Ciudad Obregón, Sonora, a 23 de Mayo de 2013.

Instituto Tecnológico de Sonora
P r e s e n t e.

El que suscribe **Alvaro Valenzuela Borbolla**, por medio del presente manifiesto bajo protesta de decir verdad, que soy autor y titular de los derechos de propiedad intelectual tanto morales como patrimoniales, sobre la obra titulada: **"Sistemas de información geográfica de módulos del Distrito de Riego 041, Rio Yaqui",** en lo sucesivo "LA OBRA", misma que constituye el trabajo de tesis que desarrolle para obtener el grado de **Ingeniero Civil** en ésta casa de estudios, y en tal carácter autorizo al Instituto Tecnológico de Sonora, en adelante "EL INSTITUTO", para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios del objeto del Instituto, es decir, sin fines de lucro, por lo que la presente autorización la extiendo de forma gratuita.

Para efectos de lo anterior, EL INSTITUTO deberá reconocer en todo momento mi autoría y otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente de LA OBRA.

De igual forma, libero de toda responsabilidad a EL INSTITUTO por cualquier demanda o reclamación que se llegase a formular por cualquier persona, física o moral, que se considere con derechos sobre los resultados derivados de la presente autorización, o por cualquier violación a los derechos de autor y propiedad intelectual que cometa el suscrito frente a terceros con motivo de la presente autorización y del contenido mismo de la obra.

alvaro V.B.

Alvaro Valenzuela Borbolla
(Nombre y firma del autor)

Dedicatoria

Esta tesis es la terminación de muchos años de estudios, esfuerzos y sacrificios, que sin duda alguna no pude haber logrado sin el apoyo y motivación que son mis padres.

A mi padre, por estar al pie del cañón en cada momento que ocupe de su ayuda, su apoyo y sus conocimientos, gracias también por nunca dejar que una meta se me trunque sin antes luchar hasta lo último por conseguirla, sin su ayuda nada de esto hubiera sido posible.

A mi madre, por estar presente en cada instante con su apoyo, motivación y entusiasmo diario para que salieran las cosas bien, en mi casa y a cada momento.

Por esas caras de satisfacción y orgullo al ver que yo lograba mis metas.

GRACIAS.

Agradecimientos:

A mi familia: a mis padres Álvaro Valenzuela Barba y Lidia Borbolla Duarte, a mis hermanos: Dulce María Valenzuela Borbolla y Fabián Alfonso Valenzuela Borbolla, por el apoyo obtenido para la realización de mis estudios y de esta tésis.

Al Ingeniero Abel Val Noris por el gran apoyo que obtuve de parte de el para concluir mis estudios y el empeño que puso para que esta tésis diera los resultados correctos y esperados.

A mi asesor: Ingeniero Jesús Antonio Ponce Zavala, por la dedicación y apoyo para la realización de esta tésis.

A la Ingeniera Vivian Shimei Verduzco por el interés y apoyo dado para la conclusión de este trabajo.

A mis maestros: Mtro. José Dolores Beltrán Ramírez, Dr. Luis Carlos Torres Valdez, por regalarme los conocimientos obtenidos durante mis estudios y por su apoyo para concluir esta tésis.

A mis mejores amigos por motivarme a seguir y no dejarme darme por vencido en los momentos de dificultad y por todas esas alegrías, risas, tristezas y aprendizaje que obtuvimos juntos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN **1**

1.1. Antecedentes *2*

1.2. El planteamiento del problema *7*

1.3. Justificación *8*

1.4. Objetivos *9*

1.5. Limitaciones del estudio *10*

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA (MARCO DE LA INVESTIGACIÓN) **12**

CAPÍTULO III. MÉTODO Y MATERIALES **18**

3.1 Método *18*

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **33**

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **37**

1.1. Conclusiones *37*

1.2. Recomendaciones *37*

Bibliografía **38**

ANEXOS **40**

Anexo 1 *41*

Anexo 2 *42*

Anexo 3 *43*

Anexo 4 *44*

Anexo 5 *45*

Anexo 6 *46*

Anexo 7 *47*

Anexo 8 *48*

Anexo 9 *49*

Anexo 10 *50*

Anexo 11 *51*

Anexo 12 *52*

Anexo 13 *53*

Anexo 14 *54*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Ubicación del Distrito de Riego 041 en el Organismo de Cuenca Noroeste* 3
Figura 2. *Infraestructura Hidroagrícola en el Río Yaqui de la Compañía Richardson en 1911* 4
Figura 3. *Infraestructura Hidroagrícola en el Río Yaqui de la Compañía Richardson en 1925* 5
Figura 4. *Cobertura del Sistema WAAS en septiembre de 2009* 15
Figura 5. *Liga de la base de datos de estructuras en canales y drenes con sus respectivas fotografías.* 20
Figura 6 23
Figura 7 24
Figura 8 25
Figura 9 26
Figura 10 27
Figura 11 28
Figura 12. *Detalle del plano de Canales proporcionado por la Sociedad de Responsabilidad Limitada de I.P. y C.V del Río Yaqui y los capturados a partir de imágenes SPOT.* 31
Figura 13. *Detalle del plano de parcelamiento proporcionado por la Sociedad de Responsabilidad Limitada de I.P. y C.V del Río Yaqui y los capturados a partir de imágenes SPOT.* 32
Figura 14. *Capas de Canales y Drenes* 34
Figura 15. *Estructuras en Canales y Drenes* 35
Figura 16. *Plano Catastral* 36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Longitud de los tramos de canales* 36

INDICE DE PLANOS

Plano 1 Tipos de Suelo según clasificación FAO/UNESCO

Plano 2 Uso del Suelo y Vegetación

Plano 3 Mosaico de Imágenes SPOT

Plano 4 Módulos de Riego e Infraestructura de Conducción

Plano 5 Plano Catastral del Distrito de Riego 041, Río Yaqui

Plano 6 Modelo de Elevación Digital

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Para la realización del presente trabajo, se ha considerado que:

- La información cartográfica constituye un insumo para la toma de decisiones y para la planeación en el ámbito del Distrito de Riego 041, Río Yaqui.

- El desarrollo de la cartografía requiere un marco de referencia que permita definir inequívocamente y con precisión los diversos rasgos, detalles y obras de interés del terreno que en ella se representen.

- Para alcanzar los propósitos de la cartografía es necesario uniformar sus levantamientos, considerando la utilización del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Es necesario generar cartografía de predios e infraestructura hidráulica en formatos compatibles con el Sistema Nacional de Información Geográfica, del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

- La Geodesia, como soporte de la producción cartográfica ha superado en mucho su base geométrica inicial, desenvolviéndose en un contexto de entornos físico-dinámicos fundamentales y, que ha pasado de la bidimensionalidad a la tridimensionalidad.

- Las técnicas de medición contemporáneas se inscriben en un entorno dinámico-espacial que permite resultados muy precisos en tiempos relativamente cortos en comparación con los métodos tradicionales, en particular el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

- Se debe aprovechar al máximo la potencialidad de los equipos GPS para dar la calidad requerida a los productos cartográficos.

1.1. Antecedentes

Características del distrito de riego 041, Rio yaqui

Ubicación e información general

El Distrito de Riego 041, Río Yaqui se localiza en el noroeste de la República Mexicana, en la parte sur del estado de Sonora, abarcando parcialmente los municipios de Cajeme, Bacum, San Ignacio Río Muerto, Etchojoa, Navojoa y Benito Juárez, geográficamente se ubica entre los paralelos 27° 00’ y 27° 40’ latitud norte y entre los meridianos 109°45’ y 110°20’ longitud oeste y su altura sobre el nivel del mar fluctúa entre los 4 y 58 m. Se encuentra ubicado en el Organismo de Cuenca Noroeste,

Figura 1. *Ubicación del Distrito de Riego 041 en el Organismo de Cuenca Noroeste*

La actividad agrícola bajo riego en el Valle del Yaqui se inicia a finales del siglo XIX, mediante la concesión del gobierno federal de abrir al cultivo 300 mil hectáreas en las márgenes de los ríos Fuerte en Sinaloa, y Yaqui y Mayo en Sonora, constituyendo para tal efecto la compañía Sonora and Sinaloa Irrigation Company. Desde 1905 a 1928 la concesión fue autorizada a la Compañía Constructora Richardson, S.A., la cual logró poner bajo riego 40,000 hectáreas (Figuras 2 y 3). En ese último año el Gobierno Federal, a través del Banco Nacional de Crédito Agrícola, S.A., adquiere la totalidad de las acciones, el cual para la administración de este organismo la denomina Compañía Constructora Richardson en Liquidación.

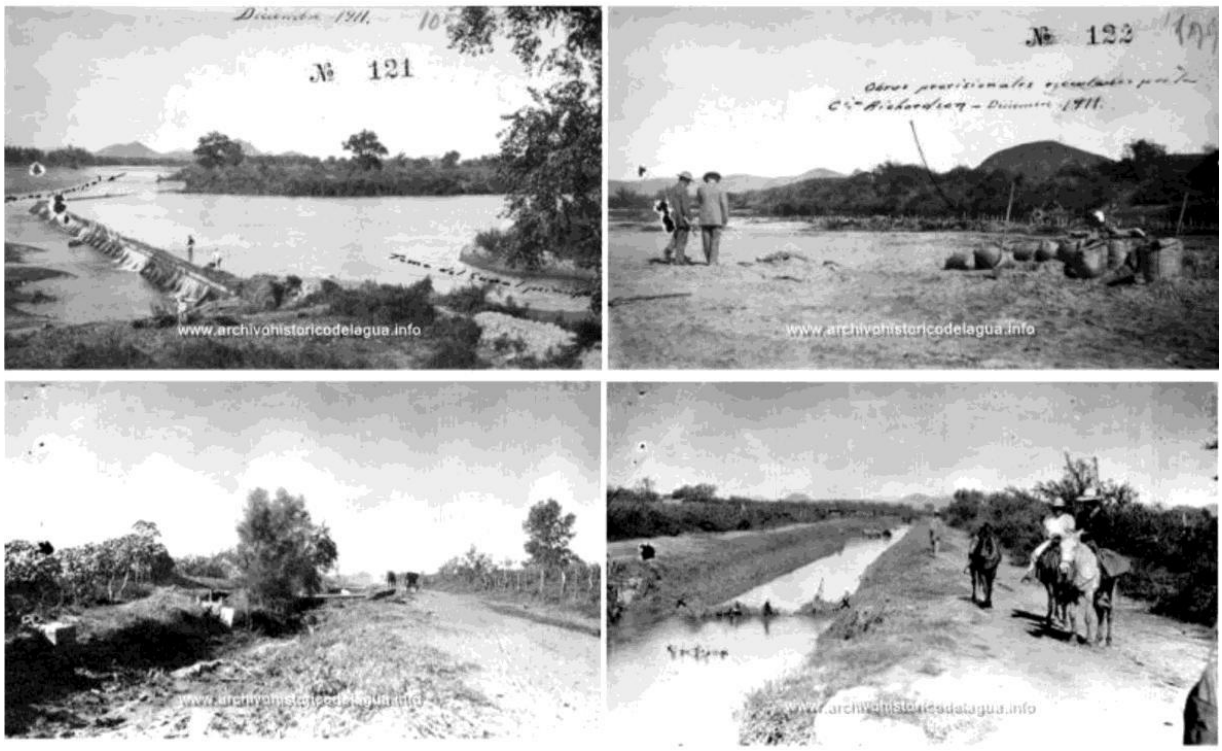


Figura 2. *Infraestructura Hidroagrícola en el Río Yaqui de la Compañía Richardson en 1911*

Fuente: *Archivo Histórico del Agua (CONAGUA, CIESAS)*

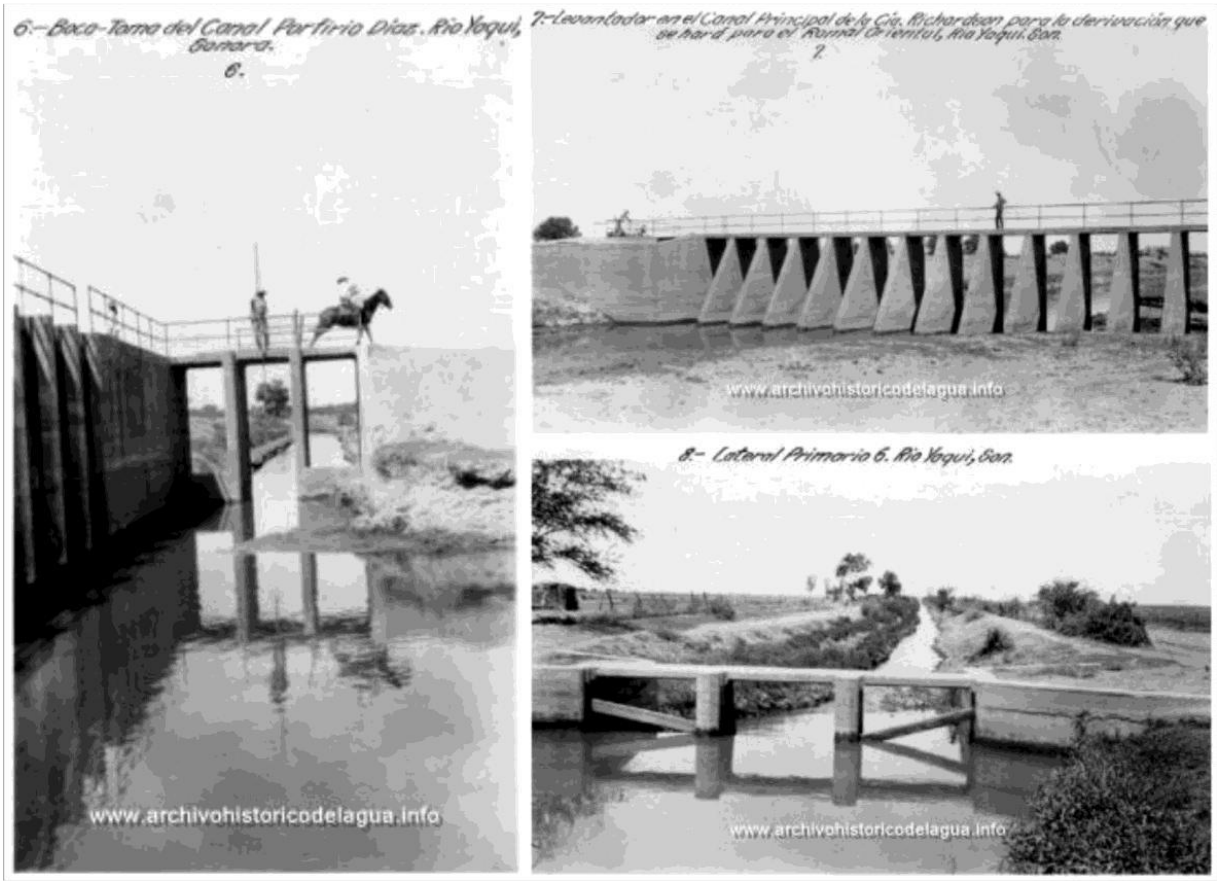


Figura 3. *Infraestructura Hidroagrícola en el Río Yaqui de la Compañía Richardson en 1925*
Fuente: *Archivo Histórico del Agua (CONAGUA, CIESAS)*

El primero de noviembre de 1955 por Acuerdo Presidencial se establece el Distrito de Riego 041 Río Yaqui, Sonora. La superficie física total del Distrito es de 233 117.40 ha, y la superficie de riego de 227 224.76 ha. El Distrito es regado principalmente con aguas superficiales que escurren en el Río Yaqui, las cuales son almacenadas y reguladas en las presas Lázaro Cárdenas (La Angostura), Plutarco Elías Calles (El Novillo) y Álvaro Obregón (Oviachic), Las aguas subterráneas del acuífero Valle del Yaqui también se utilizan para el riego, mediante 300 aprovechamientos. Los volúmenes anuales de agua superficial y subterránea concesionada por la CONAGUA son respectivamente 1,910.691 y 295.001 hm3, totalizando anualmente 2,205.692 hm3 y 101.0 hm3 en 34 perforaciones de la S. de R.L.

El gobierno federal ha transferido la operación, conservación y administración de los distritos de riego a los usuarios organizados. En este proceso, en cada distrito de riego se formaron Módulos de Riego que son administrados por una Asociación Civil de Usuarios (ACU), la cual se constituye como concesionaria de los volúmenes de agua para riego. En un importante número de casos, las Asociaciones han constituido una Sociedad de Responsabilidad Limitada (S. de R.L.). Fue así como en enero de 1992 los productores agrícolas del Valle del Yaqui, aceptaron el reto de administrar, operar y conservar este Distrito de Riego.

La Comisión Nacional del Agua tiene la responsabilidad de operar y conservar las obras de cabeza como presas de almacenamiento y derivadoras, hasta entregar el agua en bloque en puntos de control en la red mayor (donde se hayan constituido S. de R. L.). Las Sociedad de Responsabilidad Limitada se encargan de operar, conservar y administrar la red mayor de canales e infraestructura correspondiente de drenes, caminos, estructuras, instalaciones y maquinaria; también se encargan de recibir el agua para riego en los puntos de control establecidos y distribuirla para entregar a los módulos los volúmenes que se acuerdan en los planes de riego anuales; así mismo brindan diversos servicios a sus asociados. Finalmente, las ACU se encargan de operar, conservar y administrar las obras de la red menor de canales e infraestructura correspondiente de drenes, caminos, estructuras, instalaciones y maquinaria; también se encargan de recibir el agua para riego en los puntos de control establecidos para distribuirla entre los usuarios con derecho a riego y que estén al corriente en sus obligaciones.

