hasta 88mm, estos recursos provienen principalmente de los 3 reservorios (Laguna Robada, Lluska Khocha y Totora Khocha) y pozos.

5.3 El balance hídrico: Déficits hídricos de agua para riego quincenales

Los deficits de agua para riego, provienen de la substracción de los valores quincenales de demanda menos las aplicaciones de agua de riego, en los que se presentan las láminas de

agua faltantes para el desarrollo optimo de los cultivos sembrados, así como también la eventual abundancia de agua. Analizando previamente las ofertas y demandas de agua para riego generados para toda la zona de estudio, segun la Figura 14, se puede apreciar que en la mayor parte de los meses del año existe mayor demanda de agua y en cuatro meses (junio-septiembre) del año las ofertas de agua son mayores que la demanda. Los meses que no presentan deficits de agua corresponden a una epoca donde la mayoria de los cultivos se encuentan en la fase inicial y final de su desarrollo, periodo que corresponde a requerimientos de agua menores que las otras fases. Otro aspecto a resaltar es que en este periodo la mayoria de las represas realizan las aperturas para realizar los primeros riego de preparacion y siembra de año por lo que su aporte sera fundamental y conjuntamente con otras fuentes (vertientes y pozos) hacen que las demandas sean satisfechas.

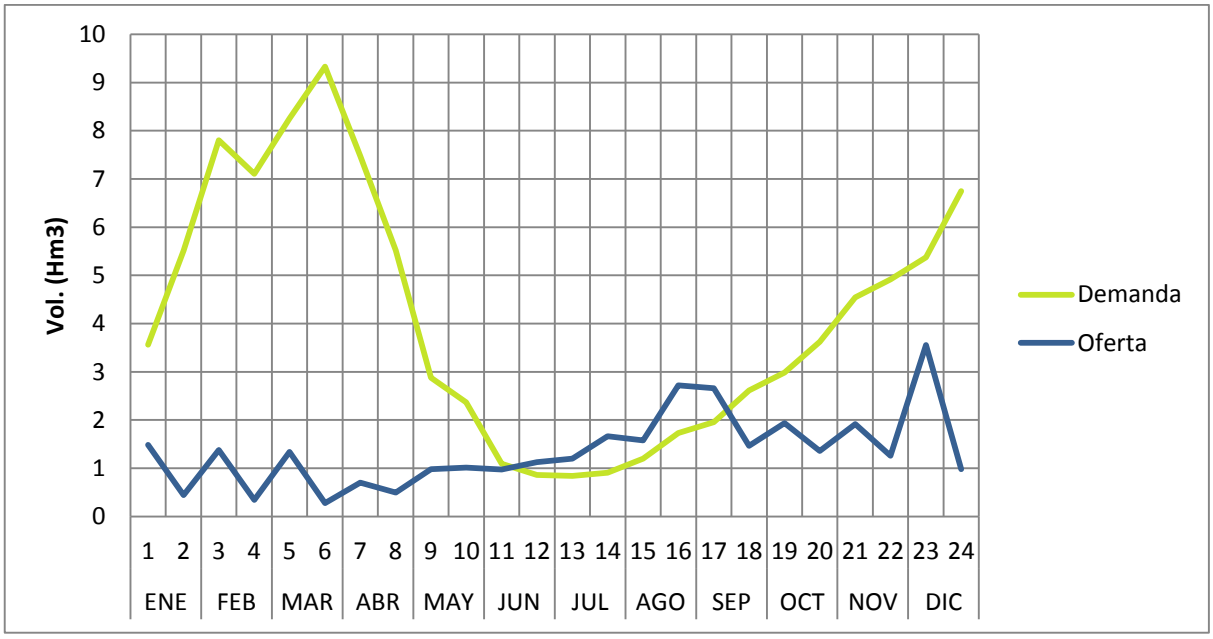


Figura 14. Oferta y demanda de agua para las diferentes quincenas

Los volumenes de deficit hidrico ascienden a un total de 70.5 Hm3 anuales, de lo cuales Tiraque demanda 50 Hm3 (71%) de agua para satisfacer los requerimientos de agua para riego y Punata requiere 20.5 Hm3 (29%) de agua para cubrir los deficits hidricos (Figura 15).

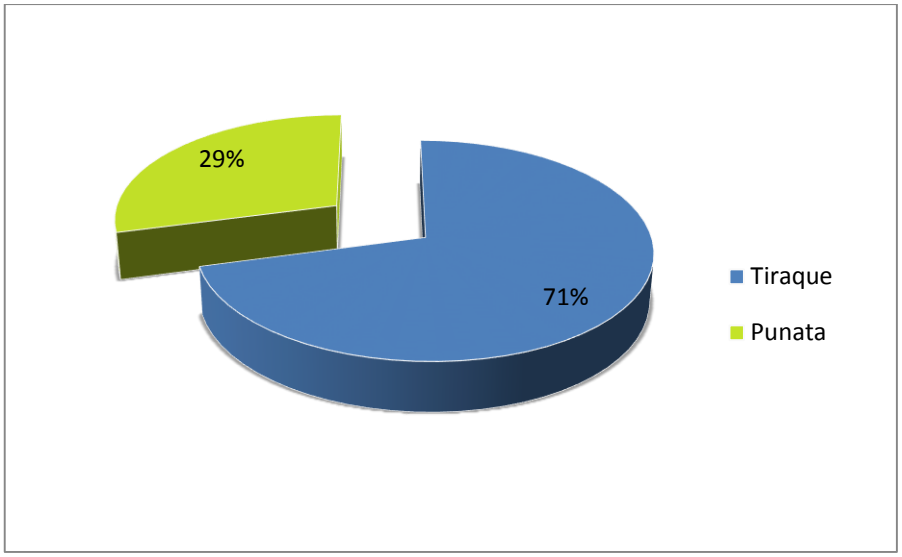


Figura 15. Déficit hídrico en la zona de Tiraque y Punata

Los deficits de agua que registran los meses de octubre a mayo, pertenece a meses donde la actividad agricola es intensiva, la mayor parte de las tierras se encuentran con cultivos en las fases de desarrollo y medio. Por otro lado este periodo corresponde a la epoca lluviosa, lo cual significa que las demandas de agua deberian ser satisfechas con aporte de la precipitacion. Tanto en Punata y Tiraque los mayores deficits de agua se registran en la segunda quincena de marzo, este periodo en particular corresponde a una epoca donde las lluvias han cesado, sin embargo en la mayor parte de las zonas se encuentran en plena produccion.

Los deficits de agua registrados en la epoca lluviosa pueden ser satisfechas mediante el aprovechamiento del escurrimiento superficial de los rios. Si bien algunas zonas ubicadas en las partes bajas como los abanicos de Punata y Tiraque captan el agua de rio para complementar los deficits de agua que presentan sus cultivos, sin embargo en las partes altas de la cuenca por la ubicacion accidentada de los terrenos dificulta su aprovechamiento de este recurso. Tambien es importante reconocer que para el balance no se incluyeron todos los sistemas de riego constituidos entorno a los rios tal es el caso Mit'a Toralapa y Aguas del Pueblo de la comunidad de Cursani, por la falta de disponibilidad de datos. Por otro lado no existe un registro datallado de los caudales de aprovechamiento de los rios ya que en algunos meses de abundancia de oferta de agua, los agricultores aprovechan de forma libre.

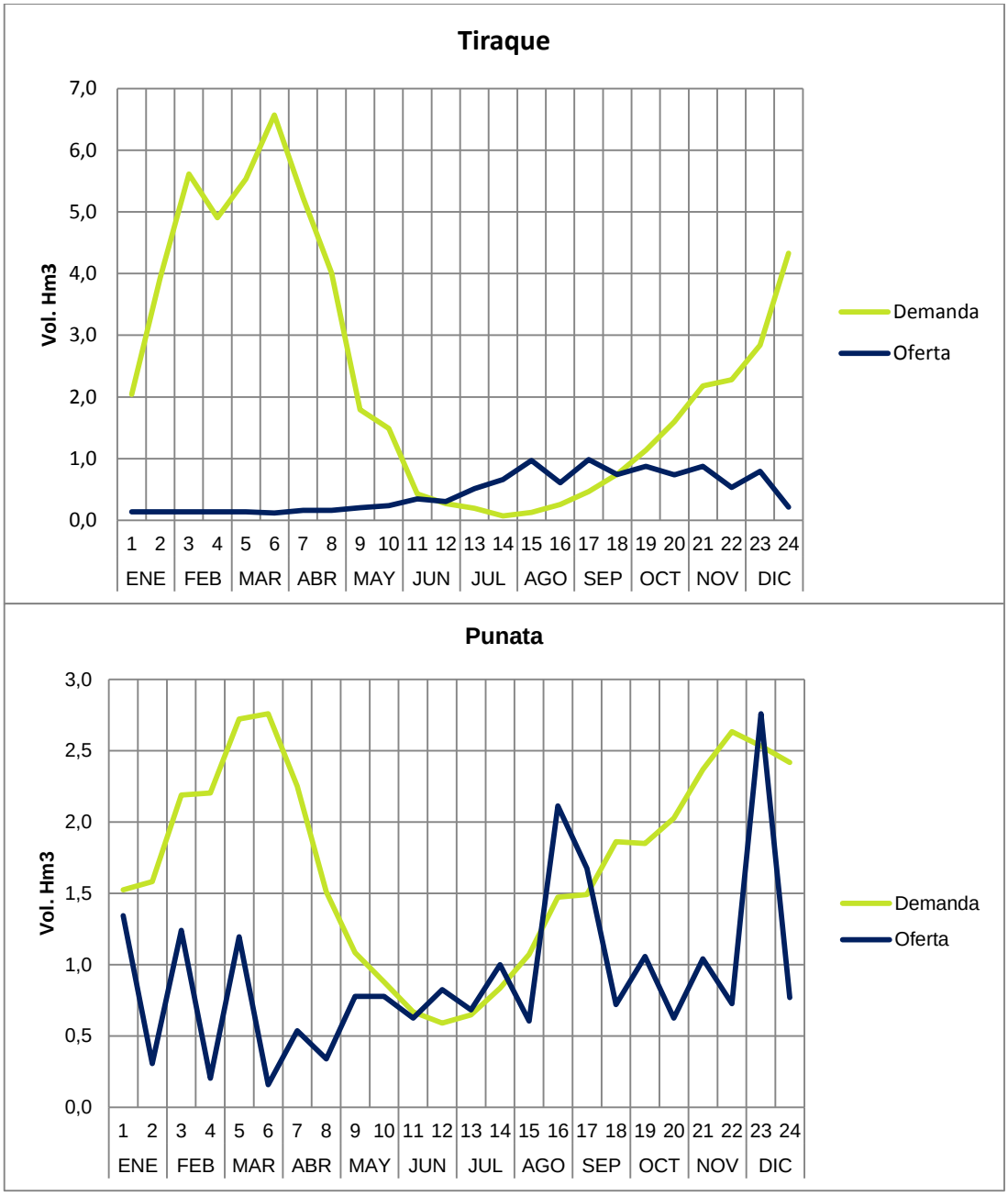


Figura 16. Oferta y demanda de agua para las zonas de Tiraque y Punata

Segun la Figura 16, los deficits de agua registrados para Punata son menores que Tirque. Una de las fuentes importantes que cuenta Punata es el aporte de 10.6Hm3/año de agua subterranea. Asi mismo la oferta de agua subterranea en todas las quincenas del año y conjuntamente con el aporte de otras fuentes con rios (epoca de lluvia), reservorios (epoca de estiaje) reducen considerablemente las demandas de agua para riego. Es asi que las quincenas 16,17 y 23 correspondiente a meses de alta demanda de agua son satisfechas los requerimiento de riego con agua de las represas y pozos. El aporte principal proviene de la represa Totora Khocha, ya en estas fechas la zona cuenta con agua de riego de esta represa.

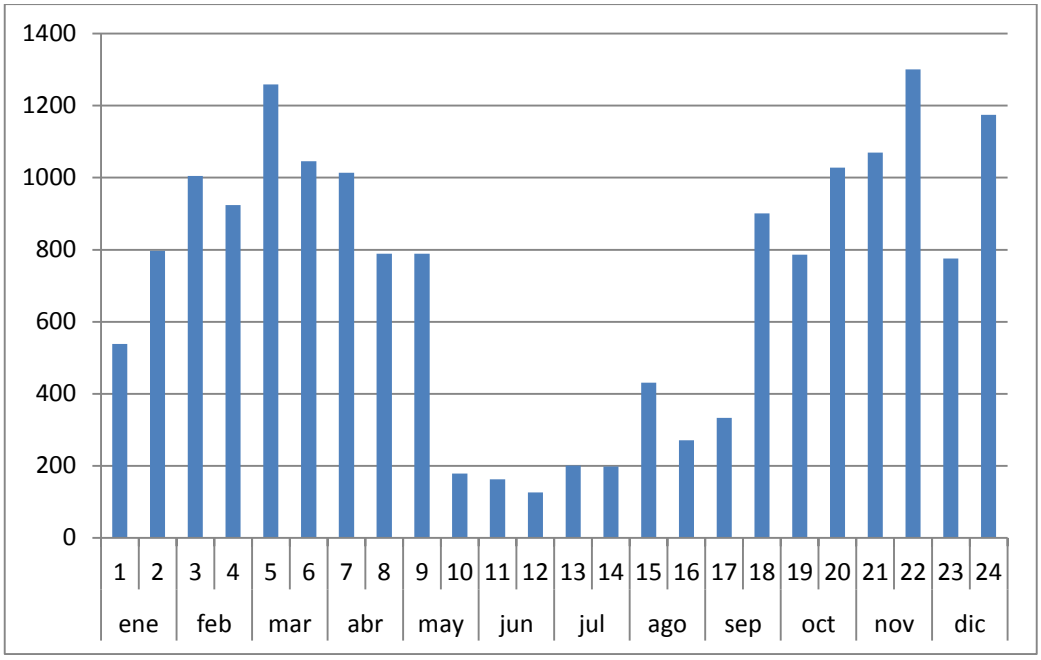


Figura 17. Déficits de agua expresados en lámina para las 24 quincenas

Las laminas de agua presentados para cada quincena fueron extraidos de los mapas generados para las 24 quincenas. Cada quincena presenta deficits de agua total que varian desde 100mm hasta 1200 mm (Figura 17). Las quincenas de mayo, junio y julio requieren menor a 200mm de lamina de agua para satisfacer los requerimientos de riego quincenales en todo el area de estudio. Sin embargo las demandas no satisfechas en las diferentes zonas de produccion son mucho menores como se analiza para las quincenas 1, 7,13 y 21(Figura 18):

En la primera quincena de enero, la mayor parte de la superficie que abarca Punata no existe déficit de agua, solo en sectores reducidos los déficits varían desde 10mm hasta 40mm, estas zonas corresponden principalmente a terrenos con intensidad actividad pecuaria y frutícola y por otro lado no cuentan con aportes de agua del rio. Para el caso de Tiraque las laminas de deficits de agua son mucho mas reducidos (menores a 20mm), por tratarse de una quincena en plena época de lluvia.

Para la primera quincena de abril, la mayor parte de la zona de estudio se encuentra con déficit de agua. Las menores demandas se presentan para las áreas agrícolas donde la producción es temporal y semi-intensiva como son los agricultores paperos y graneros ubicados en la parte alta de la cuenca y productores lecheros al sur de Punta. Las mayores déficits de agua se encuentran en zonas donde la actividad agrícola es intensiva alcanzando déficits de agua que alcanzan por encima de 40mm. Los déficits de agua por un lado están relacionados con las últimas etapas de crecimiento de los cultivos de año, y por otro con el consumo de los cultivos perennes como la alfalfa.

