



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN GEOGRAFÍA

**DISTRIBUCIÓN DE RIESGO EPIDEMIOLÓGICO ANTE LA INSUFICIENCIA RENAL
CRÓNICA EN LA TENENCIA DE SAN PEDRO JÁCUARO, CIUDAD HIDALGO,
MICHOACÁN.**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL.

PRESENTA:
ROGELIO SANTACRUZ BENÍTEZ

TUTOR
M EN C. JOSÉ ANTONIO QUINTERO PÉREZ
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

CIUDAD DE MÉXICO, MARZO 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi hermano Fredy quien se adelantó al gran viaje con el señor del cerca y del junto, a donde todos y cada uno de nosotros iremos, ya que nada es para siempre, solo venimos un momento por aquí, tan solo somos visitantes, de cuatro en cuatro nos iremos a la casa de las flores, a la morada del sol, al lugar del silencio, al lugar de la quietud, allá nos volveremos a ver, donde padres, hijos, hermanos, amigos y abuelos nos reuniremos, allá, junto a los grandes señores.

Nican ca Itzcoatl nican ca

*“Dime y olvidaré
Muéstrame y tal vez recordare
Implicame y comprenderé”*

Proverbio de los amerindios de América del Norte

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darle sentido a mi vida y darme la oportunidad de respirar el aroma universitario.

Esta tesis de maestría se desarrolló en el marco del proyecto denominado “Estudio epidemiológico de los factores asociados a insuficiencia renal crónica en la población de ciudad hidalgo Michoacán” realizado en el año 2012 y financiado por la convocatoria del Fondo Mixto CONACYT y el gobierno de Michoacán Clave: MICH-2010-C01-148342.

Agradezco al Dr. Malaquías López Cervantes, Jefe de la Unidad de Proyectos Especiales de Investigación Socio-medica (UPEIS) y a la Dra. Reyna L. Pacheco Domínguez por haberme permitido utilizar información generada durante el estudio epidemiológico, expreso un profundo agradecimiento por creer en mí y permitirme ser parte del equipo de trabajo, gracias por todos estos años de aprendizaje y enseñanzas.

Al Dr. Alberto López López quien tuvo la amabilidad de enfocar la línea de investigación.

Al Dr. Carlos Castillo Salgado, por compartirme sus valiosos conocimientos geográficos y epidemiológicos utilizados en este trabajo de tesis, que sin duda fueron benéficos no solo el término del escrito sino a mi desarrollo profesional.

A la Dra. Carmen Juárez por la disponibilidad de tiempo y por apoyarme en la búsqueda de material bibliográfico.

A la M. en Geog. Ana Rosa Rosales Tapia, por sus valiosos comentarios y sugerencias que contribuyeron de manera significativa en la última versión del escrito.

A mi tutor, el M. en C. José Antonio Quintero Pérez por darme la oportunidad de crecimiento académico dentro del Instituto de Geografía, así mismo, por el apoyo y dirección técnica y metodológica utilizada en esta investigación.

A mis compañeros de trabajo por las asesorías técnicas en cuanto a temas cartográficos y epidemiológicos; Pablo Lealtaud, Otto Reducindo y Lilia Castro. Gracias por su valioso apoyo.

Agradecimientos personales

Agradezco al creador de todo, por darme la oportunidad de amar y tener a mis padres (July y Niz), quienes además de darme la vida, me dieron los cimientos necesarios para superar los obstáculos y limitaciones. Les agradezco por darme amor y felicidad para disfrutar plenamente de mi vida, gracias por brindarme su apoyo incondicional.

A mi esposa Citlalli Jiménez B. Por apoyarme e impulsarme a seguir adelante en todo momento y por darme dos hermosos hijos, que son mi principal motivación de superación día a día, gracias por cada momento sacrificado para ser invertido en la realización de esta tesis. Gracias Tonatiuh y Meztli.

A mis hermanos, (Nana, Rulas, Jhon, Chars, Afer, Lalin) y a mis sobrinos, que siempre están conmigo, por todas esas horas interminables de alegría que comparto con ustedes, por apoyar mis proyectos “los quiero mucho, valen mil, nunca cambien”.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	JUSTIFICACIÓN	3
1.2	HIPÓTESIS	4
1.3	OBJETIVOS	4
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	4
1.3.2	<i>Objetivos particulares</i>	4
1.4	MARCO TEÓRICO.....	5
1.4.1	<i>La Geografía en Medicina</i>	5
1.4.2	<i>EL padre de la epidemiología moderna</i>	6
1.4.3	<i>El padre de la Geografía Médica</i>	7
1.5	LA REVOLUCIÓN CUANTITATIVA.....	8
1.6	LOS SIG APLICADOS A LA EPIDEMIOLOGÍA.....	8
1.7	INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA	10
1.7.1	<i>La IRC y su clasificación</i>	12
1.8	FACTORES DE RIESGO ANTE LA IRC	14
1.9	PANORAMA DE LA IRC EN EL MUNDO	17
1.10	PANORAMA DE LA IRC EN MÉXICO	20
1.11	ESQUEMA GENERAL DEL TRABAJO DE TESIS.....	24
2	MARCO FÍSICO	27
2.1	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	27
2.2	GENERALIDADES DEL MEDIO FÍSICO	27
2.2.1	<i>Clima</i>	27
2.2.2	<i>Recursos Naturales</i>	28
2.2.3	<i>Geología</i>	28
2.2.4	<i>Hidrología</i>	30
2.2.5	<i>Hidrología Subterránea</i>	30
2.2.6	<i>La Geotérmica “Los Azufres” y la IRC</i>	30
2.3	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN TSPJ.....	33
2.3.1	<i>Selección y ubicación sitios de muestreo</i>	33
2.3.1	<i>Muestreo en campo</i>	34
2.3.2	<i>Trabajo en campo</i>	37
2.3.3	<i>Análisis de laboratorio</i>	37
2.3.4	<i>Normatividad de calidad de agua para consumo humano</i>	38
2.3.5	<i>Resultados Físico-químicos de la calidad de agua</i>	38

2.3.6	<i>Conclusión de calidad de agua en la TSPJ</i>	40
3	ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO DE LOS FACTORES ASOCIADOS A LA IRC EN LA POBLACIÓN DE CD HIDALGO	42
3.1	GENERALIDADES DEL ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO UPEIS-UNAM-2012	42
3.1.1	<i>Objetivo general del EEFAIRCPCDHM</i>	43
3.1.2	<i>Objetivos específicos del EEFAIRCPCDHM</i>	43
3.1.3	<i>Metodología para el censo del EEFAIRCPCDHM</i>	43
3.1.4	<i>Aporte geográfico al (EEFAIRCPCDHM)</i>	45
3.2	METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN CARTOGRÁFICA DEL EEFAIRCPCDHM	47
3.2.1	<i>Planeación</i>	48
3.2.2	<i>Digitalización en Google Earth</i>	49
3.2.3	<i>Del formato kml al formato shape file (shp)</i>	49
3.2.4	<i>Geocodificación</i>	51
3.2.5	<i>Cartografía preliminar</i>	51
3.2.6	<i>Censo</i>	52
3.2.7	<i>Encuestas</i>	53
3.2.8	<i>Base de datos</i>	53
3.3	CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN EN LA TSPJ	56
3.3.1	<i>Estructura demográfica en la TSPJ y sus encargaturas</i>	57
3.3.2	<i>Padecimiento de enfermedades asociadas a la IRC en la TSPJ</i>	59
3.4	ASOCIACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO ANTE LA IRC	62
3.5	FUERZA ASOCIACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO ANTE LA IRC	64
4	ANÁLISIS ESPACIAL APLICADO A LA IRC EN LA TSPJ Y SUS ENCARGATURAS	68
4.1	PROCESO PUNTUALES	68
4.1.1	<i>Mapa de Puntos</i>	69
4.2	ANÁLISIS DE LA IRC A PARTIR DE CUADRANTES (QUADRATS).....	71
4.2.1	<i>Mapa de densidad de población</i>	75
4.2.2	<i>Mapa de promedio de edades</i>	76
4.2.3	<i>Mapa de prevalencia de IRC y sus factores de riesgo</i>	79
4.2.4	<i>Mapa de prevalencia de Diabetes Mellitus (DM)</i>	83
4.2.5	<i>Mapa de prevalencia de Hipertensión Arterial (HTA)</i>	85
4.2.6	<i>Mapa de prevalencia de Infecciones en Vías Urinarias (IVU)</i>	88
4.3	AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	90
4.3.1	<i>Índice de Moran Global y Local aplicado a factores de riesgo ante a la IRC</i>	94
4.3.2	<i>Indicador Local de Autocorrelación Espacial (LISA)</i>	97
4.3.3	<i>Resultados de autocorrelación LISA con valores de prevalencia</i>	97

4.4	SUPERPOSICIÓN DE MAPAS	99
4.5	MAPA DE RIESGO EPIDEMIOLÓGICO ANTE LA IRC EN LA TSPJ Y SUS ENCARGATURAS	104
5	CONCLUSIONES	109
6	BIBLIOGRAFÍA.....	112
7	ANEXOS.....	117
7.1	ASOCIACIÓN DE FACTORES DE RIESGO ANTE LA IRC EN STATA V.13	117
7.2	MODELO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA EN STATA.....	118
7.3	PONDERACIÓN DE OR EN STATA.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-	Desarrollo histórico de la Geografía Médica.	5
Figura 2.-	Mapa de puntos del anesthesiólogo John Snow.	7
Figura 3.-	Componentes de un Sistema de Información Geográfica	8
Figura 4.-	Mortalidad nacional de IRC y DM.....	11
Figura 5.-	Categoría de progresión renal	13
Figura 6.-	Incidencia y prevalencia de la enfermedad renal crónica 1999-2007.	18
Figura 7.-	Tasas de enfermos renales y tasas de mortalidad.....	18
Figura 8.-	Datos históricos defunciones por IRC en México (2000-2010).....	21
Figura 9.-	Distribución de la tasa cruda de mortalidad a causa de IRC,.....	22
Figura 10.	Diagrama de flujo para obtener áreas de riesgo epidemiológico ante la IRC en la TSPJ.	26
Figura 11.	Localización del área de estudio.	29
Figura 12.	Red hidrología 18 Rio Balsas. Tuxpan-Ciudad Hidalgo.	31
Figura 13.	Localización de campo geotérmico los Azufres y la TSPJ.	36
Figura 14.	Metodología del estudio epidemiológico UPEIS- UNAM.....	44
Figura 15.	Posibles límites administrativos en la zona de estudio.....	46
Figura 16.	Esquema metodológico para obtener la base de datos epidemiológicos en la TSPJ.	48
Figura 17.-	Posible delimitación de la zona de estudio.	50
Figura 18.	Clave de localización de manzanas en la TSPJ y sus encargaturas.	51
Figura 19	Cartografía preliminar para el EEFAIRCPCDHM.....	52
Figura 20.	Base de datos a partir de encuestas del estudio epidemiológico en la TSPJ.	54
Figura 21.	Base de datos obtenida a partir del EEFAIRCPCDHM	55
Figura 22.	Estructura poblacional de la TSPJ y sus encargaturas.....	58

Figura 23. Pirámide poblacional en la TSPJ.....	59
Figura 24. Tasa de prevalencia de IRC y enfermedades asociadas en TSPJ	61
Figura 25.- Mediciones utilizadas en epidemiología.	62
Figura 26.- Modelo de la regresión logística	66
Figura 27. Mapa de puntos (Distribución de la población en la TSPJ, 2012).....	70
Figura 28.- Técnica para analizar datos puntuales georeferenciados (<i>Quadrats</i>).....	71
Figura 29. Valor Z para cada tamaño de celda, la línea punteada indica el valor de referencia.	73
Figura 30. Mapa de rejillas de tamaño 150 x 150m utilizadas para el análisis cuadrático	74
Figura 31.- Clasificación de densidad poblacional.....	75
Figura 32. Mapa densidad de población en la TSPJ y sus encargaturas.	77
Figura 33. Mapa edad media en la TSPJ sus encargaturas	78
Figura 34. Mapa de prevalencia de IRC en la TSPJ y sus encargaturas	82
Figura 35. Mapa de prevalencia de DM en la TSPJ y sus encargaturas,	84
Figura 36. Mapa de prevalencia de HTA en la TSPJ y sus encargaturas.....	87
Figura 37. Mapa de prevalencia de IVU en la TSPJ y sus encargaturas.....	89
Figura 38.- Patrones de autocorrelación espacial	91
Figura 39. Asociación espacial y correlación.	92
Figura 40. Medida de contigüidad espacial según los criterios Rooks, Bishop y Queen.....	93
Figura 41. Diagrama de dispersión (Anselin, 1995).....	93
Figura 43. Índice de Autocorrelación <i>I Moran Global</i> en factores de riesgo ante la IRC	96
Figura 43. Mapa de autocorrelación Local (prevalencia)	98
Figura 44.- Transformación del modelo de datos vectoriales a modelo raster.	100
Figura 45.- Combinación de capas raster para obtener información derivada.....	100
Figura 46. Modelo de superposición de mapas temáticos	103
Figura 48.- Clasificación de puntajes obtenidos del proceso de superposición.....	106
Figura 49. Mapa de riesgo epidemiológico ante la IRC en la TSPJ y sus encargaturas.	108

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Técnicas geoespaciales.	9
Cuadro 2.- Factores de riesgo ante la IRC.....	15
Cuadro 3.- Resumen de estudios con SIG aplicados a la IRC en el mundo	20
Cuadro 4.- Prevalencia de IRC en Morelia.....	23
Cuadro 5.- Comparación entre el estudio de Morelia, 2005 y San Pedro Jácuaró, 2011.....	24
Cuadro 6.- Sitios de muestreo de agua en San Pedro Jácuaró, Cd Hidalgo.....	34
Cuadro 7.- Parámetros, métodos (APHA, 1998) utilizado para la evaluación de calidad de agua.	37

Cuadro 8.- Resultados de análisis de muestreo de agua en la TSPJ	39
Cuadro 9.- Claves del MGN para la TSPJ y sus 9 encargaturas	47
Cuadro 10.- Selección y tipos de variables incluidas en el estudio.	56
Cuadro 11.- Distribución de grupos de edad en la TSPJ y sus encargaturas	57
Cuadro 12.- Casos reportados con alguna enfermedad crónica asociada a la IRC	60
Cuadro 13.- Prevalencia (x 100) de enfermedades asociadas a la IRC.....	61
Cuadro 14. Resultado de la prueba Chi cuadrada ente IRC y sus diversas variables	64
Cuadro 15.- Razón de momios de IRC ajustado por DM, HT y IVU	66
Cuadro 16.- Datos de IRC en la zona de estudio.....	80
Cuadro 17.- Clasificación de riesgo sobre la prevalencia de IRC.	81
Cuadro 18.- Datos de DM en la zona de estudio.	83
Cuadro 19.- Casos reportados con HTA en la zona de estudio.....	85
Cuadro 20.- Casos reportados con IVU en la zona de estudio.....	88
Cuadro 21.- Escenarios de la autocorrelación LISA.....	94
Cuadro 22.- Prueba de autocorrelación espacial I de Moran global	95
Cuadro 23.- Datos de reclasificación de valores de cada variable integrada al proceso de superposición de mapas .	102
Cuadro 24.- Peso ponderado asignado a cada variable a partir de los <i>odds ratio</i>	104

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.- Visita al campo Geotérmico “Los Azufres”. UPEIS-CIATEJ.....	35
Fotografía 2.- Toma de muestras en sitios de accesibilidad complicada.	35

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AGEB: Área Geoestadística Básica

APHA: Asociación de Salud Pública Americana (del inglés American Public Health Association)

AS: Arsénico

Ca²⁺: Calcio

Cd: Cadmio

Cd: Ciudad

CFE: Comisión Federal de Electricidad

CIATEJ: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.

CKDu: Enfermedad Renal Crónica de Origen desconocido (del inglés Chronic Kidney Disease of unknown cause.

Cr: Cloruro

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad

DCr: Depuración de Creatinina

DM: Diabetes Mellitus

DQO: Demanda de Oxígeno

EEFAIRCPCDHM: Estudio Epidemiológico de los Factores Asociados a la Insuficiencia Renal Crónica en una Población de Ciudad Hidalgo Michoacán.

ENSANUT: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.

ER: Enfermedad Renal

ERC: Enfermedad Renal Crónica

ERCT: Enfermedad Renal Crónica Terminal

FMR: Fundación Mexicana del Riñón.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global (del inglés Global Position System)

HTA: Hipertensión Arterial

INEGI: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

IPC-MS: Espectrometría de Masas con Fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (del inglés inductively coupled plasma mass spectrometry)

IRC: Insuficiencia Renal Crónica

IVU: Infecciones en Vías Urinarias

KDOQI: Fundación Nacional del Riñón Resultados de Iniciativa de Calidad (del inglés The National kidney foudation kidney disease outcomes quality initiative)

LISA: Indicadores de Autocorrelación Espacial Local

LC: La Cuadrilla

LmP: Límite Máximo Permisible

mph: Millón por Habitante

MGM: Marco Geoestadístico Municipal

OD: Oxido Disuelto

OMS: Organización Mundial de la Salud

PCP: Pentaclorofenol

Ph: Potencial de Hidrógeno

ppm: Partes Por Millón

KML: Formato intercambiable de datos espaciales (*Keyhole Markup Language*)

RaRu: Rancho Ruiz

RiRu: Rincón de Rubios

SDT: Solidos Disueltos Totales

SIG: Sistemas de Información Geográfica

SJI: San José Irapeo

SNCH: San Nicolás Cuchipitio

SQL: Lenguaje de consulta estructurado (del inglés *Structured Query Language*)

TC: Tierras Coloradas

TFG: Tasa de Filtración Glomerular

TSPJ: Tenencia de San Pedro Jácuaró

TTR: Terapia de Reemplazo Renal

PSCH: Palos Seco Cuchipitío

UTM: Sistema de coordenadas transversales de Mercator

UPEIS: Unidad de Proyectos Especiales de Investigación Socio-Médica

1 INTRODUCCIÓN

La Insuficiencia Renal Crónica (IRC) es una enfermedad multifactorial, silenciosa, degenerativa, irreversible y terminal en la cual los riñones van perdiendo su capacidad de filtrar la sangre de sustancias tóxicas y las personas requieren tratamiento de sustitución de la función renal para conservar la vida (FMR, 2012), la Organización Mundial de la Salud estima que 1 de cada 10 adultos en el mundo tiene algún grado de IRC, por lo que en la actualidad se habla de una epidemia silenciosa a nivel mundial. Esta enfermedad no respeta edad, sexo, raza, nivel educativo, estrato económico, actividad laboral o localización geográfica, si no por el contrario, hay evidencia de que esta enfermedad está presente en países ricos y pobres, está presente en grandes ciudades así como en localidades rurales pequeñas, sin embargo, los estragos económicos presentan mayor impacto en zonas rurales y de bajo estrato económico ya que el tratamiento es altamente costoso (López, 2010).

En México no se cuenta con un registro nacional que permita conocer con exactitud los casos con IRC (Méndez A. *et al*, 2010) sin embargo, la Fundación Mexicana del Riñón refieren que en México existen aproximadamente 140 mil pacientes con IRC, 65 mil personas con tratamiento continuo de diálisis, más de 75 mil enfermos renales crónicos no atendidos adecuadamente y unos 25 mil niños (FMR, 2012), esta fundación ha calculado una tasa de crecimiento de aproximadamente 11% anuales en los últimos 10 años. Por otra parte las estadísticas de mortalidad de Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) reportaron 11,950 defunciones en el 2010, en el 2015, se reportaron 13,300 muertes distribuidas en las 32 entidades del país, estas cifras posicionaron a esta enfermedad entre las onceava y décima causa principal de muerte en México (INEGI, 2015)

Entre los factores de riesgo predominantes o que de alguna manera favorecen la presencia y/o progresión de la IRC se encuentran: la Diabetes Mellitus (DM), la Hipertensión Arterial (HTA), la obesidad, Infecciones en Vías Urinarias (IVU), así como una edad superior a los 60 años, malos hábitos alimenticios y una vida sedentaria (López-Cervantes, 2010; FMR, 2016; KDIGO, 2002; Soriano, 2004; Méndez A. *et al*, 2010) algunos investigadores pronostican un aumento de enfermos renales en los próximos años (López, 2010).

En el presente trabajo de tesis, se aborda el tema de la prevalencia de insuficiencia renal en la Tenencia de San Pedro Jécuaro, Ciudad Hidalgo Michoacán, ya que en la década de los 90, se comenzó a hablar con mayor frecuencia sobre casos con este padecimiento, agudizándose a principios del año 2000. Para el año 2010, la asociación de enfermos del riñón A.C, reportó que por cada 100 casos de IRC en el estado de Michoacán 45 casos son personas de Cd. Hidalgo, específicamente de la TSPJ, debido a esta preocupación, las autoridades en turno solicitaron a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), realizar un estudio epidemiológico.

Dando respuesta a tal preocupación, se desarrolló un estudio transversal denominado “Estudio Epidemiológico de los Factores Asociados a la Insuficiencia Renal Crónica de una población de Ciudad Hidalgo, Michoacán (EEFAIRCPCHM) realizado en el año 2012- 2014 por la Unidad de Proyectos Especiales de Investigación Socio-médica (UPEIS) de la facultad de medicina. En este estudio se desarrolló dos ejes principales: por una parte, se abordó la IRC desde el enfoque epidemiológico (encuestas, mediciones antropométricas, toma de muestra de sangre y orina) y por otra parte, se realizó un estudio de calidad de agua con la intención de encontrar evidencia científica que ayude al entendimiento sobre la etiología de dicha enfermedad.

Uno de los objetivos en dicho estudio, fue la creación de una base de datos georreferenciada al domicilio de la población (capítulo III) con un total de 4,125 sujetos, esta información fue la materia prima en esta investigación con un enfoque geoespacial retrospectivo y exploratorio, el cual no intenta buscar los agentes causales a esta enfermedad, sino a la identificación de áreas prioritarias o de mayor riesgo epidemiológico a partir de los factores de riesgo.

El producto final de esta investigación se ve reflejado en un mapa de riesgo epidemiológico ante la IRC, para lograr dicho material cartográfica fue necesario la información georreferenciada del censo a un nivel puntual, los cuales se sobrepusieron a un conjunto de rejillas regulares y cuadradas de 150m x 150m. las cuales permitieron contabilizar la frecuencia de los sujetos contenidos en cada rejilla, con este procedimiento, se obtuvo los numeradores (casos de DM, HTA, IVU, edad promedio y densidad) y denominadores (población total contenida en cada una de las rejillas) para realizar el cálculo de tasas de prevalencia a una escala fina.

Una vez contruidos los mapas de prevalencia por variable, se utilizó la prueba de Autocorrelación Local (LISA) la cual fue capaz de identificar rejillas con una significancia estadística. Estas rejillas se reclasificaron y posteriormente se transformaron a un formato raster, el cual permite combinar mapas temáticos (factores de riesgo ante la IRC) y asignarles un peso para obtener como producto final un mapa de riesgo epidemiológico en la Tenencia de San Pedro Jácuaró.

1.1 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el tema de la IRC es considerado como un tema relevante debido al impacto adverso en los sistemas de salud a nivel mundial (Soriano, 2004), esto ha generado preocupación a las autoridades de salud en turno, ya que se pronostica que esta enfermedad junto con la DM y la HTA tengan un impacto negativo si no se toman políticas de prevención (López, 2010)

Se tiene evidencia científica de que a nivel mundial se ha estudiado este tema desde muy diversos enfoques debido a su etiología multi-causal. Hasta ahora, no se ha podido establecer causa única a este padecimiento, y debido a su alta incidencia los gobiernos de salud en todo el mundo han realizado investigaciones que van desde un enfoque clínico, epidemiológico, ambiental (Jayasekara *et al.* , 2012; Amato, 2005; Chandrajith *et al.*, 2011; Thomas, 2006). Y con menor frecuencia se ha abordado el tema desde la óptica geoespacial

Este trabajo de tesis que para obtener el grado de maestro en Geografía, plantea una propuesta metodológica de corte geográfico para abordar el tema de la IRC en la Tenencia de San Pedro Jácuaró, ya que por una parte se contó con información georreferenciada del “Estudio epidemiológico de los factores asociados a la IRC en una población de Ciudad Hidalgo, Michoacán” en la cual todos los sujetos que participaron en dicho estudio se localizaron con coordenadas (X,Y) a su domicilio. Esto permitió abordar el tema de la IRC con un enfoque geoespacial.

Sin embargo, cabe reconocer que esta propuesta metodológica, está limitada a abordar el tema de la IRC a un nivel retrospectivo y solamente exploratorio, no intenta explicar las causas a este

padecimiento, sino que de forma exploratoria se enfoca en la búsqueda e identificación de aquellas áreas en la que presenta un riesgo epidemiológico a desarrollar IRC.

Por otra parte, se propone trabajar la información epidemiológica a escalas finas (a través de la sobreposición de rejillas regulares), ya que es muy común en epidemiología reportar la frecuencia de alguna enfermedad en forma de proporciones como es la tasa de prevalencia, sin embargo, estos reportes son de manera general y no contribuyen a identificar aquellas áreas o lugares donde se producen las mayores tasas de prevalencias dentro de una localidad.

1.2 HIPÓTESIS

A partir de los factores de riesgo ante la insuficiencia renal crónica es posible identificar áreas de riesgo epidemiológico en la Tenencia de San Pedro Jácuaró y sus encargaturas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Construir un mapa de riesgo epidemiológico ante la IRC a partir de los factores de riesgo de esta enfermedad.

1.3.2 Objetivos particulares

- Describir la metodología para georreferenciar información del estudio (EEFAIRCPCHM)
- Utilizar la técnica de *Quadrats* para identificar prevalencia a una escala fina.
- Aplicar la autocorrelación espacial Global y Local para identificar rejillas de prevalencias estadísticamente significativas
- Generar cartografía temática a nivel raster de los factores de riesgo ante la IRC (DM, HTA, IVU, edad >60 y densidad de población)
- Utilizar la técnica superposición ponderada para crear un mapa de riesgo epidemiológico a partir de los factores de riesgo ante la IRC.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 La Geografía en Medicina

Desde los inicios de la humanidad el hombre ha intentado dar una explicación mágica, mitológica o divina al desarrollo de los fenómenos naturales que afectan a la sociedad. En el siglo V a.C, Hipócrates de Cos, rechaza las supersticiones y leyendas que señalaban como causantes de enfermedades a las fuerzas divinas, argumentando en su libro “Aires, aguas y lugares” que la enfermedad no era un castigo infligido por los dioses sino la consecuencia de factores ambientales, la dieta y los hábitos de vida. Cada cultura o civilización a interpretado de acuerdo a su cosmovisión la inevitable relación hombre-naturaleza en su complejo binomio Salud-enfermedad.