Infraestructura Hidrológica

La infraestructura principal de riego está integrada por las obras siguientes (Fuente: Plan Director para la Rehabilitación y Modernización del Distrito de Riego 041, Río Yaqui).

- Tres presas de almacenamiento
- 320 pozos profundos que usados directamente o mezclados con agua de gravedad, tienen una capacidad de aportación anual de 450 hm^3.
- 269 km de canales principales
- 3,222.65 km de canales en red menor y 8 124 estructuras
- 3,017.90 km de la red de drenaje
- 2,613.00 km de caminos de operación y servicio, de los cuales 560 km se encuentran pavimentados, 343 km revestidos y 1 710 km de terracería.

1.2. El planteamiento del problema

La localización de parcelas, canales, drenes y coordenadas de dichas referencias, antes de este proyecto, se hacía mediante el conocimiento extenso del valle, sus calles y señas, en base a planos de localización de calles y parcelas.

Es por esto que surgió la idea de un sistema de información geográfica que permita la fácil y rápida localización de cualquier punto dentro del distrito de riego del Rio Yaqui, mediante coordenadas geográficas UTM apoyados con el padrón de usuarios que proporciono CONAGUA.

Para llegar a la integración del sistema de información geográfica se necesitó el apoyo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para la obtención de los padrones de usuarios de riego en el Valle del Yaqui y del Distrito de Riego del Rio Yaqui para la obtención de las estructuras, puentes, calles, localización de módulos, limite de distrito, limite de modulo, calles, etc. Mediante planos hechos en AutoCAD.

1.3. Justificación

Con la implementación de este SIG, se busca mejorar la administración y manejo de las diferentes aplicaciones que puedan haber en el Valle del Yaqui como son, localizar un pozo, un usuario, una calle, un canal revestido y no revestido, de una manera eficaz y rápida, sin la necesidad de conocer el valle a manera detallada.

Siguiendo este sistema, se pueden adicionar nuevos proyectos del Valle del Yaqui, como por ejemplo una comparación de la infraestructura hidroagricolas del valle en años anteriores con las del año actual, esa es una de las muchas extensiones al sistema de información geográfica del distrito del riego del Rio Yaqui.

Una implementación más para este sistema, es el de incorporar El Plan del Distrito de Riego 041 con este plan se contempla la modernización de las AUPAS y SRL en el valle del yaqui a corto, mediano y largo plazo, pudiendo ser este SIG de gran ayuda para la mejor administración de los recursos financieros obtenidos de CONAGUA para la realización de obras estratégicas, estructurales y operativas.

Aplicaciones de los SIG

Un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Por tanto cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con SIG. Entre las aplicaciones más usuales destacan:

- Científicas
- Gestión
- Empresarial

Se hace por tanto necesario determinar cual sería el ámbito de estudio de esta Ciencia de la Información Geográfica que tiene poco que ver en realidad con la Geografía, al menos con la concepción tradicional de esta; sino que sería el conjunto de problemas vinculados con la distribución espacial de variables (la temperatura por ejemplo), entidades (los individuos de una especie vegetal por ejemplo) y fenómenos (la erosión por ejemplo) sobre la superficie terrestre. Estos fenómenos son estudiados por la Geografía, Edafología, Ecología, etc. pero su distribución espacial presenta características comunes y dificultades específicas que dan su unidad a la Ciencia de la Información Geográfica. La cuestión básica está en la necesidad y dificultad de modelar la superficie terrestre para resolver, utilizando un ordenador y un programa o un conjunto de programas, determinados problemas científicos o de orden práctico que afectara dicha superficie terrestre

En el área hidroagricola, un sistema de información geográfica como el que se implementó en este trabajo, se puede aplicar para diferentes áreas de trabajo como por ejemplo: conservación del distrito de riego; dando con este sistema una vista clara de los canales y la falta de canales revestidos, no revestidos y ahulados, como también en el área de operación del distrito, dando una vista clara de los pozos y rebombeos de las diferentes plantas y así calcular la eficiencia total del distrito de una manera más acertada, en el área de proyectos y construcción se puede tener una amplia visión de la infraestructura hidroagricola del valle, la falta de compuertas, puentes, puentes canal o el avance que se tiene año con año.

1.4. Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema de información geográfica mediante la recopilación, análisis y/o obtención de datos de campo para facilitar al usuario de riego la localización de parcelas, drenes, canales y estructuras hidroagricolas en el Distrito de Riego No. 41 del Rio Yaqui y además analizar los avances tanto de cultivo como de conservación.

Objetivo Especifico

- Encontrar la única base de datos del distrito de riego, donde se incluyen:
  - Padrón de usuarios
  - Localización de parcelas
  - Localización de poblados
  - Superficie (Hectáreas)
  - Tipo de tenencia de cada usuario
  - Canales revestidos y no revestidos
  - Compuertas
  - Drenes
  - Calles
  - Pozos
  - Fotografías de compuertas y pozos
  - Calles pavimentadas y terracerías
  - Coordenadas de localización de parcelas
  - Casetas Hidrometeorologicas
- Sistema de actualización digital de padrón de usuarios del DRRY
- Localización eficaz de usuarios de riego.
- Ortofotos

1.5. Limitaciones del estudio

Las limitaciones que encontré al realizar este SIG fue el tiempo para incorporar la información ya que la que se tiene es poca a comparación de la que existe en el Distrito de Riego del Rio Yaqui, también, que se pueden anexar otras ciudades, otros Distrito de Riego, incluso todo el mundo.

Una de las más importantes es la fecha de actualización del padrón de usuarios que se agregó al SIG, será necesario estar actualizando el programa cada 3 meses

aproximadamente, ya que el padrón es dinámico ya que cambia diariamente tanto de propietario y la cantidad de superficie que a cada uno le pertenece.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA (MARCO DE LA INVESTIGACIÓN)

Sistemas de Posicionamiento Global

El Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System - GPS) es un sistema de navegación compuesto de una flotilla de satélites puestos en órbita por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, y sus estaciones en tierra firme. Usando GPS, se puede determinar automáticamente la posición (latitud, longitud y altitud) en la tierra. Funciona continuamente en todas partes del mundo y está disponible a todos libre de cargos.

El GPS surgió debido a la necesidad de las fuerzas armadas de Estados Unidos de Norteamérica, de tener un sistema de navegación preciso y que funcionará en aplicaciones diversas. El desarrollo de la tecnología de GPS descansa en progresos en ciencias físicas, en la electrónica, en ciencias de materiales y en muchas otras, pero fue el desarrollo de dispositivos extremadamente precisos para medir el tiempo - relojes atómicos, junto con progreso en la tecnología espacial, que en realidad

hicieron posible el GPS. Relojes precisos son esenciales porque el GPS depende en el cronometraje del tiempo que toma a señales de los satélites llegar a los receptores en la tierra para determinar la posición, y los tiempos de viaje de estas señales son extremadamente cortos.

El GPS consiste de una red de 24 satélites, para dar una cobertura total desde el espacio, hacia toda la superficie terrestre. Esta constelación GPS consta de 6 órbitas, prácticamente circulares, con inclinación de 55 grados y uniformemente distribuidas en el plano del ecuador. Hay 4 satélites por órbita, uniformemente distribuidos y con altitud de 20,180 Km, además un satélite logra 2 vueltas alrededor de la tierra cada 24 horas.

La Configuración del sistema GPS actual consta de 3 sectores:

1. Espacial, sobre el cual están todos los satélites ocupados para el seguimiento
2. Control, consta de 5 estaciones desde donde se controlan los satélites, se procesa la información y se sincronizan los relojes de cada satélite.
3. Usuario, comprende a los equipos utilizados por los usuarios finales, para conocer y medir alguna ubicación sobre la tierra.

El GPS depende en que cada satélite en la constelación transmita su posición exacta y una señal de tiempo extremadamente precisa a los receptores en la tierra. Dada esta información, los receptores GPS pueden calcular su distancia al satélite, y combinando esta información de cuatro satélites, el receptor puede calcular su posición exacta usando un proceso llamado triangulación.

Este proceso consiste en medir la distancia de por lo menos tres satélites, lo que ubica la posición del observador en la intersección de tres esferas que corresponden a la distancia a los mismos. Esto genera dos puntos donde se cruzan las tres esferas, para determinar cuál de los dos puntos representa la posición correcta, se debe tomar una cuarta medida, pero generalmente uno de los dos puntos obtenidos

de tres satélites representa una posición absurda (por ejemplo en el espacio abierto) o con movimiento imposiblemente rápido, por lo cual se puede eliminar sin necesidad de la cuarta medida.

La distancia a los satélites se calcula midiendo el tiempo que toma a la señal a llegar del satélite al recibidor (Distancia = velocidad X tiempo). Debido a que las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, los tiempos en tránsito de satélites a receptores son extremadamente pequeños y se necesitan dispositivos de cronometraje extremadamente precisos para medirlos con exactitud, por lo cual surge la necesidad de llevar relojes atómicos en los satélites. Sin embargo, los receptores no llevan relojes atómicos lo cual introduce errores en ese lado del sistema, y aún errores de cronometraje pequeños pueden resultar en grandes errores de posición.

Si las cuatro medidas son exactas, la esfera definida por la cuarta medida debe cruzar las otras tres en un punto que representa la posición actual. Si existen errores, la cuarta esfera no cruzará a todas las otras. Debido a que el error del receptor es el mismo para las cuatro medidas, un procesador en el receptor puede calcular una corrección que haga que las cuatro esferas crucen, y aplicar la corrección a las medidas para obtener la posición correcta.

La cuarta medida también permite al sistema calcular una posición en tres dimensiones que incluye no solo latitud y longitud, sino también altitud. Las medidas de altitud, sin embargo, se reportan con referencia a un modelo matemático de la tierra para poder expresarlas en relación a un datum convencional (normalmente nivel del mar). El modelo es solo una aproximación, por lo cual las medidas de altitud son menos precisas que las de latitud y longitud, y los errores varían en diferentes partes del planeta.

Se desarrollaron nuevos métodos para hacer los sistemas GPS más precisos y confiables. En el presente, los más comunes son el GPS diferencial (DGPS), y el Sistema de Aumento en Áreas Amplias (Wide Area Augmentation System - WAAS).

El DGPS utiliza estaciones basadas en tierra, cuya ubicación se conoce precisamente, para recibir las señales de los satélites, aplicar correcciones (como se conoce su ubicación exacta, las estaciones pueden determinar los errores en las señales), y diseminarlas de modo que receptores adecuadamente equipados las puedan recibir y usarlas para corregir sus propias señales. WAAS es un sistema de satélites secundario desarrollado por la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos de Norteamérica, que no solo transmite señales de GPS, sino también monitorea y reporta el estado de los satélites GPS, y transmite información de DGPS. El sistema solo está disponible sobre Norteamérica y el Océano Pacífico.

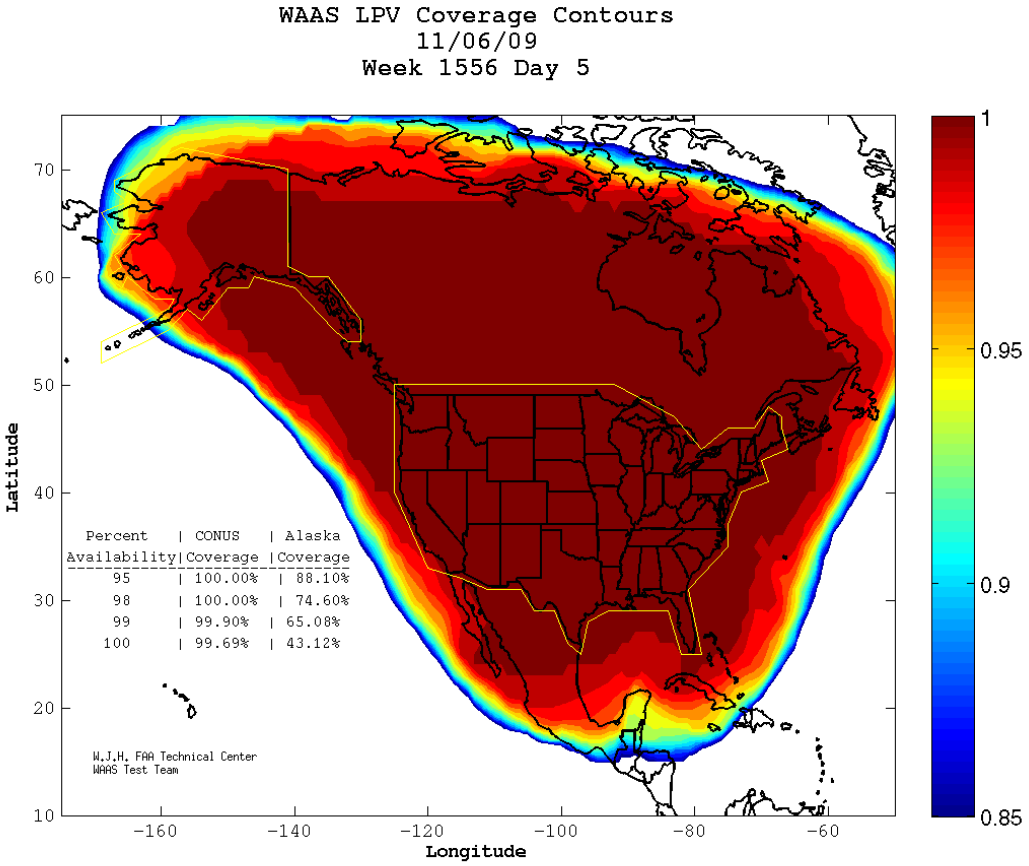


Figura 4. *Cobertura del Sistema WAAS en septiembre de 2009*

Una de las ventajas de la ubicación del Distrito de Riego 041, Río Yaqui, es que se encuentra dentro del área de influencia de los sistemas WAAS, tal como se aprecia en la Figura 13. En esta figura se muestra la fracción de disponibilidad en el tiempo

del sistema de corrección a los aparatos GPS que cuentan con este sistema el 11 de junio de 2009. Como puede apreciarse en la figura, la disponibilidad del sistema de corrección es del orden del 100% para la zona del distrito de riego.

La precisión de los aparatos civiles GPS han variado en el tiempo, a continuación se da una idea aproximada de las precisiones.

100 m con el Sistema de Disponibilidad Selectiva activado por los militares de Estados Unidos de Norteamérica.

15 m una vez que se eliminó la Disponibilidad Selectiva en el año 2000, aunque en términos generales se logra una precisión inferior a 8 metros con buena distribución de los satélites.

3-5 m con GPS diferencial (DGPS)
< 3 m con el sistema WAAS

El levantamiento de las coordenadas de los pozos, infraestructura hidráulica y parcelas se llevó a cabo con ocho aparatos con sistema WAAS, por lo que la precisión en dichas coordenadas es de entre 2 y 3 metros.

A consecuencia del error debido a la mala distribución de los satélites NAVSTAR en determinadas horas del día, en algunas conducciones fue necesario realizar una corrección con base en las ortofotos de INEGI o en las imágenes SPOT con resolución de 2.5 m.

Para el caso del catastro de las parcelas con cultivos, se toma una referencia al centro del lote, para posteriormente digitalizarla directamente de las ortofotos o de las imágenes SPOT con resolución de 2.5 metros. Dado que las ortofotos datan de principios de los 90’s, no aparecen muchos lotes que se cultivan actualmente, debido a la dinámica de la compra y venta de derechos de agua.

A cada recorrido de campo se toman fotografías de las estructuras en el sistema conducción y distribución, así como del de drenaje. De esta manera queda un acervo gráfico de las condiciones de la infraestructura Hidroagrícola en la fecha de la visita de campo.

En caso de existir cultivos sembrados, se toman las coordenadas al centro del cultivo, por lo que al final se cuenta con un mosaico de cultivos de la zona de riego.
También es posible caracterizar las condiciones de conservación del sistema de conducción y distribución, ya que a cada tramo de canal se le captura el estado actual, como una conservación buena, regular o mala.

SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA

Un Sistema de Información Geográfico, SIG (GIS en inglés, Geographic Information System), particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real, que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. Aparte de la especificación no gráfica, el SIG cuenta también con una base de datos gráfica con información georreferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es mesurable y tiene localización, a la cual también se le denomina información cartográfica.

Sistemas de Información y Sistemas de Información Geográfica

En general, un Sistema de Información (SI) consiste en la unión de información en formato digital y herramientas informáticas (programas) para su análisis con unos objetivos concretos dentro de una organización (empresa, administración, etc.). Un SIG es un caso particular de SI en el que la información aparece georreferenciada es decir incluye su posición en el espacio utilizando un sistema de coordenadas estandarizado resultado de una proyección cartográfica (generalmente UTM).

CAPÍTULO III. MÉTODO Y MATERIALES

Zona de estudio

El Valle del Yaqui, es la zona principal de estudio, de este SIG dado que no existe un sistema como el que se presenta en esta tésis, el cual será muy útil para las diferentes áreas en las que sea necesario aplicarse.

3.1 Método

Diseño conceptual del Sistema de Información Geográfica para infraestructura y catastro.