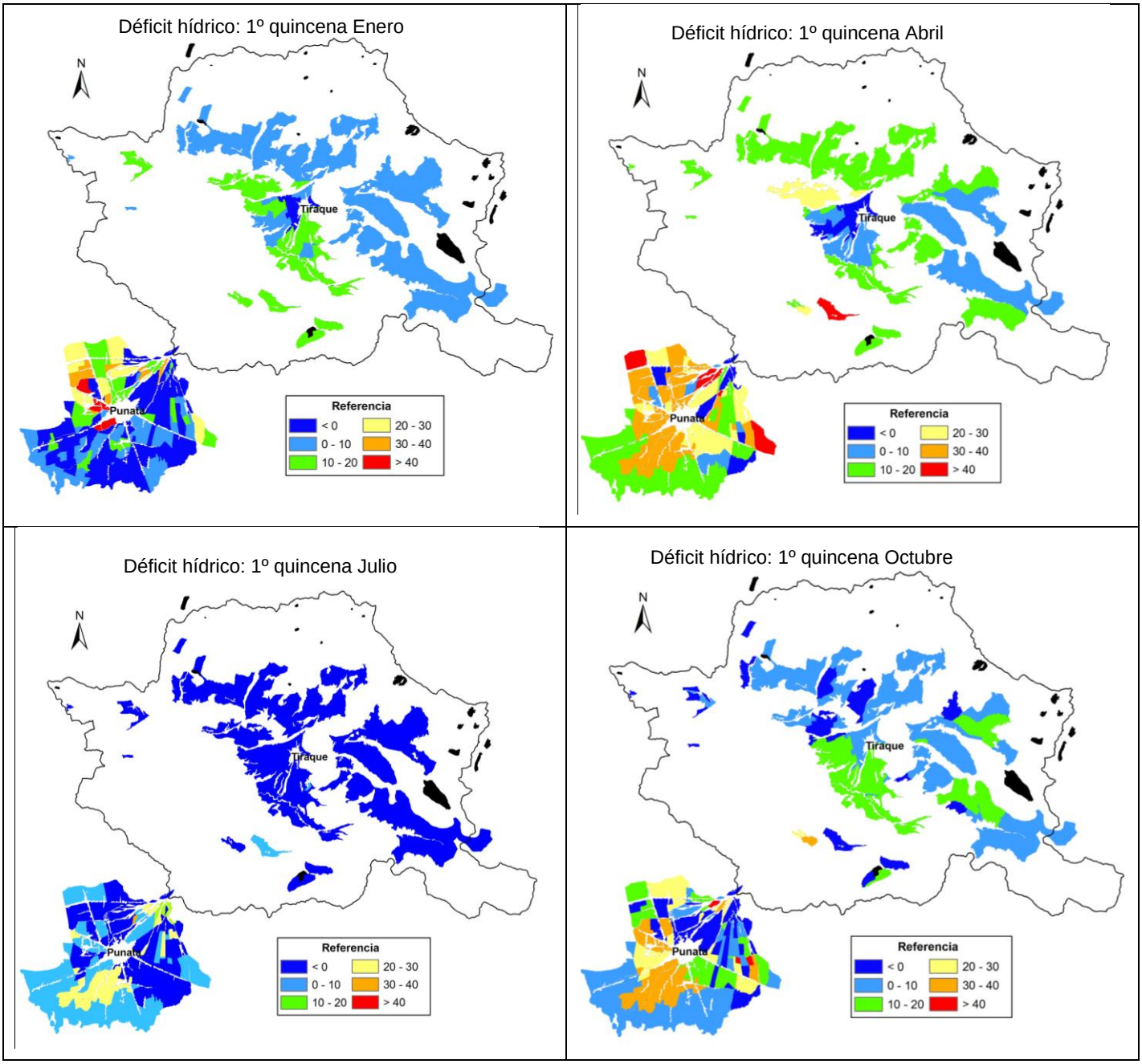


Figura 18. Mapas quincenales de déficits de agua

En julio, en su primera quincena, los déficits de abril desaparecieron casi por completo y más bien se convirtieron en una cierta abundancia de agua en gran parte de la zona de estudio. En las partes altas de la cuenca prácticamente con agua proveniente de los reservorios y vertientes se cubre la totalidad de las demandas de riego de los cultivos de invierno. El único déficit considerable se da en la zona pecuaria ubicada al sur de Punata, donde los agricultores requieren agua para cubrir extensas tierra de alfalfa y los aportes de agua para esta zona provienen de la reducida cantidad de pozos perforados. Los déficits de agua en

esta zona son probablemente también por efecto de la exclusión de los pozos excavados en la aplicación de la oferta de agua.

Finalmente, en la primera quincena de octubre se ve un aumento considerable del déficit de agua en casi toda el área de estudio, reflejado en un mosaico complejo de láminas mayores o menores en las distintas zonas. Este déficit es el resultado del aumento del área sembrada, los requerimientos de riego de preparación de los cultivos de año y las demandas de los cultivos intensivos. En Punata se puede diferenciar claramente dos zonas: la zona norte de Punata, con una disponibilidad relativamente alta (pozos y 3 reservorios) presenta menores déficits de agua que la zona sud de Punata, con disponibilidad menor (algunos pozos y Totora Khocha). Mientras tanto en Tiraque las mayores déficits de agua se registran en zonas donde la actividad agrícola es diversificada e intensiva, como es el caso del Abanico de Tiraque.

6. CONCLUSIONES

La configuración de diferentes zonas agroecológicas permite una producción diversifica de los cultivos, donde la partes altas de la cuenca tienen una producción temporal de tubérculos y cereales y en los valles la tierras presentan una producción intensiva y diversificada de cultivos. La variación de la producción tanto temporal y espacial que presenta la zona de estudio está estrechamente relacionado con la demandas de agua. Es así que las mayores demandas de agua para riego se encuentran entre los meses octubre a abril y la menor demanda de agua entre los meses mayo a septiembre. Espacialmente las unidades hortícolas requieren mayor cantidad de agua para riego y son precisamente estas unidades las que tienen mayor disponibilidad de agua.

La oferta de agua también es variable tanto espacial y temporal, esta variación va relacionada por un lado a la oferta de agua que presenta una fuente en el tiempo y por otro lado a la compleja distribución de agua que presenta cada zona. Por lo expuesto anteriormente en las partes altas de la cueca cuentan con ofertas de agua provenientes de de los reservorios y vertientes, mientras que para la zona del abanico de Punata el agua subterránea y las represas proveen para riego. El agua de río cobra importante sobre todo en el periodo lluvioso, pues origina sistemas temporales que dependen de la existencia o no de agua de origen superficial

La compleja configuración tanto de la oferta y demanda de agua para riego hace que existan zonas con déficit de agua y abundancia de agua también de forma temporal y espacial. Los meses con mayor actividad agrícola (octubre-mayo) presentan demandas de agua mayores que la oferta y los meses (junio-septiembre) donde la actividad agrícola es reducido no presentan déficit de agua. En este último periodo las demandas de agua para riego son menores ya que la mayoría de los cultivos se encuentran en la fase inicial y con el agua proveniente de los reservorios, vertientes y pozos son satisfechas las demandas.

Analizando espacialmente la zona de Tiraque y Punata presentan una variación diferente en cuanto a los déficits de agua. Tiraque no presenta déficit de agua en el periodo correspondientes al invierno ya la mayoría de las tierras se presentan sin actividad agrícola. Sin embargo en los meses con intensa actividad agrícola el déficit de agua se presenta en zonas donde la actividad agrícola es diversificada e intensiva. Es así como el Abanico de Tiraque que cuenta con agua para riego de tres reservorios no puede satisfacer las demandas de riego de los cultivos. En Punata las demandas de agua son mayores que la anterior zona, ya que la actividad agrícola es prácticamente todo el año. En esta zona se puede diferenciar claramente dos zonas: la zona norte de Punata, con una disponibilidad relativamente alta presenta menores déficits de agua que la zona sud de Punata, con menor disponibilidad de agua. En Punata con el aporte de agua de los pozos y reservorios llegan a cubrir las demandas de agua en algunos periodos (1º quincena de diciembre) de alta demanda, este periodo corresponde prácticamente a las fechas donde la zona cuenta con agua de la represa Totora Khocha.

7. BIBLIGRAFIA

CIDETI. (1994) Diagnóstico Socioeconómico de la Microregión Tiraque. Volumen 8. Clima y Recursos Hídricos, Transportes, Energía y Comunicaciones, Cochabamba.

CLAS. (2002) Diagnostico y Evaluación Territorial (Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Punata) Prefectura de Cochabamba, Unidad de Ordenamiento Territorial y Limites, Cochabamba.

Cruz R. (2009) Estudio Hidrologico de la micro region Tiraque Valle, Centro AGUA, Cochabamba.

PEIRAV. (1999) Balance hidrico para la produccion agricola en el valle central de Cochabamba, Cochabamba.

ANEXO 1

Demanda de agua quincenal en las ZSPDs

Zona	Piso ecológico	ZSPD	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		Lam (m)	Area (m2)	Vol (m3)	Vol (Hm3)
			1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**				
Tiraque	Alturas	AGPAS1	6	18	29	24	29	37	29	23	10	9	2	2	1								3	3	7	17	249	80798644	20148200	**20.1**
	Alturas	APaSI	6	15	25	20	20	25	20	15	7	6	2						1	3	7	11	14	13	14	20	244	32665028	7963011	**8.0**
	Alturas	APaTE	9	20	31	24	25	27	20	13	1	1	1				0	1	1	2	3	4	9	9	14	23	239	17061335	4072269	**4.1**
	Alturas	APDSI	8	13	20	15	13	16	10	5	3	3	0					1	4	8	14	21	25	24	24	27	253	23067018	5836467	**5.8**
	Cabecera	ADiSI	20	18	17	17	15	14	14	12	9	8	5	4	1	1	2	4	8	13	19	26	26	29	27	27	336	12430524	4170529	**4.2**
	Cabecera	AGPAS2	15	23	26	26	34	38	32	25	11	9	2	2	1								3	6	11	16	279	27935785	7782638	**7.8**
	Cabecera	AGPSI2	13	18	19	19	22	22	18	13	6	5			0	1	3	5	7	10	12	16	17	19	14	16	274	7974981	2183378	**2.2**
	Cabecera	AGrSI2	16	22	24	24	28	28	22	19	9	8	2						1	1	4	10	13	16	18	21	285	5094349	1453160	**1.5**
	Valle	AHoSI	13	21	33	36	47	51	48	44	41	15	13	12	17	17	23	34	42	48	46	46	30	33	30	27	766	2219972	1700114	**1.7**
	Valle	AGDSI	17	23	35	39	49	51	42	38	32	16	10	8	9	4	7	12	15	19	19	23	24	23	18	21	554	1309026	724806	**0.7**
	Valle	AGPAS3	21	27	35	33	42	41	33	25	10	9	2	2	1								3	6	13	23	325	3396471	1105351	**1.1**
	Valle	AGPSI3	18	21	26	24	28	23	19	13	5	4			0	1	3	5	7	10	12	16	18	19	16	21	308	642205	197898	**0.2**
	Valle	AHDIN	17	27	38	38	43	43	30	24	2	2	1	1	3	7	12	25	35	42	41	43	38	34	24	16	585	1213432	710161	**0.7**
Punata	Valle	AGrTE	31	37	48	45	53	51	43	19	17	15	3	3	3	4	5	7	8	14	16	20	27	31	35	39	573	7768997	4453775	**4.5**
	Valle	AHFIN	37	42	48	41	20	16	16	16	18	24	28	29	24	29	33	39	37	36	35	29	37	39	41	46	761	1368200	1041454	**1.0**
	Valle	AHLIN	35	33	42	33	47	52	46	40	39	31	19	9	18	29	37	50	56	64	59	58	37	45	43	51	970	1801257	1748063	**1.7**
	Valle	AHLSI	33	34	44	45	57	57	46	35	24	13	11	9	11	15	22	33	38	46	45	47	44	46	38	43	838	347760	291406	**0.3**
	Valle	AHoIN	5	13	32	38	53	55	43	33	27	23	25	28	32	39	39	45	26	39	45	53	59	62	55	50	920	5423162	4991588	**5.0**
	Valle	PLeSI	25	24	34	36	46	48	39	32	15	16	12	10	11	14	20	29	32	40	40	44	51	55	49	39	761	17745699	13501720	**13.5**
	Valle	PLeTE	12	13	18	19	24	25	20	16	14	6	5	5	5	6	7	10	11	12	10	10	14	17	17	18	316	23731679	7509873	**7.5**
	Valle	PLFSI	41	39	46	43	51	49	40	14	10	11	9	8	8	13	18	27	31	38	37	40	48	54	55	58	789	9684597	7645018	**7.6**
Total			397	500	670	640	746	770	630	475	310	233	152	131	145	179	232	328	360	443	466	517	538	582	564	618				