La ciencias geografía y las ciencias médicas desde hace miles de años están inter conectadas de alguna u otra manera, el interés por estudiar el medio en que se desenvuelve las actividades humanas ha dado lugar a desarrollar teorías que ayudan a interpretar la aparición de enfermedades (Pickenhayn, 1999) (Figura 1)

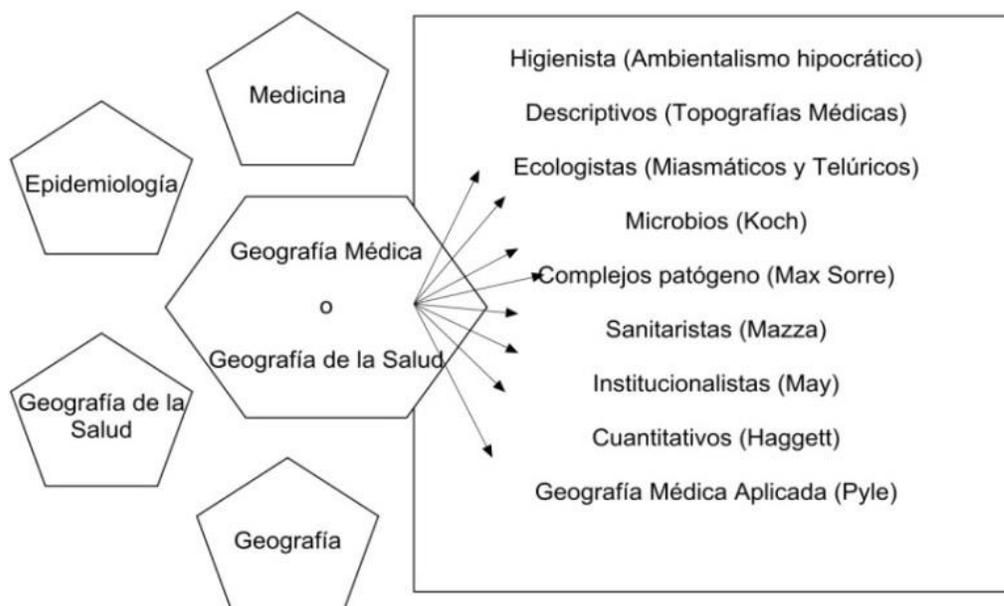


Figura 1.- Desarrollo histórico de la Geografía Médica.
Fuente: Adaptado de Jorge Pickenhayn, 1999

La relación entre la Geografía y la Medicina permite generar las primeras aproximaciones a conocimientos clave; como la existencia de micro-organismos patógenos conocida como la teoría

miásmica en los siglos XVIII y XIX, que sostenía que la transmisión de las enfermedades contagiosas era la consecuencia del contacto con los “efluvios” emanados del enfermo hacia el ambiente. (Sorre, 1947)

Esta teoría dio paso a las topografías médicas que relacionaban las características físicas del lugar, hasta la llegada de Roberto Koch y Pasteur a fines del siglo XIX, con el descubrimiento del bacilo de la tuberculosis identificando a los microorganismos como agentes causales de las enfermedades que revolucionaron el campo del conocimiento médico, este hecho dio un cambio divergente a la Geografía con la era microbiana. (Kumate *et al*, 1993).

1.4.2 EL padre de la epidemiología moderna

En el mundo científico se requiere generar hipótesis que puedan ser comprobadas, ya sea mediante experimento o con hechos observables, como lo mostró el anesthesiólogo y padre de la epidemiología moderna, el Doctor John Snow (1855), quien fue testigo de un brote de cólera que había matado a 500 personas en tan solo 10 días en la ciudad de Londres. *Ibidem*

El mérito de Snow radica en construir el primer mapa de puntos de aquellos hogares donde había ocurrido un fallecimiento, junto a la **localización** de los pozos de agua (dos capas de información, muertes reportadas por cólera y localización de pozos), el Dr. Snow observó todas las muertes distribuidas en el área de *Golden Square* (concentración de puntos o *Hot spot*) lo que le permitió sospechar de la posible contaminación de fuentes de agua cercanas a la bomba de *Broad Street* (Kumate *et al*, 1993). Si este fenómeno de agrupación ocurre, las defunciones tenían causas o fuentes en común.

La cartografía del Dr. Snow logro evidenciar la hipótesis de transmisión del cólera por agua, convirtiéndose así en el primer mapa que aparte de representar la realidad, utiliza un conjunto de variables explicativas geográficas y sociales que intervenían en la aparición de dicho brote (Figura 2).

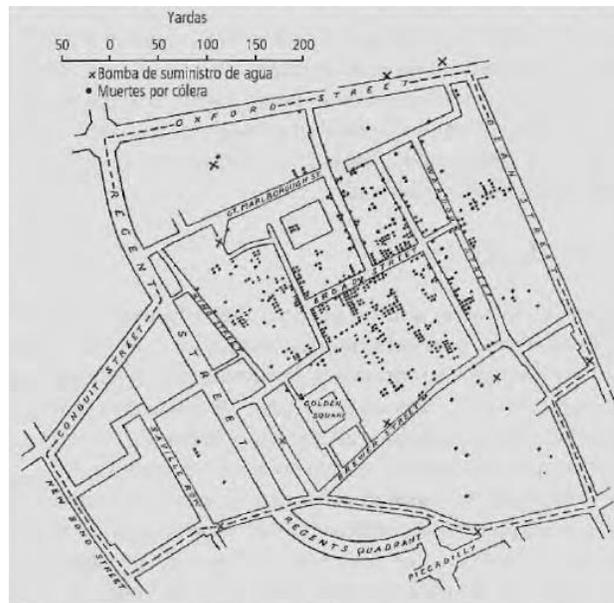


Figura 2.- Mapa de puntos del anestesiólogo John Snow.
Fuente: Tomado de Kumate, 1993

Por su parte el geógrafo J. Brunhes J. (1948), considera la enfermedad como un objeto de estudio para la Geografía, menciona que no dependía tanto las condiciones ambientales que permiten el desarrollo de los microorganismos que las ocasionan, sino que el ser humano consciente e inconsciente, desarrolla ciertas actividades que contribuyen a modificar la geografía de las enfermedades, lo que él llamo *Género de vida*, que alude al conjunto de patrones de civilización e interacción entre la sociedad y el medio.

1.4.3 El padre de la Geografía Médica

Más tarde Max Sorre, considerado el padre de la Geografía Médica, apporto su teoría de los complejos patógenos (Sorre, 1947) menciona que los sistemas especializados involucran un conjunto de elementos biológicos y ambientales en torno a una determinada patología. Para entender la problemática de salud considera la enfermedad como un sistema entre el medio, los seres vivos y el hombre manteniendo relaciones intensas y duraderas integradas por agentes etiológicos. Sorre, sostiene que la Geografía Médica debe abordar el estudio de las áreas de incidencia de los complejos patógenos, de sus movimientos de avance y retroceso de las características ambientales que condicionan su configuración y evolución (Urteaga, 1980).

1.5 LA REVOLUCIÓN CUANTITATIVA

Con la revolución cuantitativa de 1960, dan un salto tecnológico (nueva Geografía) gracias a los aportes de Roger Tomlimson, y Waldo Tobler, ya que son los pioneros en las aplicaciones informáticas destinadas a resolver problemas de corte geográfico, con la llegada de los computadores el enfoque geográfico adquiere un importante dinamismo y diversificación al procesar grandes volúmenes de información con la posibilidad de reproducir e integrar modelos estadísticos de análisis y predicción como los desarrollados por Peter Haggett y Torsten Hägerstrand por mencionar.

1.6 LOS SIG APLICADOS A LA EPIDEMIOLOGÍA

En la era de la informática a finales el siglo XX, la Geografía cuenta con una herramienta sofisticada para analizar el espacio geográfico, son los Sistemas de Información Geográfica (SIG). No existe una definición universal ya que existen definiciones como autores de libros y artículos que hablan sobre la materia, cada grupo de trabajo tiene su propia idea de lo que es un SIG (Quintero, 2009), en general, estos sistemas requieren un hardware, software, recursos humanos, datos y un análisis de la información (Figura 3).



Figura 3.- Componentes de un Sistema de Información Geográfica

Fuente: Adaptado de

Estos sistemas de información integran algoritmos que ayudan a comprender las relaciones, procesos, tendencias y patrones de aquellos fenómenos que son de interés para la ciencia en

general y para la ciencia de la salud en particular. A lo largo de los últimos veinte años, los SIG se han desarrollado rápidamente. (Goodchild *et al.* 2015) incorporando algoritmos geoestadísticos y de análisis espacial en diferentes softwares que pueden ser fácilmente aplicados a estudios geográficos, ecológicos, ambientales y epidemiológicos en diferentes fuentes y formatos (vector y raster), estas métricas relativamente nuevas, resultan un coctel peligroso, cuyos principales ingredientes son: inexperiencia, ilusión y confusión (Garrocho, 1997).

Goodchild (2015) define el análisis espacial como un conjunto de técnicas informáticas (Cuadro 1) basadas en la localización de los objetos o hechos geográficos, permitiendo manipular, organizar, administrar, analizar, procesar o generar nueva información que representen la realidad. El análisis espacial tiene la capacidad de revelar patrones y anomalías que no resultan obvias a primera vista (Longley *et al.*, 2001)

Cuadro 1.- Técnicas geoespaciales.

Técnicas de análisis espacial		
Líneas	Camino aleatorio	SUPERFICIES
	Vectores Teoría de grafos Nodalidad Conectividad Dispersión Jerarquía nodal Análisis de flujo	Isolínea Superficie de tendencias Mapa de comparación Curva de Lorenz Correspondencia de coeficiente área Coefficiente de correlación Mapa de diferencias y similaridad
Puntos	Centro / Distancia estándar Elipse de desviación estándar Análisis de gradientes Análisis de vecino más cercano Varianza/prueba media radio Análisis de cuadrantes Análisis de cluster Análisis puntos calientes Índice de Autocorrelación	ESPACIOS RELATIVOS casos y controles Análisis de rede neuronales Escala multidimensional Análisis de agrupación

Fuente: Adaptado de Albert *et al*, 2000

La Geografía Médica incorpora el análisis espacial de manera recurrente, ya que existe la necesidad de búsqueda e identificación de áreas de mayor riesgo ante una enfermedad, así como

definir zonas de influencia, mapas de susceptibilidad, probabilidad, distribución, tendencia, proximidad, así como la búsqueda de patrones de distribución de enfermedades sobre el espacio geográfico. Esta línea de investigación ha sido desarrollada por autores como; Diggle (2003), Openshaw (1990), Getis A. & Ord J. K, (1992), Anselin (1995), Unwin (1995) etc.

En la actualidad existen una amplia gama de trabajos enfocados al estudio de las enfermedades (Albert *et al.*, 2000) el interés es creciente por estudiar los patrones de punto de la enfermedades ya sean crónicas o transmisibles como es el caso de la Malaria (*Plasmodium falciparum*) en Brasil o el dengue hemorrágico presente en la zona de América del sur, (mosquito *Aedes aegypti*), en las cuales se han empleado técnicas de autocorrelación espacial (Galli *et al.*, 2008) detección de clúster con las técnicas Knox, para detección grupos en tiempo-espacio (Rotela *et al.*, 2004), análisis de puntos calientes (*hot spot*) con la herramienta de Getis-ord Gis (Jeefoo , 2011) , o el *kernel density*, para identificar los patrones de difusión espacial de Dengue (San Pedro, 2009)

En cuanto a las enfermedades crónicas, se han realizado estudios de corte espacial para abordar temas como el Cáncer (Kulldorff *et al.*, 1988). La Leucemia en Inglaterra (Knox E.G. & Gilman E., 1992) o la Insuficiencia Renal Crónica estudiada en varios países del mundo. Tal es el caso de los Balcanes (Thomas *et al.*, 2006) New Zelanda (Mc Lean *et al.*, 2007), Norte de Sri Lanka (Jayasekara *et al.*, 2012), Nicaragua (Brooks 2009) El Salvador (Darcy *et al.*, 2014) o México (Amato, 2005)

1.7 INSUFICIENCIA RENAL CRÓNICA

En México, como en otros países del mundo la IRC está teniendo un impacto negativo en los sistemas de salud pública, hasta el momento no existe estudio alguno que revele causa única a este padecimiento ya que es una enfermedad muti-factorial, degenerativa, terminal y silenciosa, los factores de riesgo predominante o que de alguna manera favorecen la presencia y/o progresión de la IRC se encuentran: la Diabetes Mellitus (DM), la Hipertensión Arterial (HTA), la obesidad, Infecciones en Vías Urinarias (IVU), así como una edad superior a los 60 años, malos hábitos alimenticios y una vida sedentaria entre otras, (López, 2010; FMR, 2012; KDIGO, 2002; Soriano, 2004; Méndez A. *et al.*, 2010) debido a la alta correlación que existente entre la IRC y los factores

de riesgo antes mencionados, investigadores la UNAM han pronosticado un aumento de enfermos renales, si la DM y la HTA aumentan en los últimos años (López, 2010).

En nuestro país no se cuenta con un registro nacional que permita conocer con exactitud los casos con IRC (Méndez A. *et al*, 2010) sin embargo, la Fundación Mexicana del Riñón (FMR) refieren que en México existen actualmente unos 140 mil pacientes con IRC, 65 mil personas con tratamiento continuo de diálisis, más de 75 mil enfermos renales crónicos no atendidos adecuadamente y unos 25 mil niños (FMR, 2012), la fundación ha calculado una tasa de crecimiento de aproximadamente 11% anuales en los últimos 10 años.

De acuerdo a las estadísticas de mortalidad del INEGI reporta un aumento en el número de defunciones según causa de muerte, ya que para el año 2000, se reportaron 8,595 defunciones, mientras que para el 2005, se registraron 10,250, pasando del 13vo lugar al llvo dentro de las 20 principales causas de muerte en México (INEGI, 2015).

Esta tendencia de crecimiento se ha mantenido en el 2010 y para el 2015, con 11, 950 y 13,300 defunciones respectivamente posicionando a esta enfermedad como la 10ma causa de muerte. Esto se agrava aún más, si tomamos en considración que la DM es una de las principales factores de riesgo para desarrollar IRC, la DM está posicionada como la 2da causas de muerte en México. (Figura 4)

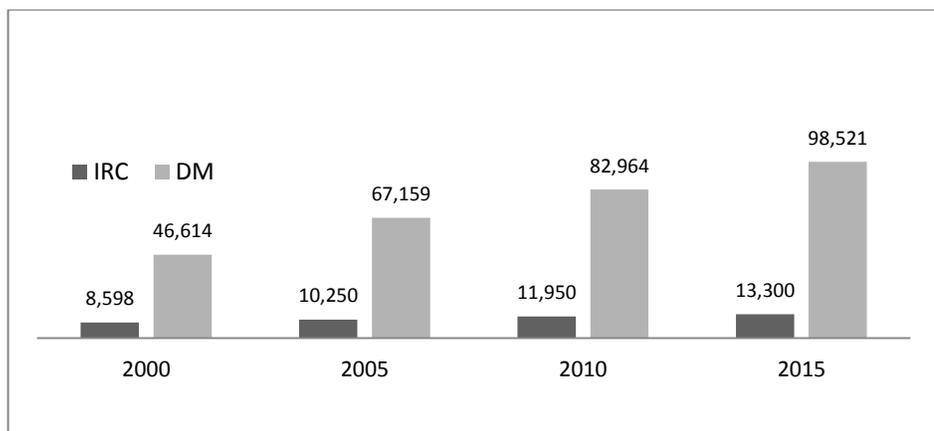


Figura 4.- Mortalidad nacional de IRC y DM.
Fuente: Adaptado de INEGI, 2015

1.7.1 La IRC y su clasificación

Los riñones presentan una gran cantidad de funciones, una de las principales es realizar el filtrado sanguíneo consiguiendo la eliminación de los productos tóxicos y desecho a través de la orina (los riñones tienen que filtrar cerca de 200 lt de sangre a fin de generar 2lt de orina), de esta manera mantienen la presión arterial estable mediante la eliminación de agua y la secreción de hormonas, y a la vez tienen la función de retener y absorber nutrientes (proteínas, glucosa y vitaminas), eliminan sustancias nocivas producidas por el propio cuerpo como la urea y creatinina sérica (Cr) (Hernán, 2003).

Cuando ambos riñones fallan, el cuerpo comienza a retener líquido y sustancias nocivas, entonces la presión sanguínea sube, aparecen edemas y el organismo no produce suficientes glóbulos rojos (comienza a producirse anemia), entre otras afecciones. La mayor parte de las enfermedades crónicas están causadas por la actuación de varios factores de riesgo, para el caso de la IRC, los principales factores de riesgo es la DM, y HTA, ambas responsables de casi dos tercios de los casos de IRC (OMS, 2016). Otras condiciones que afectan a los riñones son las glomerulonefritis, enfermedades hereditarias (enfermedad poliquística), malformaciones, lupus y otras enfermedades autoinmunes, obstrucciones causadas por cálculos renales o tumores, e infecciones urinarias repetidas (NKF, 2013). De igual forma, la contaminación ambiental, plaguicidas, biocidas y metales pesados; el consumo de analgésicos y medicamentos herbales sin prescripción médica (Jha *et al.*, 2013).

En términos formales y de acuerdo con las guías publicadas en el año 2002 por la *National Kidney Foundation Disease Outcomes Quality Initiative* (KDIGO) de Estados Unidos, definen la IRC como: la disminución de la función renal, expresada por una Tasa de Filtración Glomerular (TFG) $<60\text{mL}/\text{m}^2/1.76$ de superficie corporal, con presencia de daño renal, con una duración mayor a 3 meses caracterizada por anormalidades estructurales o manifestaciones indirectas por medio de marcadores de daño renal como albuminuria o proteinuria, alteraciones en sedimentos urinarios (KDIGO, 2002).

La TFG, es ampliamente aceptada como el índice para medir la función renal y varía de acuerdo a la edad, sexo y tamaño corporal. La TFG se obtiene a través del cociente de albumina/creatinina¹ > 30 mg/g en una muestra de orina ya que se correlaciona adecuadamente con la albuminuria de 24 horas para detectar micro o macro albuminuria. Las guías KDIGO proponen un sistema de clasificación en 5 categorías o estadios, determinado en la capacidad de la función renal (Figura 5)

				Categoría de albuminuria persistente descripción y rango		
				A1	A2	A3
				Normal a ligeramente aumentado	Moderadamente aumentado	Severamente aumentado
				< 30 mg/g	30-300 mg/g	>300 mg/g
				< 3 mg/mmol	3-30 mg/mmol	>30 mg/mmol
TFG categoría (ml/min/1.73 m ²) descripción y rangos	G1	Normal	≥ 90			
	G2	ligeramente disminuido	60 - 89			
	G3a	Medio a moderadamente disminuido	45 - 59			
	G3b	Moderadamente a severamente disminuido	30 - 44			
	G4	Severamente disminuido	15 - 29			
	G5	Falla renal	< 15			

Verde	Bajo riesgo (si no hay otro marcador de IRC)	Amarillo	Moderadamente incrementado
Anaranjado	Alto riesgo	Rojo	Muy alto riesgo

Figura 5.- Categoría de progresión renal .
Fuente: Adaptado de KDIGO, 2002.

Como se muestra en la figura anterior, el estadio 1 y 2 se caracteriza por una TFG normal y ligeramente disminuida a 90ml/min/1.73m², en este estadio no es posible tener certeza para diagnosticar la existencia de un daño renal, ya que el riñón tiene la capacidad de compensar su trabajo si alguno de los dos tuviese algún daño. Por esta razón, se dice que la IRC no se puede detectar a tiempo, sino que, se detecta cuando ya hay un daño evidente.

El estadio 3 presenta una TFG moderadamente disminuida entre 30 y 59 ml/min/1.73m², debido a una acumulación de sustancias tóxicas en el torrente sanguíneo provocando anormalidad en el funcionamiento del cuerpo como es la uremia, hipertensión, anemia y alteraciones en el

¹ Los valores normales de creatinina para hombres es de 0.7 a 1.3 mg/dl y para las mujeres es de 0.6 a 1.1 ya que las mujeres tienen una masa muscular menor, estos niveles varían con base a la talla y la masa muscular de una persona

metabolismo óseo, retención de agua, dificultad para conciliar el sueño, fatiga, cambios en la frecuencia urinaria, espuma cuando hay proteinuria y coloración oscura que refleja hematuria (López , 2010). Una vez que los valores de la TFG se encuentran disminuida entre 15 a 29 ml/min/1.73m² se dice que tiene un estadio renal nivel 4, con riesgo alto de padecer IRC.

Cuando la TFG está por debajo de 15 ml/min/1.73m² el paciente presenta un fallo renal (estadio 5) y es necesario comenzar con la terapia de remplazo renal (Marin, 2009).

1.8 FACTORES DE RIESGO ANTE LA IRC

La palabra riesgo proviene del latín *resecum* “acto de dividir” más tarde en la época medieval en el lenguaje náutico se refería a un peñasco que ponía en peligro a los barcos “peligro oculto”.

La palabra riesgo es un vocablo polisémico utilizado en distintas áreas del conocimiento como la Economía, Geografía, Epidemiología, su objetivo es indicar la anticipación de eventos o fenómenos, sin embargo, cada una de estas ciencias utiliza el término “riesgo” desde su propio enfoque (Almeida *et al*, 2009).

A su vez, riesgo es la “probabilidad de peligro, generalmente como amenaza física para el hombre y/o para el medio ambiente”. El concepto de riesgo homogeniza las contradicciones en el presente, estableciendo que solo se puede administrar el riesgo (futuro) de modo racional, es decir, a través de la consideración de criterios de probabilidad de ganancias y pérdidas (vida/muerte), según las decisiones tomadas (*Ibidem*).

El concepto de riesgo en epidemiología se formalizo a partir del trabajo de William Howard en 1921. Publicado en la revista *American Journal of Hygiene* y lo define en términos de proporciones como “el número de afectados y el número de expuestos”. El riesgo en epidemiología equivale a efecto, probabilidad de ocurrencia de una patología en una población determinada (Citado en Almeida, *et al*, 2009).

Factores de Riesgo: De acuerdo con la OMS, un factor de riesgo es cualquier rasgo, característica o exposición de un individuo que aumente su probabilidad de sufrir una enfermedad o lesión (OMS, 2016), Soriano (2014) divide los factores de riesgo ante la IRC en tres grupos; susceptibilidad, iniciadores y de progresión. (Cuadro 2)

Cuadro 2.- Factores de riesgo ante la IRC

Factores de susceptibilidad	Factores que aumentan el riesgo de desarrollar IRC.	Edad > 60 años
		Historial familiar
		Masa renal disminuida
		Bajo peso al nacer
		Raza afroamericana
		Diabetes Mellitus (DM)
Factores iniciadores	Factores implicados en el inicio del daño renal.	Hipertensión Arterial (HTA)
		Enfermedades autoinmunes
		Infecciones urinarias
		Fármacos neurotóxicos
		Diabetes Mellitus (DM)
Factores de progresión	Factores que determinan la progresión de la enfermedad renal.	Hipertensión Arterial (HTA)
		Proteinuria persistente
		Hipertensión mal controlada *
		Diabetes mal controlada*
		Tabaco
		Dislipidemia
		Anemia
Enfermedad cardiovascular asociada		

Fuente: Tomado de Soriano, 2004

Entre los factores de riesgo asociados a la IRC se encuentran la edad >60 años, antecedentes heredofamiliares, masa renal disminuida, bajo peso al nacer, que escapan a nuestro control, pero existen otros que podemos prevenir como; la HTA, enfermedades cardiovasculares, sedentarismo, altos niveles de glucosa en sangre (DM), infecciones en el tracto urinario (IVU), exposición a tóxicos, tabaquismo, alcoholismo, exposición a fármacos y obesidad entre otros.

A continuación se hace un descriptivo somero de tres enfermedades consideradas con factores de riesgo ante la IRC.

Diabetes Mellitus (DM): Es considerada como el principal factor de riesgo a desarrollar IRC, ya que en el año 2005 se reportó una prevalencia en México de 25% en la población general entre 25 y 40 años de edad (López, 2010). La diabetes va en aumento en el mundo, hay 347 millones de diabéticos, convirtiéndose en una pandemia (OMS, 2016)

De acuerdo a la OMS, la diabetes es una enfermedad crónica que aparece cuando el páncreas no produce insulina suficiente o cuando el organismo no utiliza eficazmente la insulina que produce. La insulina es una hormona que transforma los hidratos de carbono consumidos en energía, es decir ayuda a la glucosa a entrar a las células para suministrar energía. Sin insulina el azúcar procedente de los alimentos y las bebidas se acumula en la sangre, este efecto es conocido como hiperglucemia (aumento del azúcar en la sangre), la cual puede dañar los vasos sanguíneos de los riñones, debido a que estos se estrechan y pueden obstruirse provocando una disminución de sangre (KDIGO, 2002).

Existen 2 tipos de diabetes: **Tipo 1** anteriormente conocida como la juvenil: Se caracteriza por la ausencia de síntesis de insulina. “el cuerpo no produce insulina”. **Tipo 2** anteriormente conocida como del adulto. En la que el cuerpo es incapaz de utilizar eficazmente la insulina, originando que la glucosa permanezca en la sangre y con el tiempo puede causar ceguera, ataques cardiacos, accidentes cardiovasculares, IRC y amputaciones.

La Hipertensión Arterial (HTA): es definida como la fuerza que ejerce la sangre contra las paredes de los vasos sanguíneos cuando el corazón bombea sangre alrededor del cuerpo (119/79 mmH), si esta presión se vuelve demasiado alta (140/90 mmH) o más se dice que uno tiene presión arterial alta o hipertensión que puede dañar los vasos sanguíneos reduciendo el suministro de sangre a órganos importantes como los riñones, siendo esta enfermedad un importante factor de riesgo de enfermedades cardiovasculares y renales (NOM-030-SSA2, 2001), este padecimiento no solo es consecuencia sino que contribuye a la progresión de la IRC (Evans & Taal, 2011).

Infección en Vías Urinarias (IVU): Si la orina permanece mucho tiempo en la vejiga, puede provocar una infección en las vías urinarias debido a la presencia de bacterias, pequeños organismos parecidos a los gérmenes que pueden provocar enfermedades, estos crecen

rápidamente en la orina que contiene altos niveles de azúcar, a menudo estas infecciones afectan a la vejiga, aunque a veces se extienden a los riñones.

1.9 PANORAMA DE LA IRC EN EL MUNDO

Actualmente la humanidad está experimentando lo que algunos científicos llaman la “transición epidemiológica” una interpretación del complejo salud-enfermedad de la dinámica poblacional en la cual, las enfermedades infecciosas están siendo desplazadas progresivamente por enfermedades crónico-degenerativas producidas por el ser humano y su estilo de vida (Hernán, 2003).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) estiman que 1 de cada 10 adultos tiene algún grado de enfermedad renal, junto con la DM y la HTA sumadas al envejecimiento, son los principales factores de riesgo para desarrollar IRC (OMS, 2014). La OMS ha decretado que existen aproximadamente 150 millones de personas con diabetes las cuales si no reciben atención a este padecimiento, en los próximos años estas personas estarán llenando las unidades nefrológicas que en el momento actual ya están siendo insuficientes.

De acuerdo con el informe anual de datos renales de Estados Unidos (URSDS, 2013) esta enfermedad está presente en diferentes países del mundo, lo cual ha planteado una preocupación con posibilidad de crisis futura de salud pública. Países como Taiwán, Estados Unidos y Japón presentan incidencias y prevalencias altas para el periodo comprendido entre 1999 a 2007 (Stenvinkel, 2010) (Figura 6).