Para la formulación del Modelo del Sistema de Información Geográfico de la infraestructura Hidroagrícola y el catastro de parcelas, se definieron once elementos básicos:

- Canales
- Drenes
- Estructuras en Canales
- Estructuras en Drenes
- Sistemas de almacenamiento
- Catastro de parcelas (Predios o Parcelas)
- Límite de Módulos de Riego
- Calles
- Bloques
- Pozos
- Casetas Hidrometeorologicas

Las estructuras en canales y drenes quedan representados por puntos en un archivo Shape del programa ArcView, las calles, conducciones y drenes por poli líneas y los reservorios, límite de módulos de riego y parcelas por polígonos. De esta manera queda caracterizada la infraestructura de producción agrícola del Distrito de Riego 041, Río Yaqui. En las figuras de la 14 y 15 se presentan los campos de canales, drenes y sus estructuras.

En la Figura 5 se muestra el ejemplo de la liga existente en la base de datos de estructuras en canales y drenes, con su respectiva fotografía. Esta se puede mostrar al activar la liga en el programa ArcView.

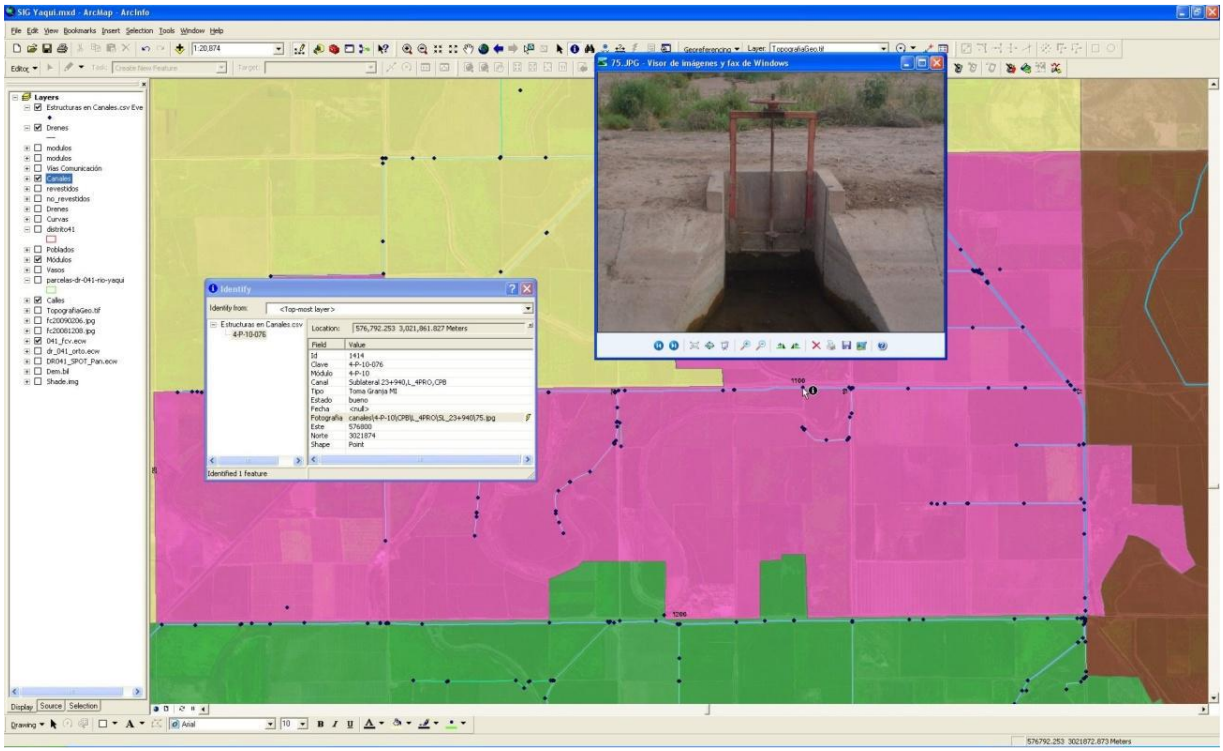


Figura 5. *Liga de la base de datos de estructuras en canales y drenes con sus respectivas fotografías.*

A todos los canales se les asignó el nombre de acuerdo al nivel jerárquico al que pertenecía, el estado de conservación y el nombre del Módulo de Riego o de la SRLRY encargado de su operación.

Con base en esta información, se definieron los límites de los módulos de riego y con los cuales se generó el Plano 4. En el Plano 5 se presenta el Plano Catastral del Distrito de Riego 041, Río Yaqui.

INTRODUCCION DE DATOS

La información necesaria de un SIG puede dividirse en dos grandes bloques: la información geográfica y la información alfanumérica.

La primera de ellas generalmente hace referencia a la cartografía del ámbito de trabajo y puede ser obtenida por diferentes medios: restitución fotogramétrica, topografía, GPS, teledetección, etc., en este último caso se captura también la información alfanumérica.

MODELO DE DATOS

Para trabajar con un SIG es necesario en primer lugar introducir la información geográfica en “n” sistema de información y realizar una modelización de la realidad, siendo los dos modelos de datos más empleados el vectorial y el raster.

Si se desea disponer de información de una amplia zona sin importar los límites de los objetos, se emplean los datos raster con los que se dispone de información continua. Sin embargo, si los límites de las entidades geográficas tienen gran importancia para la aplicación y se quieren recoger los elementos de forma individual, se elegirá un modelo vectorial.

INTRODUCCION A ArcView GIS

ArcView GIS© es un programa de sistemas de información geográfica para PC y Workstation, de ESRI (environemental Systems Research Institute). Aunque por primera versión se encamino principalmente para la maquinización de los resultados obtenidos mediante el empleo de otro programa, hoy en día tiene una gran capacidad para visualizar, consultar y analizar datos de forma especial.

Ofrece además posibilidad de emplear datos almacenados en formatos SIG o programas CAD, y añadir datos desde ficheros de bases de datos o creados por usted mismo.

ESTRUCTURACION DE DATOS

Todos los componentes de las secciones de arcview se encuentran almacenadas en un documento llamados proyecto (proyect), que contiene las referencias de las rutas donde se encuentran almacenada la información grafica y las tablas con las cuales se esta trabajando. El fichero de proyecto tiene la extensión *.APR.

Los distintos documentos con los que se puede trabajar arcview son:

- Vistas (views): en las que se recoge la información gráfica distribuida en temas. Cada vista está compuesta por una ventana gráfica y una tabla de contenidos que incluyen diferentes temas.

- Tablas (Tables): Cada uno de los temas de las vistas tienen asociada una tabla que contiene los atributos de las entidades graficas de los mismos. Asi mismo, podemos disponer de tablas que contienen datos externos también referidos a estas entidades, pudiéndose relacionar o unir ambos tipos de tablas.

- Gráficos (charts): a partir de los atributos recogidos en las tablas o de una selección de los mismos, se pueden realizar grafios de diferentes tipos: barras, sectores, dispersión…

- Composiciones graficas (Layouts) la información recogida en cualquiera de los documentos de proyecto debe incluirse en una composición grafica para la realización de salidas graficas tales como mapas temáticos, resultados de consultas, informes, etc.

- Scripts: son programas realizados en el lenguaje de desarrollo propio de arcview, llamado avenue, que permiten la automatización de tareas que se

utilizan frecuentemente. Generalmente estas funciones se asocian a un botón o menú que se personaliza también desde el entorno de Avenue.

La ventana de proyecto de arcview muestra el contenido del proyecto y permite manejar fácilmente todos los documentos y componentes del trabajo. Desde ella se pueden añadir o eliminar componentes del proyecto, asignar un nuevo nombre a un componente y especificar si se desea exportar un componente a un fichero determinado.

Al abrir el programa aparece un cuadro de dialogo en el ue se debe elegir una de las siguientes opciones (Fig. 6):

- Crear un proyecto nuevo con una vista vacía
- Crear un proyecto vacío
- Abrir un proyecto existente

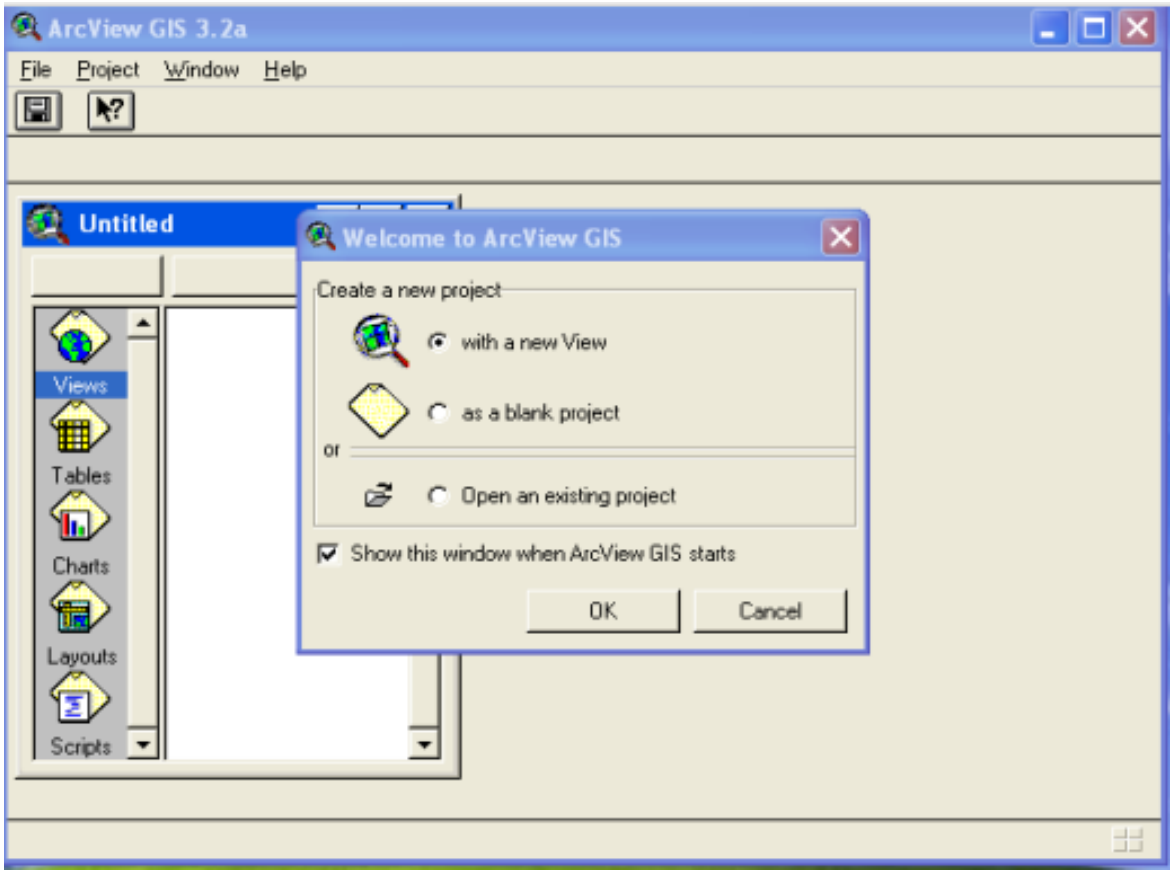


Figura 6

Una vez seleccionada la opción correspondiente, aparecerá la ventada de proyecto (Fig. 7), en cuya barra de título se puede ver el nombre del proyecto seleccionado, o "Untitled", en el caso de ser uno nuevo, al que no se ha asignado un nombre:

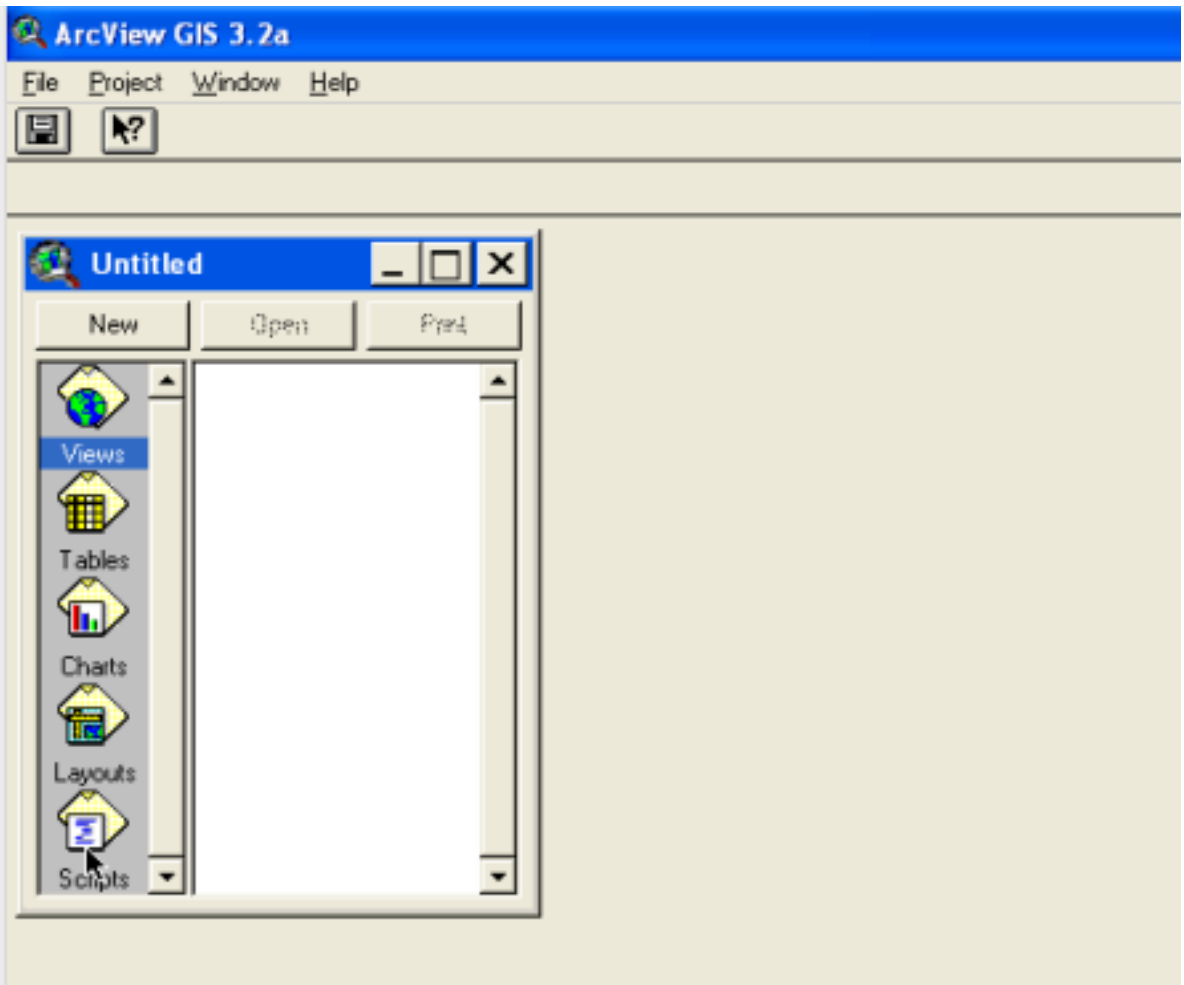


Figura 7

En la pantalla que nos aparece (Fig. 8), se selecciona el icono de Views (Vistas) y en seguida aparecerá View 1 (Vista 1).

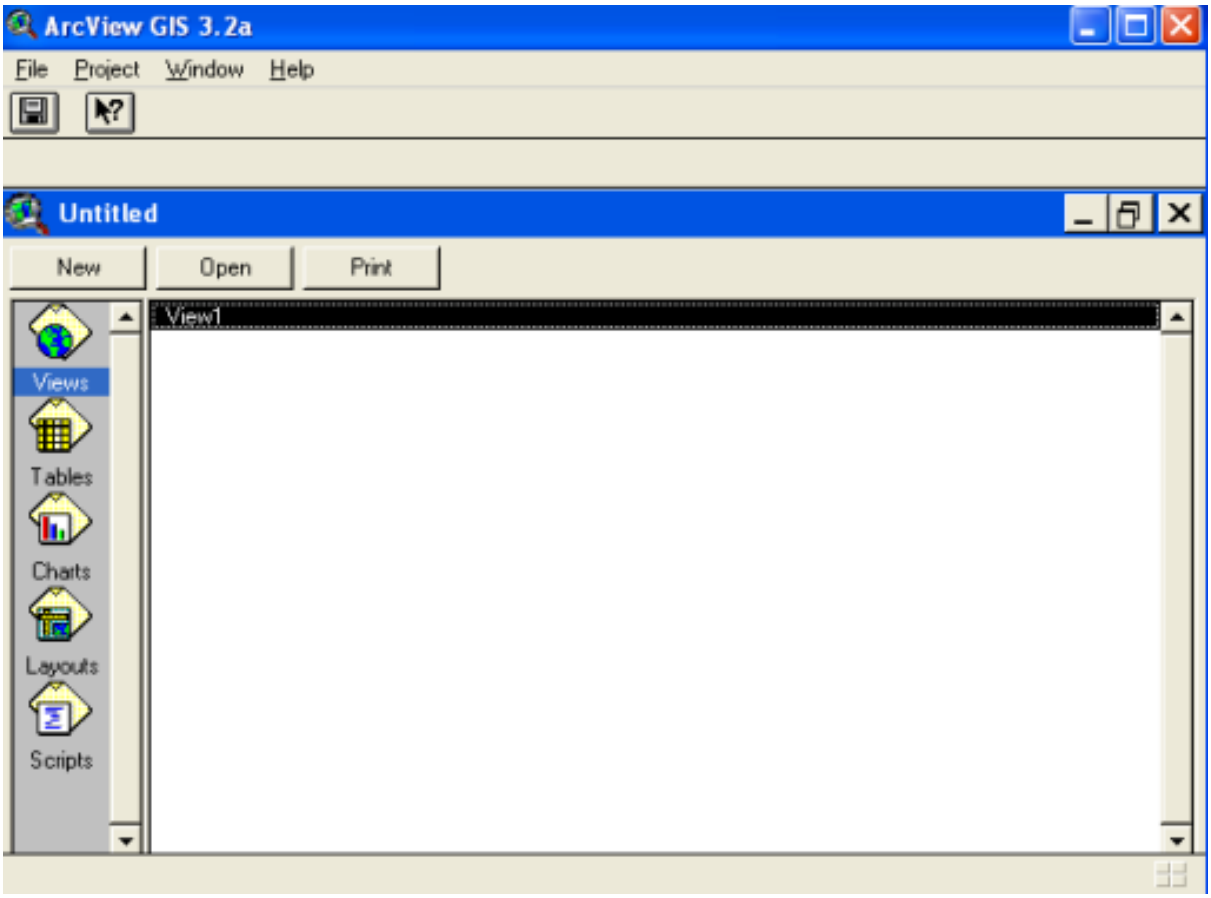


Figura 8

Se selecciona View 1 y a continuación aparecerá la siguiente pantalla (Fig. 9) en la cual seleccionaremos el icono de add theme (agregar tema) y posterior mente nos aparecera el cuadro de dialogo que se puede observar en la fig. .