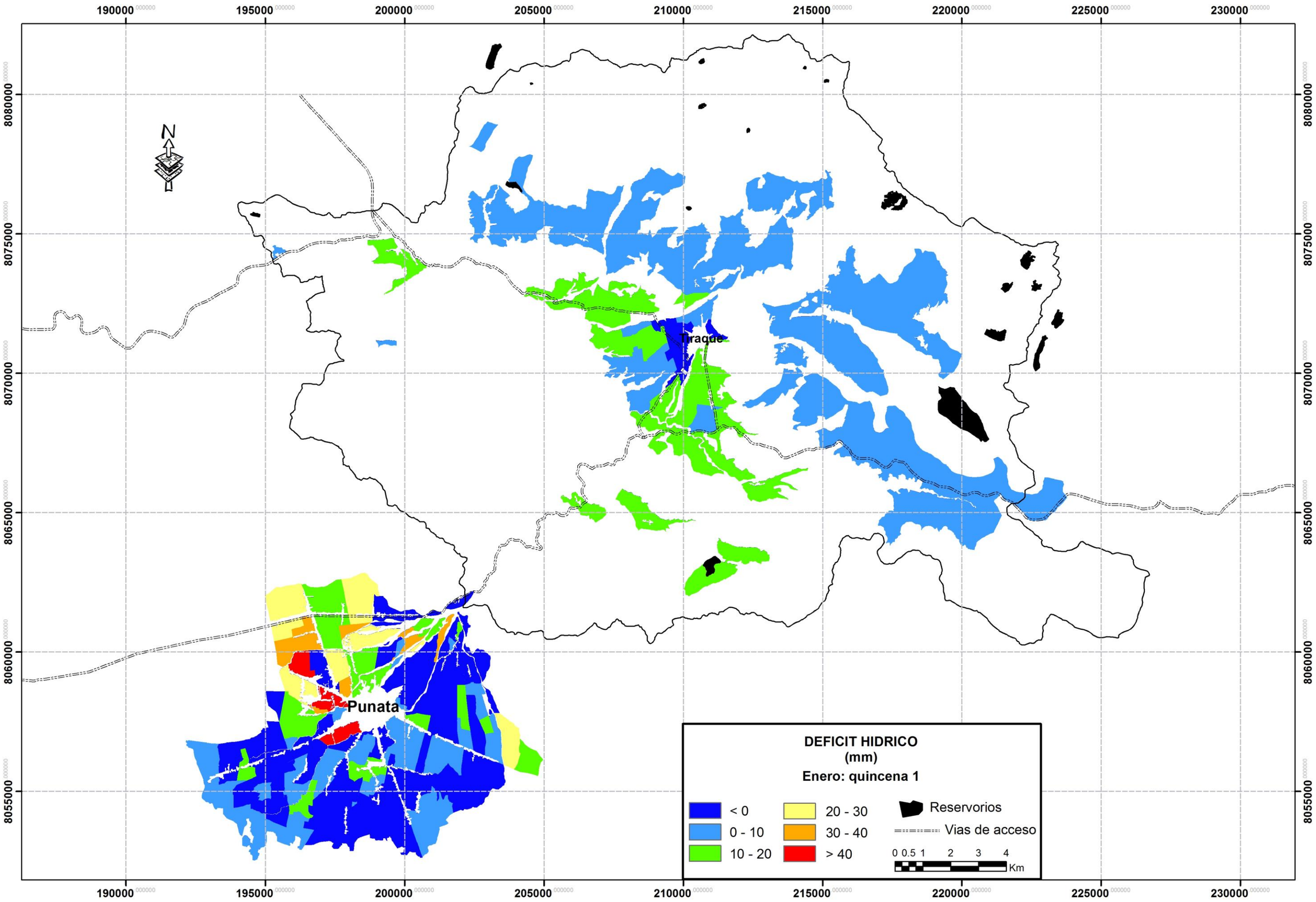
Oferta de agua quincenal

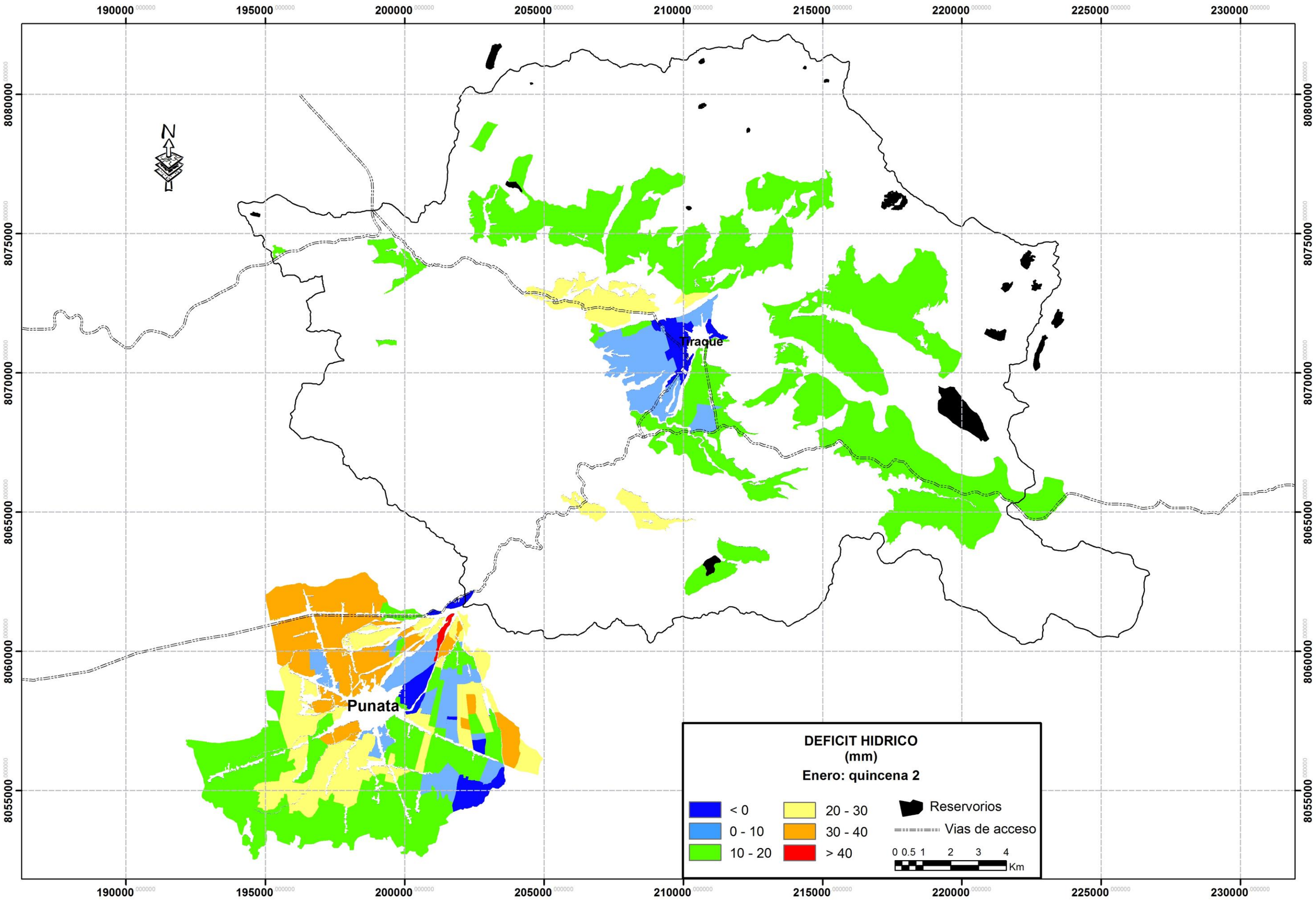
Zona	Tipo de fuente	Nombre sistema	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tiraque	Reservorios	Cruz Khocha																	7943	7943		7943	7943		7943	7943
		Gamboa Khocha													22032	22032	22032	22032	22032	22032	22032	22032	22032	22032		
		Huayna Juno - K'ara K'asa														27992		27992		27992		27992		27992		
		K'asa Laguna																	25776	24300	24300	24300	24300	24300	24300	24300
		K'ayarayoj T'oqo													20048		20048		20048		20048		20048		20048	
		Koari - Kewiña											143698		143698	120264	23434		143698		23434	120264	23434			
		Laguna Tuturuyu															463413		463413		463413		463413		463413	
		Llusk'a Khocha - Muyu Loma										25920		25920		25920		25920			25920		25920			
		Millu Khocha															20671			20671			20671			20671
		Pachaj Khocha												77591	70430	30975	77591	77591	74482	61250	77591					
		Puca Jusk'u																		3775	3775	3775	3775	3775	3775	3775
		Quechua Khocha													24403		24403		24403		24403		24403		24403	
		Totora Khocha Antiguos											58004	58004		58004		58004		58004		58004		58004	58004	
		Totora Khocha Abanico Tiraque															71845			71845		71845				
		Totora Khocha Boqueron Alto													11745		11745		11745		11745		11745		11745	
		Totora Khocha Dami-Cebada													18559	18559	18559	18559	18559	18559	18559	18559	18559	18559	18559	
		Totora Khocha Zona Sud														207331		207331		207331		207331		207331		
		Totorayoj Khocha													49464		49464			49464			49464			
		Wirkhini Qhata Qhata															16281	18230	17743	16281	18230	17743	16281	18230	17743	
	Río (toma)	Millu Mayu	139621	139621	139621	139621	139621	118453	139621	139621	139621	139621														
	Sub-superficial	Vertientes*							21051	21051	65984	71567	146684	143685	152509	151926	150718	153290	154839	155147	144436	156121	143768	154378	142870	157832
	Sub-total Tiraque		139621	139621	139621	139621	139621	118453	160672	160672	205605	237108	348386	305200	512888	663003	970204	608949	984681	744594	877886	735909	875756	534601	792803	214521
Punata	Reservorios	Laguna Robada									117402		117402		117402	117402		117402		117402	117402		117402	117402		117402
		Llusk'a Khocha - Muyu Loma										315910		315910		315910		315910			315910		315910			
		Totora Khocha																1070926	1070926						1070926	
	Río (toma)	Mit'a	199201		199201		199201		199201		199201														199201	
		Pilayaku la Villa	59270	59270	59270	59270	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	9979	59270	59270
		Pilayaku Pucara	12700	12700	12700	12700	12700	12700																	12700	12700
		Rol	838573		838573		838573																		838573	
	Agua subterranea	Pozo**	233935	233943	131773	131773	136167	136167	329043	329043	451908	451908	498859	498859	556539	556539	595326	599646	593920	593956	615039	615039	598544	598544	579809	579809
	Sub-total Punata		1343679	305913	1241517	203743	1196620	158846	538223	339022	778490	777797	626240	824748	683920	999830	605305	2113863	1674825	721337	1058330	625018	1041835	725925	2760479	769181
Total			1483300	445534	1381138	343364	1336241	277299	698895	499694	984095	1014905	974626	1129948	1196808	1662833	1575509	2722812	2659506	1465931	1936216	1360927	1917591	1260526	3553282	983702