Las estadísticas de Estados Unidos reportan que esta enfermedad casusa un impacto económico fuerte ya que gasta entre 70 y 50 mil dólares por año/paciente, en el cual la incidencia es de 150 a 200 pacientes por millón, con una prevalencia de entre 1100 y 1300 pacientes por millón, en contraste con países latinoamericanos de entre 200 y 600 por millón de habitantes lo cual denota un importante sub registro (Serralde, 2010)

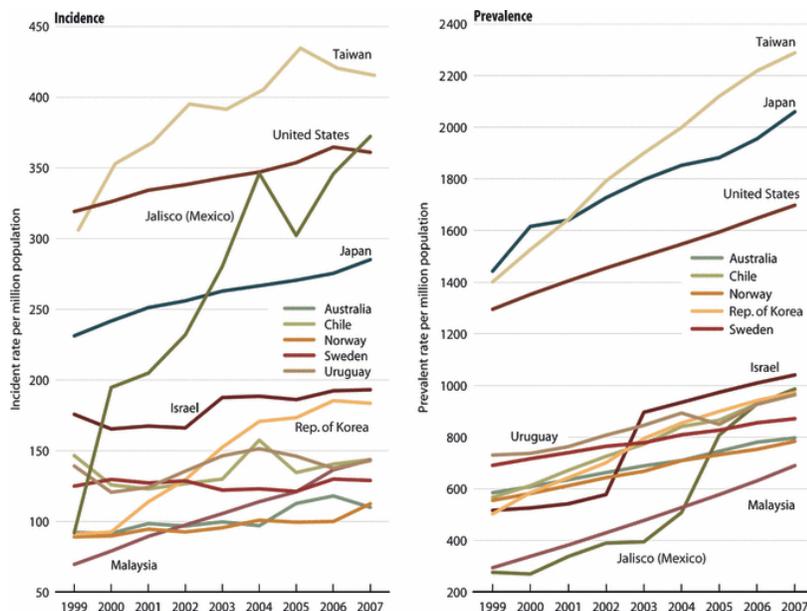


Figura 6.- Incidencia y prevalencia de la enfermedad renal crónica 1999-2007.
Fuente: Tomado de Stinvekel, 2010

La OPS/OMS para el año 2000-2005, reportan que en los países de las Américas presentan altas tasas de mortalidad así como de reportes de enfermos renales, dentro de la lista de países figura El Salvador, Nicaragua y Perú. (Figura 7).

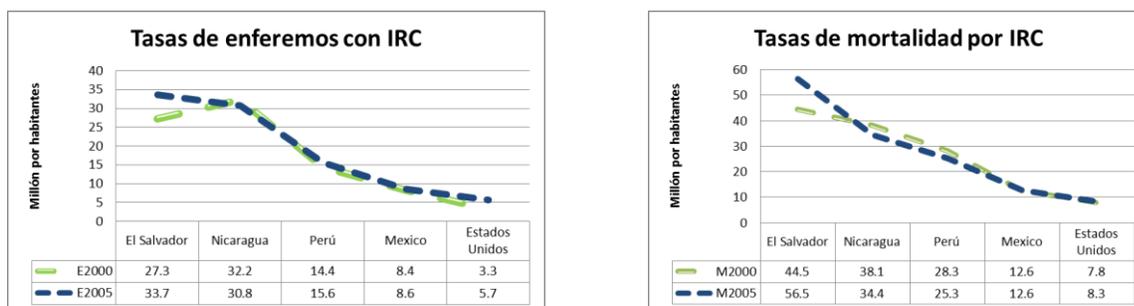


Figura 7.- Tasas de enfermos renales y tasas de mortalidad.
Fuente: Adaptado de OPS/OMS, 2016

Un caso en particular es El Salvador, ya que persiste un crecimiento de tasas de enfermos renales con 27,3 millón por habitantes (mph) en el año 2000 y aumentó a 33,7 mph en el 2005, este crecimiento lo mantiene en las tasas de mortalidad para el mismo periodo con 44,5 mph a 56,5 mph. Estas altas tasas han despertado el interés a las autoridades en turno de El Salvador y actualmente se le conoce como nefropatía mesoamericana de origen desconocido.

El año 2014, se publicó un estudio de tipo transversal para identificar la prevalencia de la IRC de origen desconocido en el Salvador, en el cual se asoció a la enfermedad renal con el cultivo de caña de azúcar, a partir de una regresión bivariada ponderada, mostrando una fuerte relación con la proximidad a dichos cultivos. El índice de Moran mostró agrupación entre las tasas de ingresos hospitalarios de enfermos renales y el porcentaje de áreas de caña de azúcar, así como el cultivo de algodón (Darcy, 2014)

Como se puede apreciar ésta enfermedad despierta el interés en su estudio y se hace evidente ya que no siempre están presentes los factores de riesgo como la DM o la HTA, sino que están asociados a otros factores como a la exposición de contaminantes encontrados en el ambiente (Jayatilake *et al.*, 2013). Como lo reportado en las investigaciones realizadas al norte de Sri Lanka y los Balcanes.

En el año 2002, en la región de los Balcanes (Serbia, Bulgaria, Rumania, Croacia y Bosnia) se asoció la IRC a una nefropatía endémica de etiología desconocida, sin embargo, se cree que puede estar ligada a la exposición de uno a más agentes ambientales (hidrocarburos tóxicos lixiviados de carbono en abastecimientos de agua). Aunque no se encontró evidencia suficiente, la hipótesis ambiental incluye la exposición a metales pesados, arsénico, nitrógeno disuelto, compuestos orgánicos, lixiviados de depósitos de carbón, magnesio y selenio (Thomas *et al.*, 2006)

En New Zelanda se documentó desde 1984 como factor ocupacional de riesgo para la enfermedad renal el uso de Pentaclorofenol (PCP), principalmente en aserraderos ya que es una sustancia sintética (biocida) que se ha utilizado en todo el mundo para fines tan variados como agente antimicrobiano, detergente y conservante de la madera, sin embargo su uso fue restringido por su toxicidad (Mc Lean *et al.*, 2007).

En Sri Lanka, se enfocaron en la distribución geográfica de embalses de agua, canales de riego y la topografía del lugar. Así como de la distribución geográfica de enfermos renales usando SIG (Arc Gis 9.2 y GPS). Aunque no se menciona en el estudio la técnica de análisis espacial utilizada, si se mencionan que se georreferenciaron los casos con IRC (863 hogares), se analizaron las características demográficas y la distribución de enfermos renales (densidad) y la relacionaron con la distribución de los embalses de agua, canales de riego y la topografía de la zona afectada que

ayudaría a identificar el factor potencial etiológico que podría estar asociado con la enfermedad (Jayasekara *et al.*, 2012). (Cuadro 3).

Cuadro 3.- Resumen de estudios con SIG aplicados a la IRC en el mundo

País	Método espacial	Software	Objetivo	Referencia
Los Balcanes: Serbia Bulgaria Rumania	<ul style="list-style-type: none"> Muestra de agua en pozos y manantiales Correlación geográfica. 	-----	Buscar la relación en los lixiviados de hidrocarburos (lignito plioceno) en abastecimientos de agua potable, no se encontró algún elemento nefro- tóxico.	(Thomas C. <i>et al.</i> , 2006)
Nicaragua	-----	-----	A partir de entrevistas a médicos obtuvieron información para relacionar de manera cualitativa la enfermedad renal y la exposición al calor	(Daniel B. <i>et al.</i> , 2009)
Norte de Sri Lanka	<ul style="list-style-type: none"> GPS y SIG Relación áreas topográficas y embalses 	Arc Gis 9.2	Relacionar atributos topográficos (factores de riesgo) características demográficas, (ubicación de hogares) con relación a los embalses y canales de riego para identificar zonas de prevalencia de IRC	(Jayasekara J. <i>et al.</i> , 2013)
El Salvador	<ul style="list-style-type: none"> Kriging Regresión bivariada. Índice de Moran 	Surfer GWR GeoDa	Evaluar la relación geográfica entre la enfermedad renal crónica, población no diabética con proximidad en los cultivos de caña de azúcar y temperatura ambiente en el Salvador.	(Darcy R. <i>et al.</i> , 2014)

Fuente: Elaboración propia

Nota: La búsqueda bibliográfica se realizó a través de la página web de PubMed:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>.

1.10 Panorama de la IRC en México

De acuerdo con los datos de ENSANUT (2006), la IRC afecta a 7 millones de mexicanos, esto se complica aún más ya que no tenemos un sistema de registro nacional de pacientes que padecen la IRC (Méndez A. *et al.*, 2010), la mayor parte del conocimiento está basado a partir de encuestas epidemiológicas realizadas por algunas instituciones como el IMSS, ISSSTE, Hospitales civiles, Secretaría de Salud y Hospitales privados encargados de dar tratamiento a enfermos renales.

La Fundación Mexicana del Riñón refieren que en México existen aproximadamente 140 mil pacientes con IRC, 65 mil personas con tratamiento continuo de diálisis, más de 75 mil enfermos renales crónicos no atendidos adecuadamente y unos 25 mil niños (FMR, 2012).

Por otra parte, de acuerdo a las estadísticas de defunciones causadas por IRC del INEGI a nivel estatal en el periodo de 2000 a 2010 reporta que los estados donde se presentan una tendencia de aumento son; Edo. México, Puebla y Veracruz, con más de 600 defunciones por año (Figura 8). Mientras que Guanajuato, Jalisco Chiapas, Distrito Federal, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Michoacán y Oaxaca reportan entre 200 a 600 defunciones anuales. Los estados que reportan menos de 200 defunciones por año son; Baja California Sur, Campeche, Colima, Durango, Nayarit y Quintana Roo. (INEGI, 2010)

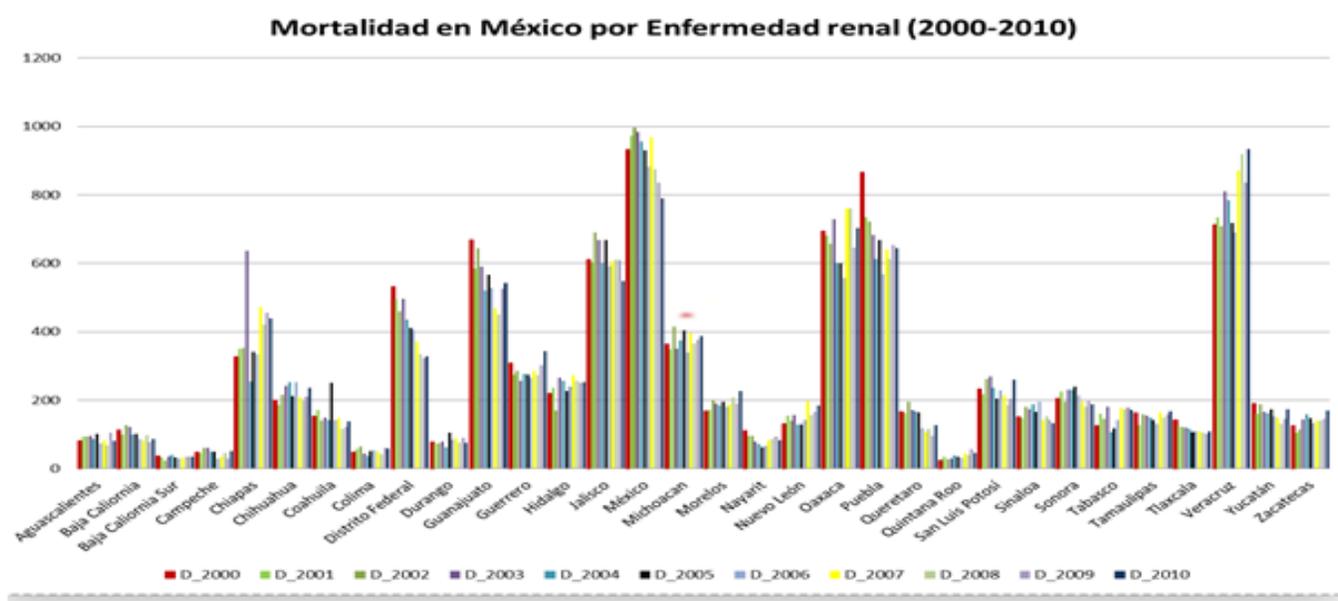


Figura 8.- Datos históricos defunciones por IRC en México (2000-2010)
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010

A manera de ejercicio se construyó un mapa de la distribución de la mortalidad a causa de la IRC en México para el periodo 2005. Se tomó la frecuencia de mortalidad a causa de IRC para el periodo 2005 y se ajustó a la población por estado para el mismo periodo, esto con el fin de ver la variación de aquellos estados con un reporte de altas tasas de mortalidad a nivel nacional.

Los resultados muestran que el estado con mayor tasa de defunción por IRC es Colima con más del 60 muertes por cada 100,000 habitantes, seguido por Coahuila con un 17 mientras que los estados centrales como Veracruz, Puebla, Oaxaca, Tlaxcala, Hidalgo, D.F, Morelos, Michoacán y Jalisco están en el rango de 10 y 15 por cada 100,000 hab. Los estados que presentaron una tasa

baja de mortalidad son: Quintana Roo y Chihuahua con menos de 5 muertes por cada 100,000 habitantes (Figura 9)

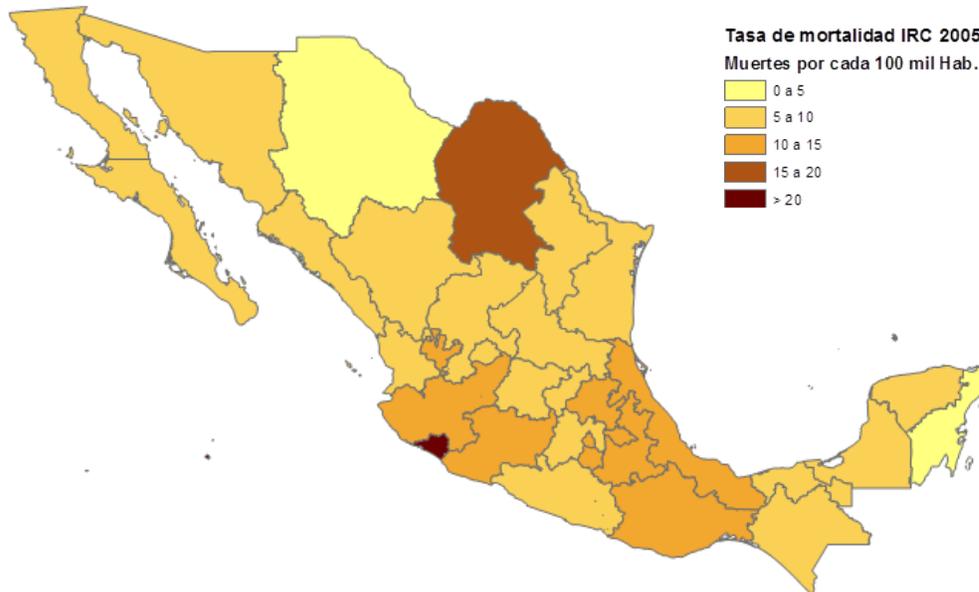


Figura 9.- Distribución de la tasa cruda de mortalidad a causa de IRC,
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2005

A este material cartográfico habría que integrarle más variables que ayuden a entender esta dinámica, ya que existen diferencias en cuanto a la cantidad de unidades nefrológicas, así como de recursos humanos capacitados para atender a pacientes con este padecimiento.

Sin embargo el mapa de distribución de tasa de mortalidad a causa de la IRC ofrecen una efímera aproximación de cómo se está distribuyendo la mortalidad de esta enfermedad en México, ya que se ha posicionado entre las 10 principales causas de muerte en el país.

Dado la necesidad que existe por conocer la prevalencia de esta enfermedad en México, en el 2005 y 2011 se realizaron dos estudios epidemiológicos, uno realizado en la Ciudad de Morelia y el otro en la Tenencia de San Pedro Jácuaró, municipio de Ciudad Hidalgo, Michoacán respectivamente que a continuación se hace mención.

En el año 2005, se realizó un estudio de tipo transversal para conocer la prevalencia de la IRC en México, este estudio se llevó a cabo en la Ciudad de Morelia, Michoacán, en el cual se incluyó a 3,564 pacientes afiliados al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Para el estudio fueron seleccionados al azar ambos géneros, con edad de >18 años, la metodología incluyó mediciones antropométricas así como muestra de sangre y orina, se calculó la depuración de creatinina (DCr) mediante la fórmula Cockcroft-Gault y se clasificaron en 5 categorías de acuerdo a las guías de KDOQI.

Los resultados de este estudio fueron; que en la ciudad de Morelia había una prevalencia de 1142 por millón de habitantes (mph), con 377 casos (Cuadro 4). Una de las conclusiones a lo que se llegó fue que en México, había una prevalencia de la IRC similar a la observada en los países industrializados (Amato, 2005)

Cuadro 4.- Prevalencia de IRC en Morelia

Ccr(mL/min/1.73m ² BSA) ^a	N	Prevalencia (pmp) ^b	95%CI
≥90	2226	626,034	612,628-639,442
60 – 89	1034	289,181	276,618 – 301,744
30 - 59	290	80,788	73,237 – 88,339
15 – 29	10	2855	1367 – 4333
≤15	4	1142	206 – 2078
Total	3564	1,000,000	

Fuente: Tomado de Amato, 2005

Por su parte, la Unidad de Proyectos Especiales de Investigación Socio-médica, (UPEIS) de la UNAM, en conjunto con el Instituto Nacional de la Nutrición, Salvador Zubiran de la Ciudad de México, en el 2011 realizaron un estudio epidemiológico transversal denominado: “Estudio Epidemiológico de los Factores Asociados a la Insuficiencia Renal Crónica en la Población de Ciudad Hidalgo, Michoacán (EEFAIRCPCHM) con el objetivo de conocer los factores de riesgo ante la IRC en la Tenencia de San Pedro Jácuaró (TSPJ) Ciudad Hidalgo, Michoacán.

Algunas de las conclusiones a las que llegó este grupo de investigadores fue que: el 60% de la población afectada es femenina, en la cual la prevalencia de DM es de 8.97%. Las tasas de

prevalencia de la IRC en estadios 2 a 4 en adultos son más bajos que las que las reportadas por Amato en el 2005 y en grupos de no mexicanos, Sin embargo, encontraron una alta prevalencia en enfermos en estadio 5 y en individuos trasplantados (Cuadro 5).

Cuadro 5.- Comparación entre el estudio de Morelia, 2005 y San Pedro Jácuaró, 2011.

GFR categories (mL/min/1.73 m ²)	Description and range	Freq.	Jacuaro 2011 Prev/mill	Amato 2005 Prev/mill	Jacuaro 2011 CKD Percentage	Amato 2005 CKD Percentage	K/DOQI 2002
Normal or high	>=90	1,763	828867	626034	82.9	62.5	64.3
Mildly decreased	60-89	313	147156	289034	14.7	29	31.2
Mildly to moderately decreased	45-59	38	17866	80788	1.8	8.1	4.2
Moderately to severely decreased	30-44						
Severely decreased	15-29	5	2351	2855	0.2	0.3	0.2
Kidney failure	< 15	8	3761	1142	0.4	0.1	0.2
		2,129			100	100	

Fuente: Tomado de Pacheco

Una característica de relevancia en el estudio de la UPEIS-2012 y para este trabajo de tesis, fue la integración de información georreferenciada de la población, conocer la localización de la población en estudio permite aplicar métricas espaciales que ayudan a estudiar el comportamiento y distribución de los atributos de la población.

1.11 ESQUEMA GENERAL DEL TRABAJO DE TESIS

Todos o casi todos los análisis geográficos comienzan con preguntas como: ¿qué?, ¿dónde? y ¿cuándo? sucede algún evento. Estas preguntas se reducen a dos tipos claves de la actividad del análisis espacial; 1) Descripción de patrones espaciales y 2) Relaciones del patrón espacial (Openshaw, 1984).

Esta tesis se enfoca en la primera actividad (descripción de patrones espaciales) dado que se cuenta con información de ¿dónde? están los enfermos renales es posible describir el patrón de distribución en función a los factores de riesgo ante la IRC.

Se denomina como patrones espaciales puntuales al conjunto de las localizaciones en que se manifiesta un fenómeno puntual, dichas localizaciones se denominan “eventos”, a fin de distinguir

del resto de los puntos de la región de estudio (Cressie, 1993). Conocer si existen patrones de distribución en las variables permite generar hipótesis sobre los eventos de salud.

Basicamente y de manera sencilla, los patrones de distribución pretenden determinar si dichos eventos presentan un arreglo de agregación (los eventos aparecen cerca de otros eventos), de inhibición (los eventos aparecen diseminados) o de forma aleatoria (los eventos se producen con igual probabilidad en cualquier punto), para esta tarea hay varias maneras de analizar la información espacial, sin embargo en este trabajo se optó por trabajar con la técnica de rejillas conocida por algunos autores como cuadrantes (*Quadrats* del inglés).

Dicha técnica permite sobre poner una nube de puntos (4,125 sujetos) a un conjunto de rejillas cuadradas y regulares que sirvieron por una parte para homogeniza la zona de estudio ya que no existe fronteras administrativas oficiales y por otra parte los procesos espaciales pasaron de una geometría puntual a una geometría poligonal para aplicar el índice de autocorrelación de *I de Moran* local para identificar áreas críticas de eventos de salud.

Una vez obtenida y calculada el tamaño de rejilla (que será descrito más adelante) fue posible obtener las frecuencias de las personas contenidas en cada una de las rejillas (recuentos con atributos) que se utilizaron para calcular la densidad de población, distribución de edades promedio y prevalencia de tres factores de riesgo asociadas a la IRC como es; DM, HTA e IVU.

Con los valores de prevalencia se ejecutó el cálculo de la autocorrelación espacial *I de Moran Global y Local (LISA)*, para conocer si existe un patrón de distribución y en caso de que lo hubiera, la autocorrelación LISA estaría identificando donde se está produciendo dichos patrones.

Por último, se reclasificaron los valores de las capas temáticas a una escala unificadora para su combinación, así mismo las capas temáticas resultantes se exportaron a un modelo de datos conocido como formato raster la permite realizar el proceso de superposición de mapas (Figura 10).

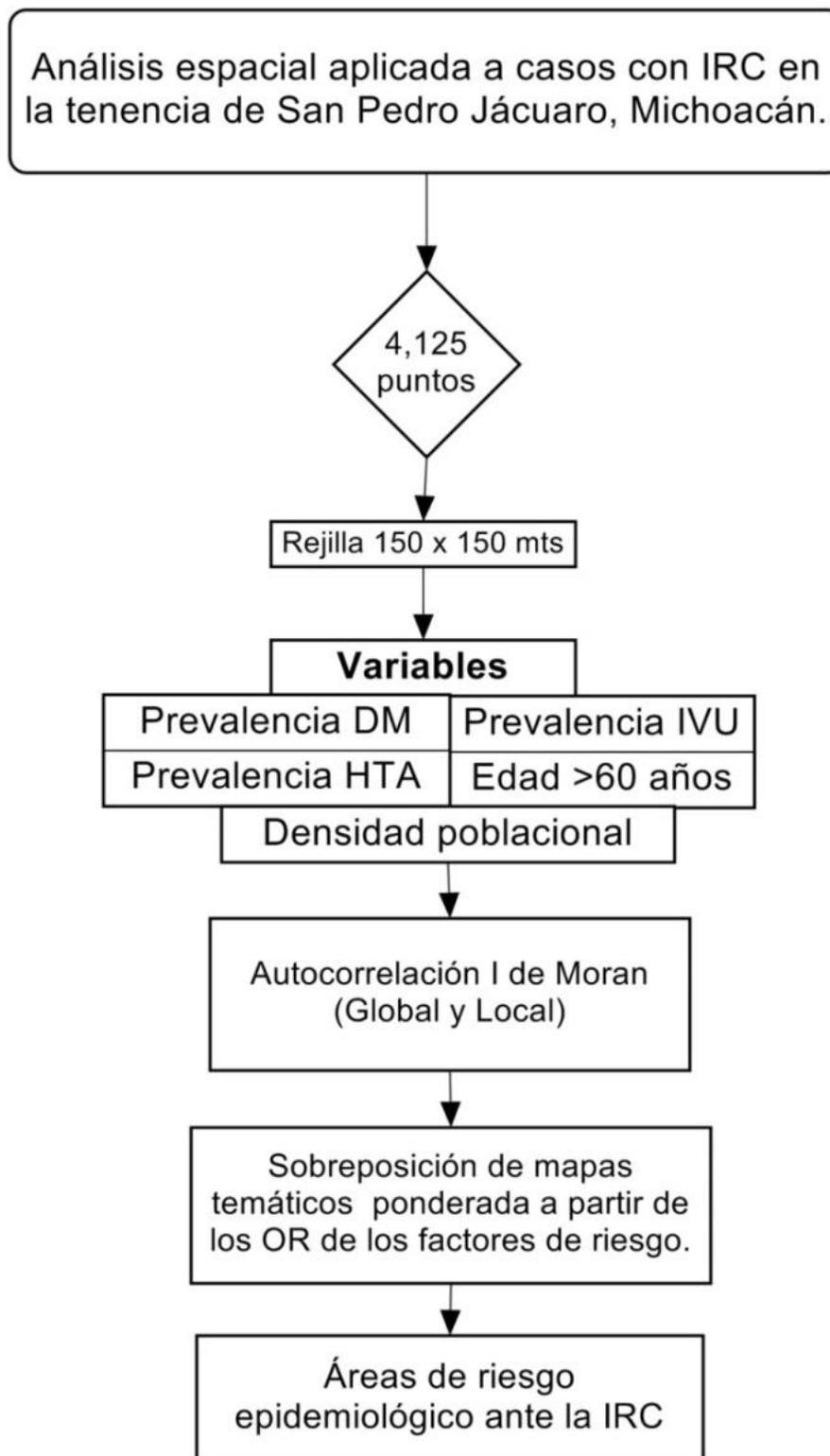


Figura 10. Diagrama de flujo para obtener áreas de riesgo epidemiológico ante la IRC en la TSPJ.
Fuente: Elaboración propia

2 MARCO FÍSICO

2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

San Pedro Jácuaró se localiza en la porción nororiental del estado de Michoacán de Ocampo, sus coordenadas extremas son; 19° 30' y 20° 10' de latitud norte; y 100° 38'41" longitud oeste, a una altura de 2,160 metros sobre el nivel del mar. Administrativamente forma parte del municipio de Cd. Hidalgo, de acuerdo al Marco Geoestadístico Municipal (MGM) 2010. El municipio colinda al norte con Zinapécuaro, Queréndaro y Maravatío, al este con Maravatío, Irimbo, Tuxpan y Jungapeo; al sur con Jungapeo, Tuzantla y Tzitzio; al oeste con Tzitzio, Queréndaro y Zinapécuaro, su extensión territorial es de 1,063.06 km². De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) para el 2010 este municipio contaba con 110,311 habitantes, distribuidos en 276 localidades, una cabecera municipal y 10 tenencias; Agostitlán, El Caracol, Huajúbaro, José Ma. Morelos, Puente de Tierra, San Antonio Villalongín, San Bartolo Cuitareo, San Matías el Grande, Pucuató y San Pedro Jácuaró. Ésta última a su vez, administra 10 encargaturas que son: San Isidro Alta Huerta (SIAH), Rincón de Rubios (RiRu), La Cuadrilla (LC), Tierras Coloradas (TC), Rancho Ruiz (RaRu), San José Irapeo (SJI), Casa Blanca (CB), Palo Seco Cuchipitío (PSCH), y San Nicolás Cuchipitío (SNCH) que corresponde a las localidades de estudio (Figura 11).