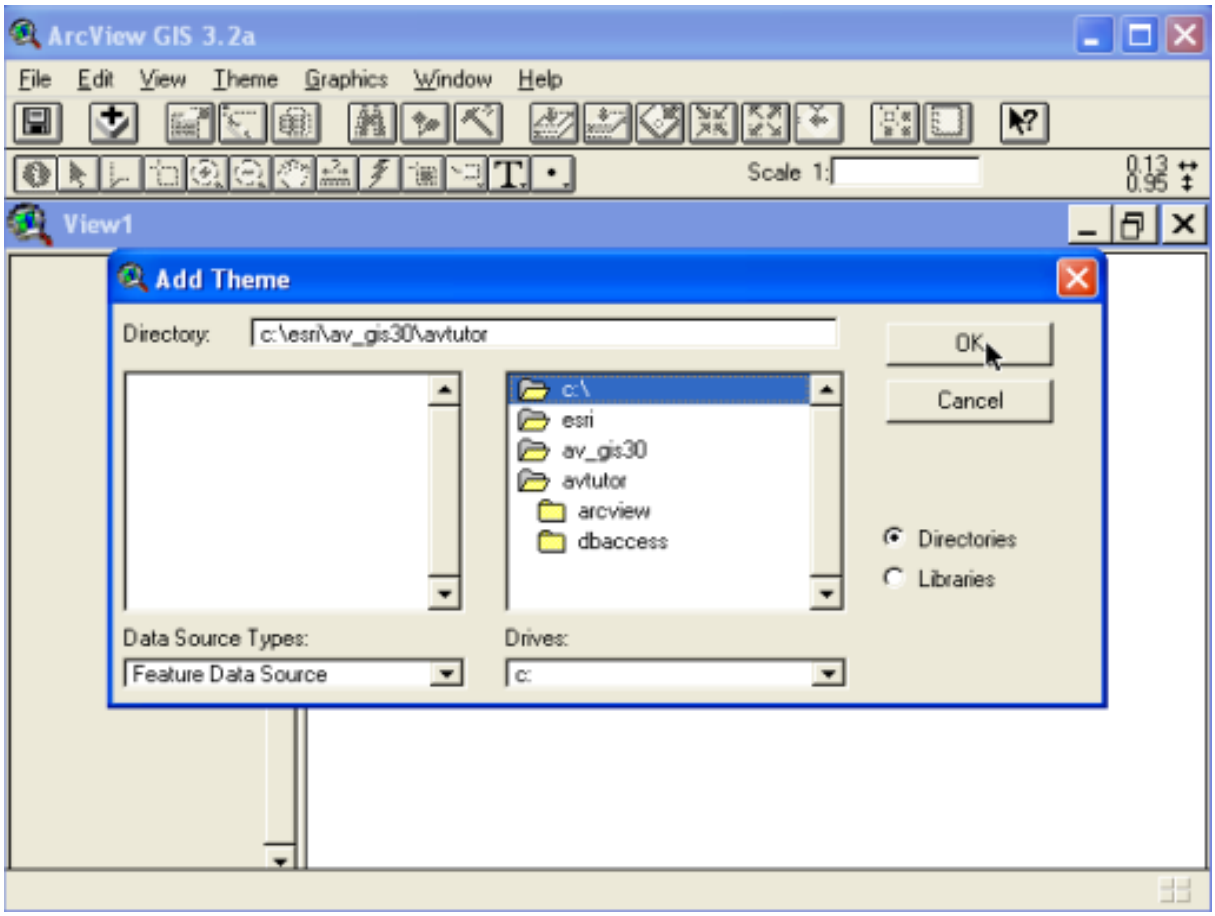


Figura 9

Posteriormente se selecciona la carpeta donde tenemos guardado nuestras capas que anteriormente se crearon en ArcView. (Fig. 10)

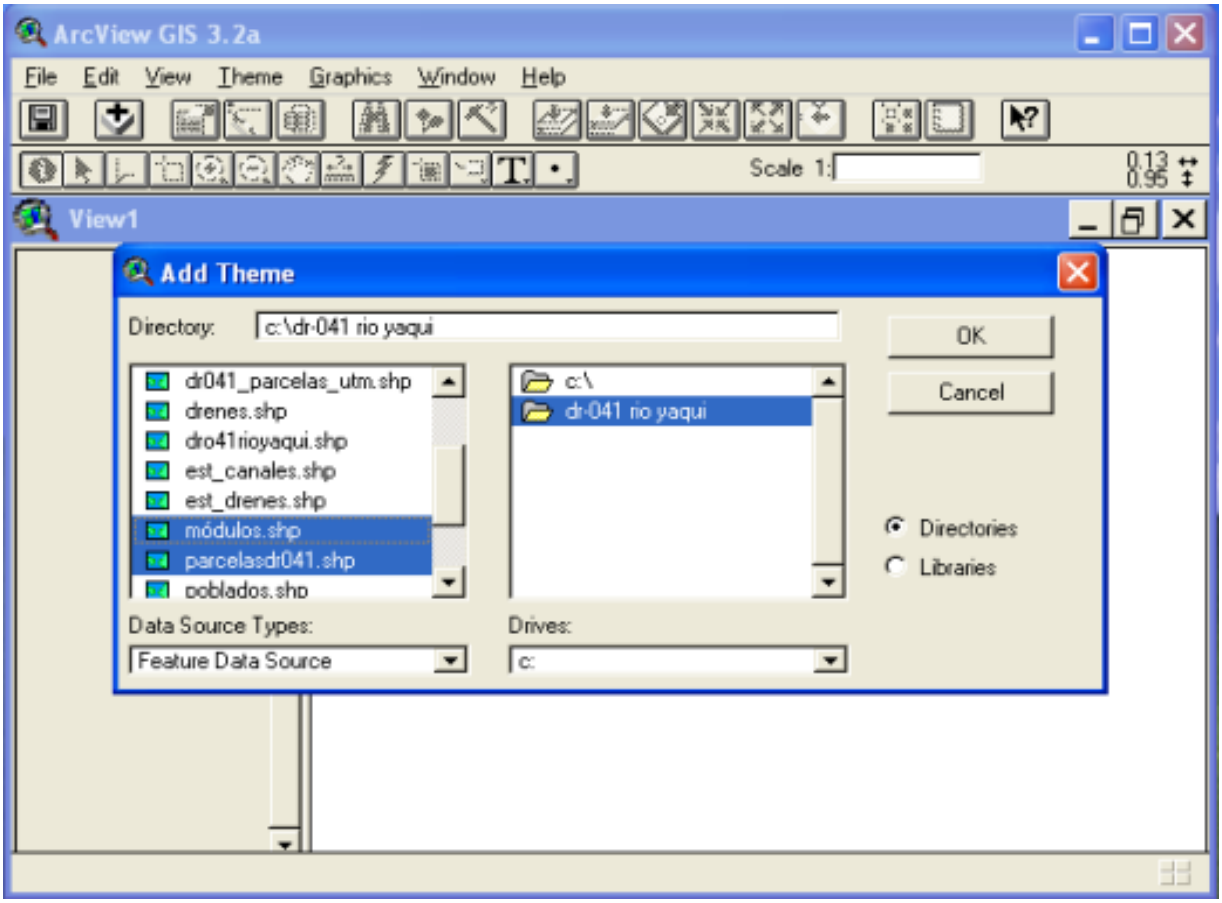


Figura 10

Se presiona el botón de OK y se palomean las capas seleccionadas para que aparezcan en la pantalla principal de ArcView (Fig. 11).

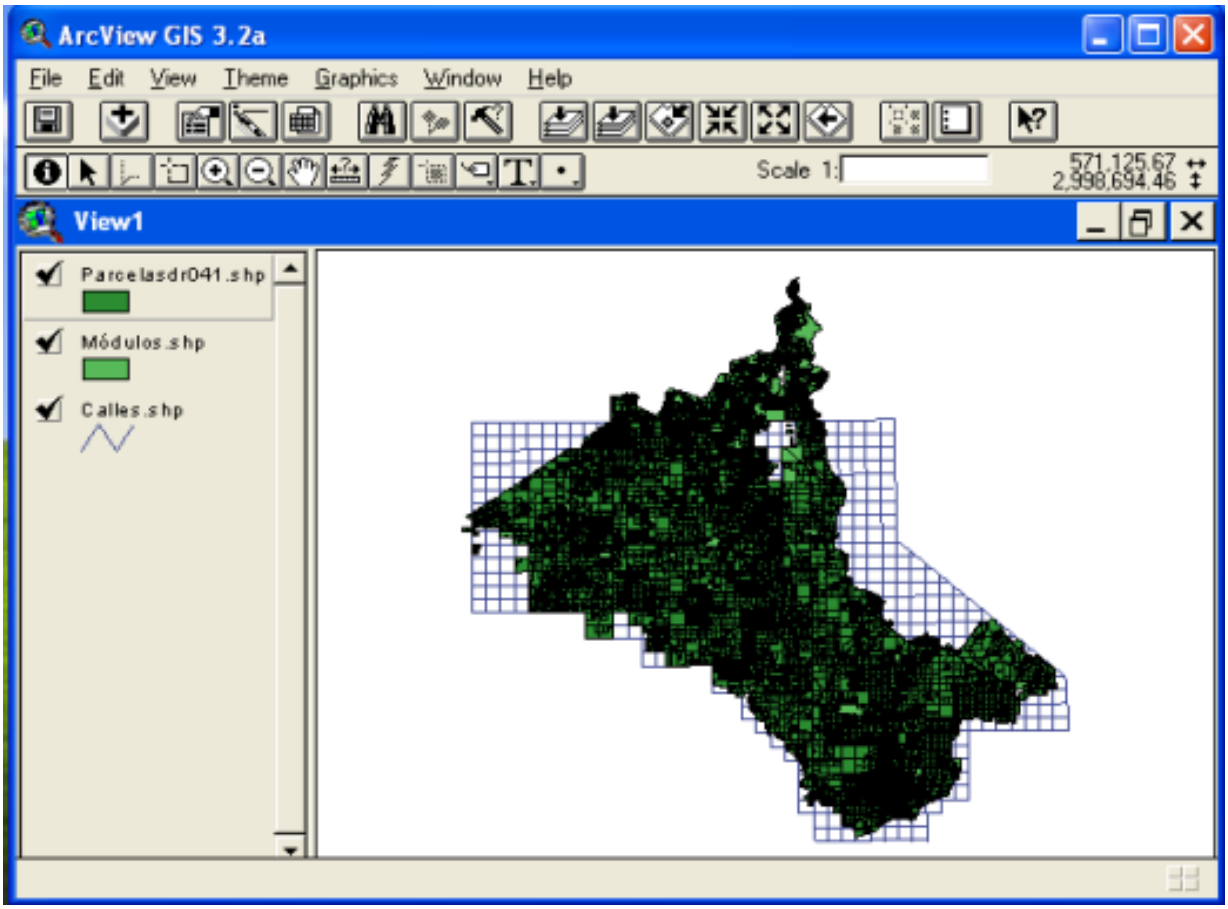


Figura 11

Establecido este sistema en la pantalla, se pueden agregar más capas en el botón de Add theme antes mencionado, para las diferentes aplicaciones el SIG, por ejemplo para agregar los pozos, estructuras, poblados, entre otros. También se puede cambiar el color de cada capa, el grosor de la línea para diferenciarlo mejor de una capa a otra, se puede también, agregar el nombre del dibujo seleccionado, por ejemplo agregarle el nombre a cada calle, el número de la parela, el nombre del dueño de las parcelas, el nuero de hectáreas de cada parcela, entre otras aplicaciones.

3.1.1 Materiales.

Como punto de partida en la realización del presente trabajo, se hicieron los contactos con el personal de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y de la Sociedad de Responsabilidad Limitada de Interés Público y Capital Variable del Distrito de Riego del Río Yaqui (SRLRY), para la recopilación de información catastral y de referencia para los objetivos del proyecto. En este sentido se obtuvo la siguiente información:

- Planos catastrales del Distrito de Riego 041 (DR 041) proporcionados por la SRLRY
- Planos de canales revestidos y no revestidos proporcionados por la SRLRY
- Listado de usuarios del DR 041 proporcionados por la SRLRY
- Inventario, características hidráulicas y geométricas de los canales en el DR 041 proporcionada por la CONAGUA
- Inventario, características hidráulicas y geométricas de los drenes en el DR 041 proporcionada por la CONAGUA
- Inventario de estructuras en los canales del DR 041 proporcionada por la CONAGUA
- Inventario de estructuras en los drenes del DR 041 proporcionada por la CONAGUA

- Plano topográfico escaneado del Distrito de Riego 041, Río Yaqui
- Plano de Salinidad del Distrito de Riego 041, Río Yaqui
- Plano de series de suelos del Distrito de Riego 041, Río Yaqui

Los planos proporcionados por la SRLRY se generaron a partir de las cartas 1:50,000 de INEGI, por lo que se encuentran desactualizados y con errores de ubicación geográfica que en algunos casos son importantes. En la Figura 12 se muestra un acercamiento de los canales proporcionados por la Sociedad y las generadas a partir de imágenes SPOT fusionadas a color con resolución de 2.5 m de enero a marzo de 2009. Como se puede apreciar en la figura, existen errores en la ubicación de los canales generados a partir de los planos de INEGI, ya que la imagen SPOT se referenció geográficamente a partir de las ortofotos de INEGI. En la Figura 5 se presenta la ubicación del parcelamiento de la Sociedad y el generado a partir de imágenes SPOT, en ésta se puede apreciar la información desactualizada e incompleta que se tiene en los planos de INEGI.