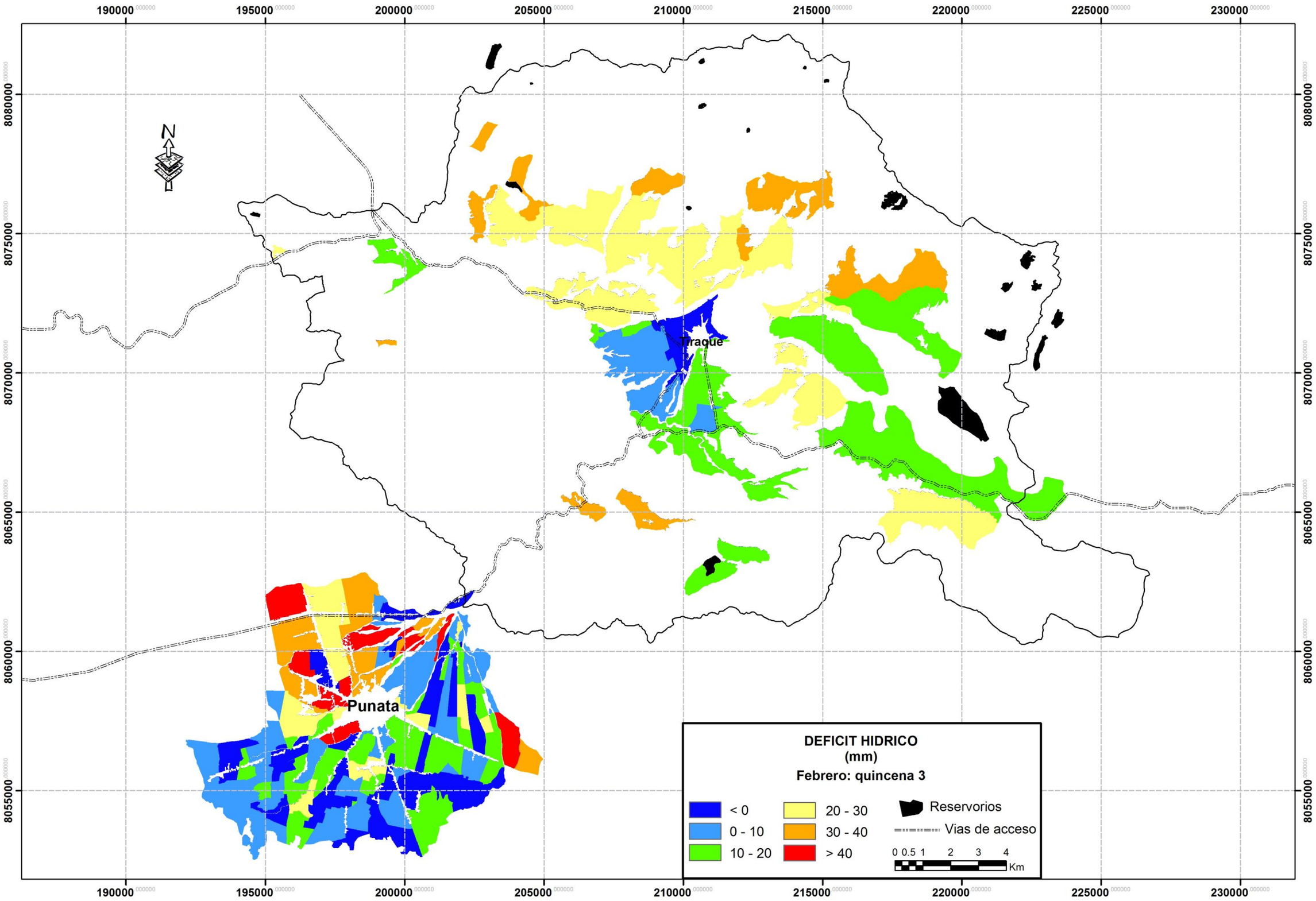
** 21 Vertientes*

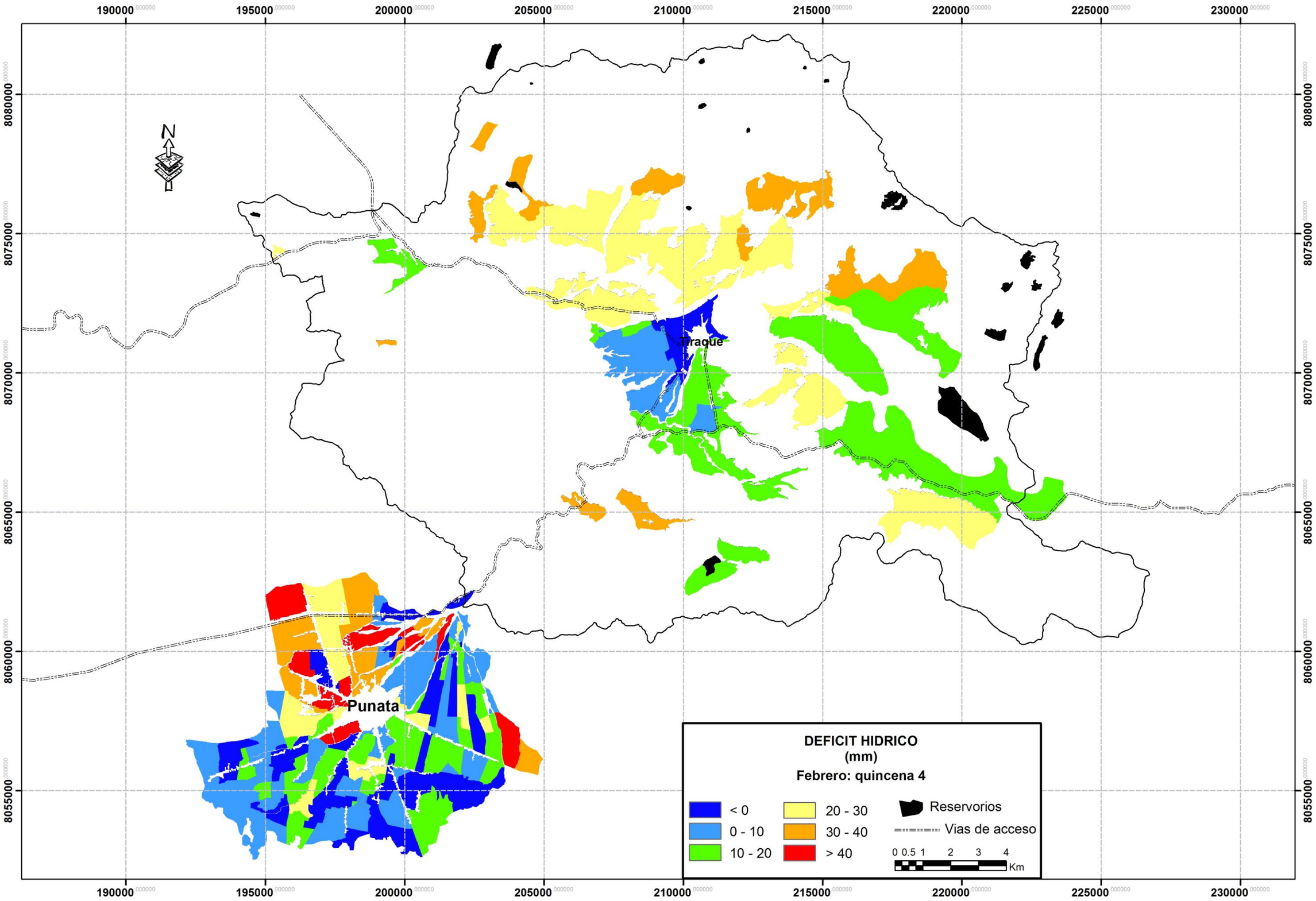
***110 Pozos*

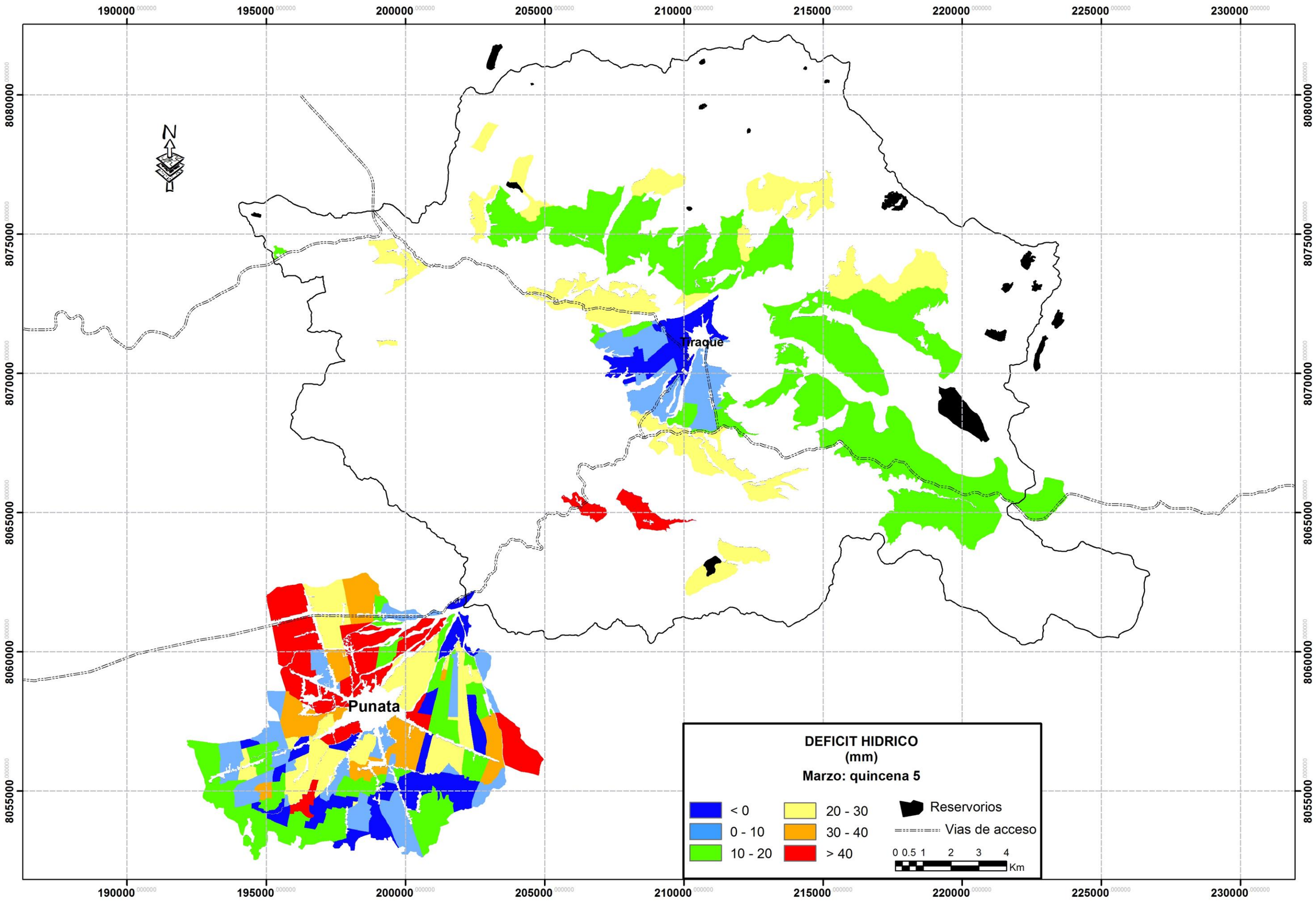
MAPAS DE DEFICT HIDRICO

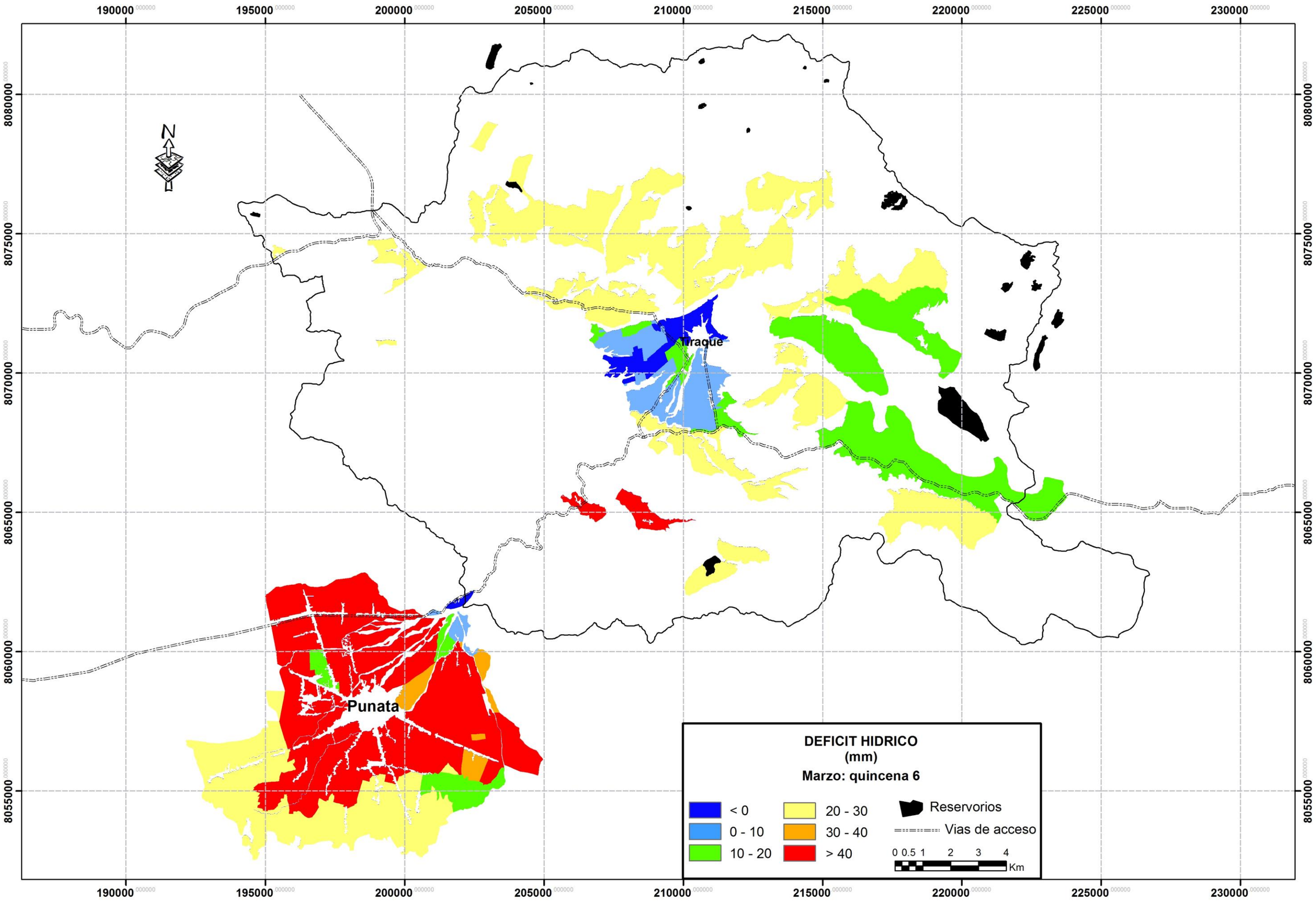

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Enero: quincena 1
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

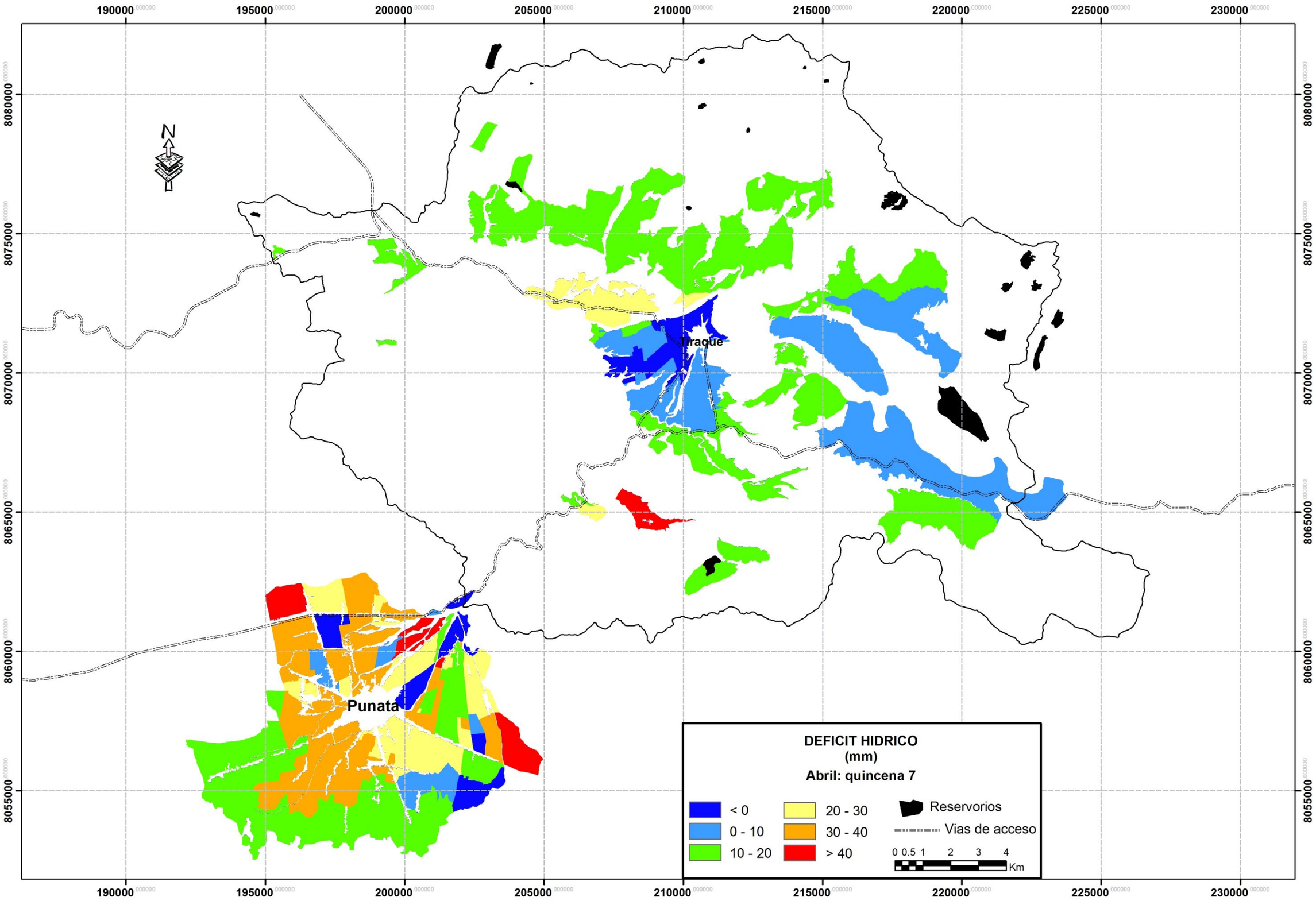

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Enero: quincena 2
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

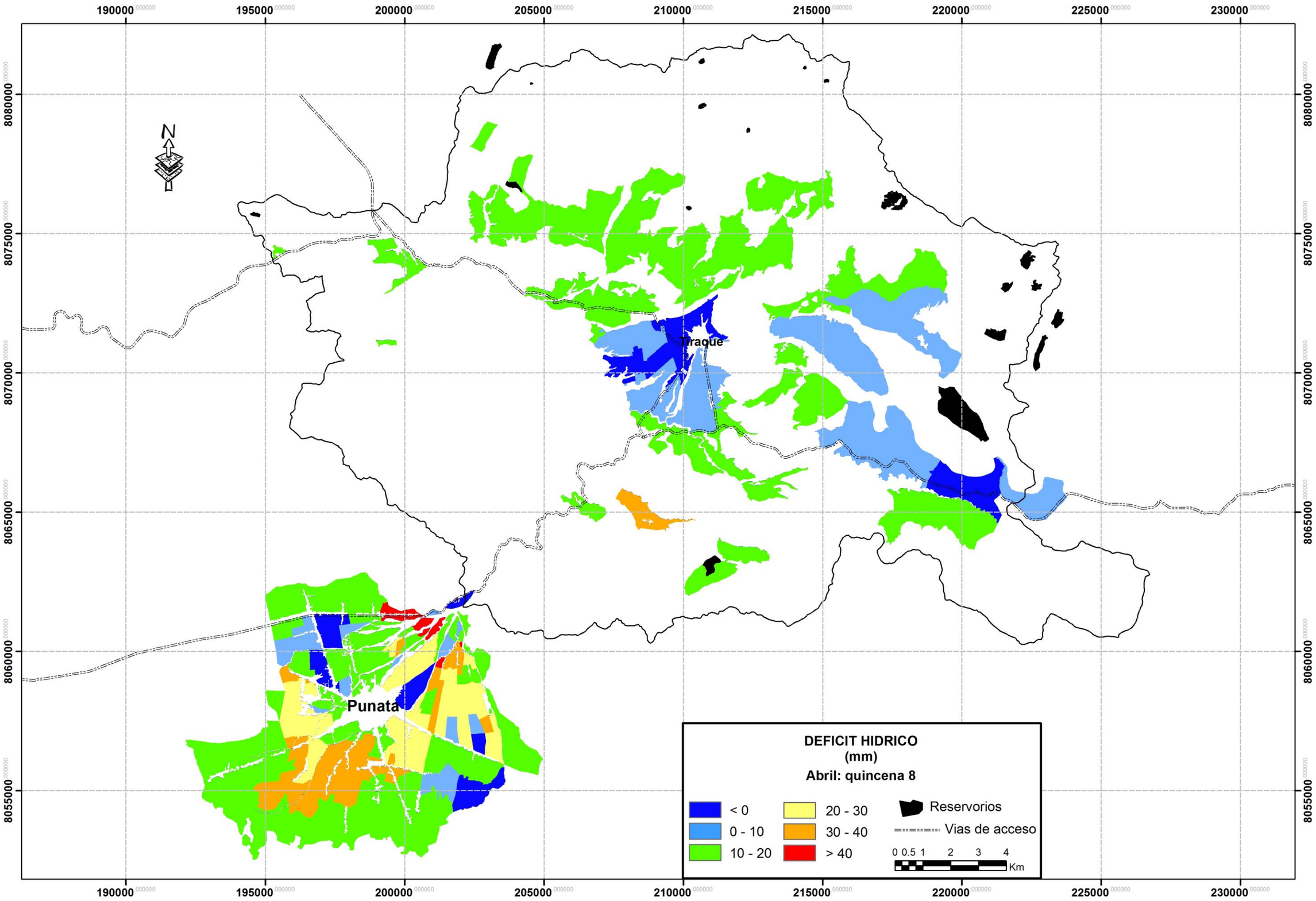

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Febrero: quincena 3
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