2.2 GENERALIDADES DEL MEDIO FÍSICO

2.2.1 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García y con datos de INEGI (2010) del conjunto vectorial 1:100,000 hay cinco tipos de climas predominantes en el municipio de Cd. Hidalgo; Templado, templado sub-húmedo, Semi-cálido, Cálidos-sub húmedo y Semifrío. La temperatura media anual es de 20°C; las temperaturas más bajas se presentan en el mes de enero siendo alrededor de 8°C, la temperatura máxima promedio es de 31°C y se presenta en los meses de abril y mayo. En cuanto a la precipitación se presentan durante el verano en los meses de junio a septiembre, la precipitación media del estado es de 850 mm anuales.

2.2.2 Recursos Naturales

De acuerdo al plan municipal de desarrollo de Ciudad Hidalgo, Michoacán (2012), el municipio cuenta con 72.2% de superficie de bosque (691.06 km²), siendo los géneros más importantes: Pinus (chino, lacio, ocote blanco), Abies (oyamel), Alnus (aile) y Quercus (encino). El 7.45% está cubierto de pastos de tipo zacate, tres barbas, navajilla y zacatón, en algunas pequeñas partes de este municipio hacia la zona de Querendaro se puede encontrar selva que ocupa apenas un 1.25%. En cuanto a la agricultura los productos más representativos son forraje, frijol, pastos, sorgo, tomate verde, tomate rojo, trigo.

2.2.3 Geología

La topografía abrupta e irregular forma parte de la depresión Balsas y Mil Cumbres, donde predominan la sierra alta y complejas, la sierra volcánica con estrato volcanes, en donde subyacen suelos del periodo neógeno (cuaternario) y paleógeno que corresponden principalmente al sistema montañoso, existe rocas de dos tipos; 1) Ígneas extrusivas; andesita-brecha volcánica, dacitas, tobas, brecha volcánica y 2) rocas sedimentarias; limonita-arenisca, conglomerado y arenisca conglomerado. (Cedillo *et al*, 1989)

Las grandes extensiones de roca volcánica, densamente fracturadas y de gran capacidad de infiltración que se presentan en los bordes del lago de Cuitzeo, la sierra de Jerécuaro, San Andrés y Mil cumbres, asociadas con altas precipitaciones pluviales, son factores que determinan que la zona presente importantes recursos hidráulicos superficiales, tanto en ríos y arroyos perennes como por volúmenes importantes de manantiales².

En el área de los azufres se presenta tectonismo y fuentes internas de calor que han propiciado manifestaciones termales en la región. Como consecuencia de estas propiedades litológicas, el municipio cuenta con una zona turística y un campo geotérmico llamado “Los Azufres” (Figura 11) a 7 km al norte de la Tenencia de San Pedro Jácuaró (Cedillo *et al*, 1989).

² La litología se tomó de los estudios de la CFE, Subgerencia de Estudio Geotérmico, Departamento de Exploración. Primer tomo, en el estudio llamado “Estudio Geológico de los Azufres-Cuitzeo Estado de Michoacán, 1984” por el Ingeniero Fidel Cedillo y colaboradores.

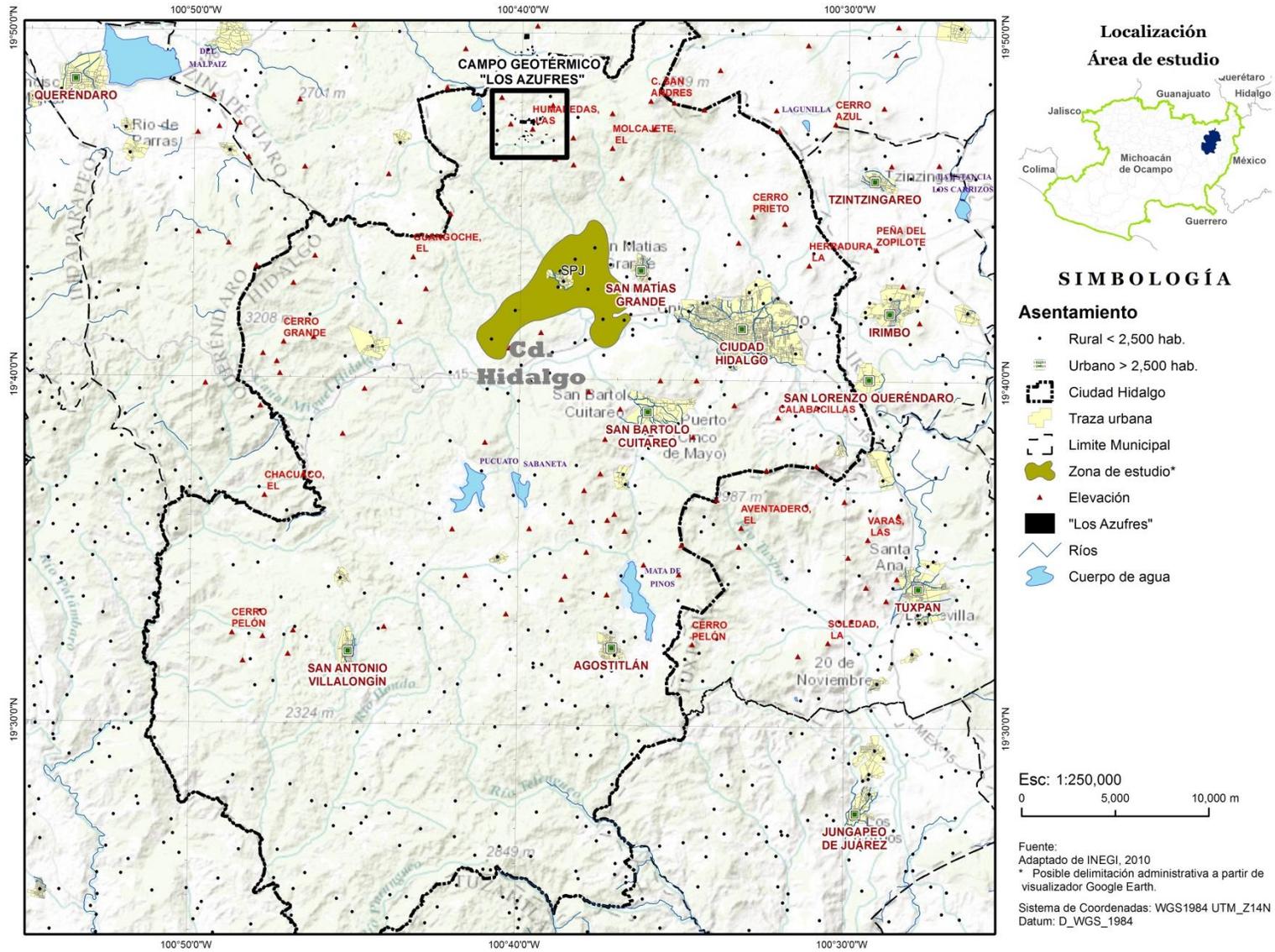


Figura 11. Localización del área de estudio.
Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2010

2.2.4 Hidrología

El acuífero al que subyace Cd. Hidalgo pertenece a la Región Hidrológica 18 Río Balsas, clasificado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) “Ciudad Hidalgo-Tuxpan”, cuenta con un gran número de corrientes tanto intermitentes como perennes, sus principales corrientes de agua son el Río Balsas y Río Tuxpan. El municipio de Cd. Hidalgo cuenta con 368 aprovechamientos de agua subterránea correspondientes a 182 pozos, 50 norias, 103 manantiales, 26 fuentes termales y 7 arroyos (CONAGUA, 2008), Los cuerpos de agua de mayor importancia con los que cuenta el municipio son cinco: Mata de Pinos, Pacuato, Sabaneta, Laguna Larga y laguna Grande (Figura 12)

2.2.5 Hidrología Subterránea

A partir de exploraciones geotérmicas realizadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) se han detectado un sistema de acuífero y un sistema hidrotermal, además de los acuíferos granulares localizados en valles estrecho inter-montañosos, la recarga del acuífero se debe a la infiltración de la precipitación pluvial sobre las formaciones geológicas permeables caracterizados por los acuíferos granulares y volcánicos; estos últimos alimentan a las formaciones granulares, para finalmente descargarse por la extracción de pozos, norias, arroyos y manantiales (Cedillo *et al*, 1989). Este sistema hidrotermal presente en la zona de estudio permitió el desarrollo del campo geotérmico llamado “Los Azufres” con un sistema cerrado pudo haberse formado por la continua infiltración pluvial en diferentes épocas geológicas ya que el fluido hidrotermal es una salmuera, característica de sistemas acuíferos antiguos o por emanaciones volcánicas ricas en sales. *Ibidem*

2.2.6 La Geotérmica “Los Azufres” y la IRC

En 1972 fue descubierto el campo geotérmico “los Azufres” localizado a 20 km del municipio de Cd. Hidalgo, Michoacán y a 7 km al NW de zonas de estudio, su elevación promedio es de 2800 msnm, para el 2004 cuenta con 80 pozos (extracción e inyección) a profundidades que oscilan entre 600 y 3500m, los cuales se extienden 81 Km² (Guitierrez & Quijano, 2003). Desde 1980 la CFE explota y administra el yacimiento para generar electricidad el cual es considerado como el 2° de mayor importancia en México (Figura 12).

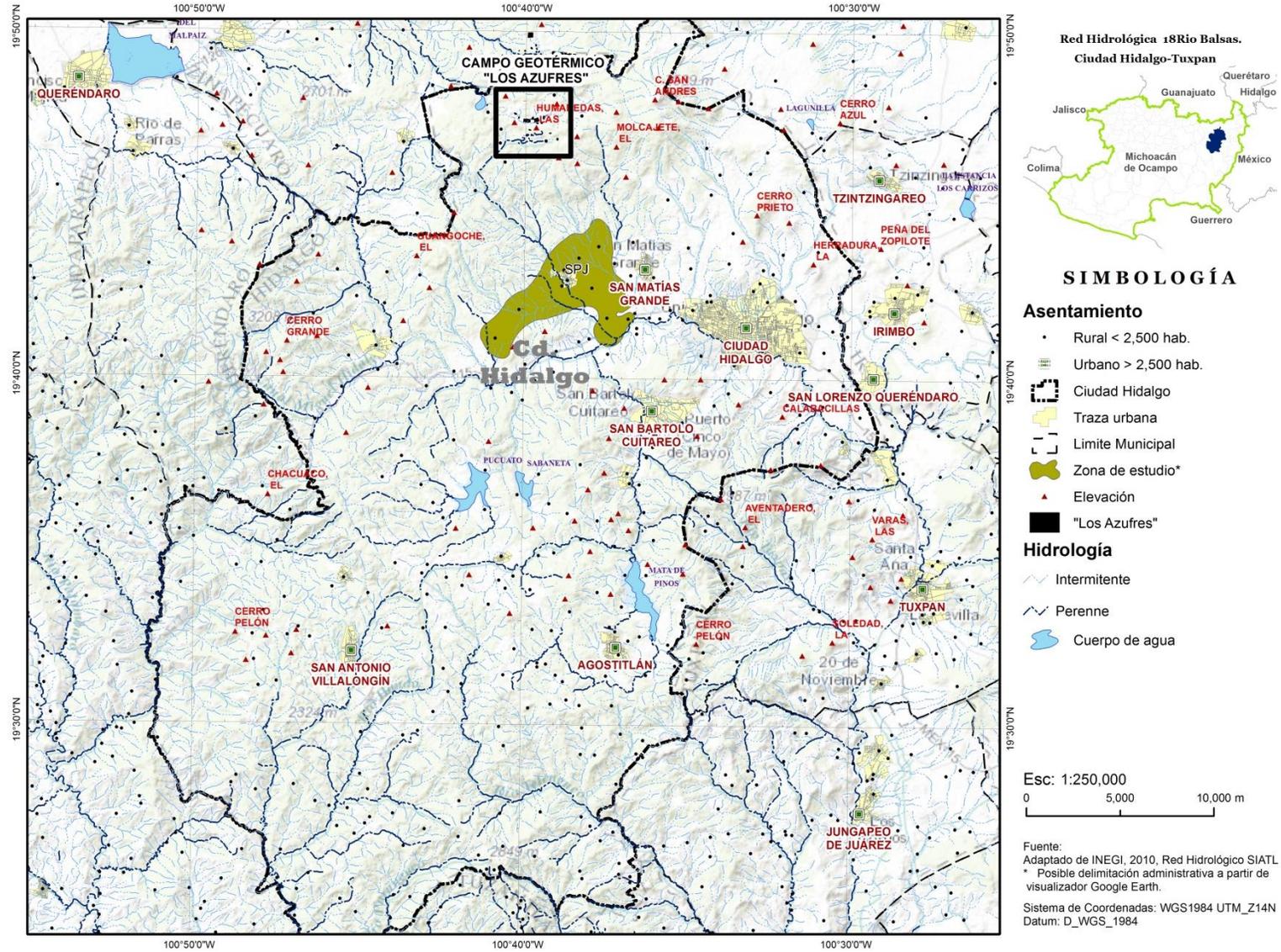


Figura 12. Red hidrología 18 Río Balsas. Tuxpan-Ciudad Hidalgo.
Fuente: Elaboración propia con datos de SIATL-INEGI, 2014

Debido a la permanente actividad de aprovechamiento de los recursos naturales geotérmicos para la generación de electricidad en los Azufres, los habitantes perciben que esta actividad ha causado un aumento de casos con IRC debido a la cercanía de la geotérmica.

Durante los recorridos en campo fue posible obtener información verbal con respecto a los que piensan o perciben los habitantes:

...“desde hace más de 20 años cuando la planta comenzó a trabajar, muchos de nosotros comenzamos a enfermar del riñón, nos han contaminado el agua y el aire...”

(Información verbal, 2012).

Estas declaraciones hechas por los habitantes han sido tomadas en consideración por los representantes de gobierno y autoridades de salud en turno, comprometiéndose a realizar un estudio que ayude a conocer las causas de este padecimiento. De esta manera las autoridades solicitaron a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), realizar un estudio epidemiológico focalizado a la IRC y sus factores de riesgo.

Por su parte la UNAM encomendó a la Facultad de Medicina (FM) en específica a la Unidad de Proyectos Especiales de Investigación Socio-médica (UPEIS) quien desarrollo un estudio transversal denominado “Estudio Epidemiológico de los Factores Asociados a la Insuficiencia Renal Crónica de una población de Ciudad Hidalgo, Michoacán” (de aquí en adelante como EEFAIRCPCMHM), realizado en el año 2012-2014. Es estudio fue financiado por el Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Michoacán; Clave 2010-C01-148342.

Este estudio contempló dos ejes principales; por una parte, se abordó la IRC desde el enfoque epidemiológico (encuestas, mediciones antropométricas, toma de muestra de sangre y orina) y por otra parte, se realizó un estudio de calidad de agua *in situ* para consumo humano, esto es debido a que diversos investigadores han reportado la presencia de contaminantes relacionados con altas frecuencias de IRC en distintas partes del mundo (Arreola-Mendoza *et al*, 2011; Chandrajith R. *et al*, 2011; Jha V. *et al*, 2013).

2.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN TSPJ

Como es sabido en las ciencias naturales, el agua natural en sus diversas presentaciones; océanos, ríos, arroyos, lagos, lagunas y manantiales nunca son aguas químicamente puras, las aguas en su recorridos naturales entran en contacto con sustancias determinando sus calidad y concentración (Geissler y Arroyo, 2011).

Estas propiedades pueden influir con mayor o menor medida el estado de salud en la población, con la intención de conocer algunos aspectos o propiedades hidrológicas existentes en la TSPJ se integró la evaluación de calidad de agua en el oriente de Michoacán realizado por el Centro de Investigación, Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).

Cabe aclarar que esta información no fue procesada en este trabajo de tesis, solo nos limitamos a describir algunos de los resultados a lo que llegaron los investigadores de CIATEJ.

2.3.1 Selección y ubicación sitios de muestreo

El estudio de evaluación de la calidad de agua comprendió la ubicación de sitios de muestreo y la caracterización fisicoquímica del agua de manantiales, pozos y norias cercanos que sirven como fuente de abastecimiento en la TSPJ.

Para conocer la ubicación y altura de los sitios muestreados se procedió a tomar lecturas del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), marca Legend Garmin. (Cuadro 6).

En la Figura 13, se observa la localización de los 15 sitios de muestreo de agua representados con rombos de color azul, los sitios fueron seleccionados a partir de dos criterios I) aquellas fuentes de abastecimiento directo de agua para la TSPJ y sus encargaturas como son los sitios; 01, 02, 03, 04, 05, 08, 12, 13, 14 y 15; y II) cuerpos de agua cercanos a la geotérmica, tal es el caso del pozo de reinyección sitio 10 y dos cuerpos de agua al aire libre (Laguna Larga “06 y 07” y Laguna Verde “09” al norte de la geotérmica).

Cuadro 6.- Sitios de muestreo de agua en San Pedro Jácuar, Cd Hidalgo.

Sitios	Nombre	Altura	latitud	longitud
01	Agua Ceniza	2575	19.75499042980	-100.67687828300
02	La Rosita I	2339	19.73485338460	-100.66897902800
03	La Rosita II	2320	19.73518898470	-100.66797252700
04	La Rosita III	2290	19.73534043100	-100.66489724300
05	El cerrito escarpado	2230	19.72337217950	-100.65613736300
06	Laguna Larga I	2819	19.79713946150	-100.69055547000
07	Laguna Larga II	2781	19.79975016710	-100.68870871900
08	Laguna Verde	2935	19.82624186510	-100.65990432100
09	Cañada San Pedro	2514	19.75632426420	-100.66849127800
10	Pozo de inyección No 56	2937	19.80819263440	-100.67572643100
11	Tierras coloradas I	2270	19.72823380550	-100.65056785400
12	Tierras coloradas II	2270	19.72830678380	-100.65102073200
13	Alta huerta I	2257	19.72712059180	-100.64854032500
14	Alta huerta II	2252	19.73844515970	-100.63912106900
15	Las Palmitas	2163	19.72586956810	-100.63541737700

Fuente: Elaboración propia con información de CIATEJ, 2010

Es importante mencionar que estos últimos no están conectados directamente con las cajas de agua que abastece a la población de TSPJ y sus encargaturas sin embargo, es relevante conocer las características presentes en estos cuerpos de agua cercanos a la geotérmica los Azufres.

2.3.1 Muestreo en campo

El muestreo fue realizado por personal de UPEIS, CIATEJ y por personal de la TSPJ (Fotografía 1), ya que estos últimos fueron quien nos permitieron ubicar, recorrer y abrir algunas registro de agua localizadas en lugares poco accesibles (Fotografía 2).

La colecta de muestras de agua se realizó en dos campañas de muestreo (estiaje y lluvias), tomando cuatro litros de cada muestra (para determinar parámetros físico-químicos, aniones y cationes, metales pesados y elementos tóxicos, y plaguicidas) en frascos individuales de vidrio debidamente identificados.



Fotografía 1.- Visita al campo Geotérmico “Los Azufres”. UPEIS-CIATEJ.
Fuente: Colección propia.



Fotografía 2.- Toma de muestras en sitios de accesibilidad complicada.
Fuente: Colección propia

Durante su transporte y almacenamiento se refrigeraron a 4° C protegiéndose de la luz. Para el análisis de metales pesados, las muestras una vez recolectadas, se acidificaron a $\text{pH} < 2$ con ácido nítrico concentrado (0.9 mL por frasco de HNO_3 al 70%). El procedimiento de toma de muestras, requerimientos de preservación, y tiempo de análisis para cada parámetro se realizó siguiendo los lineamientos técnicos de la NOM-014-SSA1-1993, que establece los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento públicos y privados

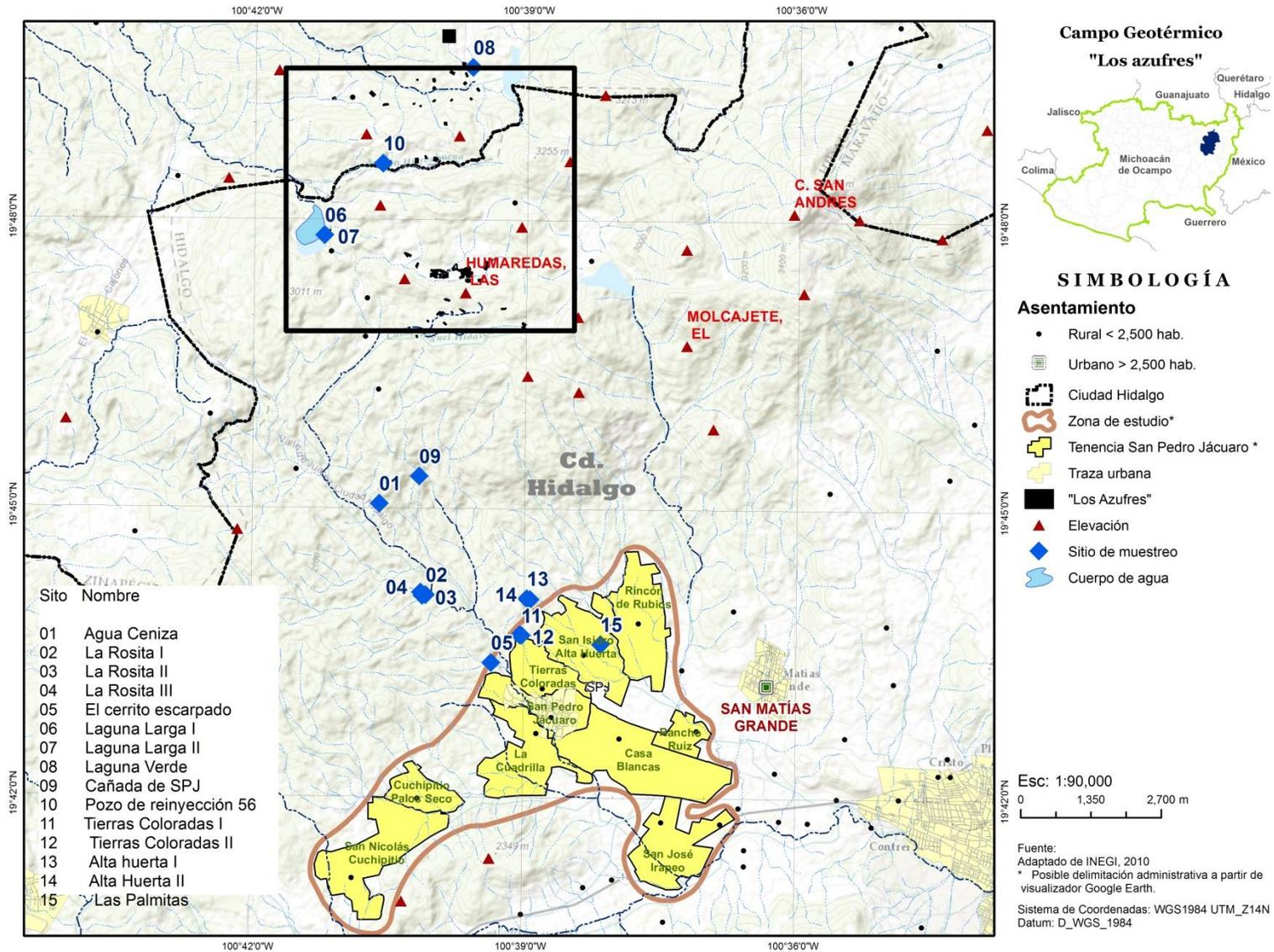


Figura 13. Localización de campo geotérmico los Azufres y la TSPJ.
Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Trabajo en campo

Para el trabajo de campo se empleó un GPS (Garmin, etrex H) con el fin de recabar datos de georreferenciación como latitud, longitud, y msnm de cada uno de los puntos de toma de muestra. Al mismo tiempo se usó un analizador multiparamétrico (HANNA, modelo HI9828) con el que se obtuvieron datos de pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales (SDT) y oxígeno disuelto (OD).

2.3.3 Análisis de laboratorio

Los parámetros evaluados en laboratorio y sus respectivos métodos de análisis para aguas y aguas residuales siguieron los procedimientos y protocolos de validación y control de calidad establecidos por la American Public Health Association (APHA, 1998 citado en Panduro, 2015) para asegurar la confiabilidad de los resultados (Cuadro 7).

Cuadro 7.- Parámetros, métodos (APHA, 1998) utilizado para la evaluación de calidad de agua.

Parámetro	Métodos (APHA,1998)	Equipo
Turbiedad	2130B.Nefelométrico	Turbidímetro HACH 2100 ANIS
Color	2120C. Espectrofotométrico	Espectrofotómetro HACH DR 2800
Acidez	2310B. Titulación	NA
Alcalinidad	2320B. Titulación	NA
Dureza	2340B. Calculada con Ca^{2+} y Mg^{2+}	NA
DBO	5210D. Método Respirométrico	Analizador BOD Trak HACH con Incubadora INO 650V-9
DQO	5220D. Reflujo cerrado. Colorimétrico	Digestor HACH DR 8200
Cationes y Aniones Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}	4110 B. (aniones) ASTM D 6919-03 (cationes) Cromatográfico: estándar externo	Cromatógrafo de Iones, Metrohm modelo 861 Compacto Avanzado con detector de conductividad
Metales y elementos tóxicos Ba, Cr, Fe, Cu, Zn, Cd, Al, Pb, As, Sb, Mn, Co, Ni, Se, V, U	3125B. ICP-MS	Perkin Elmer ELAN 9000 ICP-MS

Fuente: Tomado de Panduro, 2015

2.3.4 Normatividad de calidad de agua para consumo humano

En el Cuadro 8, se presentan los resultados de la calidad de agua de las fuentes de abastecimiento de agua a la población de TSPJ, se realizó conforme a las normas:

1. Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización.
2. Guías de la OMS para la calidad de agua potable

A continuación se describen los parámetros de calidad de agua y su discusión con respecto a los límites que establecen las dos normas de referencias antes mencionadas (Cuadro 8).

2.3.5 Resultados Físico-químicos de la calidad de agua

En el área de estudio se encontró un pH ácido con valores de 2.5 en el S09 correspondiente a La Laguna Verde, así mismo, en los S06 y S07 sobre Laguna Larga el pH fue de 3, mientras que en los sitios donde están conectadas las cajas de agua y utilizadas para consumo humano, el pH presenta condiciones neutras aceptables; entre 5 y 6, el Límite máximo permisible (LmP) es de 6.5.

Con respecto a la temperatura se mantuvo en promedio 18°C, el S10 es el más alto (pozo de inyección) con 28°C, mientras que el S12 es el segundo más caliente con 22°C, el lugar que reportó temperaturas bajas fue el sitio en la Laguna Larga con 11°C.

El máximo de conductividad está presente en el S8 que corresponde a la laguna verde y el pozo de inyección con valores de hasta 1990 y 1233 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente.

Las aguas con mayor turbiedad están en Laguna Verde S21 sobrepasando los 5 UNT LmP al igual que las palmitas S15 y S10.