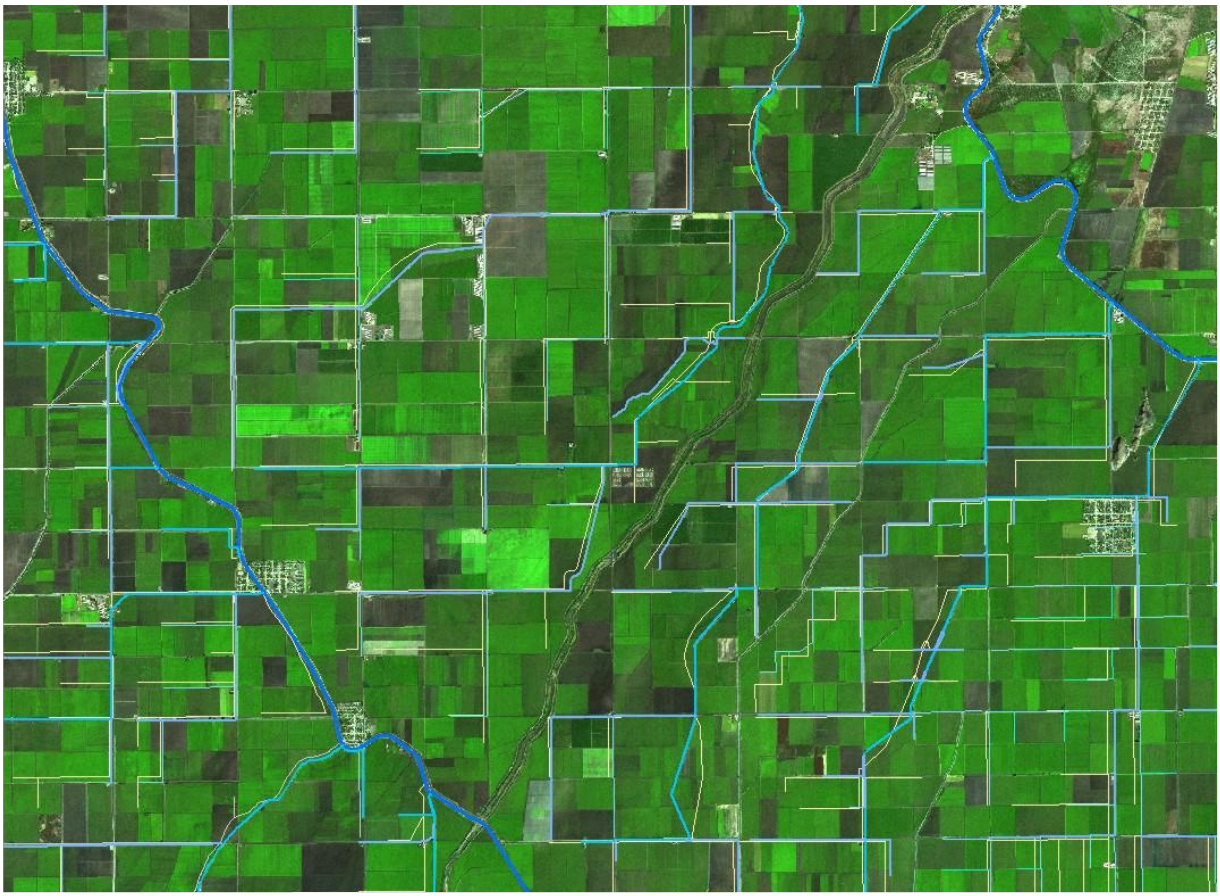


Figura 12. *Detalle del plano de Canales proporcionado por la Sociedad de Responsabilidad Limitada de I.P. y C.V del Río Yaqui y los capturados a partir de imágenes SPOT.*

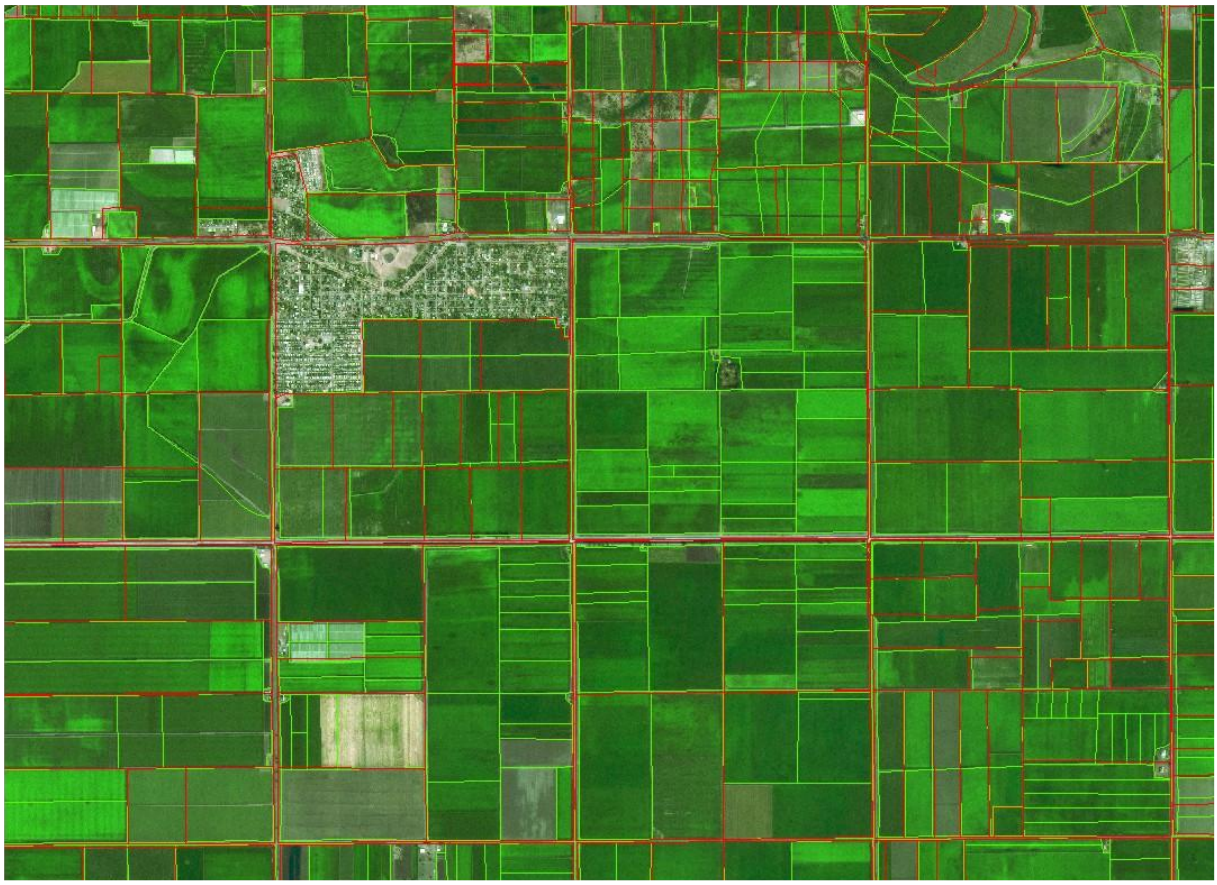


Figura 13. *Detalle del plano de parcelamiento proporcionado por la Sociedad de Responsabilidad Limitada de I.P. y C.V del Río Yaqui y los capturados a partir de imágenes SPOT.*

Con el fin de complementar la información del Distrito de Riego 041, Río Yaqui, se obtuvo la siguiente información geográfica del INEGI y del Distrito de Riego 041, Río Yaqui:

- Tipos de Suelos según la clasificación FAO – UNESCO (Plano 1)
- Uso del Suelo y Vegetación (Plano 2)
- Ortofotos que cubren el área del Distrito de Riego 041, Río Yaqui (Plano 3)
- Vías de comunicación de los planos 1:50,000 (Plano 4)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Interpretación de los resultados

Como resultado del trabajo de campo y de interpretación de imágenes de satélite, se generaron las capas de canales, drenes, estructuras en canales, estructuras en drenes, pozos, casetas Hidrometeorologicas y el catastro asociado al padrón de usuarios del distrito de riego.

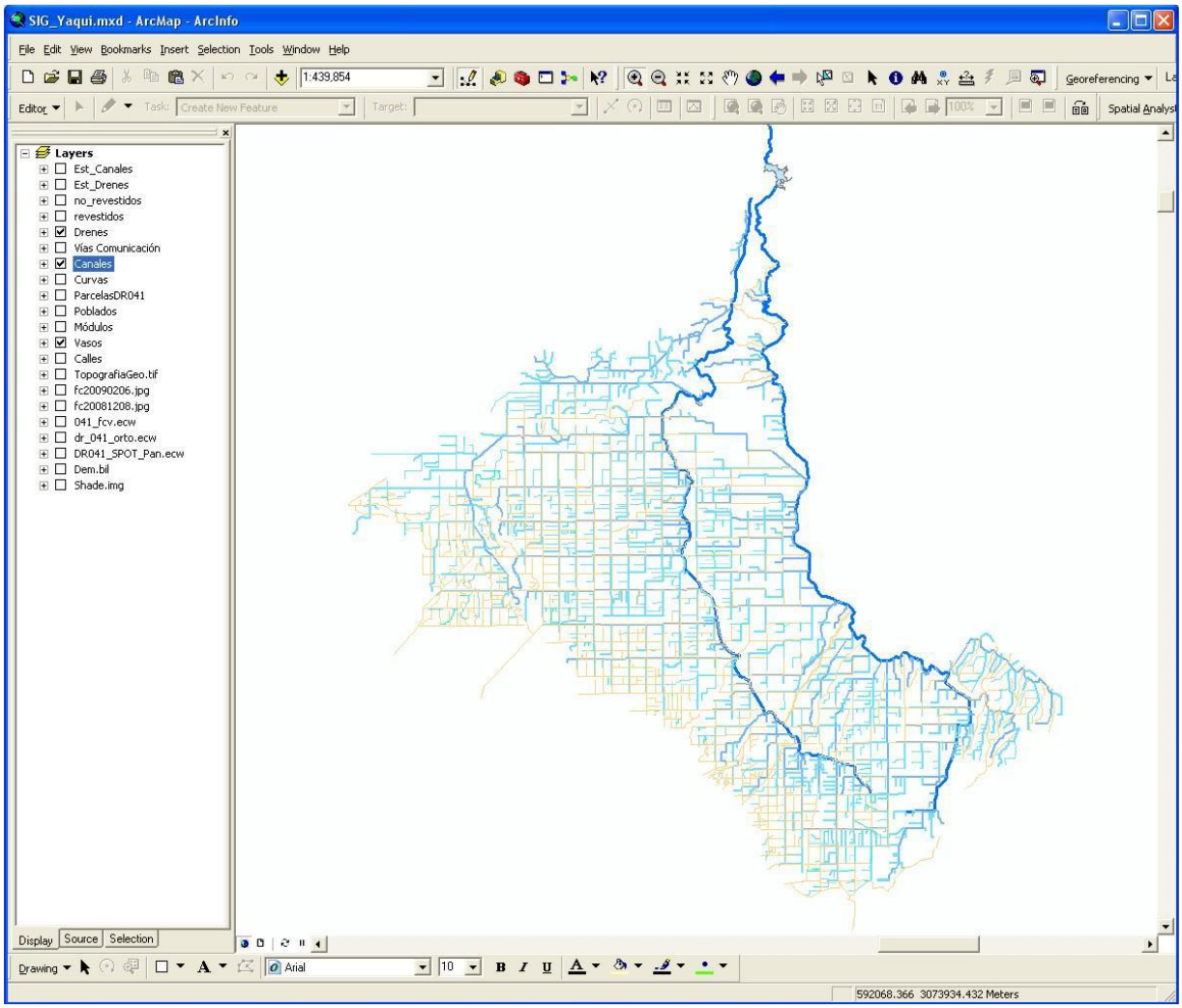


Figura 14. *Capas de Canales y Drenes*

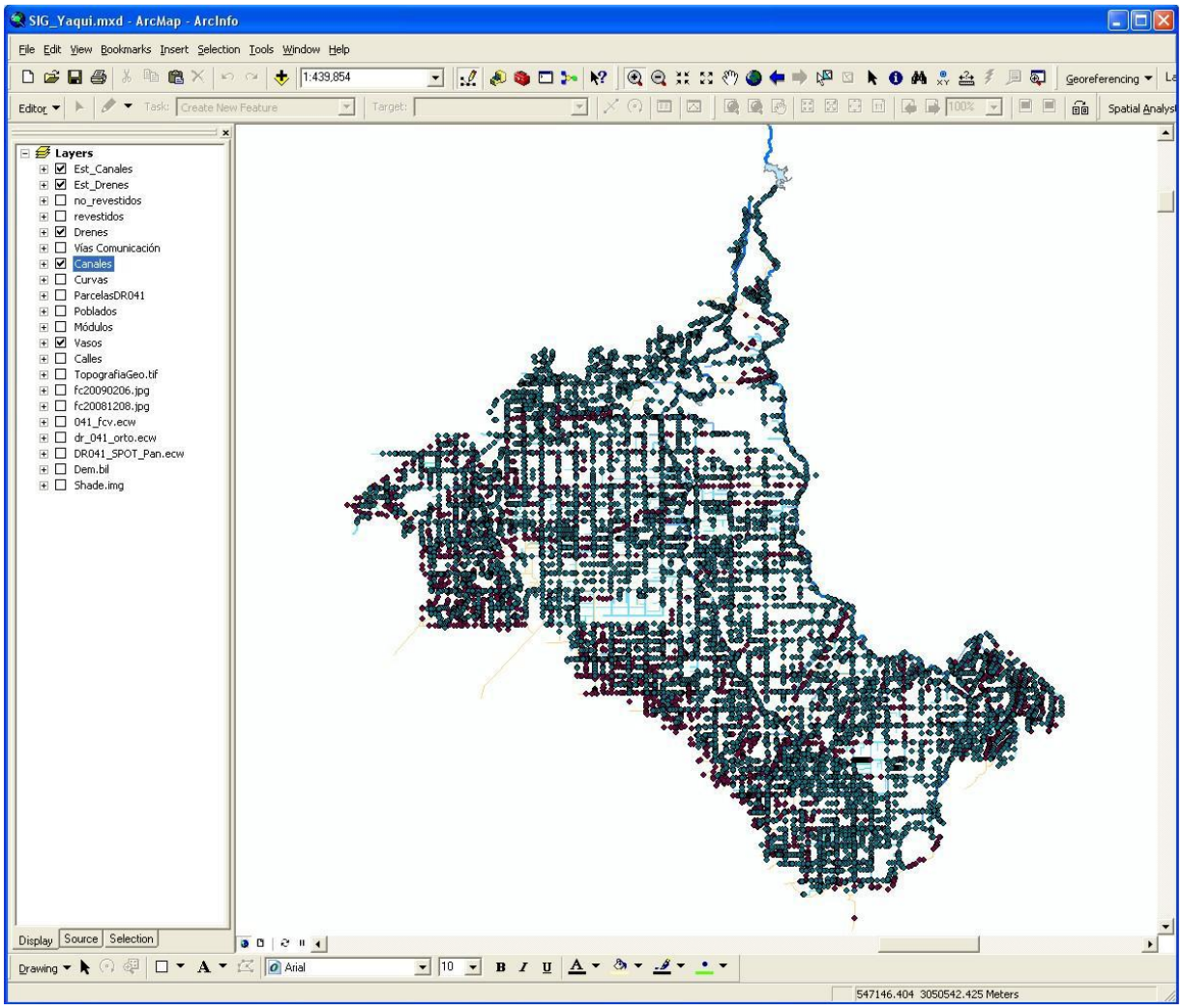


Figura 15. *Estructuras en Canales y Drenes*

Canales y Drenes

Se digitalizaron 2 970 km de canales y 1 797 km de drenes (Fig. 14). En la tabla 1 se presenta un resumen de la longitud de los tramos de canales, ya que un canal se podía dividir en tramos revestidos y tramos sin revestir, o por la ubicación de puntos de control de operación.

Tabla 1. *Longitud de los tramos de canales*

Jerarquía	Tramos	Longitud en metros
Principales (Alto y Bajo)	32	217,851
Laterales	152	715,788
Sublaterales	469	1,131,753
Ramales	469	725,230
Subramales	120	159,441
Subsubramales	14	18,814
Terciarios	1	1,208
Total	**1,257**	**2,970,085**

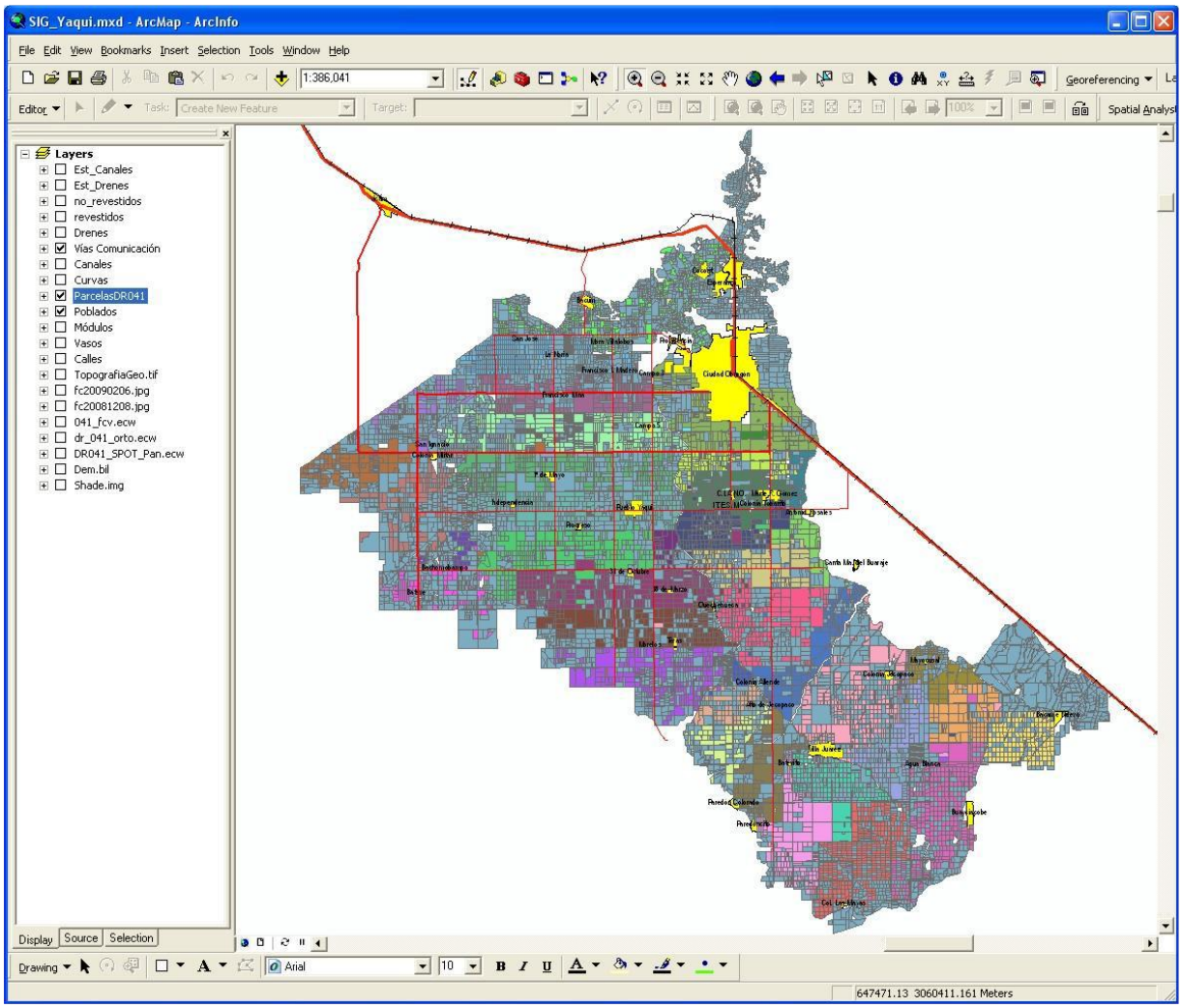


Figura 16*. Plano Catastral*

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.1. Conclusiones

Se obtuvieron los resultados esperados, la planeación del problema fue resuelta mediante la implementación de la información del valle del yaqui en este Sistema de Información Geográfica, Se capturaron todos los datos y fotos del Distrito de Riego del Rio Yaqui para obtener el mejor resultado presentado en esta tesis.