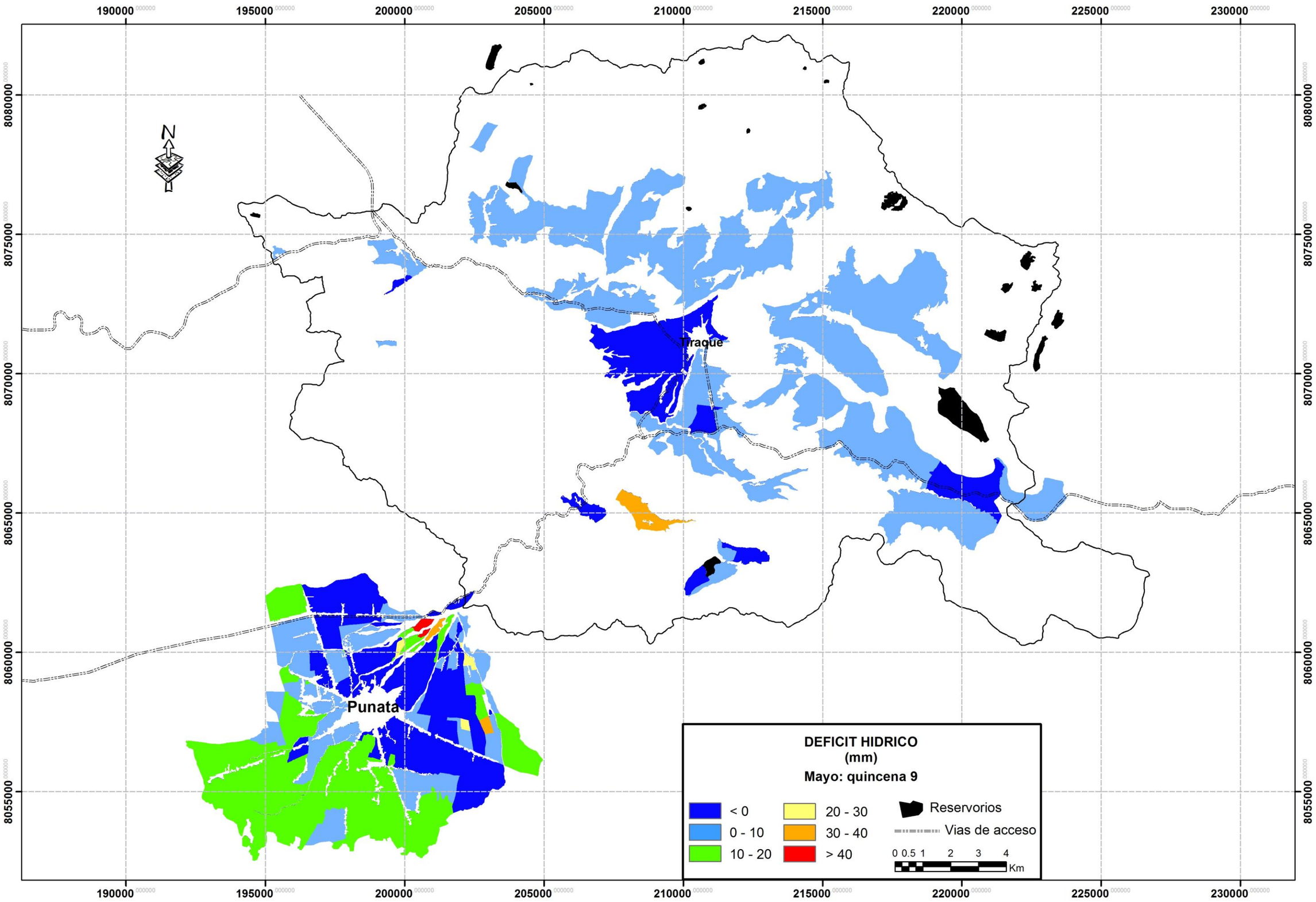

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Febrero: quincena 4
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

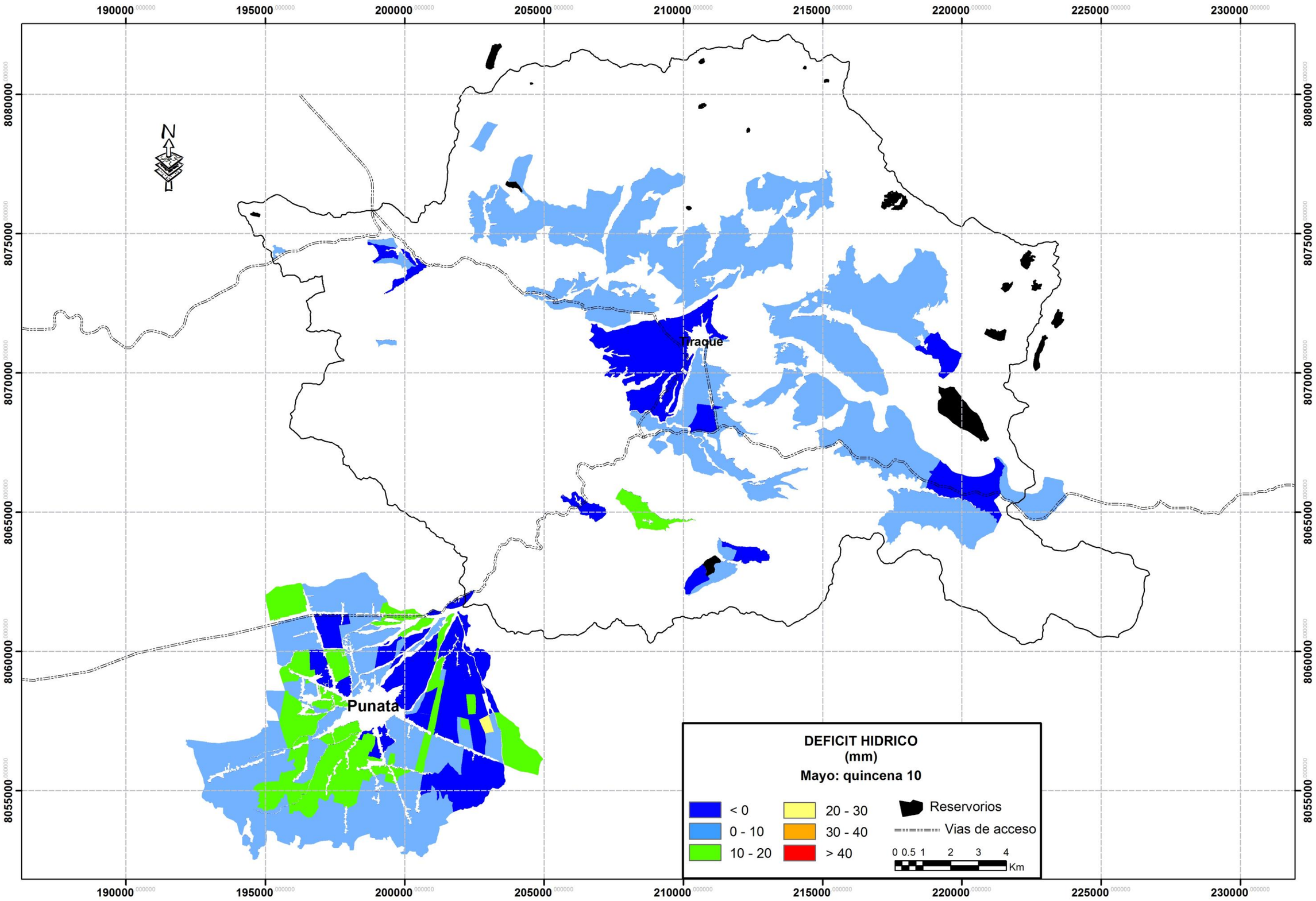

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Marzo: quincena 5
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

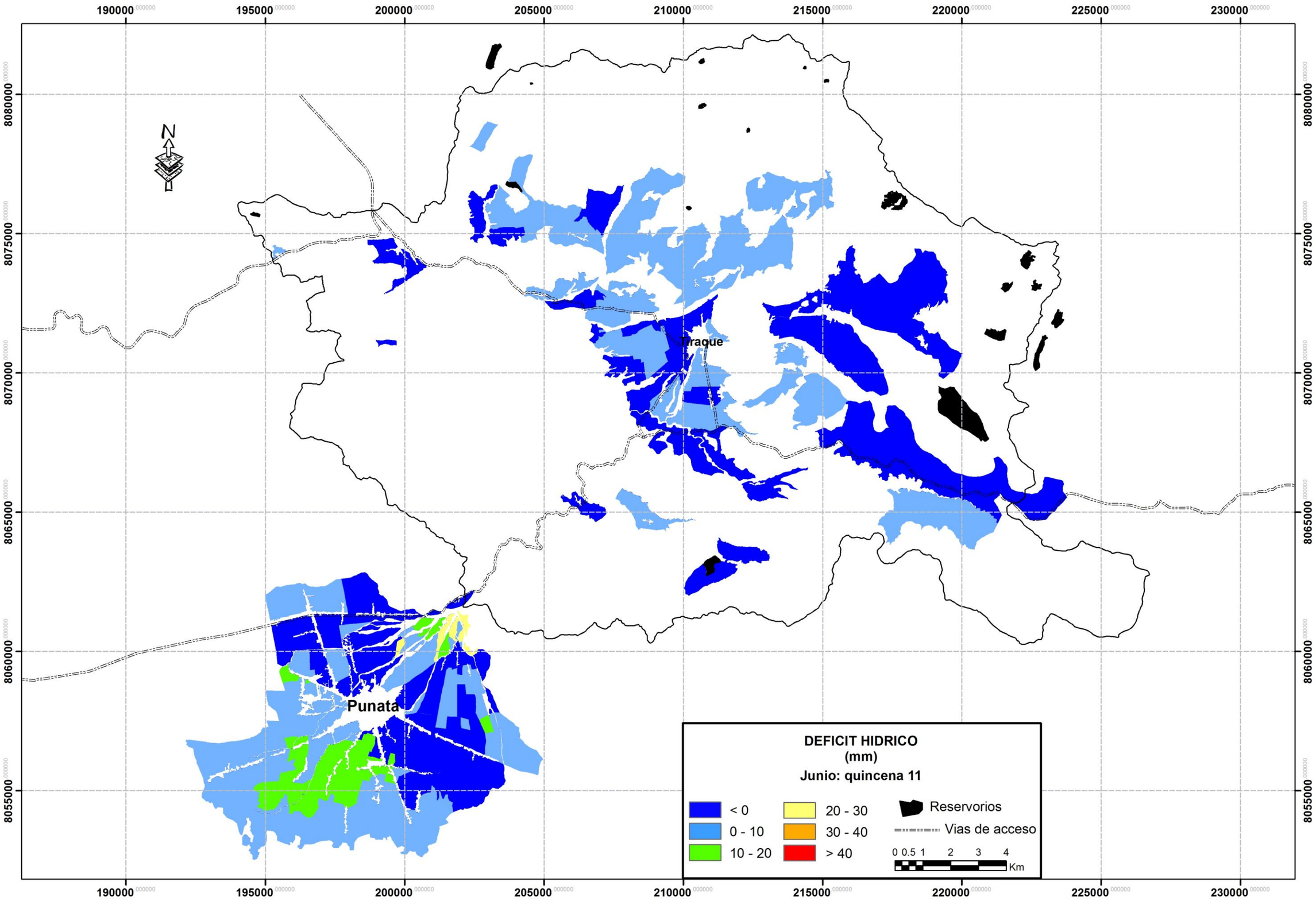

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Marzo: quincena 6
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

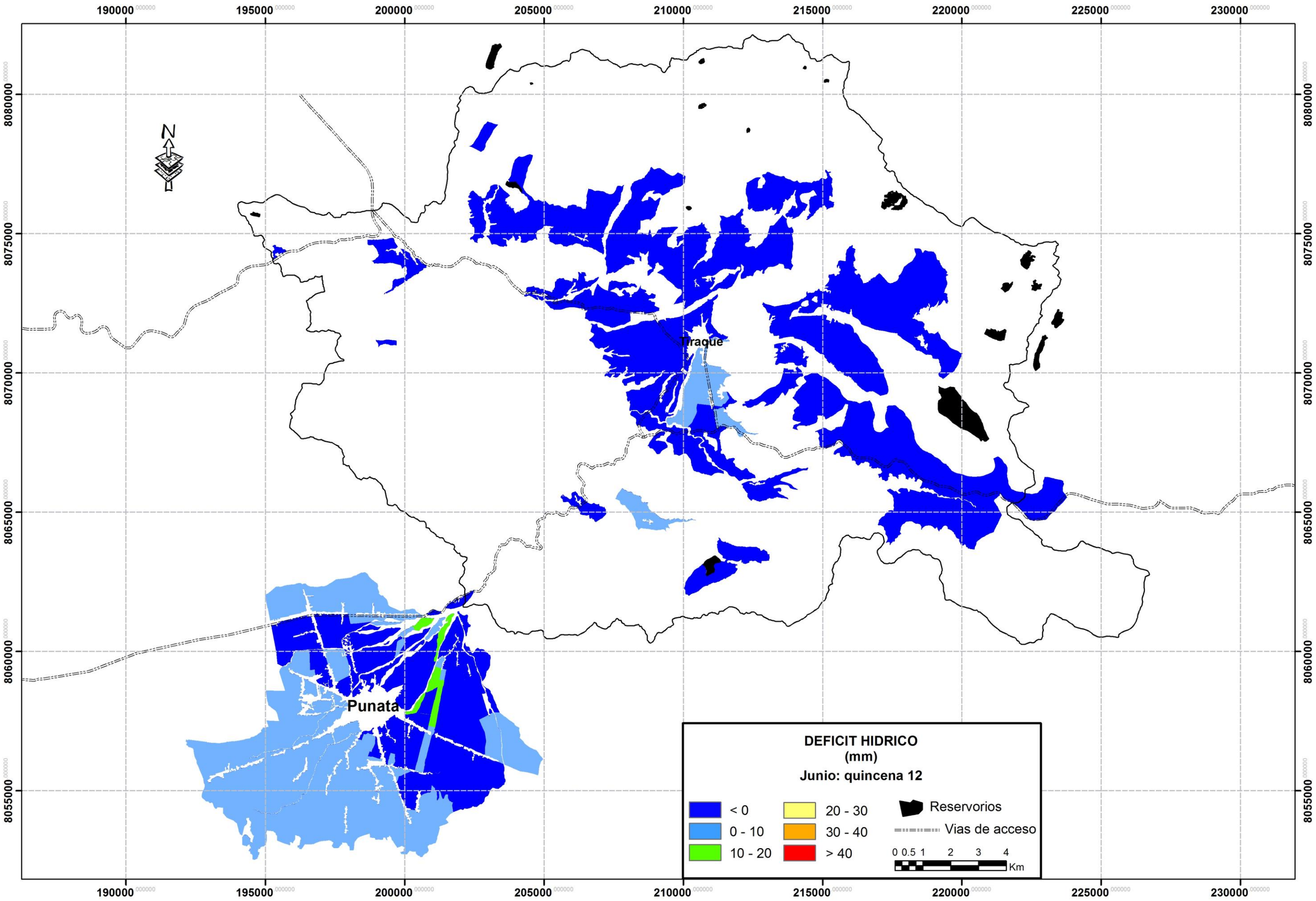

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Abril: quincena 7
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