Cuadro 8.- Resultados de análisis de muestreo de agua en la TSPJ

	Elemento	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	Normal
Nombre	pH	5.41	5.63	5.99	5.51	5.83	3.33	3.37	5.65	2.5	6.11	5.74	5.77	5.98	5.7	5.61	6.5 - 8.5
	Conduc.	412	254	203	180	181	212	217	409	1991	1233	408	253	315	418	79.4	1500
	Temp.	21.5	20.3	17.8	16.7	18.8	13.8	11.8	18.7	21.5	28	22.2	20	17.1	24.4	15.4	
Sólidos Disueltos																	
	S.D	208	124	108	90.3	92	114	109	202	984	1800	205	128	162	205	39	
Sobre nivel del mar																	
	Altura	2065	2265	2323	2329	2241	2774	2774	2513	2886.5	2893	2289	2277.5	2354	2323	2188	
Litio	Li	i.l.d	33.17	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d									
Sodio	Na	30.11	18.19	14.68	11.6	13.2	16.73	16.85	32.01	34.78	2150.31	32.57	21.61	23.12	36.56	8.37	200
Potasio	K	12.91	6.91	5.94	4.56	5.26	14.35	14.49	12.29	10.99	597.98	12.72	9.38	10.99	10.91	3.47	12
Calcio	Ca	26.02	16.1	13.21	10.62	12.35	3.35	3.26	24.58	10.41	26.3	24.9	15.68	20.41	25.32	3.53	100
Magnesio	Mg	22.56	12.87	10.25	6.89	9.04	0.68	0.6	21.39	3.45	5.18	21.56	12.31	16.06	21.71	1.28	
Cloro	Cl	1.95	1.29	1.11	1.02	1.07	13.8	13.8	1.99	51.79	3990	1.7	1.26	4.81	2.52	0.88	250
Sulfatos	So	26.98	18.77	13.29	6.43	10.26	55.72	55.96	31.93	442.25	7.22	31.99	19.38	22.61	32.15		400
	Alcalin.	200	120	110	90	90	100	75	175	0	75	165	135	160	200	50	
	Acidez	20	10	10	10	10	20	20	5	90	50	0	50	50	50	50	
	Color	27	5	2	6	4	12	5	1	584	85	3	2	12	2	36	
	Turbie.	1.4	0.16	0.25	0.63	0.47	0.73	0.58	0.23	21.4	10.9	0.43	0.25	0.48	0.14	2.62	
Demanda Química de oxígeno																	
	DQO	14.7	0	0.2	2	1.25	0	0	0	3008	10.5	0	0.25	0.55	2.7	245.52	
Demanda Biológica de Oxígeno																	
	DBO	5.2	0	0	0	0	0	0	0	156	0	0	0	0	0	0	
Bario	Ba	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	0.01	0.01	0.02	0.05	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	0.021	0.7
Cromo	Cr	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d									
Hierro	Fe	0.05	0.01	0.01	0.66	0.01	0.39	0.35	0.01	32.8	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.033	0.3
Cobre	Cu	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d									
Cinc	Zn	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	0.02	0.01	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	
Cadmio	Cd	i.l.d	0.47	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	0.003								
Aluminio	Al	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	1.59	1.53	i.l.d	13.4	0.84	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	0.094
	Ps	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d									
Arsénico	As	i.l.d	0.55	12.7	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d							
Mercurio	Hg	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	0.001								
Antimonio	Sb	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d									
Manganeso	Mn	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	0.14	0.14	i.l.d	0.25	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	
Cobalto	Co	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d									
Niquel	Ni	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d									
Senio	Se	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d									
	CN	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d									

Fuente: Proporcionado por CIATEJ, 2012

En cuanto al color los LmP son de 15 U Pt-Co, cuatro puntos rebasaron la norma entre 27, 36, 85 y 584 en los S01, S15, S10 y S08 respectivamente.

Los lugares con mayor acidez fueron Laguna Verde, las palmitas, Alta huerta I y II, Tierras coloradas I y II y el pozo de inyección con valores entre 90 y 50 $\mu\text{g/L}$, el resto de los sitios no presento problemas de acidez.

Los valores de alcalinidad no superaron los LmP, ningún sitio registro valores superiores a los 300 $\mu\text{g/L}$., lo mismo ocurrió con los valores de dureza, todos inferiores a 200 $\mu\text{g/LmP}$. Para la DQO, los datos que excedieron los 10 $\mu\text{g/L}$ LmP fueron Laguna Verde, Las Palmitas, Agua Ceniza y el pozo de inyección.

2.3.6 Conclusión de calidad de agua en la TSPJ

A manera de resumen del estudio de calidad de agua en SPJ, se encontró una constante de valores extremos en dos sitios, (Laguna Verde, y Pozo de inyección S08 y S10 respectivamente. Los sitios cercanos al campo geotérmico los Azufres; con un pH ácido de 2.5 y una temperatura de 28°C, con una alta turbiedad y coloración que indicó una fuerte contaminación, siendo los lugares de mayor acidez y dureza con concentraciones altas en casi todos los elementos estudiados. Sin embargo, sitios como estos no son una fuente directa para el consumo de los pobladores, estos sitios presentan intervención de la planta geotérmica los Azufres.

A pesar de que la planta geotérmica no necesita procesos de combustión para generar electricidad, pero si expulsa desechos desde hace 20 años (salmuera) rica en minerales que podrían influir en la enfermedad renal si no son reinyectados adecuadamente.

En cuanto a los sitios de abastecimiento que utiliza la TSPJ presentan niveles normales de pH (6-7) con temperaturas medias de 11°- 20°C, La acidez de sitios como las Palmitas, Alta Huerta II y TC I y II registraron niveles que oscilaron entre 50 y 90 $\mu\text{g/L}$, superiores a la norma. En cuanto los iones inorgánicos no presentaron problemas de concentración.

Las concentraciones de elementos tóxicos como el cadmio $0.003 \mu\text{g/L}$ se registran en TC, Alta Huerta, La Rosita, las Palmitas, y cerrito. Al igual que el arsénico y $0.01 \mu\text{g/L}$, se registraron niveles altos en dos sitios; Laguna larga y Tierras Coloradas

Es posible que sitios denominado Pozo de inyección (S10) y la Laguna Verde (S08) puedan estar en contacto de alguna manera con el sistema de abastecimiento para consumo humano de la población de la TSPJ, de ser así, representaría graves problemas a la comunidad, recordemos que desde hace más de 20 años que la planta está realizando trabajos de exploración (nuevos pozos), explotación (estimulación) para mantener la producción energética.

El tema de la contaminación de agua, es relevante para esta investigación, sin embargo no se cuentan con los recursos necesarios para su monitoreo, para poder descartar de manera científica si existe una relación directa entre las fuentes de abastecimiento y la planta geotérmica será necesario utilizar técnicas de ingeniería hidráulica como son los trazadores de agua subterránea, en los pozos de reinyección y cajas de agua, para medir la dirección y velocidad (Lasser, 1978).

3 ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO DE LOS FACTORES ASOCIADOS A LA IRC EN LA POBLACIÓN DE CD HIDALGO

3.1 GENERALIDADES DEL ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO UPEIS-UNAM-2012

A principios de los años noventa se empezó a saber de varios casos con insuficiencia renal crónica en el municipio de Cd. Hidalgo, Michoacán, agudizándose a principios del año 2000, manifestándose esta enfermedad en niños de 2 a 3 años de edad y en un tiempo de 5 a 6 años de manera crítica.

La Fundación Mexicana del Riñón mencionar que de cada 100 casos de IRC en el estado de Michoacán, 45 casos corresponden al municipio de Cd. Hidalgo específicamente de la Tenencia de San Pedro Jácuaro y sus encargaturas (FMR, 2012).

Esta alta frecuencia de enfermos renales, obligo a las autoridades municipales a solicitar la intervención de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a su vez, la universidad encomendó un estudio a la Facultad de Medicina en particular a la UPEIS, la cual se enfocó en planear y desarrollar el denominado “Estudio Epidemiológico de los Factores Asociados a Insuficiencia Renal Crónica en la Población de Ciudad Hidalgo, Michoacán” (EEFAIRCPCDHM) financiado por el Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Michoacán; Clave 2010-C01-148342.

El diseño del estudio epidemiológico realizado por la UPEIS, fue de tipo transversal para medir la asociación de los factores de riesgo ante la IRC y tomo como basal la información de un censo de población y vivienda realizado por la misma unidad.

Dicho censo considero georreferenciar y contabilizar las viviendas junto con sus habitantes para poder aplicar los instrumentos de medición a la población en general (encuestas y toma de muestras de sangre y orina). Cabe reconocer que a la fecha, el INEGI no cuenta con información oficial del trazado de las unidades administrativas en la zona de estudio, en este caso la jerarquía de encargaturas, menor aun del trazado y nomenclatura del amezanado o viviendas en la zona de estudio. Debido a la ausencia de información cartográfica fue necesario realizó el censo de población en la zona de estudio.

Un aspecto importante por mencionar es que la información censal georreferenciada a nivel vivienda fue la materia prima de este trabajo de tesis y permitió la posibilidad de abordar el estudio de la enfermedad renal a nivel geoespacial retrospectivo y exploratorio.

Debido a la contribución cartográfica generada al estudio epidemiológico a continuación se hace el descriptivo de la metodología utilizada para la obtención del censo de población.

3.1.1 Objetivo general del EEFAIRCPCDHM

Identificar los factores causales asociados a la presencia de insuficiencia renal crónica en Ciudad Hidalgo, Michoacán.

3.1.2 Objetivos específicos del EEFAIRCPCDHM

- Describir las características, sociodemográficas y clínicas de los sujetos residentes de Ciudad Hidalgo, Michoacán, con diagnóstico de IRC.
- Analizar las características familiares, del medio ambiente, la industria u otras actividades laborales que se llevan a cabo en la zona de estudio, para dimensionar la importancia de los posibles factores relacionados con la prevalencia de IRC.
- Medir la asociación de los factores seleccionados para establecer un perfil de riesgo específico ante la IRC.

3.1.3 Metodología para el censo del EEFAIRCPCDHM

La zona de estudio se dividió básicamente en tres sitios a trabajar (Figura 14)

- 1) Tenencia de San Pedro Jácuaró.
- 2) Nueve encargaturas de San Pedro Jácuaró.
- 3) Cabecera municipal de Ciudad Hidalgo.

A petición de las autoridades se comenzó a trabajar en la Tenencia de San Pedro Jécuaro (sitio 1), debido a que se ha reportado un aumento significativo con casos de IRC.

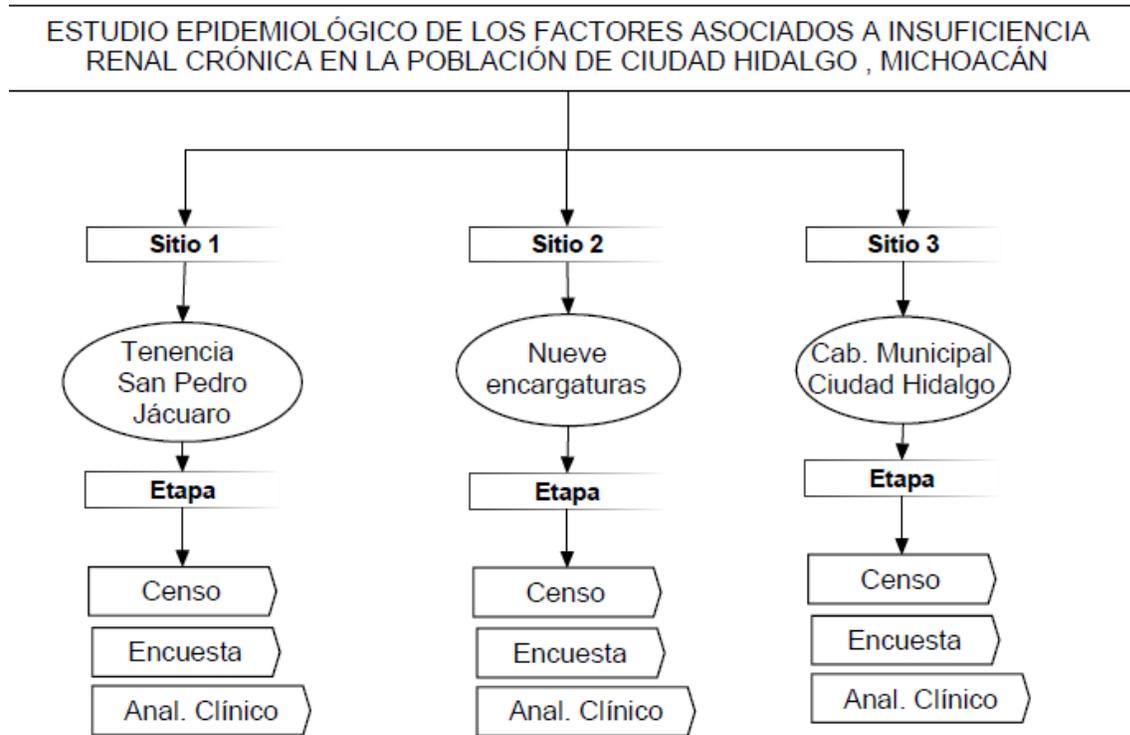


Figura 14. Metodología del estudio epidemiológico UPEIS- UNAM.

Fuente: Adaptado del Estudio epidemiológico.

En cada sitio se comenzó con la realización de un censo de población, una encuesta y un análisis clínico de sangre y orina para la determinación de creatinina sérica (CS)

- ❖ **Censo:** Población en el cual se obtuvo datos de número de manzanas, vivienda, hogares y número de sujetos por edad, sexo y ocupación con su respectiva codificación.
- ❖ **Encuesta:** Descripción de las características de las viviendas, características sociodemográficas, historial de tipo de empleo, antecedentes laborales, estado nutricional, usos de fármacos.
- ❖ **Análisis clínico:** Toma de muestra de sangre y orina

3.1.4 Aporte geográfico al (EEFAIRCPCDHM)

Uno de los aportes realizados en el estudio epidemiológico, fue georreferenciar³ a la población a su vivienda, de acuerdo con Almeida (2008), citado en (Villa, 2012) una de las piedras angulares en estudios epidemiológico es el análisis de la distribución poblacional (**Localización**) y los factores determinantes del riesgo de enfermedades.

Para la georreferenciación de sujetos a encuestar fue necesariamente contar con información cartográficas previa y dada la ausencia de esta, fue necesario construir las bases vectoriales tales como los posibles límites administrativos, tomando como referencia las fronteras naturales; ríos, barrancas, cañadas etc. Ya que en la bases de INEGI no reconocen límites administrativos o traza urbana de la zona de estudio (Figura 15).

Una vez trazados los posibles límites administrativos, se utilizó las claves geoestadísticas de INEGI⁴ 2010, juntos con su toponimia, con la finalidad de adaptar y asociar dichos códigos oficiales al censo de población en la TSPJ y sus encargaturas (cuadro 9)

3 Todo mapa está referido por lo menos a un sistema de coordenadas universal (geográfica medido en grados, minutos y segundos y rectangular que trabaja con la cuadrícula un sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) con formato numérico), cuyo objeto es el de dar su ubicación geográficas. En esta investigación se emplearon los dos sistemas, el primero para georreferenciar la información del censo y el sistema numérico para trabajar el análisis espacial en el capítulo IV.

4 Los límites Geoestadísticos; son líneas divisorias convencionales exclusivas del Marco Geoestadístico Nacional (MGN) que se apegan, en la medida de lo posible, a los límites político-administrativos, aunque en algunos casos no se dispone de información suficiente y consistente para hacerlo. Estas líneas se trazan sobre rasgos naturales (ríos, arroyos, barrancas, cerros, litorales, etc.) y/o culturales permanentes e identificables en el terreno (calles, vías de comunicación terrestre, líneas de conducción, cercas, ductos, límite de viviendas, linderos, etc.)

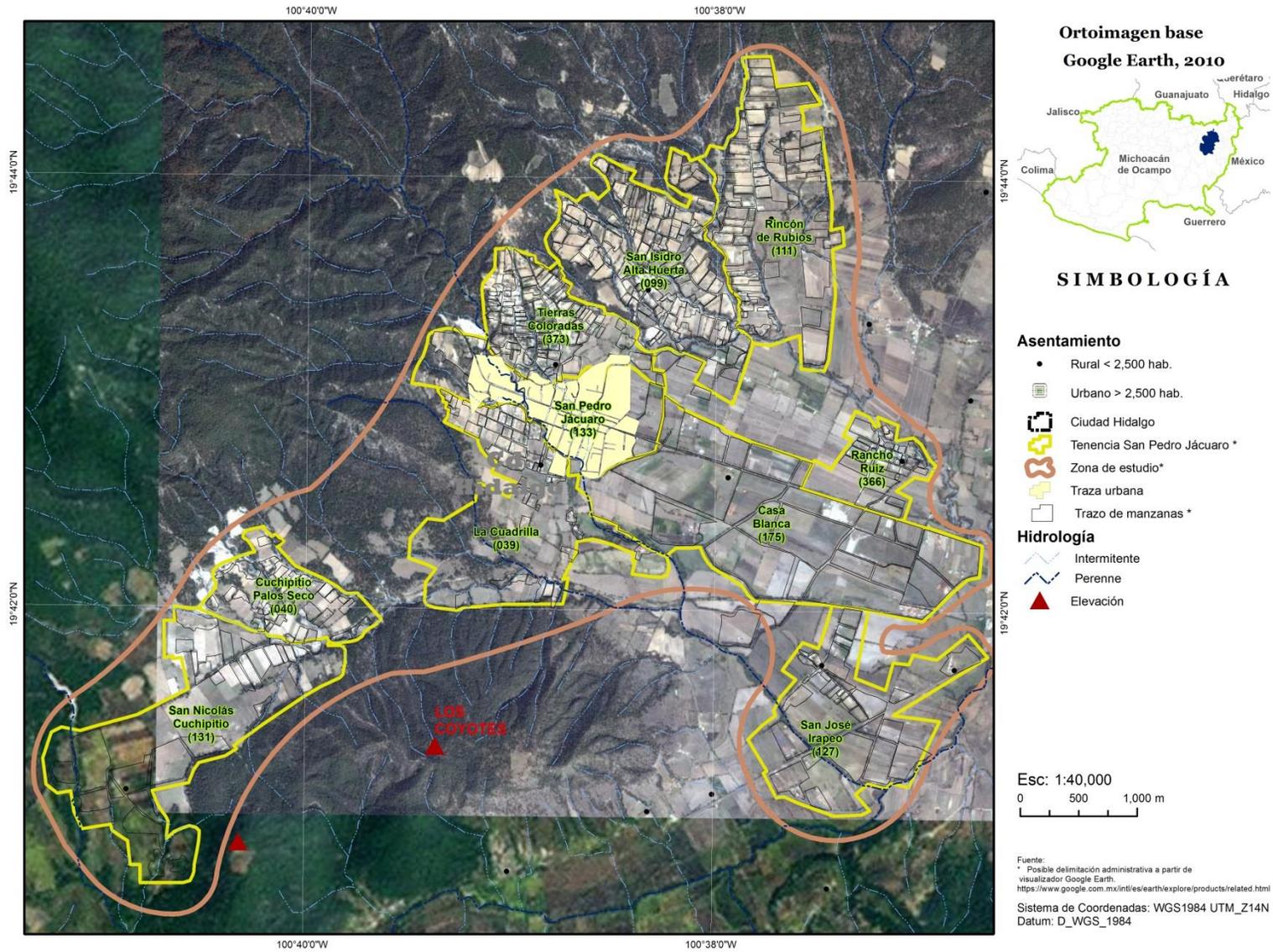


Figura 15. Posibles límites administrativos en la zona de estudio.
 Fuente: Elaboración propia con visualizador de imágenes de Google Earth, 2014

Cuadro 9.- Claves del MGN para la TSPJ y sus 9 encargaturas.

Clave INEGI	Encargatura	Latitud	Longitud
039	La Cuadrilla (LC)	19.71611675350	- 100.64676555700
040	Cuchipitio Palo Seco (PSCH)	19.70675775170	- 100.64746595400
009	San Isidro Alta Huerta (SIAH)	19.72654005250	- 100.63817191000
111	Rincón de Rubios (RiRu)	19.73039765800	- 100.62843876800
127	San José Irapeo (SJI)	19.69167255950	- 100.62210370200
131	San Nicolás Cuchipitio (SNCH)	19.69018392550	- 100.67649941000
133	Tenencia San Pedro Jácuaro (TSPJ)	19.71611675350	- 100.64676555700
175	Casa Blanca (CB)	19.710278678	- 100.63222245640
366	Rancho Ruiz (RaRu)	19.71130255590	- 100.61977969630
373	Tierras Coloradas (TC)	19.72182606860	- 100.64626901750

Fuente: Fuente propia con datos de INEGI, 2010. (ITER)

3.2 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN CARTOGRÁFICA DEL EEFAIRPCDHM

La Figura 16, muestra los pasos empleados para generar el conjunto de datos vectoriales como; manzanas, viviendas, calles, infraestructura urbana, barrancas, cajas de agua, red hídrica y la georreferencia de las personas que aceptaron participar en el estudio (puntos sobre el espacio geográfico que representan personas georreferenciadas (coordenadas x,y) en sus viviendas.

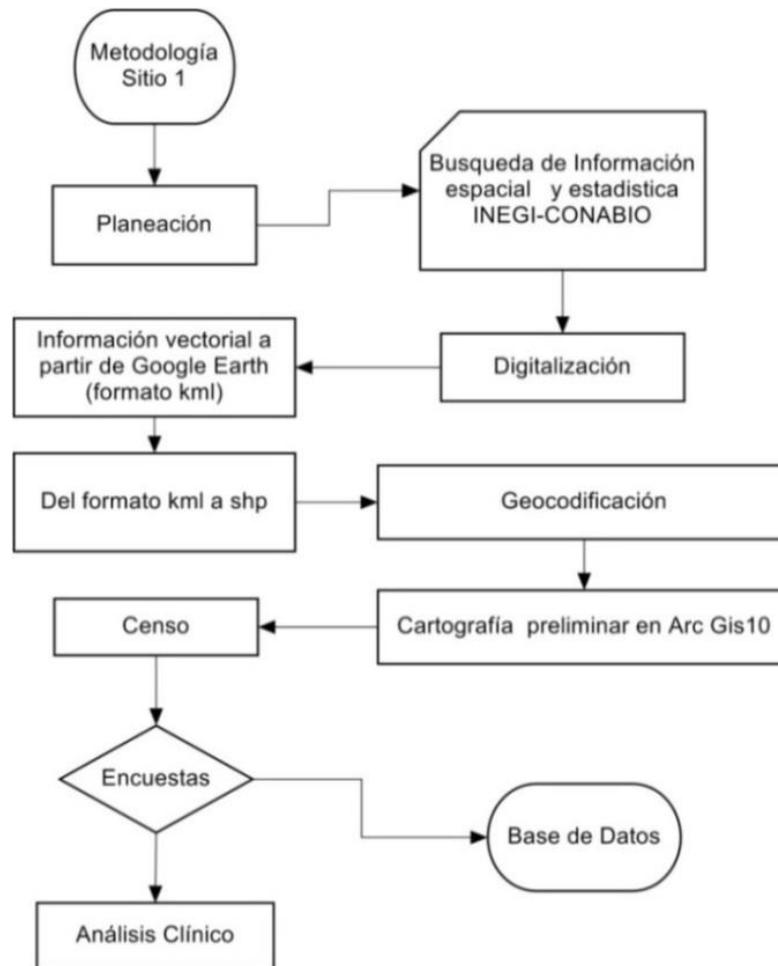


Figura 16. Esquema metodológico para obtener la base de datos epidemiológicos en la TSPJ.
Fuente propia para el EEFAIRCPCDHM

3.2.1 Planeación

La búsqueda y recolección de datos estadísticos y espaciales se realizó en las bases de datos del INEGI y CONABIO. En general podemos decir que la información oficial proporcionada en estas instituciones es de manera muy general, escasamente encontramos información de la zona de estudio. Sin embargo, el INEGI, proporciona las claves oficiales para identificar las localidades de acuerdo con el Marco Geoestadístico Nacional (MGN) versión 2010, donde se obtuvo las capas vectoriales en formato *shape file* (*shp*) a nivel municipal, siendo esta información la base para la georreferencia.

3.2.2 Digitalización en *Google Earth*

A partir del año 2005 la era digital y tecnológica *Google Earth* abrió un abanico de posibilidades para trabajar en ambientes virtuales que representan el mundo real, a través de un mosaico de imágenes emitidas por satélites este visualizador permite obtener la traza urbana de cualquier lugar (manzanas, calles y parcelas para nuestro caso), en formato vectorial y a diferentes escalas “escala dinámica” (Infantas, 2009) ya que *Google Earth* integra herramientas para la digitalización (punto, línea y polígono).

Para los fines que persiguió el estudio epidemiológico, se digitalizó la traza urbana a una escala de 1:5,000 en pantalla. Esta escala facilitó la identificación del conjunto de viviendas en la zona de estudio. El visualizador *Google Earth* maneja un formato de salida llamado *KML* (por sus siglas en inglés *keyhole Markup Language*). (Google Earth, 2014) a partir de este visualizador se contruyó u total de 508 manzanas, 2,115 viviendas, la traza de calles y el polígono de la posible delimitación administrativa. Una vez digitalizada la información se realizó un proceso de exportación de formato *KML* a un formato conocido *shape file*, muy utilizado en programas cartográficos (Figura 17)

3.2.3 Del formato *kml* al formato *shape file (shp)*

Una vez terminado el proceso de digitalización en *Google Earth*, el siguiente paso fue transformar los archivos intercambiables (*kml* al formato *.shp* nativo de *ArcGis10*), para lograr dicha tarea se utilizó la herramienta *Arc Tool Box/ Conversion Tools/From KML/ KML To Layer*. El sistema de coordenadas que corresponde a la zona de estudio es *WGS 1984* y a la zona *UTM 14N*.

Con la finalidad de ilustrar el proceso de intercambio de un formato se presenta la figura 17, a una imagen de formato *shape file* de *ESRI* dentro del software cartográfico *Arc Gis 10*. En el cual se aprecian los mismos polígonos (manzanas), pero además de las manzanas se integraran algunos elementos adicionales como la capa temática de ríos y un Modelo de Elevación de Terreno (MDT) plantilla del mapa base topográfico integrado el software cartográfico *Arc Gis V.10* el cual representa la topografía de la zona de estudio.