1.2. Recomendaciones

Mi recomendación para esta tesis es hacer ver que la información capturada en este trabajo es solo un poco a comparación de la cantidad de información que puede contener este SIG.

Bibliografía

Colegio de postgraduados, Dr. Luis Alberto Palacios Sánchez, Comisión Nacional del Agua; Septiembre 2009
"Modelo de sistema de información geográfica, revisar e identificar las parcelas que requieren actualización en el padrón de usuarios del Distrito de Riego 041, Rio Yaqui, Sonora"

Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México Agosto 2009
"Manual practico de ArcView Gis 3.2"

Nieves Lantada Zarzosa, M. Amparo Núñez Andrés, Octubre 2004. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
"Sistemas de Información Geográfica. Practicas con ArcView"

Leick, Alfred, United States Of America.
"GPS Satellite Surveying, third Edition".

GLOSARIO DE TERMINOS:

- **UTM –** Unidad Transversal Mercator
- **DRRY** – Distrito de Riego del Rio Yaqui
- **SRLRY** - Sociedad de Responsabilidad Limitada del Rio Yaqui
- **SI** – Sistema de Información
- **SIG** – Sistema de Información Geográfica
- **GPS** – Siglas en inglés: "Global positioning system" o "Sistema de posición global"
- **ArcView** – Programa de sistemas de información geográfica para PC
- **SRL** – Sociedad de Responsabilidad Limitada
- **Layouts** – Composiciones Graficas: La información recogida en cualquiera de los documentos del proyecto debe incluirse en una composición grafica para la

realización de salidas graficas tales como mapas temáticos, resultados de consultas, informes, etc.

- **Scripts** – Son programas realizados en el lenguaje de desarrollo propio de ArcView, llamada Avenue, que permite la automatización de tareas que se utilizan frecuentemente.
- **El Plan Director para la Modernización Integral del Riego del Distrito de Riego 041**, Rio Yaqui, Sonora, se plantea con el fin de tratar de responder a los problemas que enfrenta el sector riego regional y estatal, en el contexto de la situación general del país, su macroeconomía y políticas sectoriales, con los impactos de la globalización y los tratados comerciales.

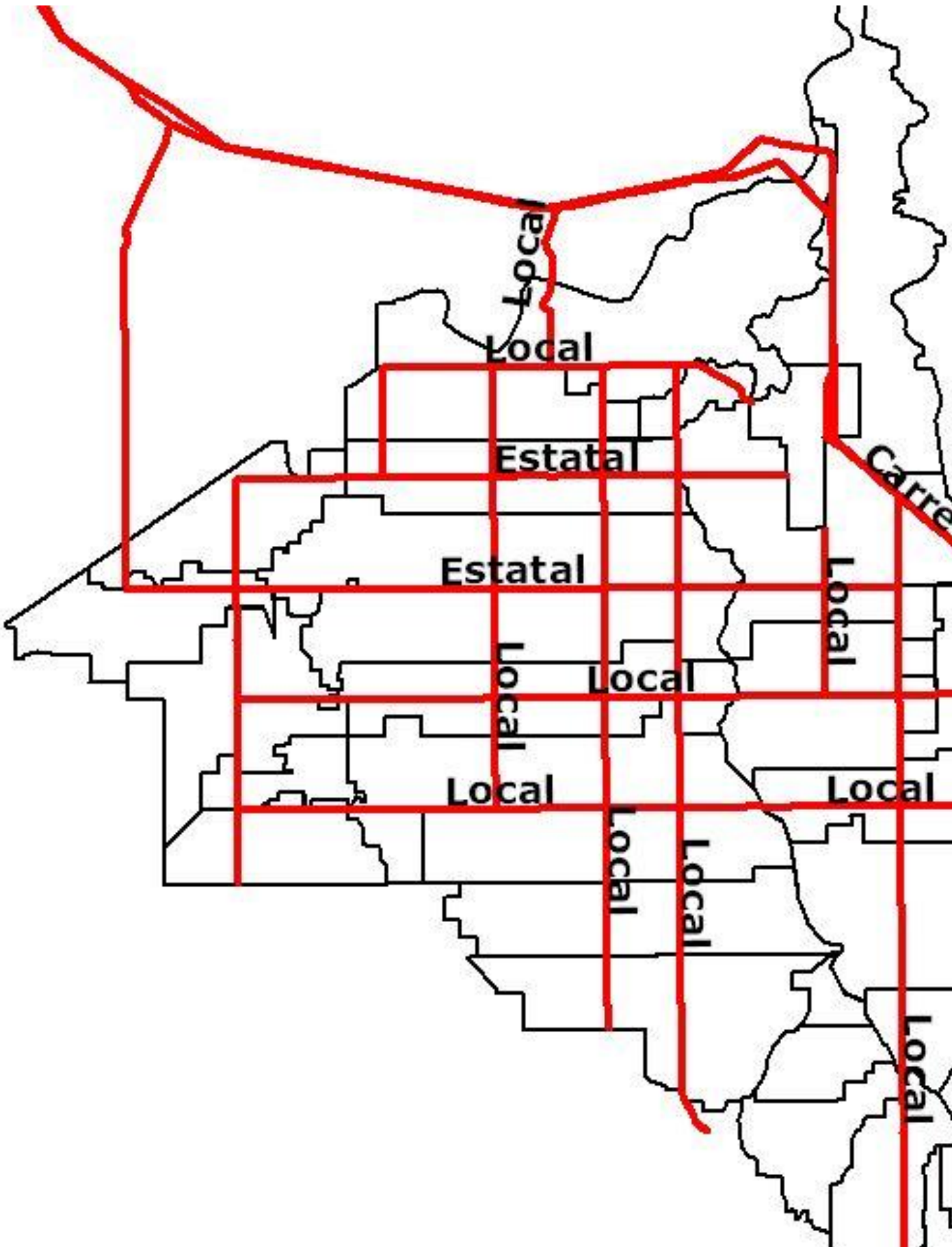
El diagnóstico que forma parte de este Plan Director ha caracterizado los problemas estratégicos, estructurales y operativos que son específicos, para el Distrito de Riego 041 Rio Yaqui, Sonora y que genera en correspondencia a estos problemas y en el contexto de los limitados recursos financieros disponibles, la estructura general del Plan Director y sus componentes. Por otra parte, considera los problemas específicos derivados de algunas deficiencias en el estado de conservación de la infraestructura de riego, la necesidad de modernizar la infraestructura y la de revertir las bajas eficiencias de manejo del agua que aún persisten.