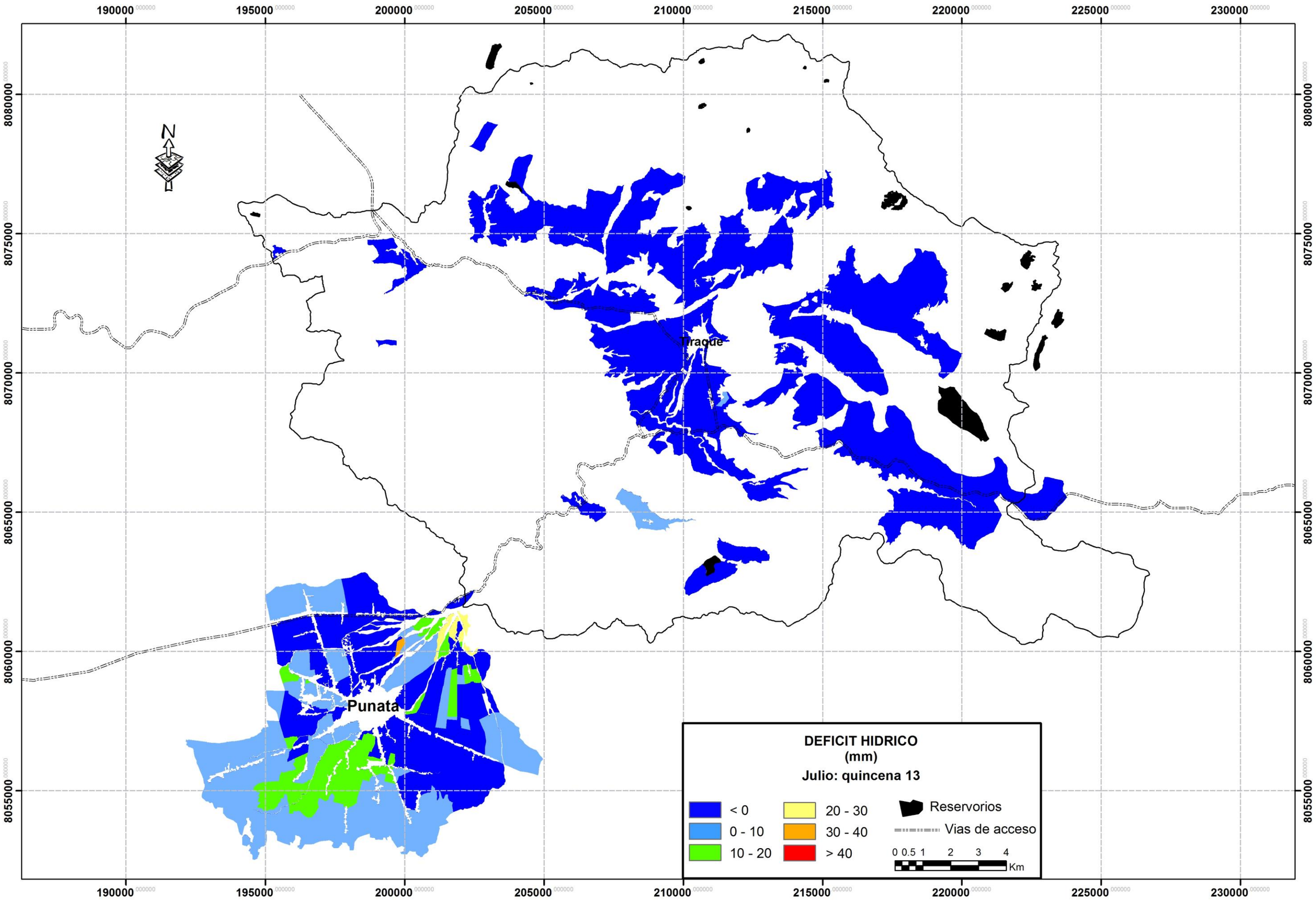

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Abril: quincena 8
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

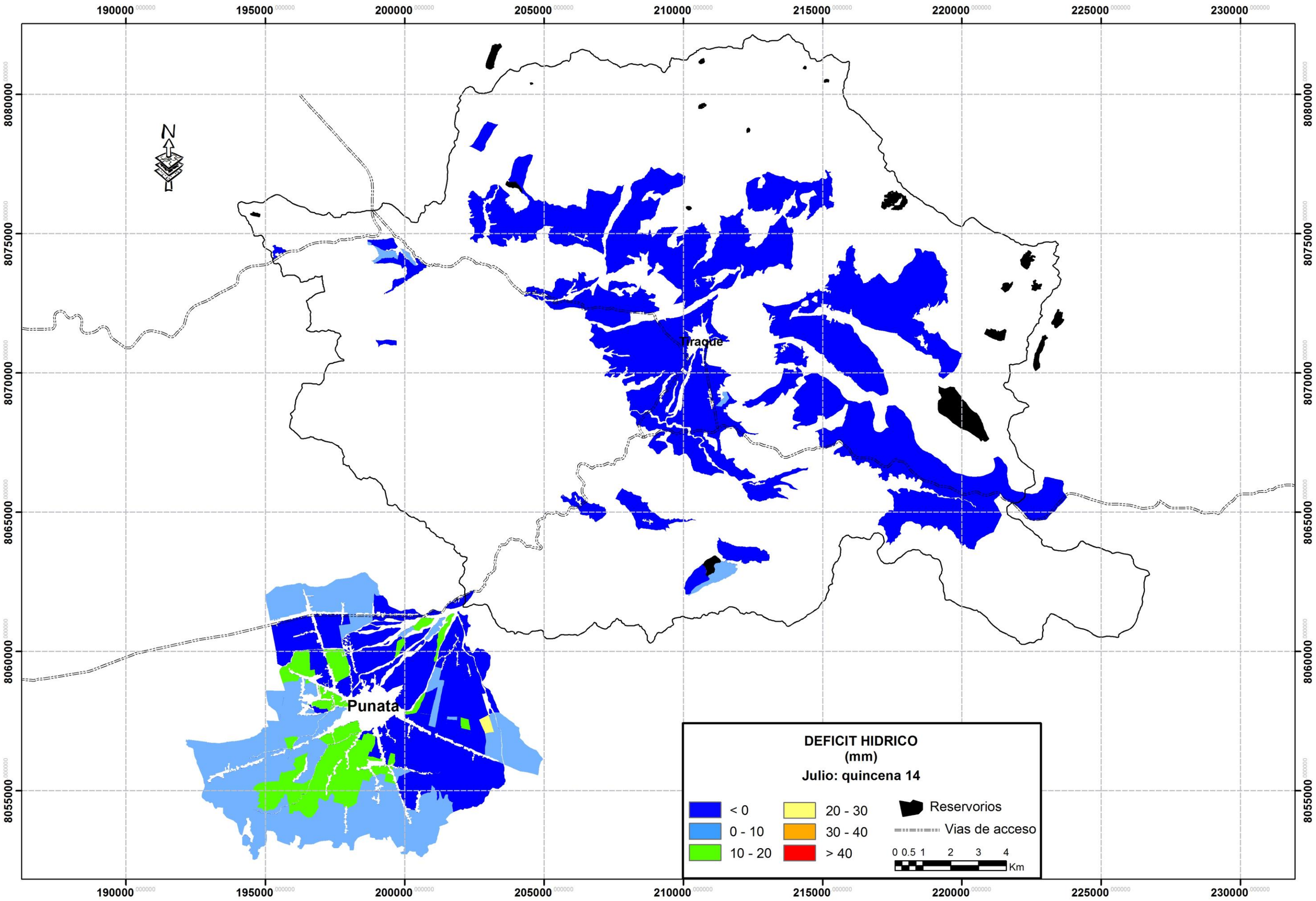

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Mayo: quincena 9
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

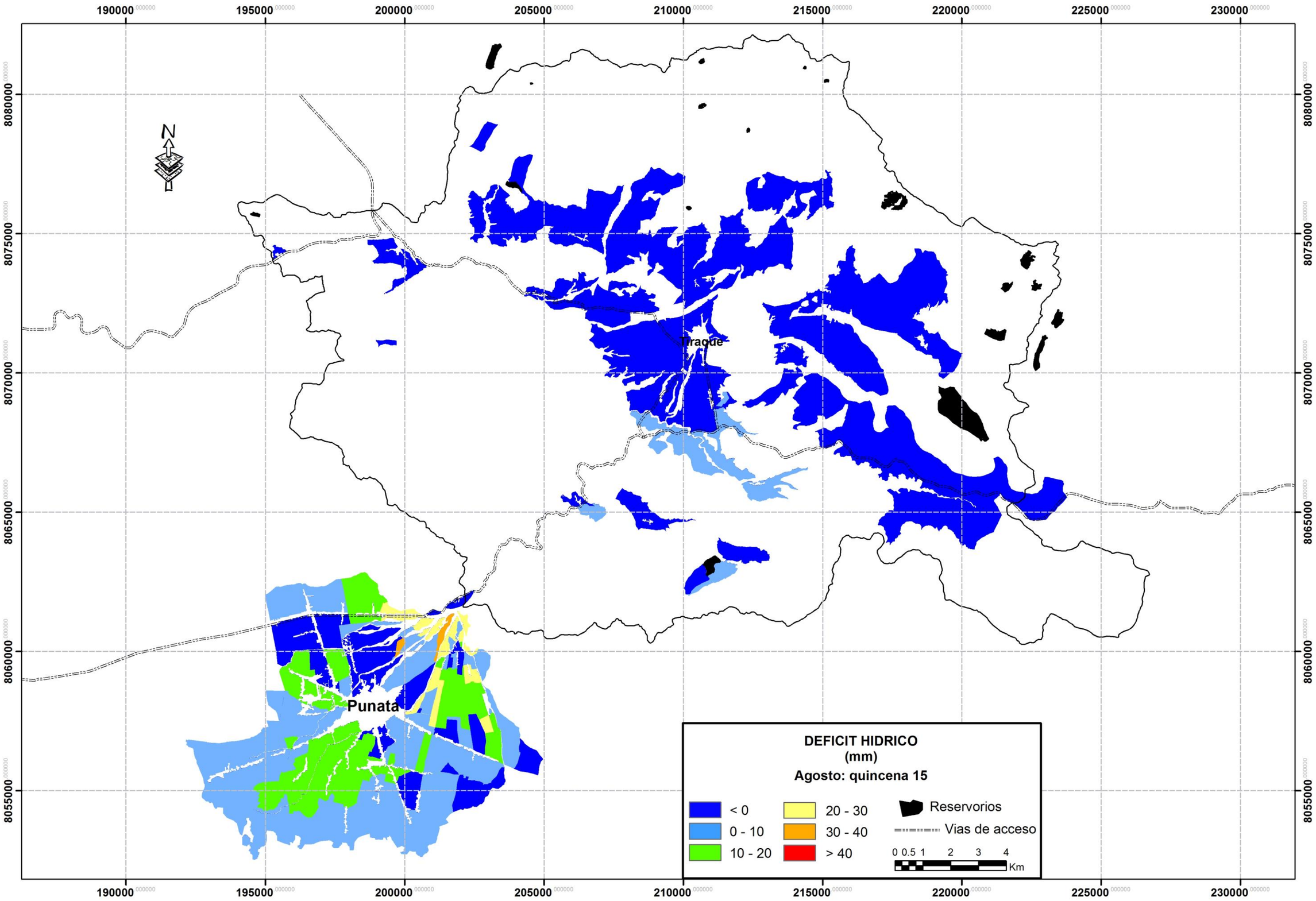

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Mayo: quincena 10
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

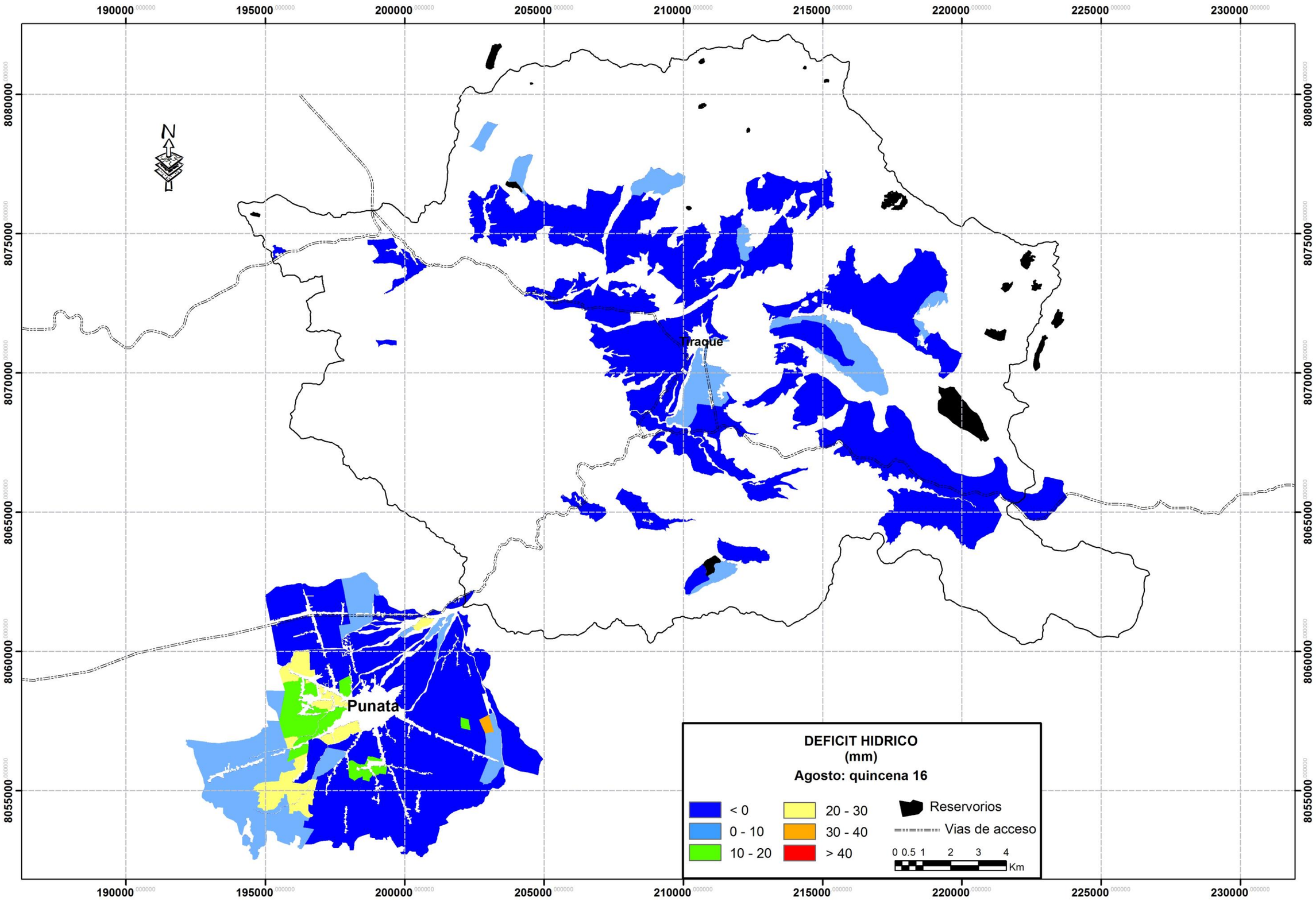

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Junio: quincena 11
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