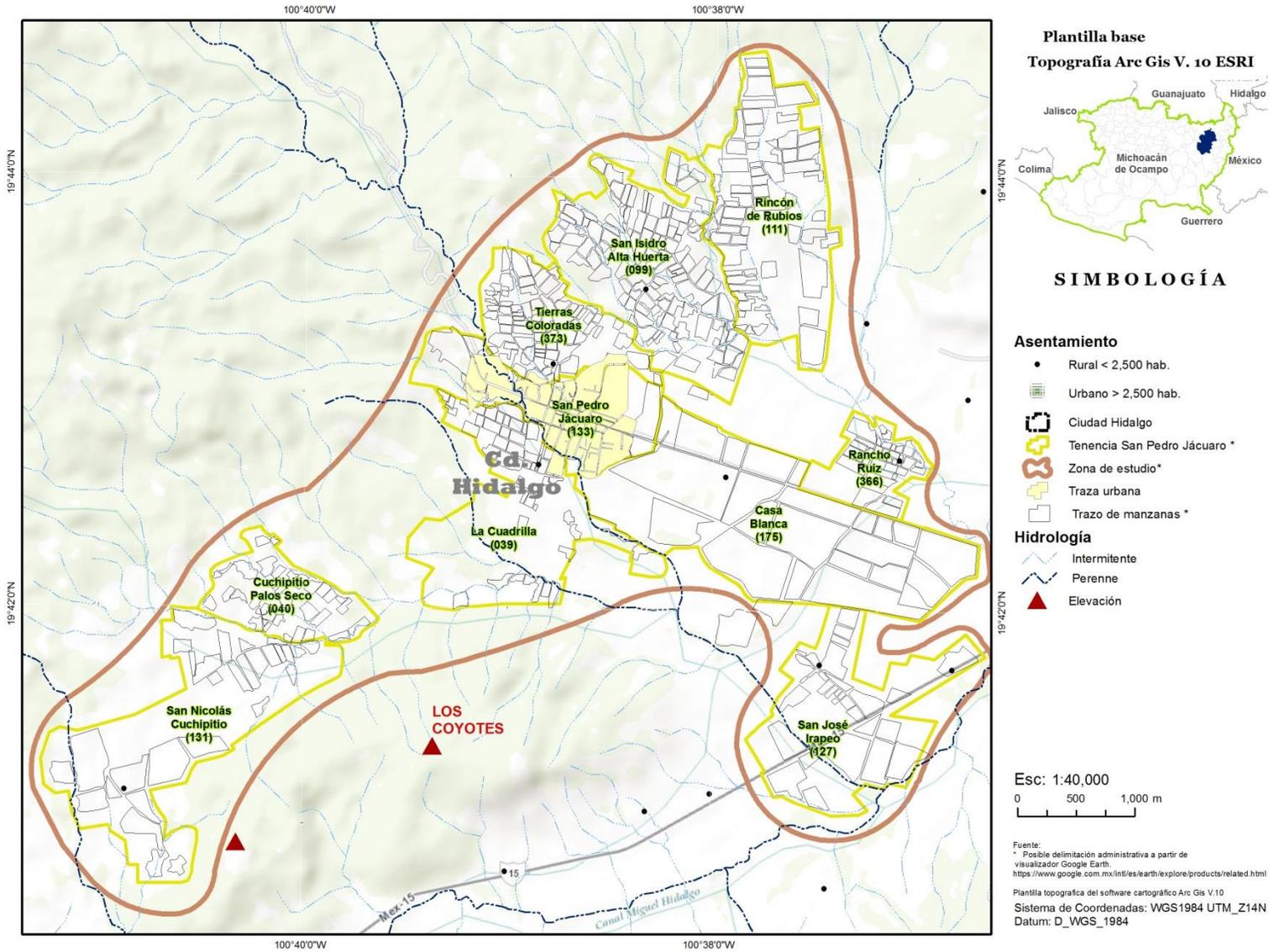


Figura 17.- Posible delimitación de la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia para el EEFAIRCPCDHM

3.2.4 Geocodificación

Debido a la ausencia de claves para identificar las manzanas digitalizadas fue necesario generar un identificador único (estas claves solo sirvieron para el EEFAIRCPCDHM) con tres dígitos para identificar las manzanas y tres dígitos para identificar la vivienda (000)

Con la unión de dígitos es posible identificar de manera tabular y espacial las manzanas y viviendas en la zona de estudio, esta información es de gran utilidad para generar la cartografía preliminar misma que ayudo al personal en campo para levantar el censo en la zona de estudio. Como se puede apreciar en la imagen anterior, para localizar a una persona dentro de alguna vivienda es necesario contar con 15 dígitos. Sin embargo, para trabajar en campo es recomendable recodificar la información por un número secuencial, esto permite simplificar el etiquetado de las muestras (Figura 18).

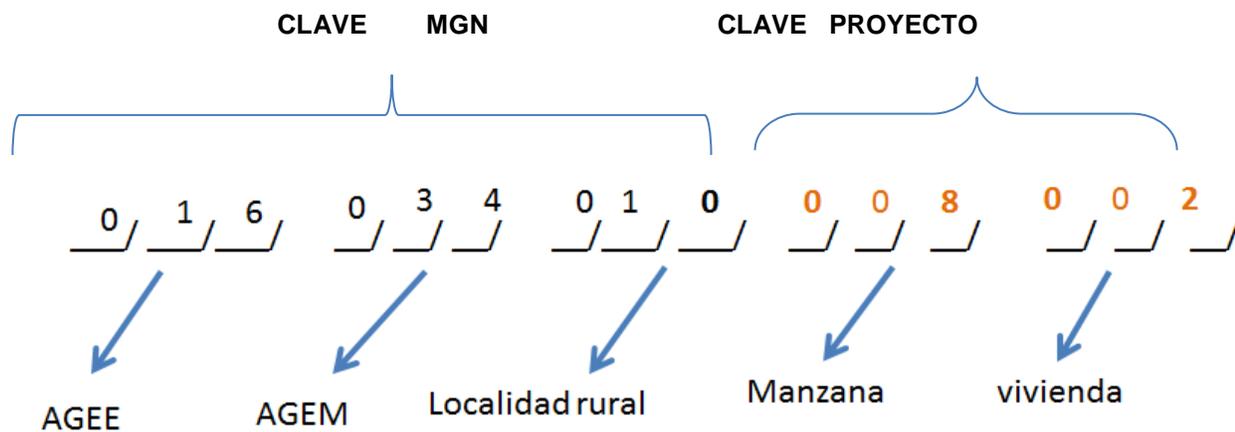


Figura 18. Clave de localización de manzanas en la TSPJ y sus encargaturas.
Fuente: Elaboración propia para (EEFAIRCPCDHM)

3.2.5 Cartografía preliminar

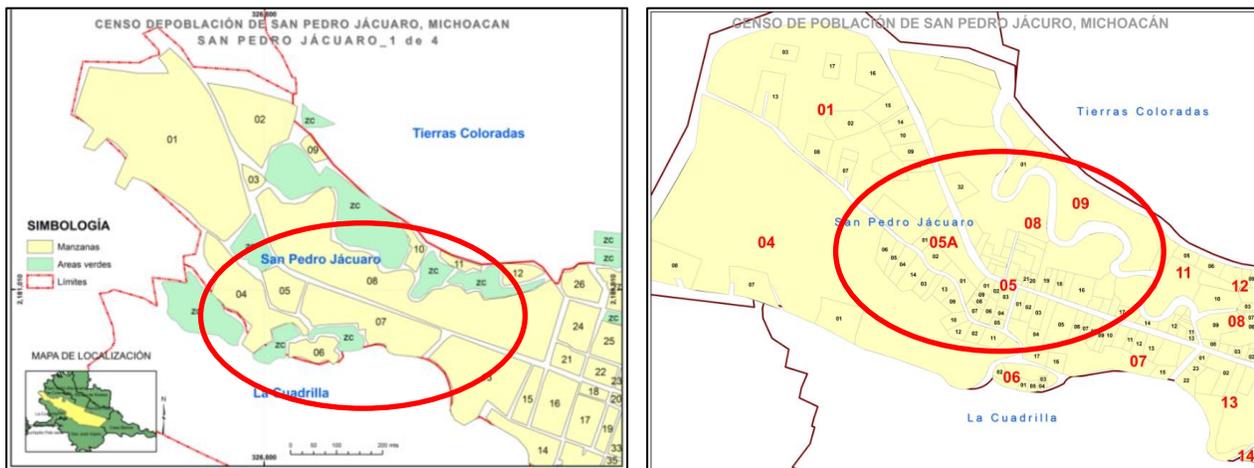
Para la realización de investigaciones de corte epidemiológico ya sea en localidades urbanas o rurales, es necesario que el personal operativo (enfermeras, médicos, encuestadores, brigadistas, geógrafos, etc.) cuenten con instrumentos cartográficos suficientes, confiables, oportunos y actualizados. Sin embargo, no siempre se cuenta con esta información antes de trabajar en campo, de ser así, es

recomendable y necesario realizar recorridos de reconocimiento previo que ayuden a identificar la configuración del entorno natural y urbano.

En la figura 19a y 19b se observa una cartografía preliminar en SPJ (camino con escasa definición) y cartografía actualizada (corrección geométrica) respectivamente.

Es importante realizar las modificaciones geométricas de la cartografía preliminar ya que de no hacerlas, se acumulan errores que podrían sesgar los resultados de la investigación.

Para organizar y programar actividades de intervención en cualquier comunidad es de vital importancia que el personal se apoye con las autoridades en turno, que cuenten con instrumentos cartográficos actualizados los cuales les permitan ubicar áreas de trabajo, tomar en cuenta las características topográficas del lugar, así como determinar rutas de acceso más conveniente para desarrollar su labor.



19a

19b

Figura 19 Cartografía preliminar para el EEFAIRCPCDHM
Fuente: Elaboración propia para trabajo de campo

3.2.6 Censo

Como se ha mencionado con anterioridad, debido a la ausencia de información de fuentes oficiales el estudio epidemiológico antes referido tuvo la necesidad de realizar un censo de población y número de viviendas, ya que es una de las primeras tareas a desarrollar al comienzo de cualquier estudio

epidemiológico. Los datos de censo proporcionan un panorama general de la densidad y distribución de la población en estudio, en este estudio se obtuvo un total de 508 manzanas digitalizadas se obtuvieron 2,115 viviendas existentes en la zona de estudio, así como un total de 4,125 habitantes en la TSPJ y sus encargaturas.

3.2.7 Encuestas

Uno de los resultados de mayor importancia para el EEFAIRCPCDHM es la obtención de una base de datos georeferenciada de cada una de las personas en sus respectivos domicilios donde se aplicó la encuesta la cual consistió en 4 tipos de cuestionarios dependiendo de quién aceptara participar en el estudio.

- 1) **Cuestionario 1 (Hogar):** identificación de la vivienda, hogar, número de habitantes, identificación de los habitantes, característica de la vivienda, activos de la vivienda, ambiente en general. Se aplicó solo al jefe de vivienda.
- 2) **Cuestionario 2 (Adulto, 12 años y más):** identificación de la vivienda, datos generales, residencia, historia laboral, antecedentes patológicos, calidad de vida, acceso a la salud.
- 3) **Cuestionario 3 (Mujeres 12 años y más):** identificación, únicamente mujeres sobre estado de salud ginecológica.
- 4) **Cuestionario 4 (Niños de 0 a 11 años):** identificación de vivienda, datos generales, residencia, vacunación, lactancia, antecedentes heredofamiliares, antecedentes personales patológicos, síntomas, calidad de vida, actividad física, evaluación dietética.

3.2.8 Base de datos

Como se mencionó líneas arriba, cada persona fue codificada y asociada con una serie de números (folio) que refieren a las personas a una localización a nivel vivienda. A partir de esta información se generó una capa vectorial en formato *shape file* de puntos que representara la localización de cada una de las personas encuestadas.

Gracias a los SIG, fue posible asociar la base de datos tabular a una base de datos espacial con geometría puntual, con la ayuda del software ArcGis10 de ESRI, y el módulo *Spatial Join and relate*,

se realizó el proceso de unión de bases de datos, estos sistemas exigen que dicha relación de datos tabulares a espaciales contengan un campo llave, el cual, es utilizado para ejecutar la relación espacial, en este caso se utilizó el campo llamado “folio” (Figura 20)

folio	Ten	mz	viv	nombre	sexo	edad	irc	dm	hta	ivu	ckd_shull
1366	40	1	1	BOIZO ARIAS MARIA TERESA	2	74	0	0	0	0	0
1367	40	1	1	BOIZO ARIAS AMELIA	2	68	0	0	0	0	0
1368	40	1	1	BOIZO ARIAS LEONILA	2	35	0	0	0	0	0
1369	40	1	1	BOIZO ARIAS DULCE MARIA	2	11	0	0	0	0	0
1370	40	4	1	PADILLA VILLEGAS EMILIO	1	65	0	1	0	0	91
1371	40	4	1	PATI_O PEREZ MARIA AMPARO	2	60	0	0	0	0	95
1372	40	4	1	PADILLA PATI_O JUAN LUIS	1	23	0	0	0	0	111
1373	40	5	1	GARCIA FRASCO EMILIO	1	55	0	0	0	0	99
1374	40	5	1	PEREZ MARQUEZ AURORA	2	56	0	0	1	0	106
1375	40	5	1	GARCIA PEREZ JOSE GUADALUPE	1	24	0	0	0	0	147
1377	40	5	2	GARCIA FRANCO ISAIAS	1	53	0	0	0	0	0
1378	40	5	2	GOMEZ VEGA ETELBINA	2	49	0	0	0	0	78
1379	40	5	2	GARCIA GOMEZ ADRIANA	2	21	0	0	0	0	0
1380	40	5	2	GARCIA GOMEZ JUAN ANTONIO	1	17	0	0	0	0	0
1381	40	5	2	GARCIA GOMEZ SANDRA	2	15	0	0	0	0	0
1382	40	5	2	GARCIA GOMEZ JAQUELINE	2	13	0	0	0	1	0
1383	40	5	3	DIAZ PATIÑO JAVIER	1	40	0	0	0	0	0
1384	40	5	3	LEON REYES ELVIRA	2	41	0	0	0	0	0
1385	40	5	3	DIAZ LEON ADRIAN	1	16	0	0	0	0	0
1386	40	5	3	DIAZ LEON MARCO ANTONIO	1	12	0	0	0	0	0
1389	40	9	1	GARCIA RUIZ ABELINO	1	75	0	1	0	0	93

Figura 20. Base de datos a partir de encuestas del estudio epidemiológico en la TSPJ.

Fuente: Elaboración propia con datos del EEFAIRCPCDHM

En la figura 21, se observaban 8 variables consideradas para este trabajo de tesis:

- 1) **Folio:** Se utilizó un número consecutivo con dos finalidades 1) para relacionar la base de datos y 2) para identificar de manera más eficiente a las personas en TSPJ, ya que al momento de etiquetar las muestras de orina o sangre se complicaba el manejo de las mismas. Con el número consecutivo se logró también relacionar la base de datos del censo con los SIG.
- 2) **Id completo:** Números consecutivos para identificar a una persona a nivel vivienda.
- 3) **Geocodificación adaptada de INEGI:** claves por separado para identificar a una persona. Se combinó el MGN con las claves asignadas a cada manzana. Con esta separación de claves es posible realizar consulta SQL. (del inglés *Structured Query Language*) es el lenguaje utilizado por la mayoría de los sistemas gestores de bases de datos relacionales.
- 4) **Nombre:** Nombre de la persona a la que se le aplico el cuestionario, con un total de 4,142 registros.
- 5) **Sexo:** Variables propias de cada registro, codificada de forma dicotómica para la variable. (1=Hombre y 2=Mujer) y **Edad:** Variable continua propia de cada registro.

- 6) **Padecimiento de enfermedades crónicas asociadas a la IRC como DM, HTA, IVU:** Base de datos con frecuencias de respuestas dicotómicas que indican (0= ausencia y 1=presencia de la enfermedad). El análisis descriptivo se realiza más adelante.
- 7) **Coordenadas (x,y):** Localización sobre el espacio geográfico de las personas encuestadas en lugar de residencia.
- 8) **Número total de personas encuestadas:** Número total de personas encuestas = 4,142 cabe mencionar que no toda la población acepto el estudio.

Una vez obtenida la base de datos (censo) se realizó una exploración de datos de la población de TSPJ y sus encargaturas, con la finalidad de conocer las frecuencias y prevalencias de casos reportados con alguna enfermedad asociada con la IRC, esta información sirvió para conocer la estructura y comportamiento de los datos en la población en estudio.

FID	folio	id_compl	tenencia	manzan	viviend	hogar	nombre	sexo	edad	irc	dm	hta	ivu	z_scor	lat	long
228	3017	17502003012	175	20	3	1	ABAD LETICIA IRMA	2	43	2	2	2	0	19 711859	-100 619277	
3794	2424	13302705019	133	27	5	1	ACOSTA PEDRAZA BRAYAN DANIEL	1	9	2	2	2	0	19 716679	-100 645557	
617	4482	85003103015	850	31	3	1	ADRIAN GUTIERREZ VALENZUELA	1	7	2	2	2	0	19 7313	-100 631441	
613	4478	85003103011	850	31	3	1	ADRIAN SANDOVAL GUTIERREZ	1	99	2	2	2	0	19 731358	-100 632104	
358	3165	17503205011	175	32	5	1	AGUILAR ALVARADO BULMARO	1	41	2	2	2	0	19 711283	-100 611778	
732	4647	85005901012	850	59	1	1	AGUILAR BUCIO ALFREDO	1	20	2	2	2	0	19 721859	-100 631315	
3012	825	00906102011	9	61	2	1	AGUILAR BUCIO CARLOS	1	29	2	2	2	0	19 726517	-100 63736	
2397	146	00901301018	9	13	1	1	AGUILAR BUCIO DIANA LIZBETH	2	2	2	2	2	0	19 730824	-100 646113	
733	4648	85005901013	850	59	1	1	AGUILAR BUCIO EDUARDO	1	15	2	2	2	0	19 721825	-100 631151	
2520	292	00902203012	9	22	3	1	AGUILAR BUCIO GABRIELA	2	17	2	2	2	1	19 728879	-100 641518	
2395	144	00901301016	9	13	1	1	AGUILAR BUCIO GILDARDO	1	6	2	2	2	0	19 730905	-100 646099	
734	4649	85005901014	850	59	1	1	AGUILAR BUCIO GUADALUPE EVELYN	2	15	2	2	2	0	19 721975	-100 631173	
2823	628	0090440013	9	44	4	1	AGUILAR BUCIO ISABEL	2	11	2	2	2	0	19 727133	-100 639162	
735	4650	85005901015	850	59	1	1	AGUILAR BUCIO JAQUELINE	2	13	2	2	2	0	19 722012	-100 630904	
736	4651	85005901016	850	59	1	1	AGUILAR BUCIO JESUS GABRIEL	1	6	2	2	2	0	19 721848	-100 630889	
2396	145	00901301017	9	13	1	1	AGUILAR BUCIO MARIA FERNANDA	2	4	2	2	2	0	19 730767	-100 646116	
2392	141	00901301013	9	13	1	1	AGUILAR BUCIO ROLANDO ANTONIO	1	17	2	2	2	0	19 73096	-100 646092	
2398	147	00901301019	9	13	1	1	AGUILAR BUCIO SIN NOMBRE	2	8	2	2	2	0	19 73072	-100 646119	
2394	143	00901301015	9	13	1	1	AGUILAR BUCIO VANESA GABRIELA	2	8	2	2	2	0	19 730625	-100 646095	
2393	142	00901301014	9	13	1	1	AGUILAR BUCIO VIVIANA ISABEL	2	10	2	2	2	0	19 731032	-100 646099	
744	4667	85006102011	850	61	2	1	AGUILAR CASAS LORENA	2	22	2	2	2	0	19 72174	-100 629502	
3869	2522	13303206012	133	32	6	1	AGUILAR CASAS LUCIA	2	27	2	2	2	1	19 715045	-100 643379	
3014	827	00906102013	9	61	2	1	AGUILAR CORONEL MARISOL	2	1	2	2	2	0	19 72658	-100 63716	
3333	1768	13300402023	133	4	2	2	AGUILAR DURAN DIEGO ANGEL	1	11	2	2	2	1	19 717572	-100 653121	
3331	1762	13300402011	133	4	2	1	AGUILAR DURAN FRANCISCO	1	17	2	2	2	0	19 717261	-100 653193	
1230	5339	99904301012	999	43	1	1	AGUILAR DURAN JUANA	2	29	2	2	2	0	19 760595	-100 642263	
362	3169	17503206011	175	32	6	1	AGUILAR GONZALEZ ALFONSO	1	96	2	2	2	0	19 71145	-100 617609	
422	4241	85000106012	850	1	6	1	AGUILAR GONZALEZ IRENE	2	73	2	2	2	0	19 741025	-100 629066	
4086	2776	13305001014	133	50	1	1	AGUILAR GONZALEZ RODOLFO	1	23	2	1	2	0	19 717967	-100 642016	
4088	2778	13305001016	133	50	1	1	AGUILAR GONZALEZ SANDRA	2	22	2	1	2	0	19 717911	-100 641552	
3858	2502	13303201011	133	32	1	1	AGUILAR GUTIERREZ MARIA DOLORES	2	73	2	2	1	2	19 714799	-100 644056	

Figura 21. Base de datos obtenida a partir del EEFAIRPCDHM
Fuente: Elaboración propia

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN EN LA TSPJ

A partir de esta sección y haciendo uso de la base de datos que se generó del estudio epidemiológico EEFAIRCPCDHM se realizara el descriptivo, caracterización y análisis de la información censal. Cabe mencionar que los datos proporcionados por la UPEIS estuvieron sin procesar.

Una de las preguntas que se intenta contestar con la información del estudio epidemiológico fue conocer la situación actual de salud, así como su estructura demográfica, el entorno socio-económico y geográfico, se realizó una selección de 6 variables de manera exploratoria y desde el punto de vista geoespacial que podrían ayudar a identificar áreas de riesgo epidemiológico ante la IRC (Cuadro 10), se pone énfasis que con la selección de estas variables no se intenta buscar los agentes causales de la IRC sino de manera exploratoria estas variables pueden ayudar a identificar áreas de riesgo ante la IRC en la TSPJ y sus encargaturas.

Cuadro 10.- Selección y tipos de variables incluidas en el estudio.

Variable		Descripción	Tipo
ID	Folio	Código de identificador único para cada sujeto en estudio	-----
DEMOGRÁFICAS	Sexo	Variable dicotómica (1=Masculino, 2= Femenino)	Nominal-dicotómica
	Edad	De 0 a 99 años	Continua-numérica
	Localización	Información obtenida durante el levantamiento censal	-----
SALUD	IRC	Diagnosticada por algún médico (0=No presenta y 1= Si presenta)	Nominal-dicotómica
	DM	Diagnosticada por algún médico (0=No presenta y 1= Si presenta))	Nominal-dicotómica
	HTA	Diagnosticada por algún médico (0=No presenta y 1= Si presenta)	Nominal-dicotómica
	IVU	Diagnosticada por algún médico (0=No presenta y 1= Si presenta)	Nominal-dicotómica

Fuente: Elaboración propia

El punto de partida para analizar los atributos de la población fue caracterizar los aspectos demográficos, como la composición según la edad, es decir la proporción de personas de diferentes edades (deciles) y la composición por sexo, es decir, el número de hombre y mujeres que constituye la población.

3.3.1 Estructura demográfica en la TSPJ y sus encargaturas

A partir del censo antes mencionado obtuvieron 4,125 personas representando la población total, de estos, 2,242 pertenecen al sexo femenino (54.4%) y 1,883 al sexo masculino (45.6%). Esto podría explicarse por muchos factores, entre ellos, podría ser la migración de la población masculina, que comparte la dinámica poblacional a nivel nacional, de acuerdo con INEGI (2010), el estado de Michoacán ocupó el 11vo sitio a nivel nacional con movimientos migratorios.

A manera de simplificar la información se agrupo la población en deciles (10 grupos de 10 años) (Cuadro 11).

Cuadro 11.- Distribución de grupos de edad en la TSPJ y sus encargaturas

DATOS DE LA POBLACIÓN					
Grupo	Rango	Hombres	Mujeres	Total	%
1	0 a 9	444	441	885	21.45
2	10 a 19	441	494	935	22.67
3	20 a 29	301	387	688	16.68
4	30 a 39	196	278	474	11.49
5	40 a 49	178	225	403	9.77
6	50 a 59	130	196	326	7.90
7	60 a 69	97	99	196	4.75
8	70 a 79	53	69	122	2.96
9	80 a 89	20	27	47	1.14
10	90 a 99	23	26	49	1.19
Totales		1883	2242	4125	100

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de identificar las frecuencias de edades se construyó el gráfico de barras (Figura 22) en el cual se aprecia una agrupación para el grupo conformado por jóvenes de 10 a 19 años de edad, seguido por la población infantil de 0 a 9 años. De acuerdo a esta información podemos mencionar que

la distribución de edades no es normal con un coeficiente de asimetría de Pearson de sesgo positivo hacia la izquierda de 0.91 y, con una media 28.12, una desviación estándar de 2.71 y una curtosis de 3.28 (leptocúrtica) podemos decir que la distribución de edad de la población está conformada en su mayoría por jóvenes, 21.45% con edades de 0 a 9 años y un 22% de 10 a 19 años, dando una sumatoria sólo para estos dos grupos de 44.12%.

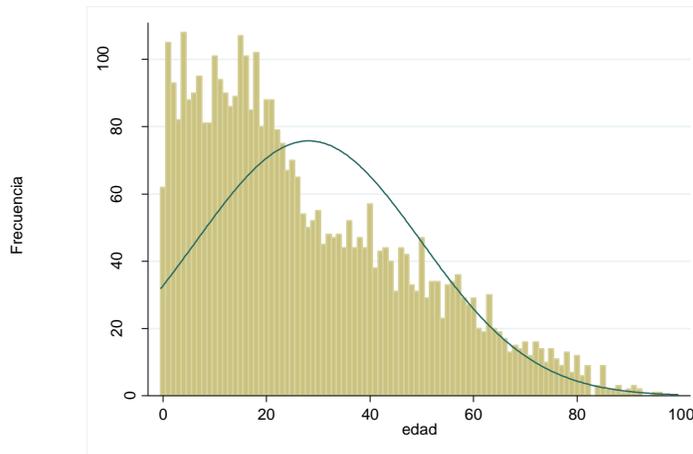


Figura 22. Estructura poblacional de la TSPJ y sus encargaturas.
Fuente: Elaboración propia

De manera complementaria se construyó la pirámide de edades (Figura 23) en la cual, se observa una pirámide de población de tipo progresivo con la característica de anchura en la base que representa a la población joven con predominio del sexo femenino en el grupo de 10 a 19 años.

En cuanto a la población contenida en los 4 subgrupos siguientes que van de 20 a 59 años se obtiene un porcentaje del 45.84% representando a la población adulta, en la cual las mujeres conservan una mayor proporción claramente identificado en el grupo de 20 a 29 años, lo mismo pasa en los grupos siguientes.

En los 4 grupos restantes, correspondientes a la población adulta mayor se presenta una ligera tendencia a igualar la proporción de hombres y mujeres mayores a 60 años sumando entre los dos géneros el 10.04%.

A manera de resumen se puede mencionar que la TSPJ y sus encargaturas están conformados en su mayoría por una población joven.