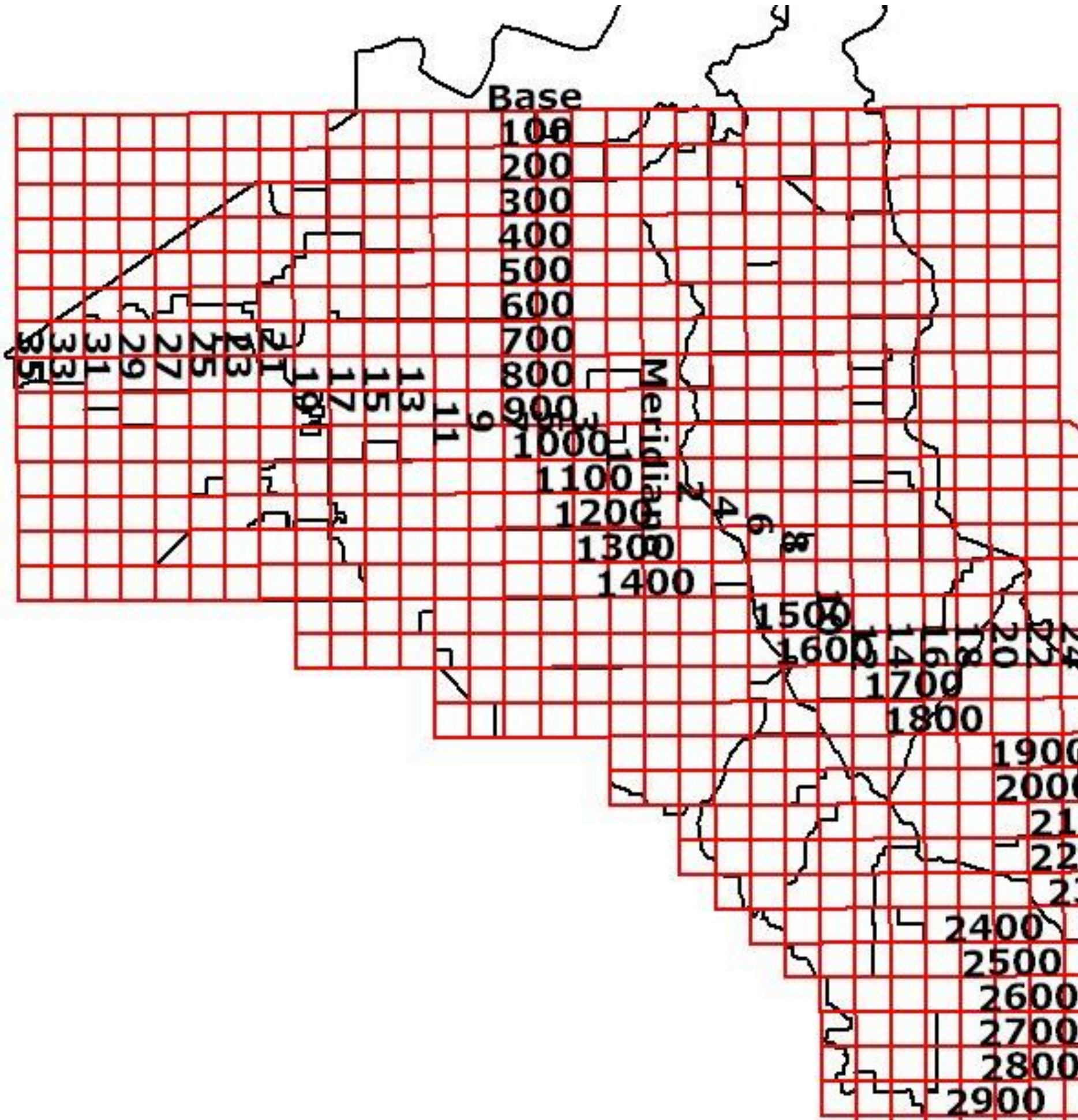
ANEXOS

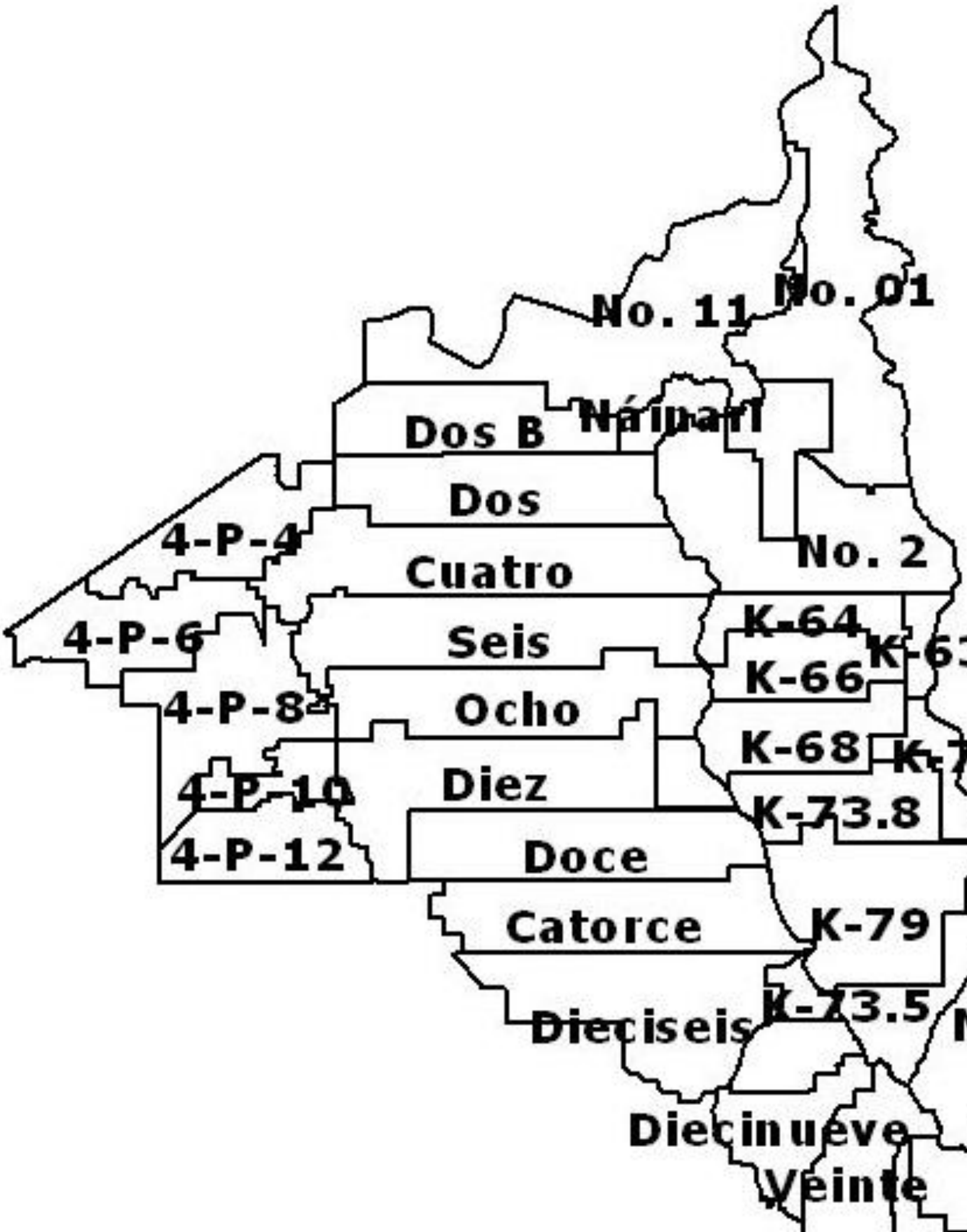
Álvar

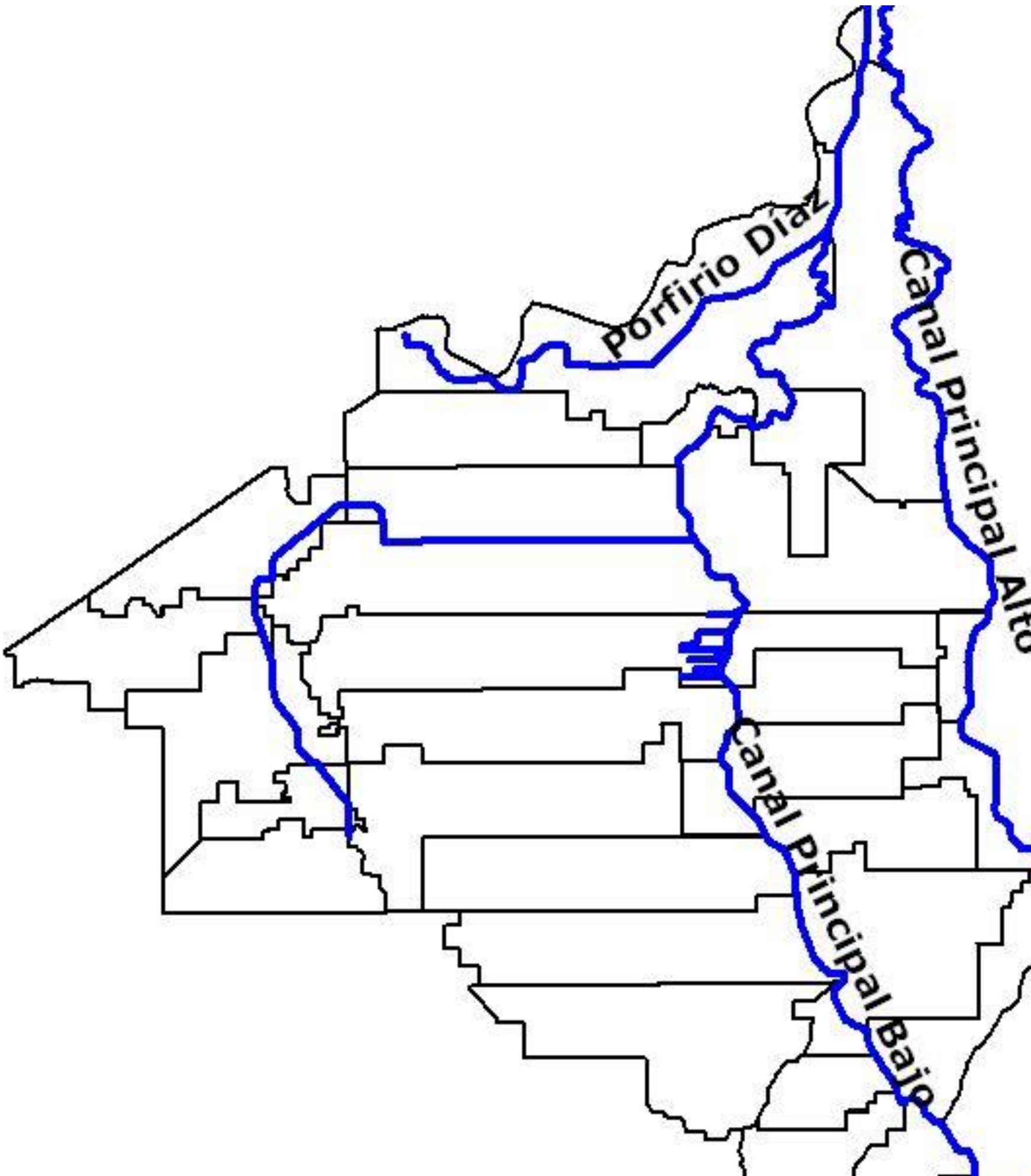
Po

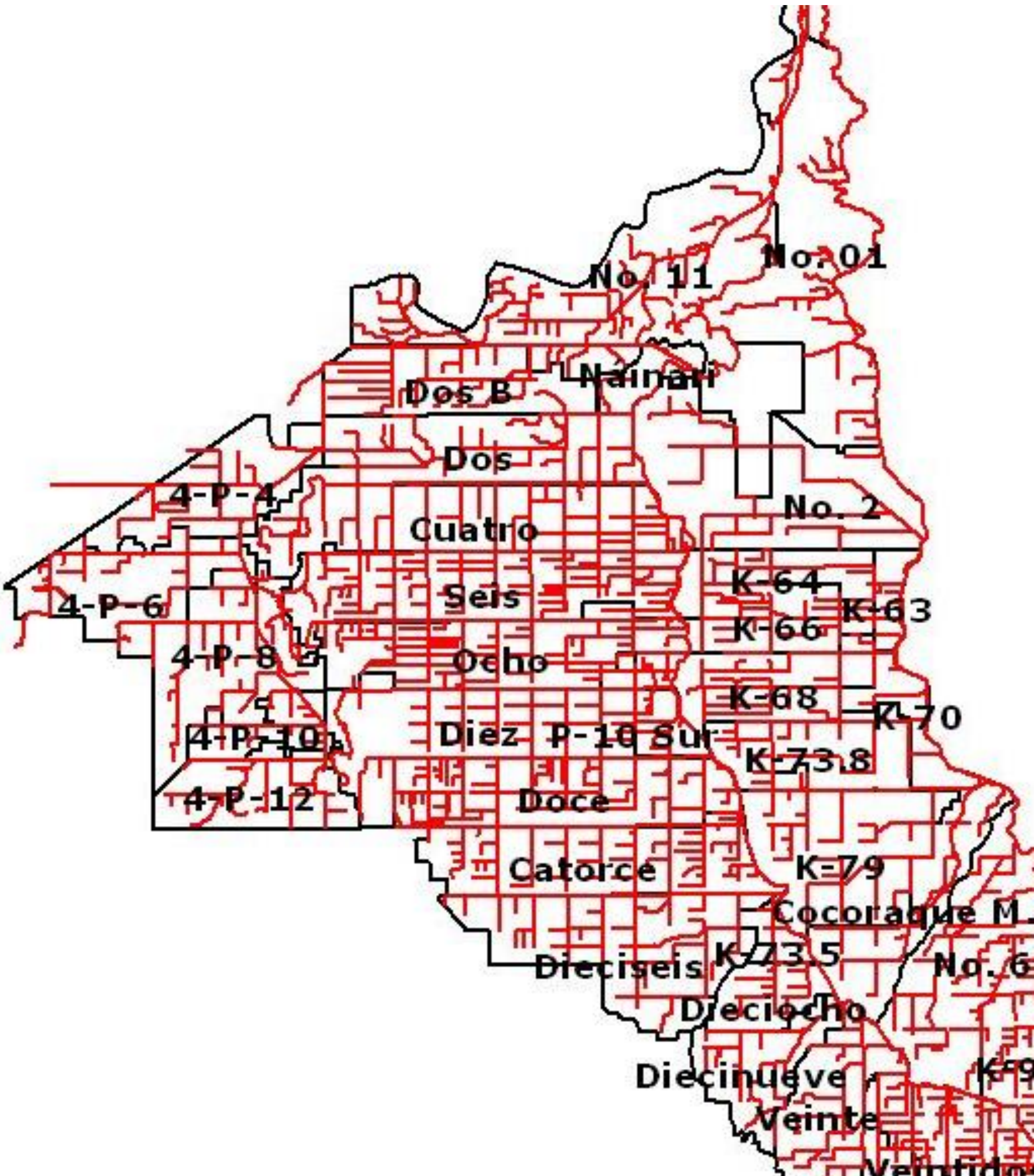
Agua

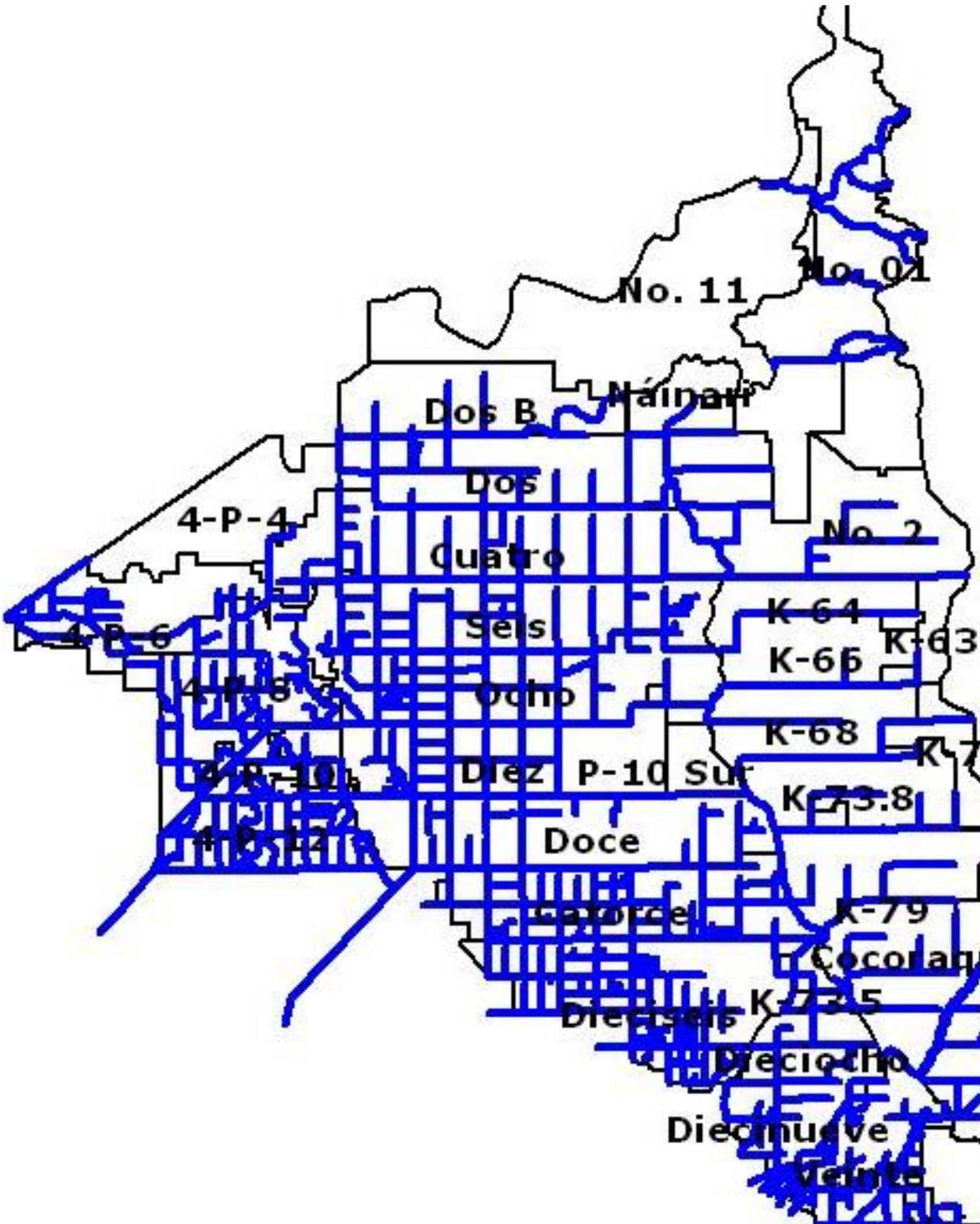

Local
Local
Estatal
Estatal
Carretera Federal Fe
Local
Local
Local
Local
Local
Local
Local
Local


Base
Meridian
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2400
2500
2600
2700
2800
2900
35
33
31
29
27
25
23
21
19
17
15
13
11
9
7
5
3
1

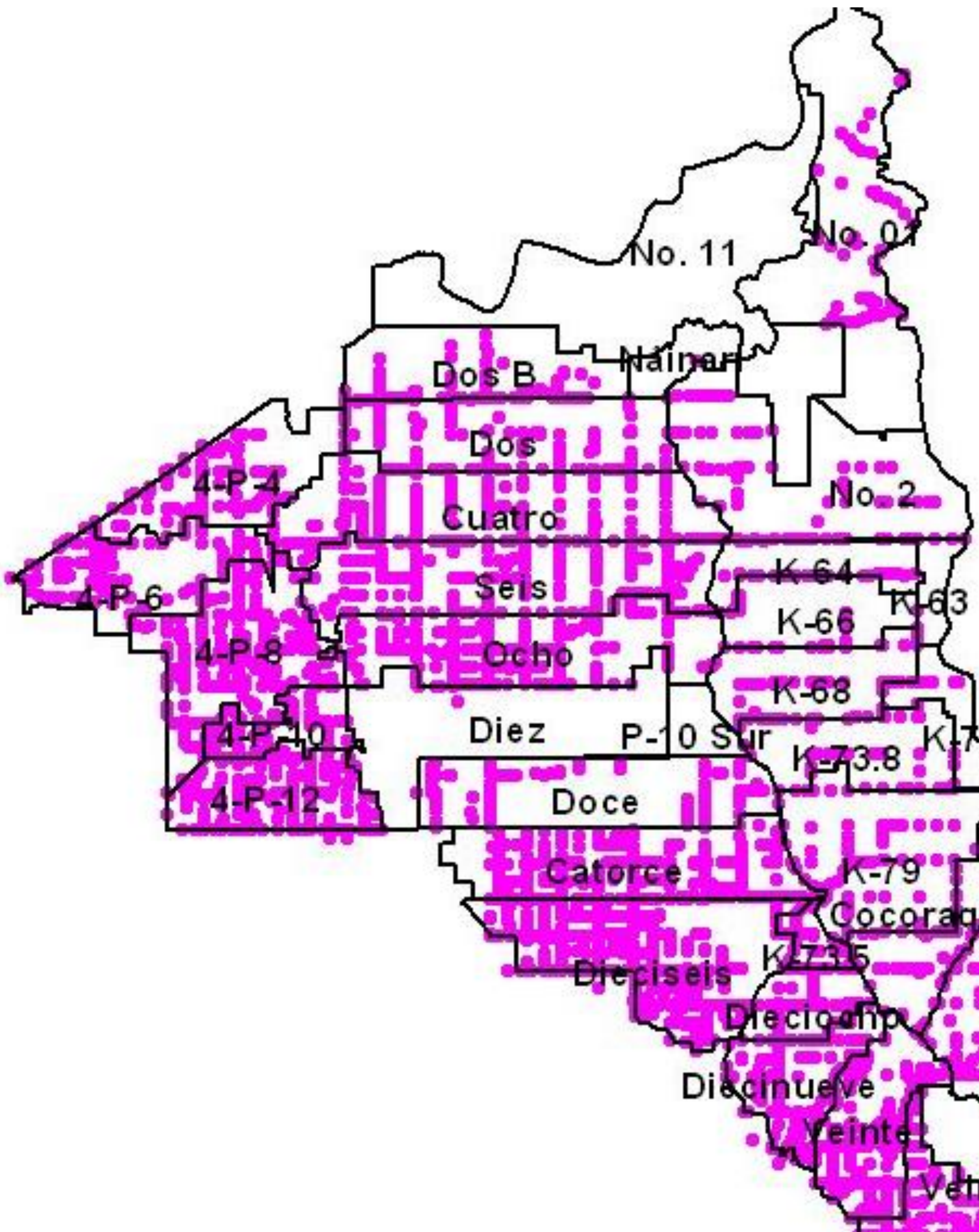

No. 11
No. 01
Dos B
Náinari
Dos
4-P-4
No. 2
Cuatro
K-64
4-P-6
Seis
K-63
K-66
4-P-8
Ocho
K-68
K-70
4-P-10
Diez
K-73.8
4-P-12
Doce
Catorce
K-79
Dieciseis
K-73.5
No.
Diecinueve
K-9
Veinte