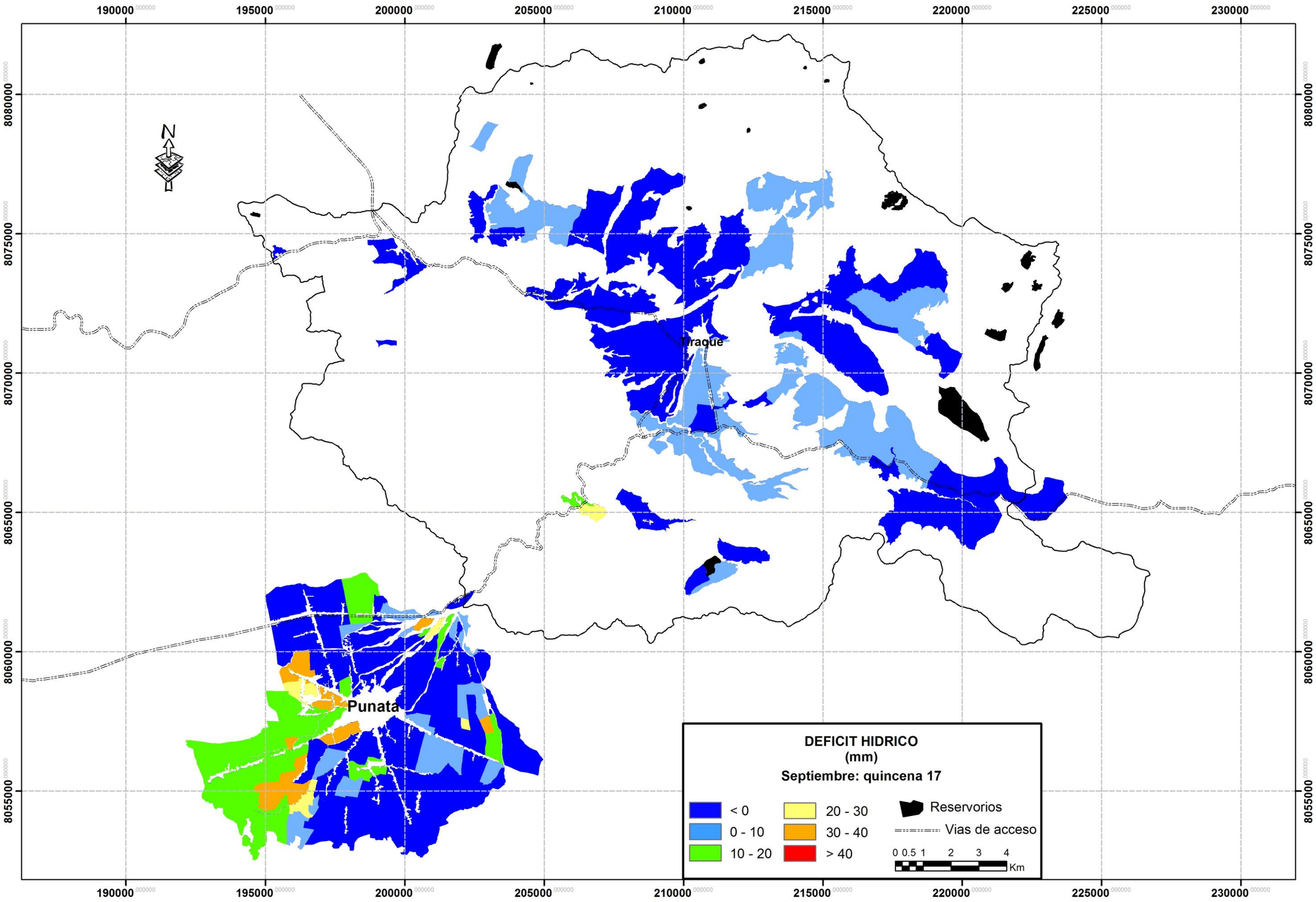

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Traque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Junio: quincena 12
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

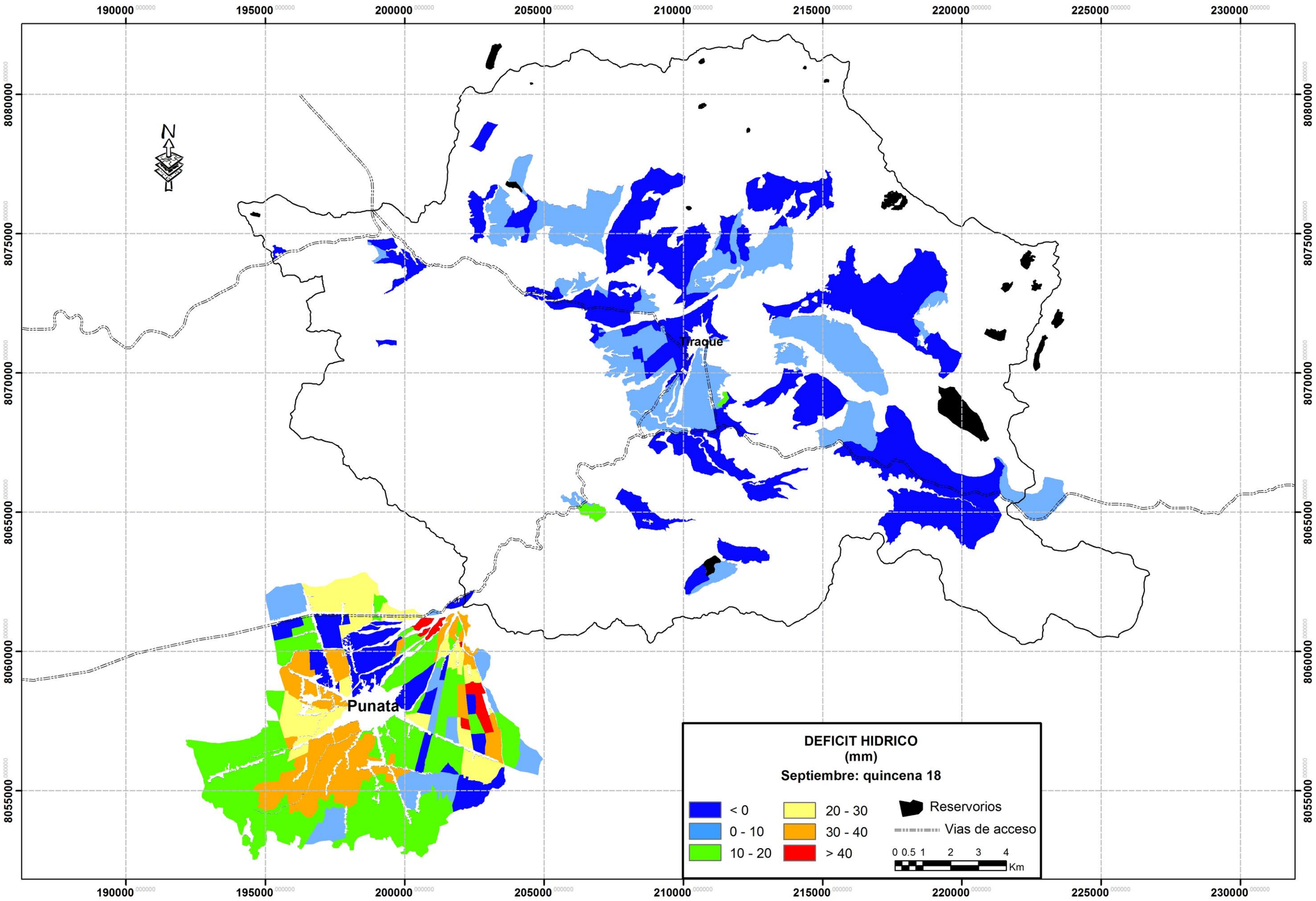

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Julio: quincena 13
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

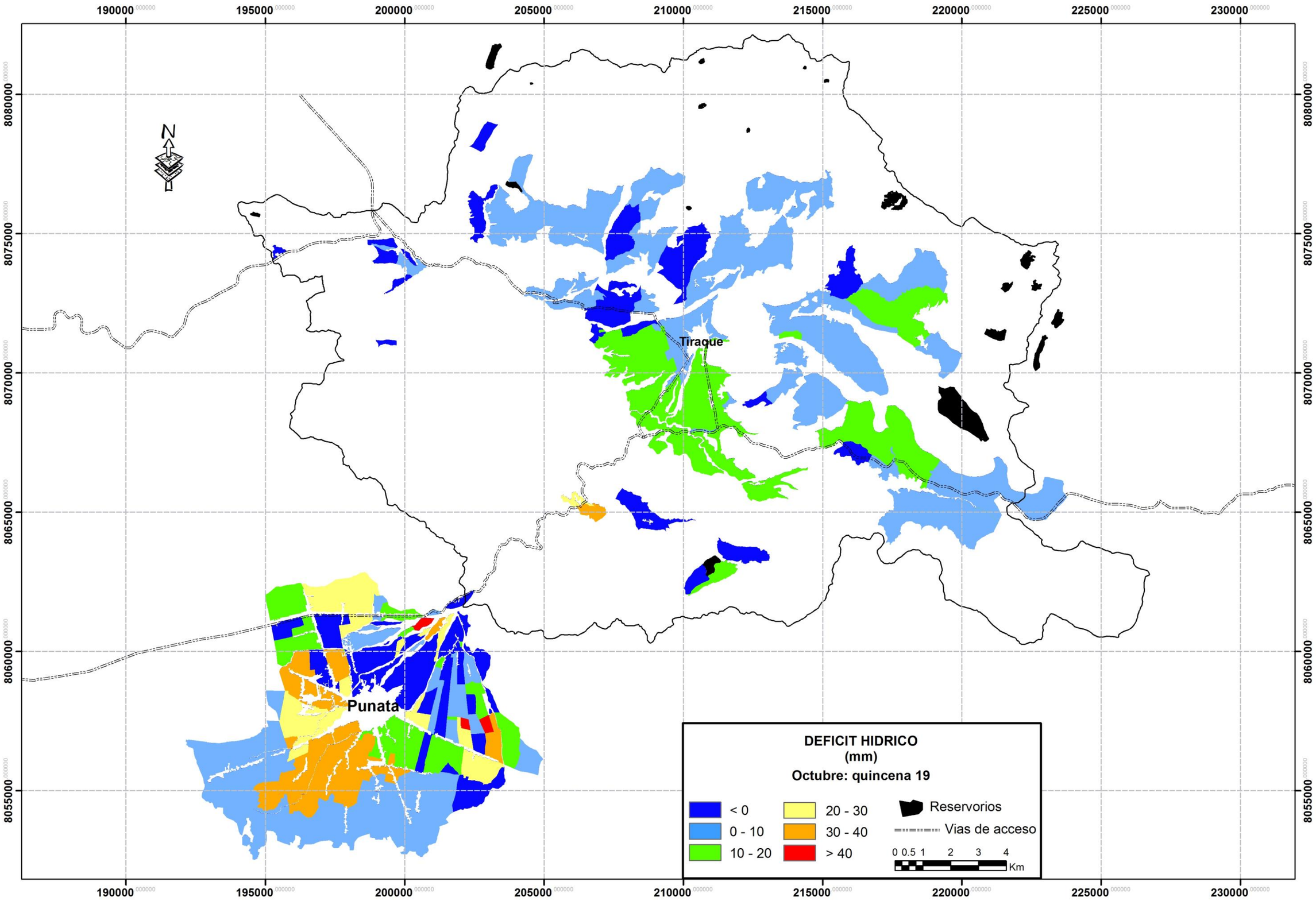

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Julio: quincena 14
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

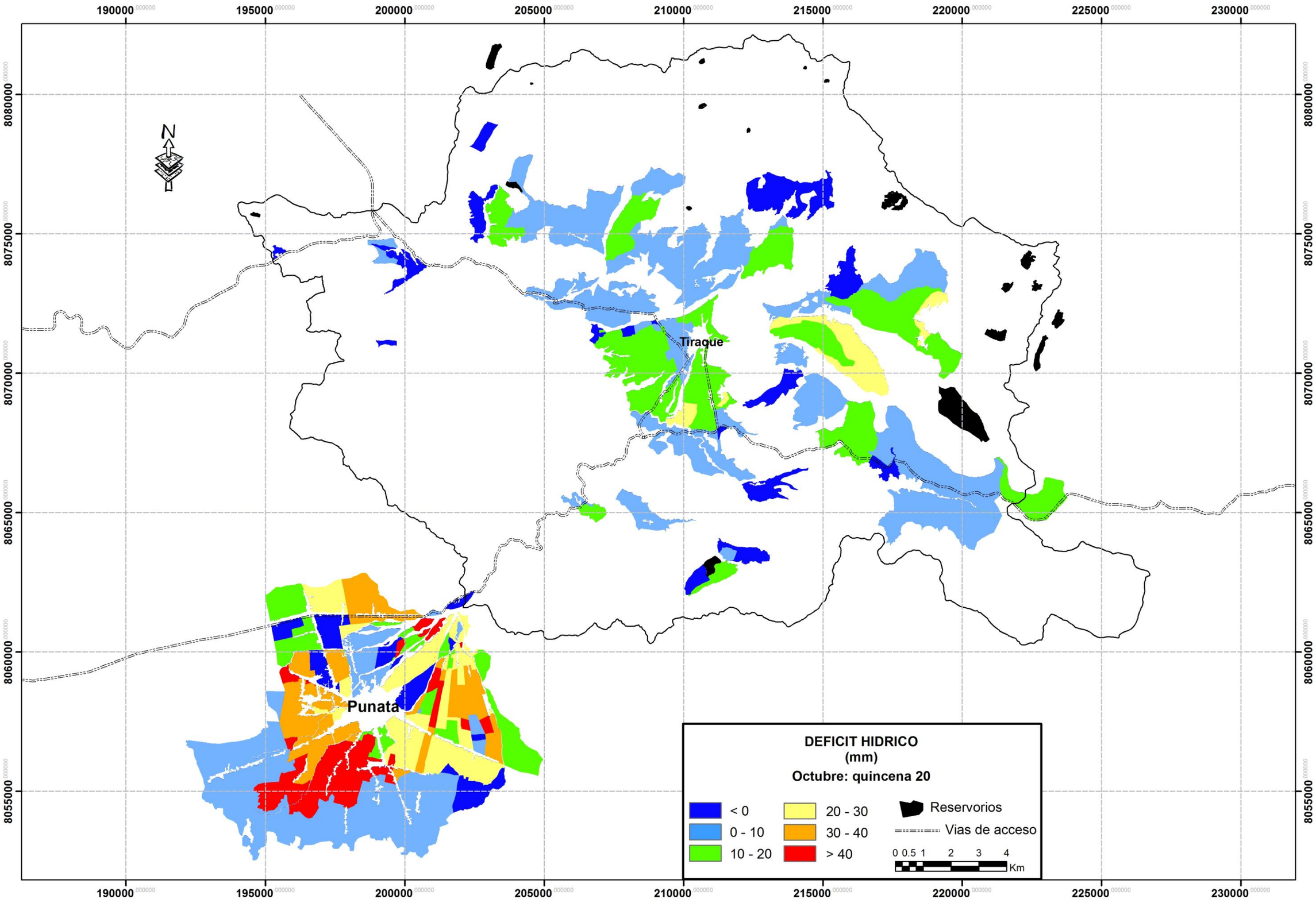

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Agosto: quincena 15
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