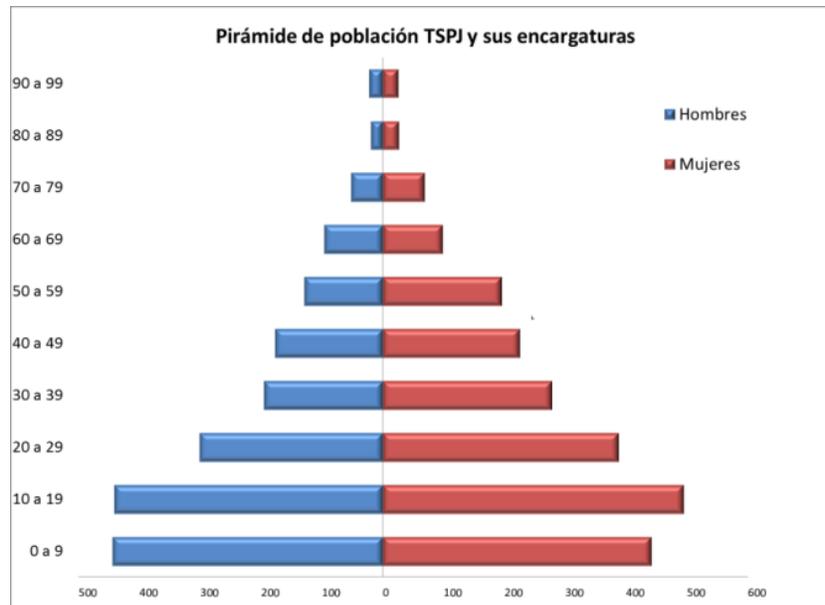


Figura 23. Pirámide poblacional en la TSPJ
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Padecimiento de enfermedades asociadas a la IRC en la TSPJ

Uno de los resultados obtenidos a partir de la encuesta fue la frecuencia de casos con IRC y algunos padecimientos asociados a esta enfermedad, como es la DM, HTA, IVU que denominaremos como factores de riesgo epidemiológico ante la IRC. Esta frecuencia se obtuvo al realizar las preguntas si la persona entrevistada tenía alguno de los padecimientos, para el caso de la HTA, se realizaron toma de presión arterial y para el caso de DM, se tomaron de laboratorio para corroborar la presencia de estas enfermedades. En trabajo en campo se preguntó sobre estos padecimientos y si la respuestas de los encuestados era negativa “no” se asignó sobre el cuestionario un valor de (0), en caso contrario si el entrevistado contestaba que “sí”, sobre el cuestionario se asignaba un valor de (1).

El Cuadro 12, resume los casos reportados con alguno de estos padecimientos al momento del censo, los grupos de edad son por cada 10 años. La primer columna del gráfico representa los rangos de

edad, la segunda columna contiene la población total, las columnas consecutivas representan los casos reportados con IRC (134), DM (226), HTA (296) e IVU (381).

Cuadro 12.- Casos reportados con alguna enfermedad crónica asociada a la IRC

Rango	Población Total	Casos de enfermedad			
		IRC	DM	HTA	IVU
0 a 9	885	5	2	0	23
10 a 19	935	22	13	14	52
20 a 29	688	21	22	30	81
30 a 39	474	22	26	31	72
40 a 49	403	22	36	49	51
50 a 59	326	16	54	68	42
60 a 69	196	10	30	47	30
70 a 79	122	11	31	41	18
80 a 89	47	4	4	9	6
90 a 99	49	1	8	7	6
TOTAL	4,125	134	226	296	381

Fuente: Elaboración propia a partir del EEFAIRCPCDHM, 2012

Los casos reportados en cuanto a estas tres enfermedades tienen evidencia asociativa al desarrollo de la IRC (López, 2010), se presentan en prácticamente los 10 grupos de edad, con mayor frecuencia en los grupos 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Llama la atención la frecuencia de enfermedades en el grupo 2, con edades que van de los 10 a 19 años que ya presentan problemas de salud asociada a IRC, si se considera que esta enfermedad crónica se desarrolló en edades avanzadas; ya que el organismo va perdiendo naturalmente algunas funciones como el filtrado de sustancias tóxicas en la sangre, se esperaría no encontrar casos a edades tempranas, sino por el contrario, en el grupo de 7, 8, 9 y 10.

Al calcular la prevalencia puntual de dichas frecuencias (Cuadro 13), se aprecia un aumento de casos con alguno de estos padecimientos en los grupos de edad 6, 7, 8 y 9.

Cuadro 13.- Prevalencia (x 100) de enfermedades asociadas a la IRC

Rango	Población total	Prevalencia IRC	Prevalencia DM	Prevalencia HTA	Prevalencia IVU
0 a 9	885	0.56	0.23	0.00	2.60
10 a 19	935	2.35	1.39	1.50	5.56
20 a 29	688	3.05	3.20	4.36	11.77
30 a 39	474	4.64	5.49	6.54	15.19
40 a 49	403	5.46	8.93	12.16	12.66
50 a 59	326	4.91	16.56	20.86	12.88
60 a 69	196	5.10	15.31	23.98	15.31
70 a 79	122	9.02	25.41	33.61	14.75
80 a 89	47	8.51	8.51	19.15	12.77
90 a 99	49	2.04	16.33	14.29	12.24

Fuente: Elaboración propia a partir del EEFAIRCPCDHM, 2012

Con la idea de ser grafica la información anterior se construyó el grafico de prevalencias (Figura 24) en el cual se observa una tendencia de crecimiento de casos de IRC en líneas punteadas rojas , dando evidencia que esta enfermedad tiende a desarrollarse en los grupos etarios 8 y 9, de igual forma esta tendencia de crecimiento la presenta la HTA y la DM que comienza en el grupo 6 con edades de 60 años y más, agudizándose la presencia de estas enfermedades en el grupo 8 que va de los 70 a 79 años.

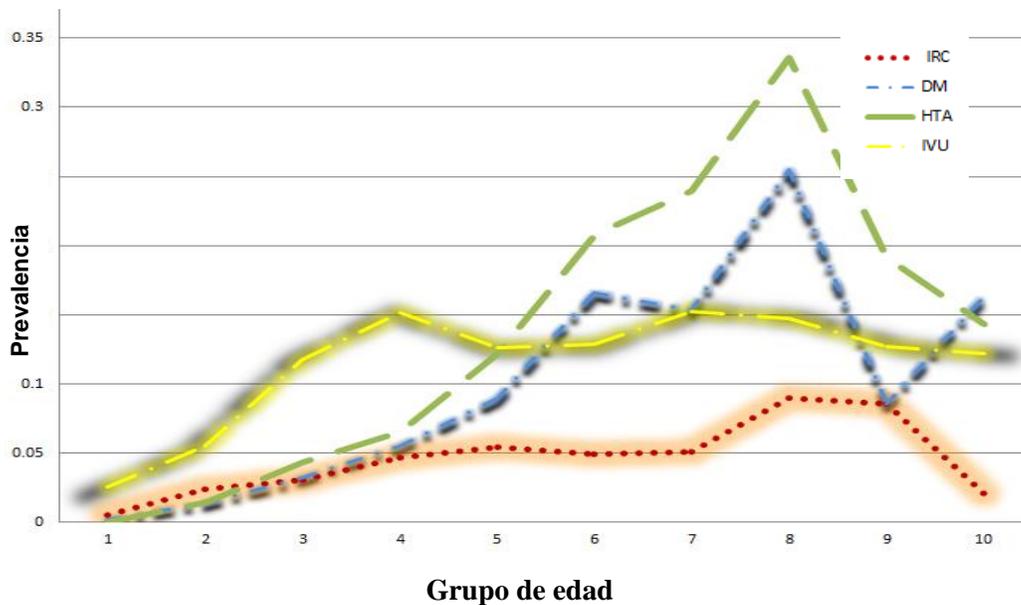


Figura 24. Tasa de prevalencia de IRC y enfermedades asociadas en TSPJ

Fuente. Elaboración propia

Otro dato importante sobre estas enfermedades tiene que ver con las frecuentes infecciones en vías urinarias, este padecimiento es muy frecuente en el grupo 3 y 4 con edades de 30 a 39 años, es decir, jóvenes y adultos son los más vulnerables a presentarlas, en el gráfico se aprecia una línea con tendencia del 2% en el grupo de niños de 0 a 9 años y alcanza 15% de la población con este padecimiento el grupo 4, este porcentaje se mantiene en los grupos restantes.

3.4 ASOCIACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO ANTE LA IRC

Uno de los propósitos de los estudios epidemiológicos es conocer la situación de salud de la población, es decir, conocer o cuantificar las frecuencias de las enfermedades que prevalecen en la población, así como aquellos factores, causas o determinantes que contribuyen a explicar su comportamiento ya sea presencia, aumento o reducción de la salud (Villa *et al.*, 2012).

Algunos estudios epidemiológico se enfocan a cuantificar la magnitud probabilística de la asociación entre factores de exposición y desenlaces (muerte, incapacidad) de interés. Para este fin se utilizan diversas mediciones, tales como; medidas de frecuencia, de asociación y de impacto potencial (Figura 25). *Ididem*

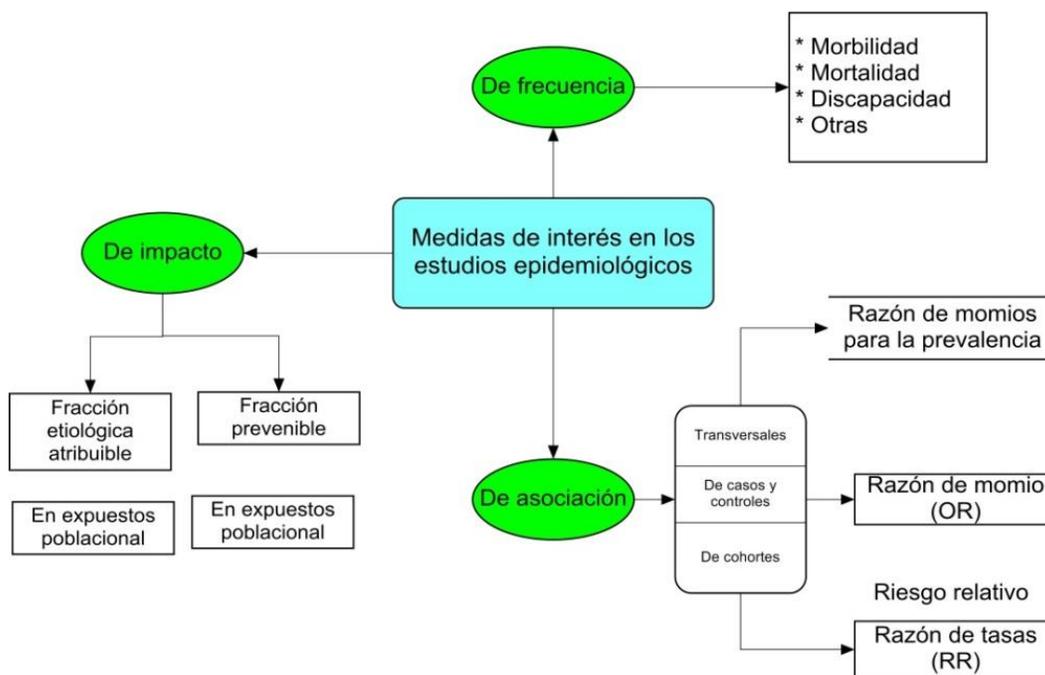


Figura 25.- Mediciones utilizadas en epidemiología.

Fuente: Tomado de Villa *et al.*, 2012

Una de las primeras interrogantes fue contestar si a partir de las frecuencias observadas es posible saber si la IRC está asociada a la DM, HTA e IVU. Para contestar esta pregunta se utilizó el análisis bivariado relacional con variables categóricas a partir de tablas de contingencias y calcular la prueba χ^2 ⁵ que permite determinar si existe asociación entre exposición y el evento de interés mediante la siguiente ecuación (Ebdon, 1982):

$$X^2 = \sum \frac{(fo - fe)^2}{fe}$$

En donde fo es la frecuencia observada y fe es la frecuencia esperada; para obtener las frecuencias esperadas de cada una de las celdas se debe multiplicar el total de la columna por el total de la fila, y se divide por el gran total.

Para ejemplificar este procedimiento estadístico se realizó el ejercicio para el caso de la IRC vs DM.

Exposición (DM) Observado

		0	1	Total
<i>Evento</i> IRC	1 : caso	3,782	209	3,991
	0 : no caso	117	17	134
Total		3,899	226	4,125

Exposición (DM) Esperado

		0	1	Total
<i>Evento</i> IRC	1 : caso	3,772.34	218.65	3,991
	0 : no caso	126.65	7.34	134
Total		3,899	226	4,125

⁵ El χ^2 es una prueba estadística que nos permite reconocer la asociación entre dos variables categóricas, ya sean categóricas o politómicas.

$$X^2 = \sum \frac{(3782-3,772.34)^2}{3,772.34} + \frac{(209-218.65)^2}{218.65} + \frac{(117-126.65)^2}{126.65} + \frac{(17-7.34)^2}{7.34}$$

$$\text{Sustituyendo } X^2 = 0.0247 + 0.425 + 0.735 + 12.7 = 13,8943$$

Valor Chi2 experimental = 13.8943

Valor teórico con un nivel de error a 0,05% y con 1 grado de libertad es igual a 3,8415

Valor experimental = 13,8943 > Valor teórico = 3,8415

Se concluye que los casos de DM son dependientes a los casos de IRC

Este procedimiento se aplicó a las demás variables y los resultados se presentan en el cuadro 14.

Cuadro 14. Resultado de la prueba Chi cuadrada ente IRC y sus diversas variables

Variable explicativa	Chi2	p
DM	13,89	0,000
HTA	68,85	0,000
IVU	159,4	0,000
EDAD por deciles	55,22	0,000

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del cuadro 14 indican que los factores de riesgo en este estudio si están asociados con la IRC, con una p significativa ($p < 0,05$) en la cuatro variables explicativas.

Sin embargo, es preciso tener en cuenta que el estadístico χ^2 no mide la magnitud o fuerza de asociación entre dos variables categóricas.

3.5 FUERZA ASOCIACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO ANTE LA IRC

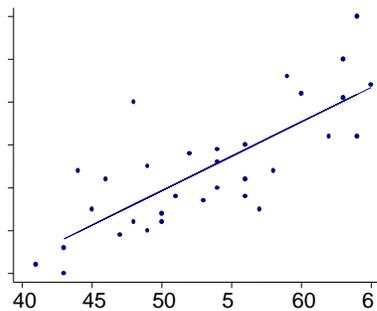
Considerando la naturaleza y diseño del estudio del cual provienen los datos utilizados en este análisis (Estudio EEFAIRCPCDHM, diseño transversal, variables de respuesta dicotómicas) es pertinente calcular

la medida de asociación conocida como; odds ratio o razón de momios⁶, ya que ésta representa una razón aritmética respecto al número de veces en que es más probable que se observe la enfermedad en un grupo que tiene la exposición al factor de riesgo en comparación al grupo que no esta expuesto.

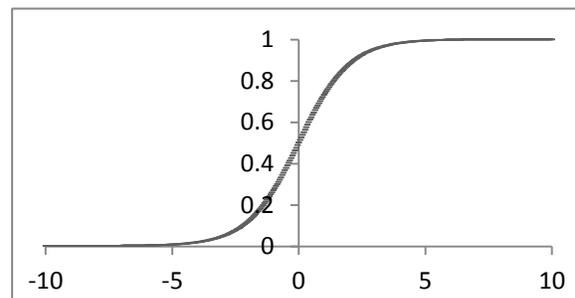
La razón de momios *odds ratio* (OR) compara la probabilidad de ocurrencia de un evento con la probabilidad que no ocurra, se puede expresar de la siguiente manera:

$$odds = \frac{P}{1-P}$$

De acuerdo con Santos (2008), por tratarse de una variable de respuesta dicotómica (presencia o ausencia de IRC), el análisis estadístico indicado es un modelo de regresión logística, ya que el modelo lineal requiere de variables numéricas en la cual la línea recta puede tomar cualquier valor real (Figura 25a), en nuestro caso y dada la naturaleza de las variables con la que contamos es necesario utilizar el modelo logística, que toma valores entre [0,1] (Figura 25b)



25a.- Regresión Lineal



25b.- Regresión Logística

El modelo logístico relaciona la probabilidad (P) con la denominada función logística se presenta en la Figura 26.

⁶ En términos formales se define los odds ratio como; la probabilidad de que una condición de salud o enfermedad se presente en un grupo de población frente a un riesgo de que ocurra en otro, es decir que la razón de momios es una medida que indica la fuerza de asociación o tamaño de efecto.

$$\mathbf{Log} \frac{P}{1-P} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p \quad \longrightarrow \quad P = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p)}}$$

Figura 26.- Modelo de la regresión logística
Fuente: Tomado de Díaz, 2011

Donde el coeficiente B_1 de cada predictor obtenido por regresión logística es el logaritmo neperiano de la las razones de momios del factor de riesgo (Díaz, 2011).

La transformación logarítmica (LOGIT) la convierte finalmente en una función lineal, que sigue la ecuación de la recta cuyas pendientes son los distintos coeficientes de regresión β_1 si el signo de $B_1 > 0$ significa que es una variable predictora que aumenta la probabilidad del suceso.

En general esta razón, estima las veces del riesgo de enfermar de las personas que estuvieron expuestos a un factor de riesgo en comparación con quienes no estuvieron expuestos.

Apoyados con el software estadístico STATA se construyeron modelos de regresión logística con cada una de las variables explicativas, y se interpretaron los *odds ratios*. (Anexo 7.2)

Los resultados de la regresión logística se aprecian en el cuadro 15, en la cual se observa para cada variable el valor del *odds ratio* de cada variable, junto con su intervalo de confianza de 95% .

Cuadro 15.- Razón de momios de IRC ajustado por DM, HT y IVU

IRC	Razón de momios	Error estándar	p > z	Intervalo de confianza al 95%	
IVU	6.12	1.18	0.000	4.18	8.95
HTA	2.71	0.61	0.000	1.73	4.24
DM	1.91	0.55	0.024	1.08	3.36

Fuente: Elaboración propia

Interpretando los las razones de monomios tenemos que:

Se tiene 6 veces el riesgo de presentar IRC cuando se tiene IVU, con respecto a las personas que no presentan IVU, independientemente de la HTA y DM. Con un intervalo de confianza de 4,18 a 8,95

En cuanto a personas que padecen HTA tienen un riesgo de casi 3 veces de presentar IRC, con respecto a las personas que no presentan HTA. Con un intervalo de confianza entre 1,73 a 4,24

Por último, las personas con DM tienen un riesgo de 91% de presentar IRC en comparación de aquellas personas que no tiene diabetes, a un intervalo de confianza 1,08 a 3,36

La información obtenida en esta prueba estadísticas será de utilidad en el capítulo IV, al momento de utilizar la herramienta de superposición ponderada de mapa, esta herramienta permite asignar pesos específicos a una variable, en nuestro caso serán utilizados los odds ratios como pesos ponderadores o de importancia.

4 ANÁLISIS ESPACIAL APLICADO A LA IRC EN LA TSPJ Y SUS ENCARGATURAS

Hasta el momento la investigación tocó temas de interés como; datos, conceptos y factores de riesgo ante la IRC, una breve descripción sobre las características geográficas de la zona de estudio, una somera descripción del análisis de calidad de agua en la zona de estudio. En el capítulo III, se planteó la metodología e importancia de integrar información georreferenciada en los estudios epidemiológicos, así como el análisis de la estructura poblacional y factores de riesgo (asociación y fuerza de asociación) ante la IRC.

De aquí en adelante nos enfocaremos en el estudio de los patrones de distribución de aquellas personas que reportaron padecer IRC, DM, HTA e IVU, en este último capítulo se expone una propuesta metodológica para trabajar datos puntuales georreferenciados a partir de la técnicas de cuadrantes o rejillas regulares con la finalidad de obtener un mapa de riesgo epidemiológico ante la IRC. Para ello, es necesario tomar en cuenta las valiosas observaciones y sugerencias realizadas por el Dr. Carlos Castillo Salgado y la Dra. Reyna L. Pacheco resumidas en el siguiente enunciado:

“...para el estudio de la IRC a nivel geoespacial, es necesario tener en consideración que la IRC es una enfermedad crónica no transmisible, no contagiosa, sino clínica, que afecta con mayor frecuencia a la población adulta, en la cual, las personas que la padecen son dinámicas y no estáticas que pueden ser estudiadas con la estadística espacial a un nivel retrospectivo y exploratorio”.

4.1 PROCESO PUNTUALES

Una de las formas tradicionales para la elaboración de mapas de interés para la salud pública es la representación de eventos de salud en forma de puntos, ya que durante el procedimiento de análisis minimiza el problema asociado a la adopción de áreas administrativas artificiales (Dunn *et al*, 2001).

Al utilizar información georreferenciada, surge la interrogante si estos datos espaciales⁷ presentan algún tipo de arreglo o dependencia espacial, ya que el arreglo de estos datos describen los patrones de distribución de eventos puntuales sobre el espacio geográfico, conocer esta característica permite plantear un juego de hipótesis sobre si este arreglo ha sido producto de un proceso estocástico (hipótesis de aleatoriedad espacial H_0) o por el contrario, este arreglo puede dar evidencia de algún factor determinista (hipótesis alternativa o del investigador H_1), los estudios de patrones espaciales básicamente son clasificados como “disperso, regular o agregado” (Diggle, 2003).

4.1.1 Mapa de Puntos

Para comenzar a analizar la información puntual a nivel espacial, se comenzó con una inspección visual sobre la distribución de la nube de puntos georreferenciada (Figura 27), en el cual, se observa con puntos negros, la distribución o arreglo geográfico en la cual se encontró a la población al momento del censo (4,125 sujetos), así mismo se integró información complementaria como los posible límites administrativos de la Tenencia de San Pedro Jácuaró y sus encargaturas⁸. Un aspecto importante por mencionar al respecto, es que la configuración geométrica de las encargaturas es irregular, es decir que la extensión territorial es muy variable. En dicha imagen se integró un cuadro con las frecuencias de distribución por encargatura, que indican la existencia de una concentración poblacional en TSPJ, TC y San Isidro Alta Huerta (SIAH), la suma de estas tres encargaturas recogen el 63.9% mientras que por el contrario las encargaturas de Palos Seco (PSCH), San Nicolás Cuchipítio (SNCH) y San José Irapé (SJI) representan el 7.6% de total de población, es decir que existe una distribución irregular en la zona de estudio.

Debido a la variabilidad territorial presente en los posibles límites administrativos se recurrió a utilizar la técnica conocida como *Quadrats*, (Santos, 2008; Thomas RW, 1979) la cual permitió dividir la zona de estudio en n rejillas regulares, utilizadas para calcular medidas como: tasas, densidad y promedios.

⁷ Un dato espacial es definido como la observación de una variable asociada a una localización del espacio geográfico.

⁸ La encargatura de Casa Blanca se excluyó para el análisis ya que los asentamientos humanos no eran permanentes, es decir que las viviendas ocupadas por algunas horas del día. Por lo general son ranchos en los cuales la gente tiene sus animales.

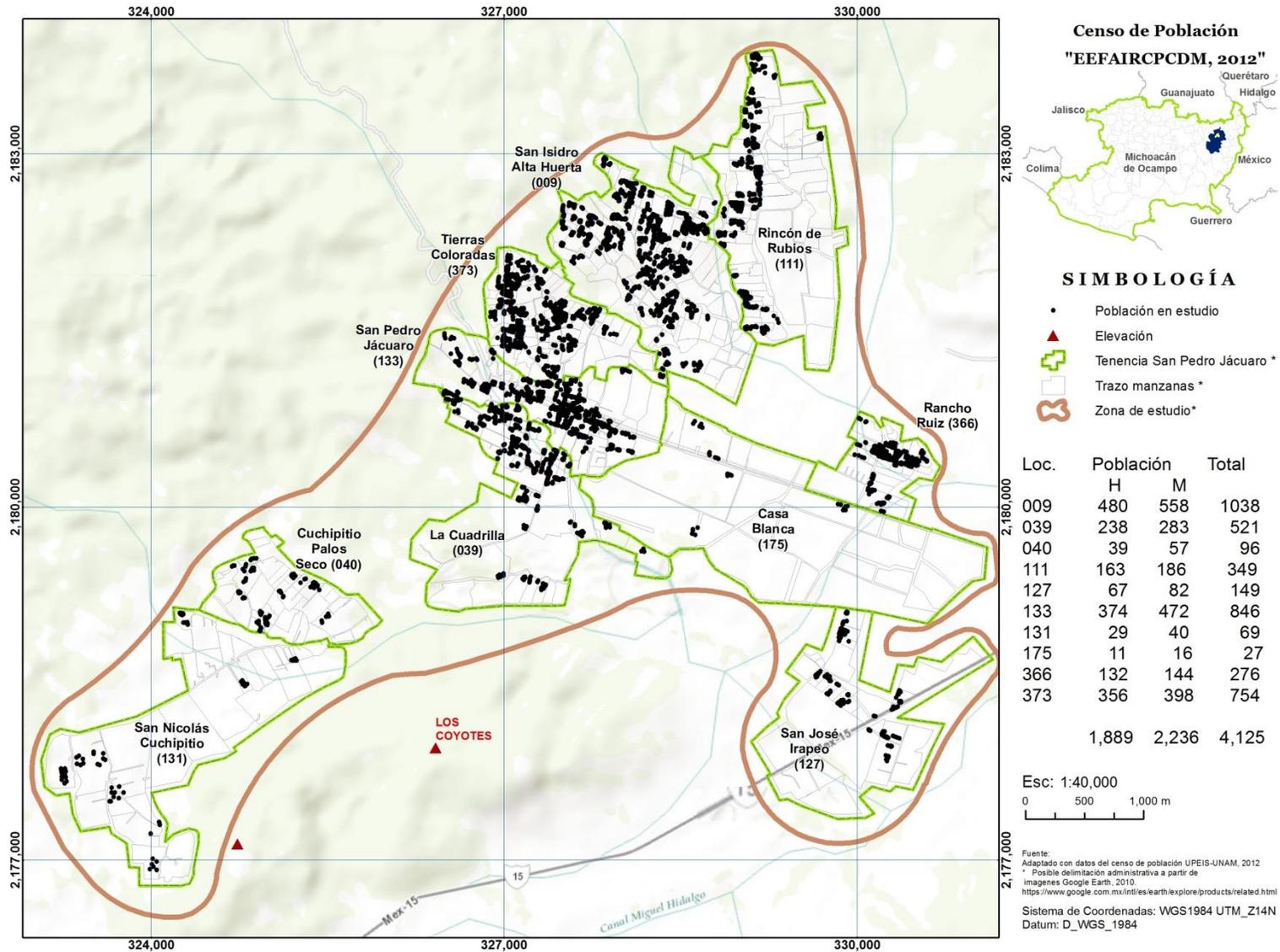


Figura 27. Mapa de puntos (Distribución de la población en la TSPJ, 2012)
 Fuente: Elaboración propia

4.2 ANÁLISIS DE LA IRC A PARTIR DE CUADRANTES (*QUADRATS*)

El análisis de patrones puntuales mediante la técnica conocida como *Quadrats*, consiste en establecer, sobre una región, una serie de porciones o rejillas regulares con el mismo tamaño típicamente cuadradas (*Quadrats* en inglés), en la cuales se registra el número de eventos contenida en cada una de esta rejillas (Santos, 2008) (Figura 28)

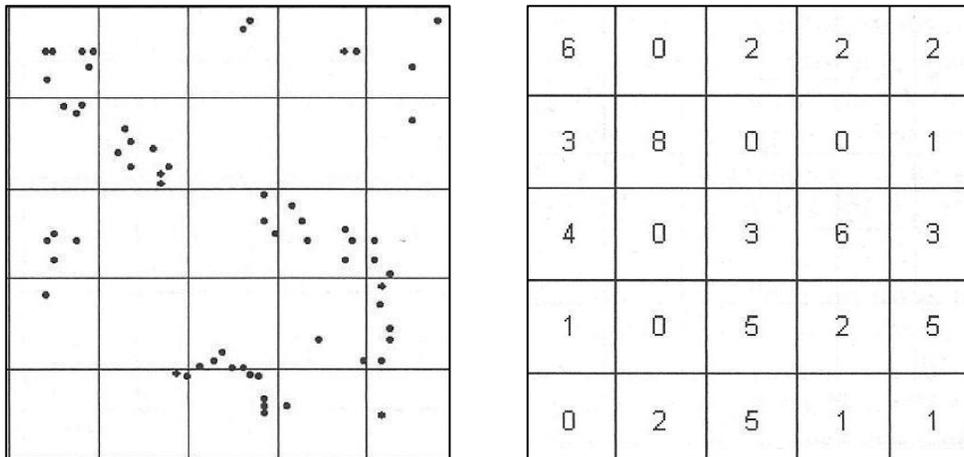


Figura 28-. Técnica para analizar datos puntuales georeferenciados (*Quadrats*).
Fuente: Tomado de Santos, 2008.