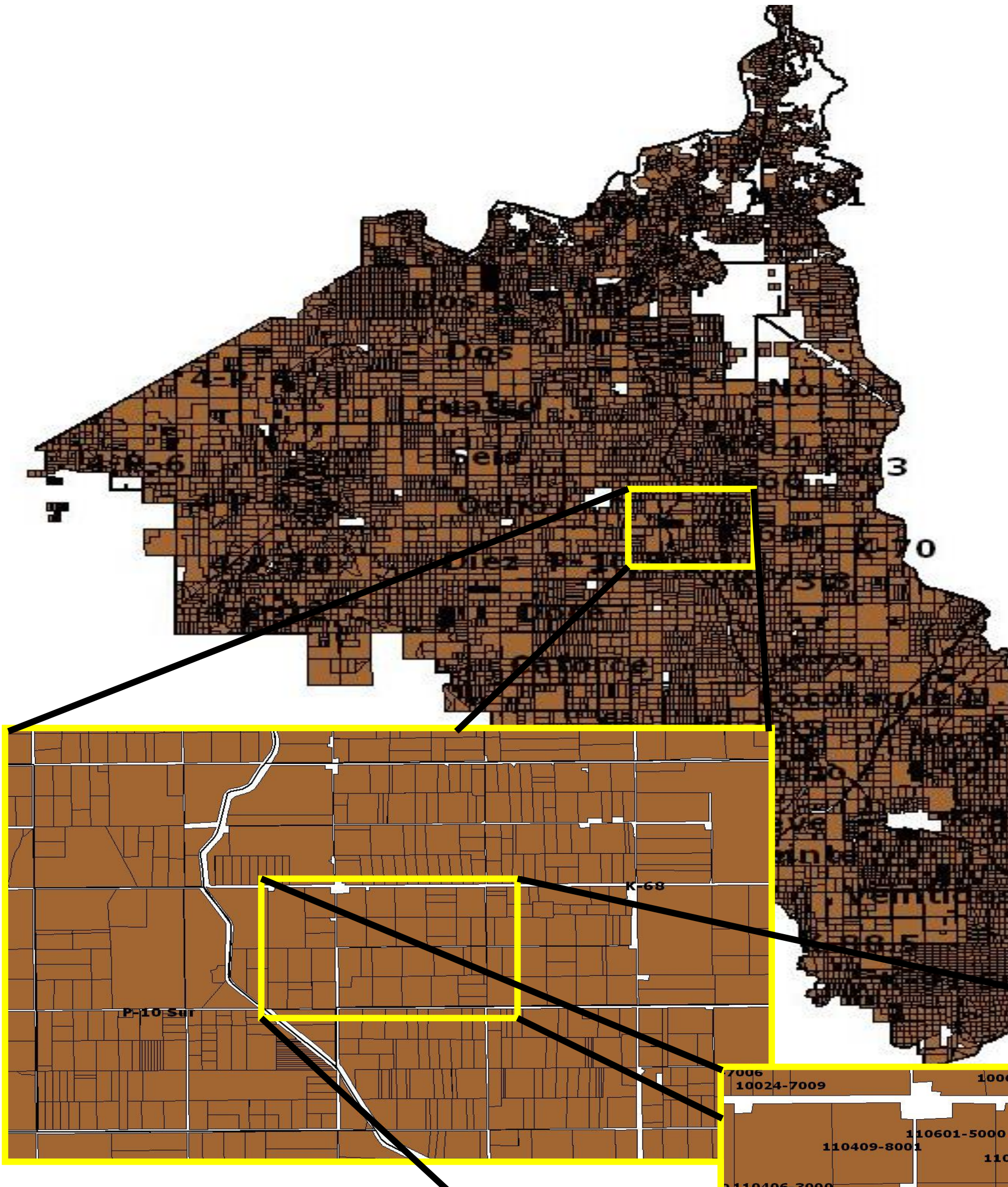

Porfirio Díaz
Canal Principal Alto
Canal Principal Bajo

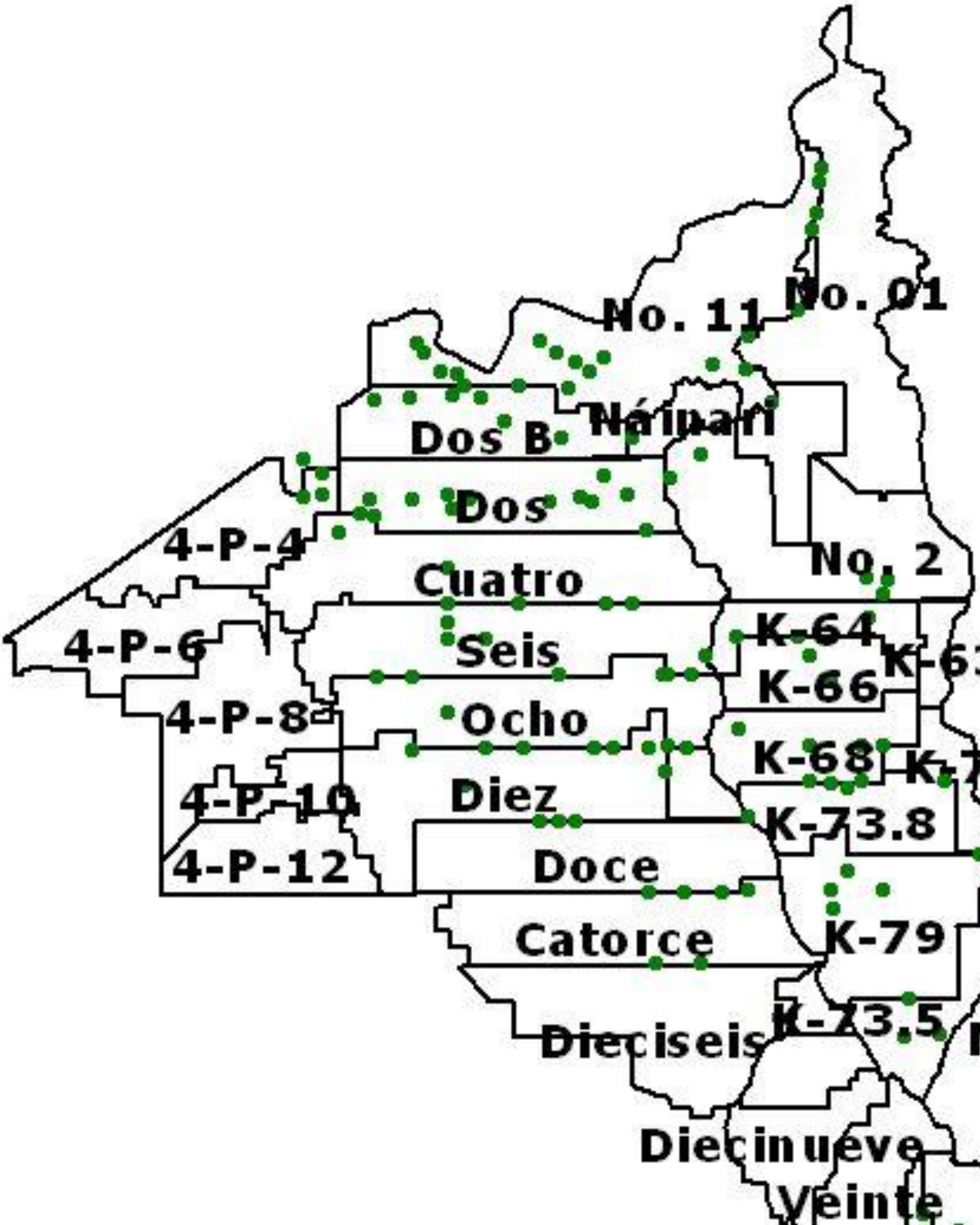

No. 01
No. 11
Náinari
Dos B
Dos
4-P-4
No. 2
Cuatro
K-64
Seis
4-P-6
K-63
K-66
4-P-8
Ocho
K-68
K-70
4-P-10
Diez
P-10 Sur
K-73.8
4-P-12
Doce
Catorce
K-79
Cocoraque M.
Dieciseis
K-73.5
No. 6
Dieciocho
Diecinueve
Veinte

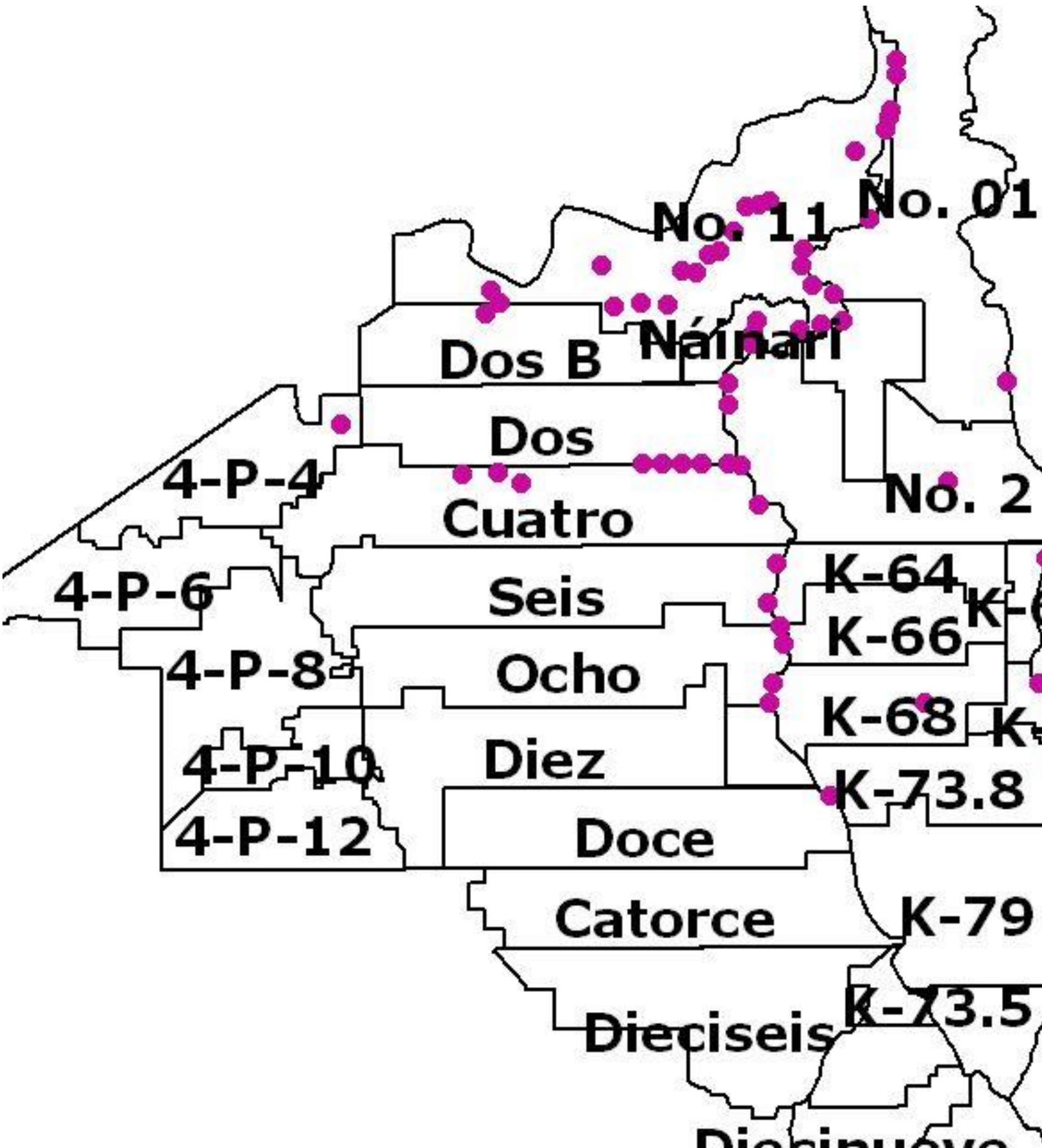

No. 11
No. 01
Náinari
Dos B
Dos
4-P-4
No. 2
Cuatro
K-64
4-P-6
Seis
K-63
K-66
4-P-8
Ocho
K-68
K-70
4-P-10
Diez
P-10 Sur
K-73.8
4-P-12
Doce
Catorce
K-79
Cocolaque M
K-73.5
Dieciseis
No. 6
Dieciocho
Diecinueve
Veinte

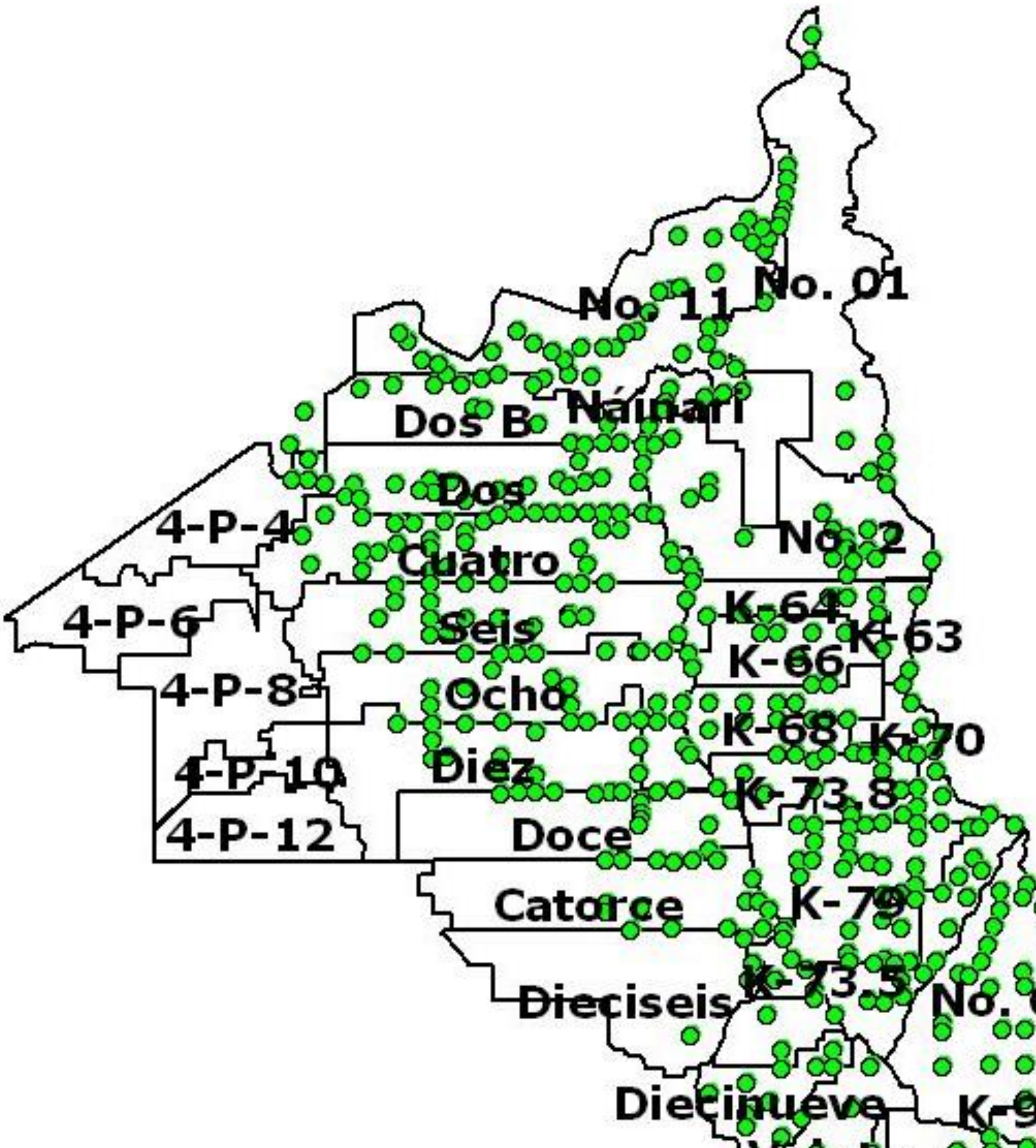
No. 11
No. 01
Dos B
Nainari
Dos
4-P-4
Cuatro
No. 2
4-P-6
Seis
K-64
K-66
K-63
4-P-8
Ocho
K-68
K-70
4-P-10
Diez
P-10 Sur
K-73.8
4-P-12
Doce
Catorce
K-79
Cocorahue M
Dieciseis
K-73.5
No. 6
Dieciocho
Diecinueve
Veinte

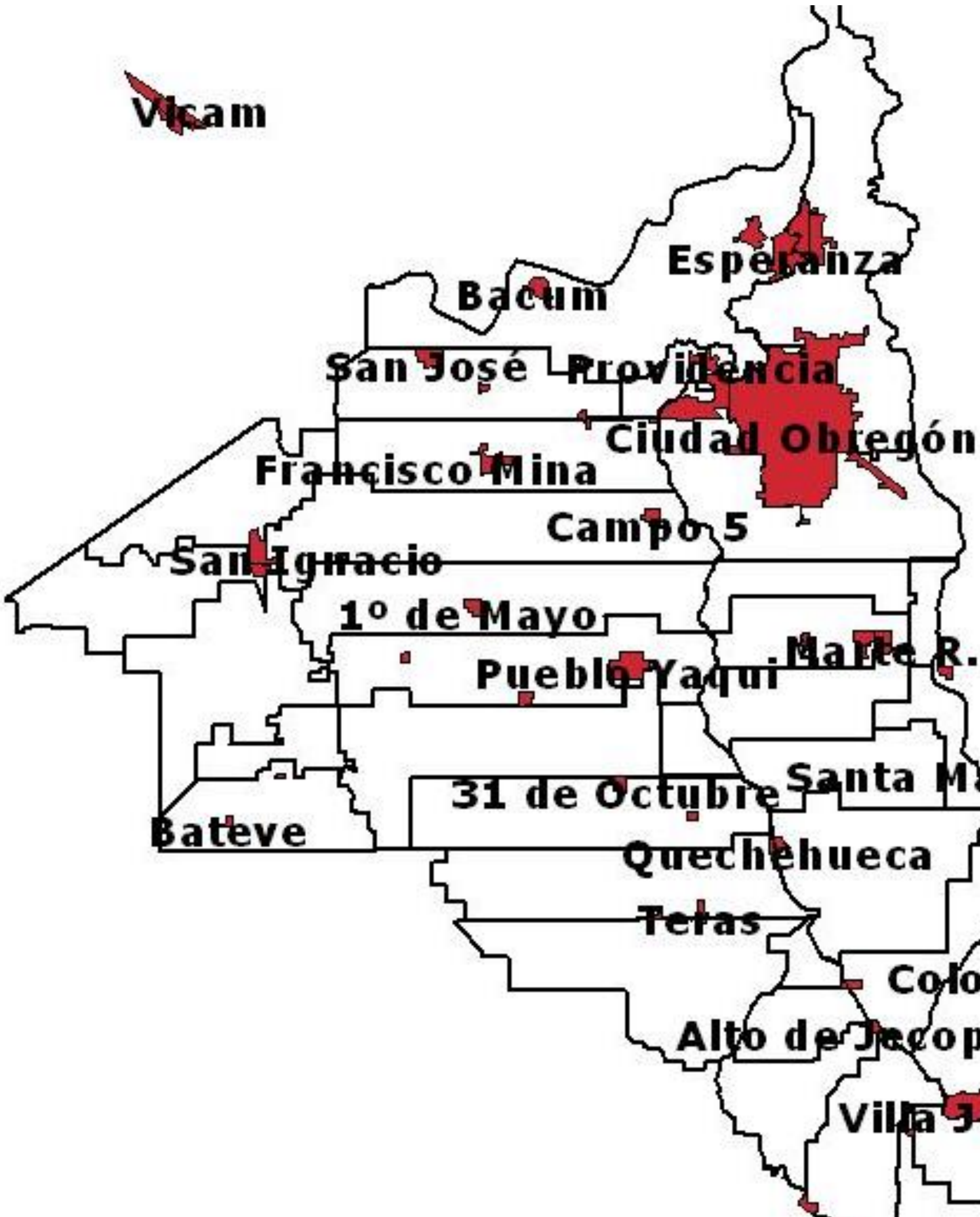

No. 11
No. 01
Dos B
Nainari
Dos
4-P-4
No. 2
Cuatro
K-64
4-P-6
Seis
K-63
K-66
4-P-8
Ocho
K-68
4-P-10
Diez
P-10 Sur
K-70
K-73.8
4-P-12
Doce
Catorce
K-79
Cocoraque M
Dieciseis
K-73.5
Diecisiete
Diecinueve
Veinte
Veintido


K-68
P-10 Sur
10024-7009
110601-5000
110409-8001


No. 01
No. 11
Náinari
Dos B
Dos
4-P-4
Cuatro
No. 2
4-P-6
Seis
K-64
K-63
K-66
4-P-8
Ocho
K-68
K-70
4-P-10
Diez
K-73.8
4-P-12
Doce
Catorce
K-79
Dieciseis
K-73.5
No.
Diecinueve
Veinte


No. 11
No. 01
Náinari
Dos B
Dos
4-P-4
Cuatro
No. 2
K-64
4-P-6
Seis
K-63
K-66
4-P-8
Ocho
K-68
K-70
4-P-10
Diez
K-73.8
4-P-12
Doce
Catorce
K-79
K-73.5
Dieciseis
No. 6


No. 11
No. 01
Dos B
Náinari
Dos
4-P-4
No. 2
Cuatro
K-64
4-P-6
Seis
K-63
K-66
4-P-8
Ocho
K-68
K-70
4-P-10
Diez
K-73.8
4-P-12
Doce
Catorce
K-79
K-73.5
Dieciseis
Diecinueve


Vicam
Esperanza
Bacum
San José
Providencia
Ciudad Obregón
Francisco Mina
Campo 5
San Ignacio
1º de Mayo
Pueblo Yaqui
Mante R. Gón
Santa Ma. de
31 de Octubre
Bateve
Quechehueca
Tetas
Colonia
Alto de Jecopaco
Villa Juare