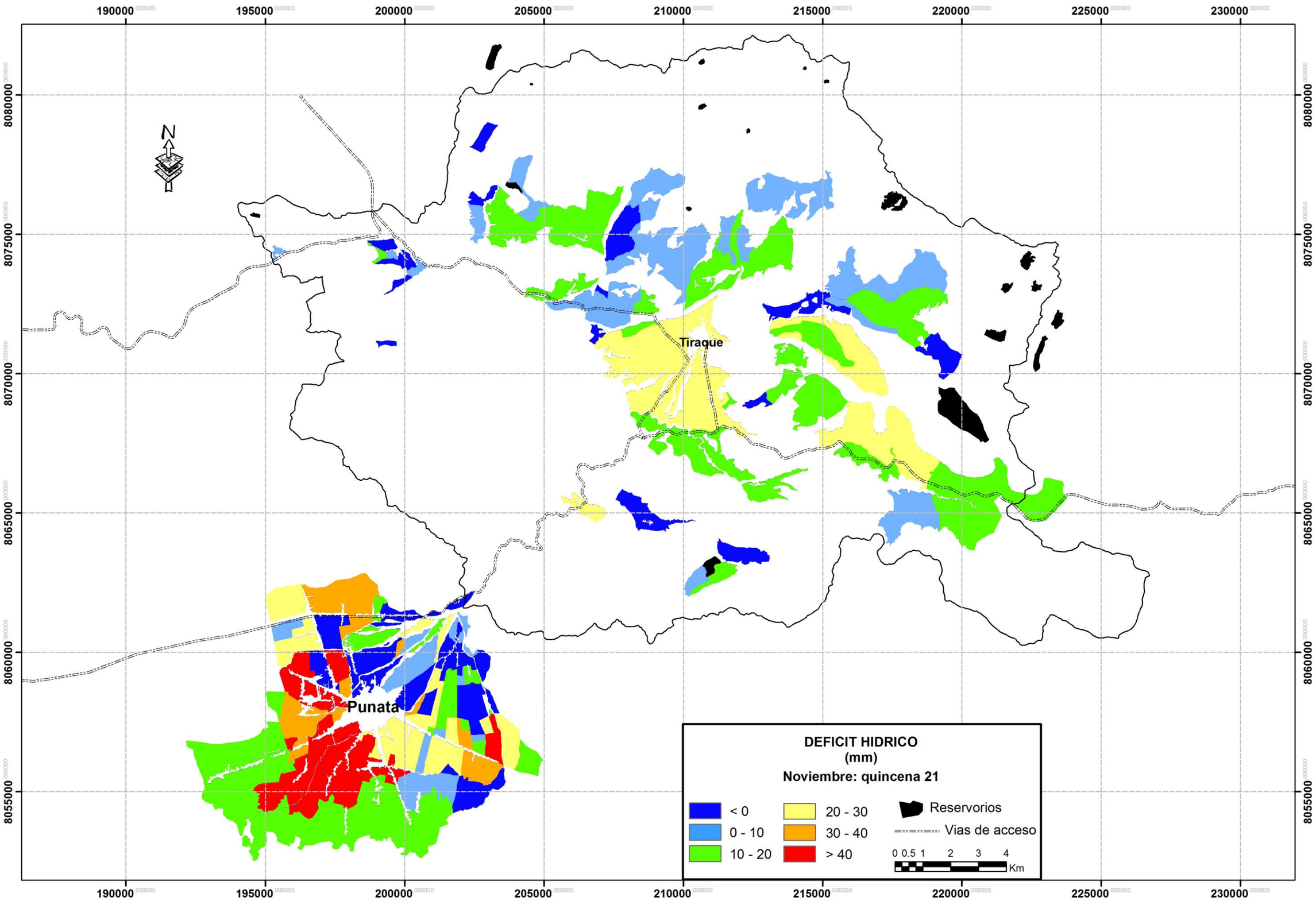

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Agosto: quincena 16
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

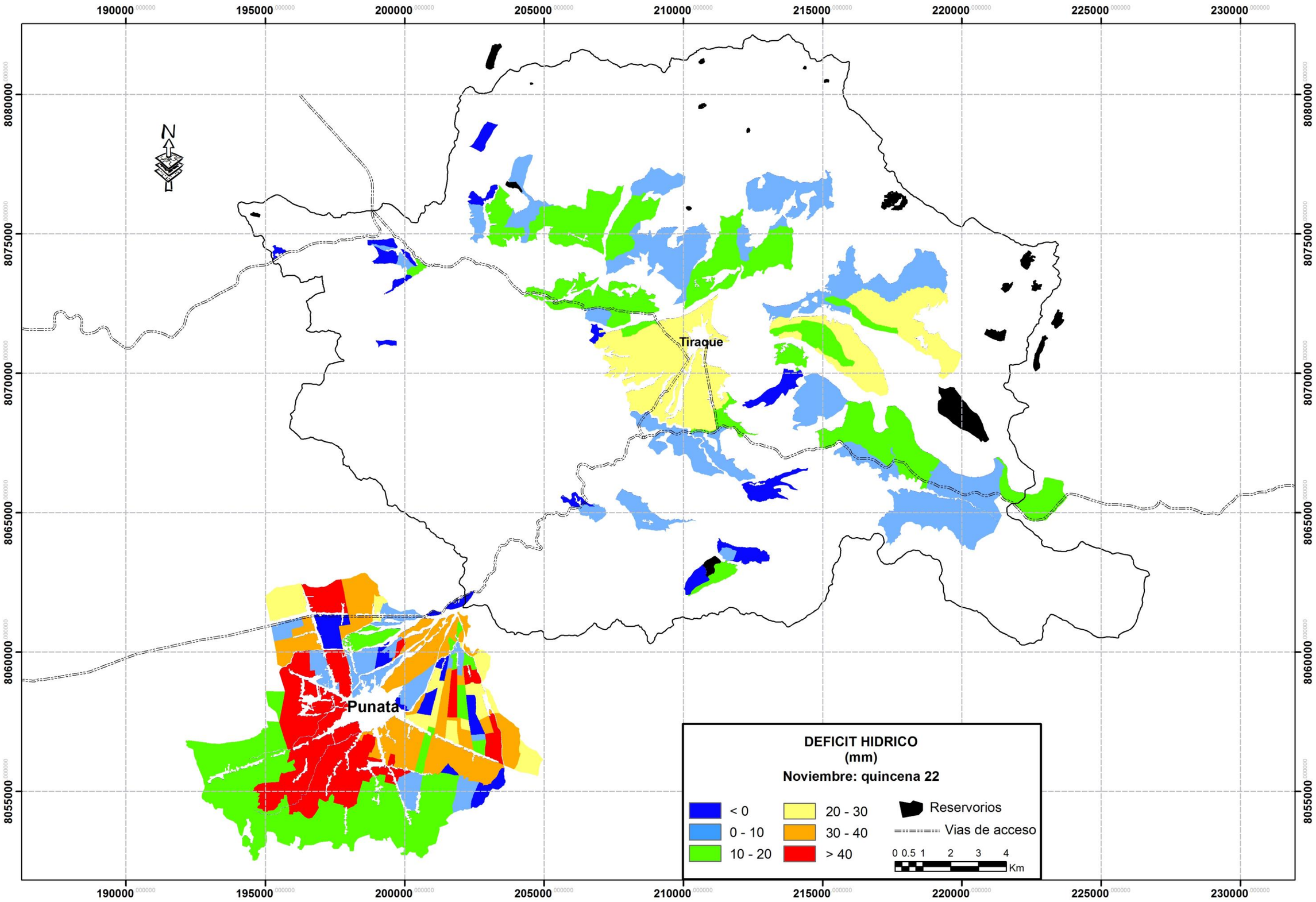

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Septiembre: quincena 17
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

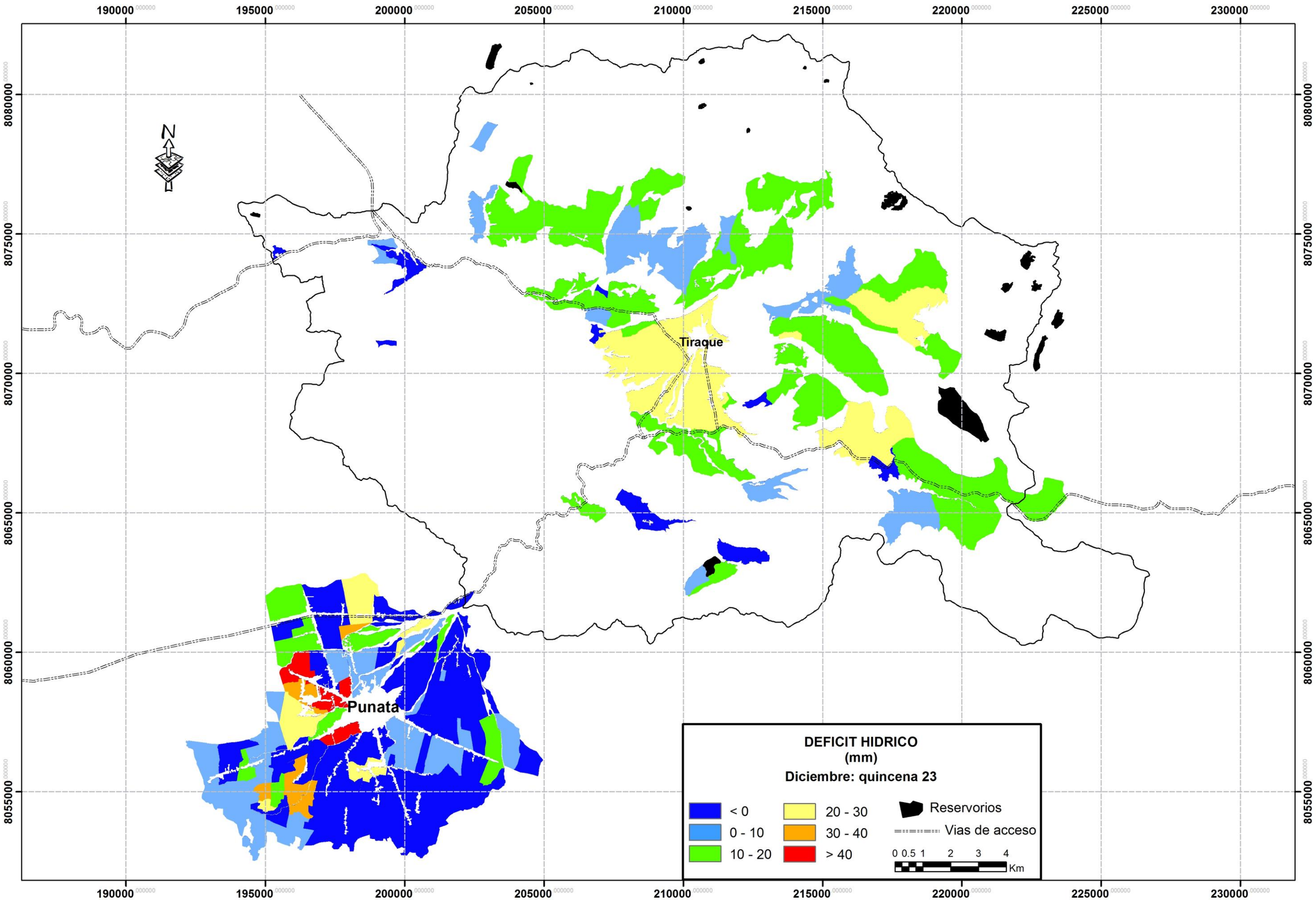

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Septiembre: quincena 18
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km

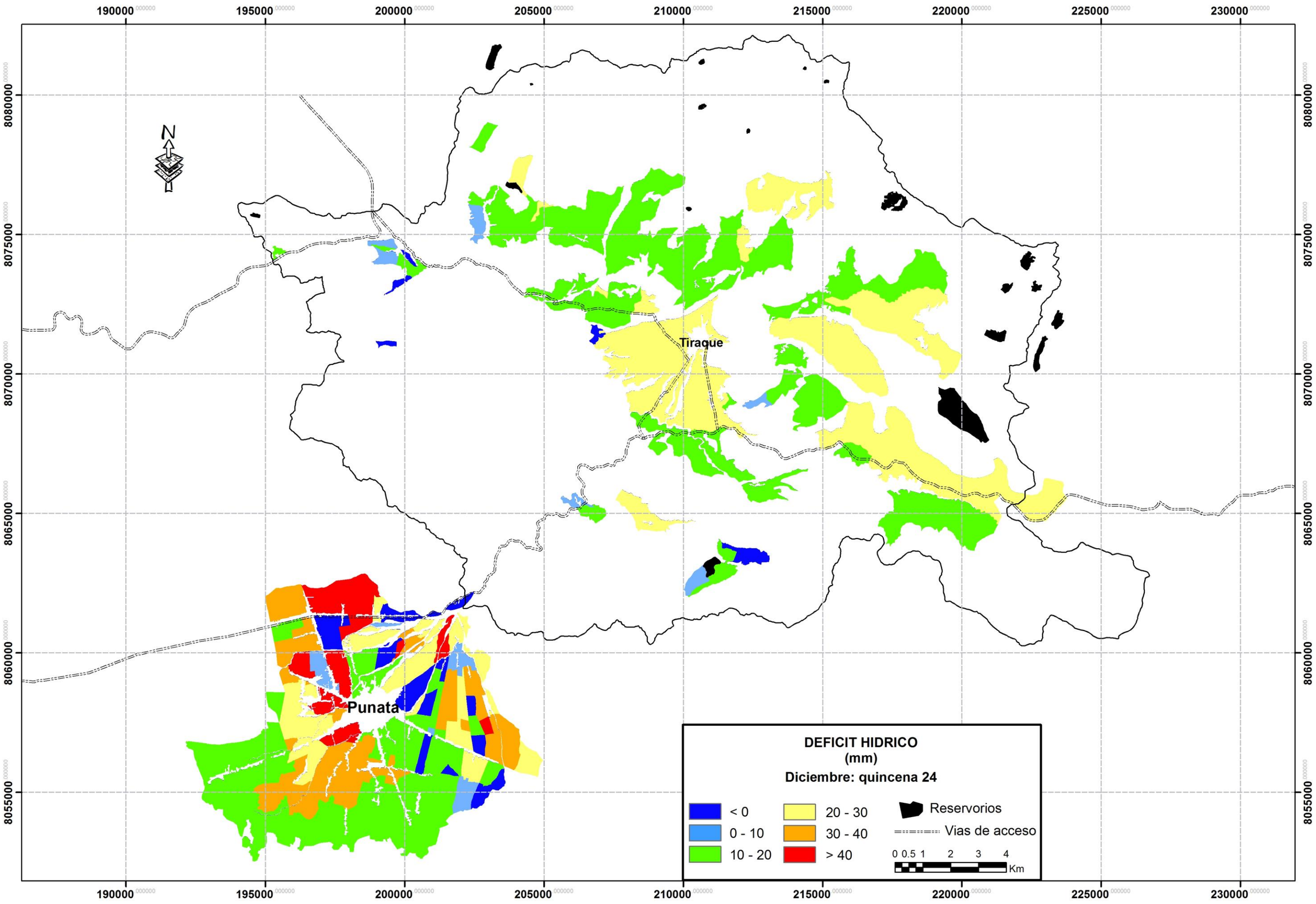

190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Octubre: quincena 19
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km


190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Octubre: quincena 20
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km


190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Noviembre: quincena 21
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km


190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Noviembre: quincena 22
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km


190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Diciembre: quincena 23
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km


190000
195000
200000
205000
210000
215000
220000
225000
230000
8080000
8075000
8070000
8065000
8060000
8055000
N
Tiraque
Punata
DEFICIT HIDRICO
(mm)
Diciembre: quincena 24
< 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> 40
Reservorios
Vias de acceso
0 0.5 1 2 3 4
Km