Esta técnica es muy utilizada en el campo de la ecología (Diggle, 2003), sin embargo se ha utilizado en otros campos como la geografía y la epidemiología ambiental (Greig & Smith, 1964 citado en Diggle, 2003). De acuerdo con Tomas (1979) esta técnica puede ayudar a calcular, tasas, promedios, frecuencias y prevalencia (Thomas, 1979)

En nuestro caso en particular, se utilizarón las rejillas para realizar el calcululo de promedio y prevalencia de los factore de riesgo ante la IRC. Antes de comenzar con el analisis es necesario tomar las siguientes consideraciones:

- Las operaciones que implican la agregación espacial (un conjunto de puntos agregados a un conjunto de rejillas) conllevan a una pérdida de información original y posible adición de ruido no deseado en los patrones (Openshaw, 1984).

- Un número pequeño de casos (contenido sobre las rejillas) pueden distorsionar enormemente una tasa, si los eventos se disponen regularmente, el número de eventos será muy semejante en todos los cuarteles, disminuyendo la varianza (Chin *et al*, 2009).

Para la creación de rejillas se utilizó el software cartográfico *ArcGis V.10*, con la herramienta *Créate Fishnet*, disponible en el módulo *Data management tools/Feature class*, esta herramienta permite crear mallas o conjuntos de celdas (rejillas regulares) sobre un espacio geográfico, de manera secuencial se realizó la unión de información contenida en los puntos (atributos) a las rejillas recién creadas, con un proceso denominada (*Spatial join*) ubicado en la *ArcToolbox/Analysis tools/Overlay*.

“Una elección arbitraria de los tamaños de rejilla podría influir profundamente en los resultados, puede ocurrir que unos tamaños lleven a resultados plausibles bajo la hipótesis nula de aleatoriedad espacial, y otros inviten a descartar dicha hipótesis en sentidos dispares. Si los cuarteles son demasiado grandes, el número de eventos tendrá a ser similarmente elevado en todos ellos, disminuyendo la varianza y sesgando el diagnostico hacia la regularidad; si son demasiado pequeños, la malla dividirá los conglomerados, pudiendo llegarse al extremo de que el número de eventos por rejilla haya de ser cero, o uno, sesgando las conclusiones hacia el modelo de aleatoriedad” (Santos, 2008).

En base al enunciado anterior se realizó el ejercicio de construir rejillas con distinto tamaño 100, 150, 200, 250 y 300 mts. Upton y Fingleton, (1985) citado en Santos, (2008) mencionan que existen varios criterios para seleccionar el tamaño de rejilla, sin embargo no existe unanimidad de criterios, así que en esta investigación se utilizó el índice de autocorrelación espacial⁹ *I de Moran* (ver apartado 4.3 de este capítulo) en rejillas con diferentes tamaños, buscando aquella que presente menor dependencia espacial. (Figura 28).

Para realizar el ejercicio de autocorrelación se utilizó el módulo de *ArcToolBox/Analyzing Patterns/Spatial autocorrelation (Moran I)*, el cual permite ingresar una archivo *shape file* en formato poligonal (número de eventos contenido en cada una de las rejillas), el software ofrece la opción de

⁹ La autocorrelación espacial supone la tendencia de los lugares contiguos a parecerse entre sí, este hecho se refleja en la primera ley de la geografía enunciada por Waldo Tobler (1970) acerca de que los datos espaciales no son independientes sino dependientes de su localización relativa. Así podemos interpretar que los hechos físicos que tienen lugar sobre la corteza terrestre originan la semejanza en las características existentes en dos puntos próximos (Santos, 2008)

integrar un campo contenido en la tabla de atributos del *shape*, en nuestro casos se eligió el campo que contenía la variable dependiente (casos con IRC) por rejilla. Así mismo se definió el parámetro de la relación espacial inversa a la distancia.

Los resultados de este proceso se resumen en la (Figura 29), la cual refleja el valor Z de la *I de Moran* para cada tamaño de rejilla, con una línea punteada se marcó el valor crítico de Z a 1.96 a un nivel de significancia de 5%.

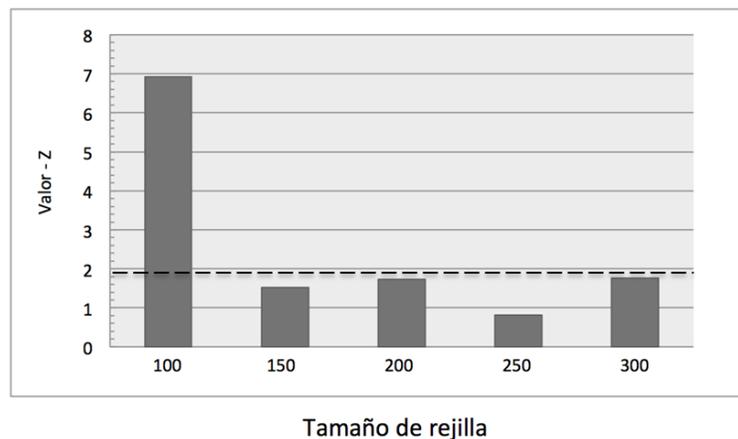


Figura 29. Valor Z para cada tamaño de celda, la línea punteada indica el valor de referencia.

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados anteriores se eligió la rejilla de tamaño 150m x 150m, ya que fue la que presento una Z score de 1.51 a escala fina, cumpliendo así valores críticos inferiores a 1.96, es decir aquellas rejillas que presentaron un patrón de aleatoriedad o menor dependencia espacial.

Al establecer este tamaño de rejilla se buscó evitar las pérdidas de información, tanto por una generalización excesiva, que tiene lugar cuando su valor es demasiado grande (250 m), como por obscurecer las tendencias generales, lo que ocurre cuando es demasiado pequeño (100m). En la (Figura 30), se muestra el mapa de la TSPJ y sus encargaturas sobrepuesta un conjunto de rejillas regulares (2,600) de tamaño 150 x 150m, que cubrió la zona de estudio (rejillas en color gris). Sin embargo solo 211 rejillas (color negro) registraron un determinado número de puntos.

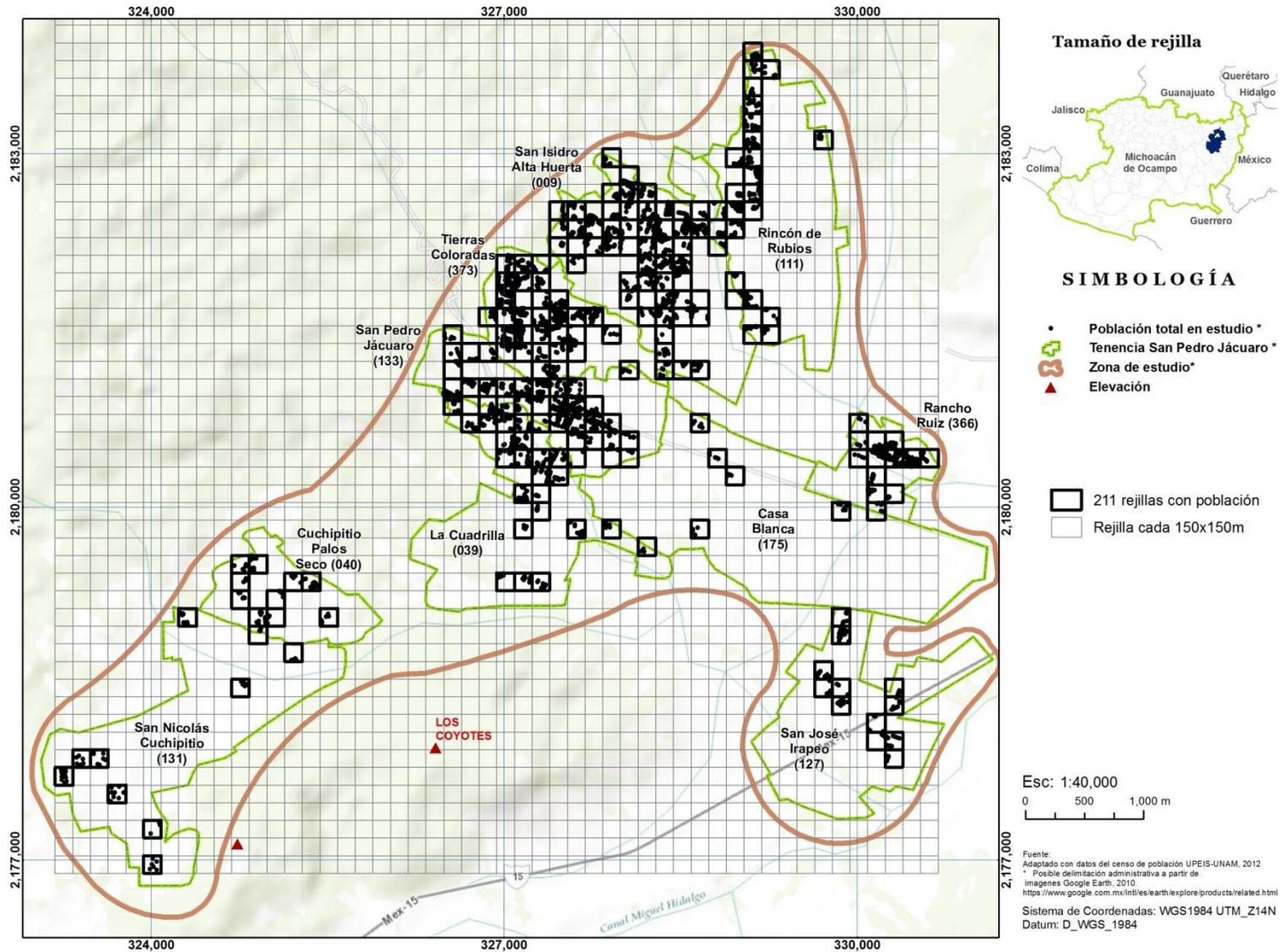


Figura 30. Mapa de rejillas de tamaño 150 x 150m utilizadas para el análisis cuadrático
Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Mapa de densidad de población

Una vez definida y construida la malla de 150m x 150m, se procedió al cálculo de densidades de población sobre la rejillas regulares, esto permitió observar y localizar las áreas que presentan una concentración de población o cualquier otra variable a analizar (Jiménez , 1991).

De acuerdo con Monkhouse (1978) define a la densidad poblacional como el promedio de habitantes por unidad de superficie en un determinado territorio. En nuestro caso se obtuvo el número total de puntos contenidos por rejillas (numerador), y dado que se contó con un estándar de tamaño de rejilla se obtuvo la densidad poblacional a nivel rejilla, los valores de densidad se categorizaron en 5 clases, representando un valor alto a una alta densidad de población (Figura 31).

	Pob.	Categoría
1	4 a 10	Muy Baja
2	11 a 20	Baja
3	21 a 40	Media
4	41 a 60	Alta
5	61 a 94	Muy Alta

Figura 31.- Clasificación de densidad poblacional
Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior, se representa a partir de colores el grado de densidad presente en la zona de estudio. Con el número [1-color blanco], rejillas en donde hay muy poca población, estas rejillas tienen menos de 10 habitantes. Las rejillas que ya presentan grupos de al menos 20 personas por rejillas se consideró como densidad baja [2- color verde], en cuanto a la densidad media, son áreas en donde se localizan hasta 40 personas [3-color amarillo], en cuanto a las rejillas que indican la presencia de hasta 60 personas en un área de 150x150m se consideró una alta densidad [4- color rosa]. Por último, se definió como muy alta densidad a las rejillas que contabilizaron 61 a 94 habitantes [5-color rojo].

Como se observa en la (Figura 32), la densidad alta predomina en la zona de estudio [4] principalmente las encargatura de San Isidro Alta Huerta, localizado en las partes altas de la zona de

estudio, mientras que las densidades Muy altas se localizan en TSPJ, TC y RaRu. En cuanto a las encargaturas que presentan una población muy dispersa se encuentran hacia la parte sur, encargaturas como San José Irapeo, Palo Seco y San José Cuchipitio [1-blanco]

En la cartografía siguiente se mantuvo la numeración de la clasificación de densidad, esto con el fin de obtener una mejor interpretación de las siguientes variables.

4.2.2 Mapa de promedio de edades

El promedio de edad es un indicador que refleja si la población es joven, adulta o si el conjunto de edades se encuentra en el promedio. Lo más importante es su localización. Para la construcción de esta cartografía se obtuvo la suma total de edades y se dividió por su total de sujetos contenidos en cada rejilla, de esta manera se obtuvo la edad promedio en cada rejilla y se logró mapear la distribución de la población.

La clasificación utilizada en esta cartografía fue a partir de desviaciones estándar, ya lo interesante de esta cartografía es conocer aquellas rejillas que se desvían del promedio de edad (Figura 33)

La edad promedio para la zona de estudio fue de 27,9 años a nivel rejilla. Para su representación gráfica se utilizó el color amarillo pálido para indicar una edad promedio inferior a la media. Y en tonalidades azules para representar los promedios de edad superior a la media.

En la figura 34, se logró identificar dos áreas o conjunto de rejillas bien definidas, aquellas que presentan a una población adulta localizada en las TSPJ y SNCH, prácticamente abarcando toda la tenencia en el caso de San Pedro y en el caso de San Nicolás y Palo Seco con varias rejillas con valores de edad superior a la media. Mientras que caso contrario, las encargaturas, TC y SIHA, predominan poblaciones jóvenes, al igual que la parte central de TC.

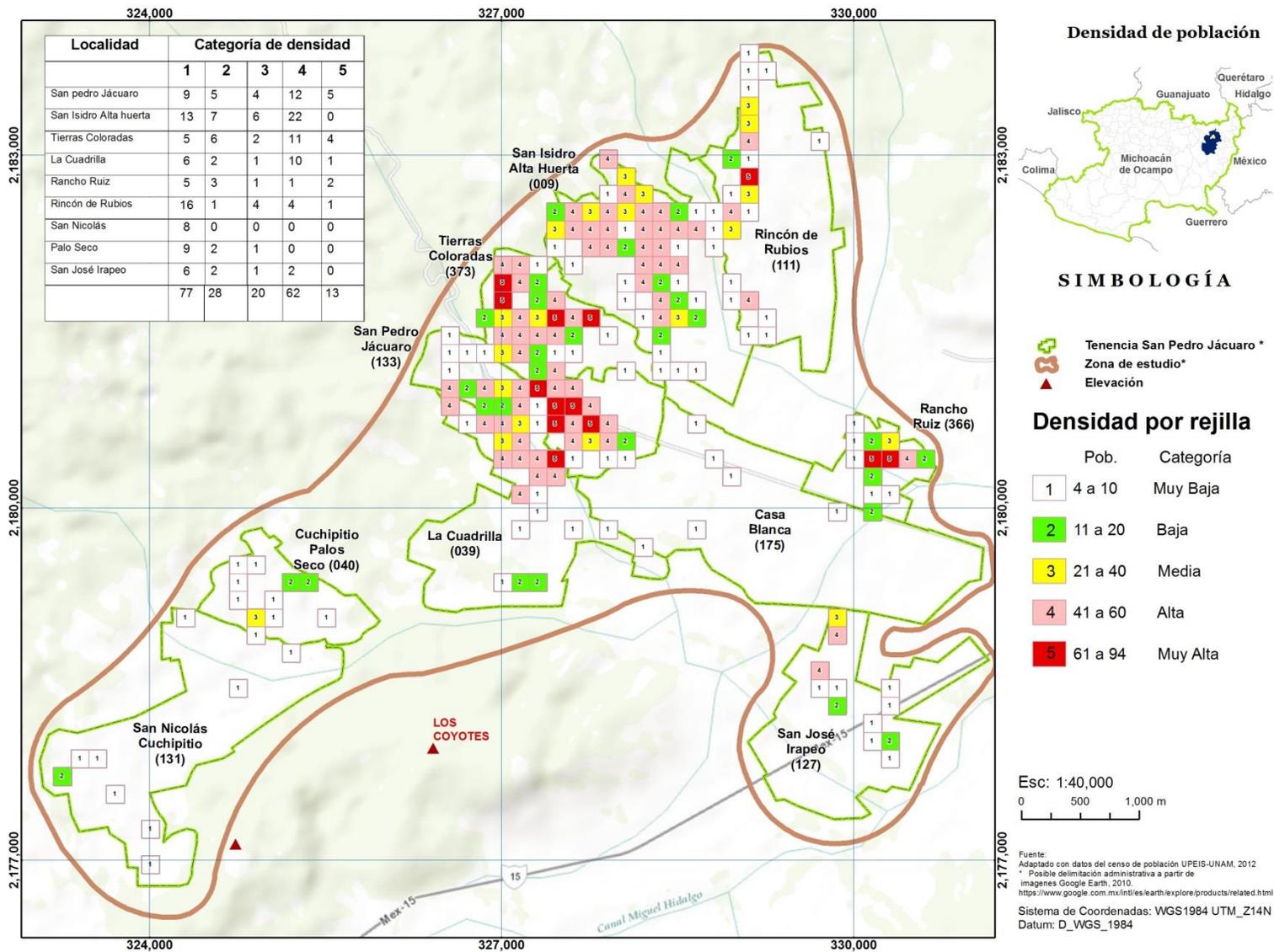


Figura 32. Mapa densidad de población en la TSPJ y sus encargaturas.
Fuente: Elaboración propia

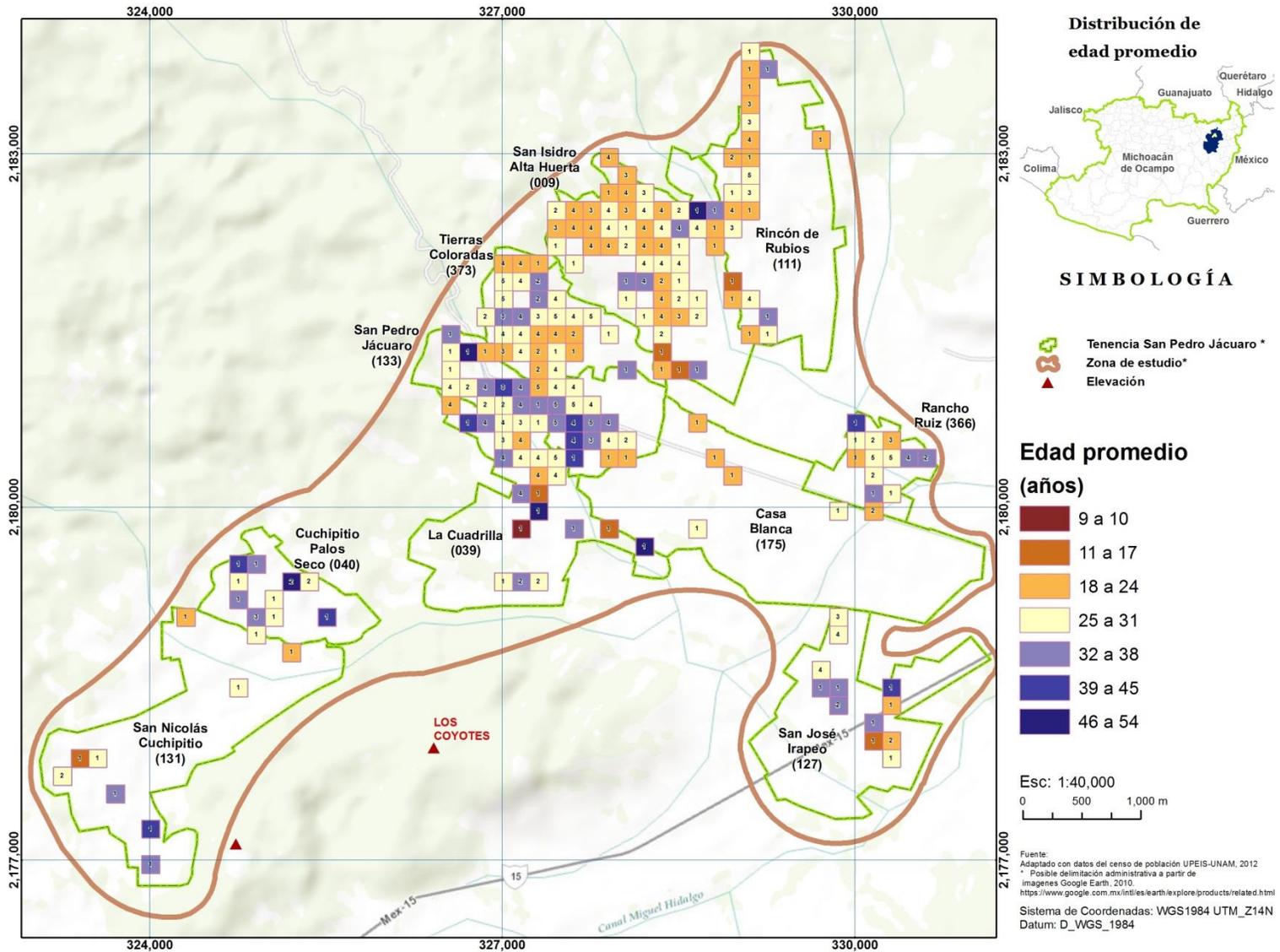


Figura 33. Mapa edad media en la TSPJ sus encargaturas
Fuente: Elaboración propia

A partir de esta cartografía temática podemos mencionar que la TSPJ está constituida por una población adulta concentrada en la parte central de la tenencia, mientras que las poblaciones jóvenes se localizan hacia la parte alta de las encargaturas de SIAH, TC y RiRu, es posible que esta distribución tenga que ver con la demanda de nuevos espacios para las parejas jóvenes.

4.2.3 Mapa de prevalencia de IRC y sus factores de riesgo

La disciplina geográfica contribuye al estudio de la epidemiología espacial a través de la descripción y comprensión de las variaciones espaciales del riesgo ante una enfermedad (Chin *et al*, 2009). La técnica de mapeo de prevalencia¹⁰ es frecuentemente utilizada en estudios epidemiológicos. Los valores de prevalencia toma valores entre 0 a 1 y es posible expresarse en porcentaje. En este trabajo de tesis, el cálculo de prevalencia fue aplicado en tres niveles;

- 1) **Prevalencia general;** En el cual se agruparon todos los sujetos que presentaron IRC en la zona de estudio (134 como numerador) entre el total de población (4,125 como denominador) multiplicado por 100, esto equivale a una prevalencia de 3.24 sujetos por cada 100 personas presentan IRC. Este dato se utilizó como prevalencia de referencia por encargatura y a nivel de rejilla.
- 2) **Prevalencia por encargatura;** En la cual se agruparon el total de enfermos renales registrados en una encargatura y se dividió por el total de la misma, a este nivel de escala, se intenta obtener una diferencia de prevalencia por encargatura e identificar rejillas prioritarias. Las encargaturas que presentan mayor prevalencia de IRC es; SNCH (0,159), RaRu (0,051) y TSPJ con (0,041)
- 3) **Prevalencia a nivel de rejilla;** Las técnica de rejillas se utilizó para estandarizar la zona estudio y al mismo tiempo se utilizaron para realizar los cálculos de prevalencia a una escala fina (150 x 150 m). dado que esta técnica agrega puntos a polígonos, fue posible obtener el

10 Una medida frecuentemente utilizada en epidemiología es la prevalencia, ya que es una proporción que indica la frecuencia de un evento. En general, se define como la proporción de la población que padece la enfermedad en estudio en un momento dado, y se denomina únicamente como prevalencia (p). A menudo, se expresa como casos por 1,000 habitantes. En nuestro caso fue multiplicado por 100. Si los datos se han recogido en un momento o punto temporal dado, p es llamada prevalencia puntual y se calcula con la siguiente expresión:

$$prevalencia = \frac{\text{número total de casos existentes al momento } t}{\text{total de la población en el momento } t} (x10n)$$

conteo de caso con IRC sobre la población total contenida en la rejilla, esto permitió identificar área con mayor prevalencia no solo para IRC sino para las variables consideradas como factores de riesgo ante dicha enfermedad.

Dado que se contaba con el número de casos con IRC, DM, HTA e IVU y el número de población total, fue posible obtener la prevalencia de dichas enfermedades a nivel rejilla. Estas prevalencias se categorizaron a una escala de quintiles, para hacer comparables los diferentes mapas temáticos.

De los 134 casos reportados con IRC, 85 corresponde al sexo femenino y 51 al sexo masculino; la encargatura que más casos reportó es TSPJ y SIAH, (30 y 34 sujetos), esto es el 26% y 22%, respectivamente. (Cuadro 16)

Cuadro 16.- Datos de IRC en la zona de estudio

Insuficiencia renal crónica IRC					%	Edad Media
CVE_LOC	Encargatura	Mujeres	Hombres	Total		
039	La cuadrilla	2	3	5	3.7	32
040	Cuchipítio palo seco	0	0	0	0.0	0
009	San Isidro Alta Huerta	21	9	30	22.1	40
111	Rincón de Rubios	6	2	8	5.9	55
127	San José Irapeo	7	2	9	6.6	24
131	San Nicolás Cuchipítio	7	4	11	8.1	34
133	San Pedro Jácuaro	21	13	34	26.5	46
366	Rancho Ruiz	9	5	14	10.3	55
625	Tierras Coloradas	12	11	23	16.9	36
		85	49	134	100.0	32.2

Fuente: Elaboración propia

La edad media global para la enfermedad en cuestión es de 32 años, la edad promedio más baja se registró en SJI con 24 años, mientras que la edad de 55 años promedio la encontramos en RaRu y RiRu, recordemos que esta enfermedad son más frecuente en edades avanzadas y atípicamente en edades jóvenes (López, 2010)

Los mapas de prevalencia de IRC, DM, HTA e IVU se clasificaron a partir de quintiles con diferentes tonos de colores para diferenciar el tipo de enfermedad, los valores de prevalencia se categorizan de acuerdo al Cuadro 17.

Cuadro 17.- Clasificación de riesgo sobre la prevalencia de IRC.

Prevalencia de IRC x 100 hab.	Categoría
0	Sin casos
.01 a 5	Muy Baja
5,1 a 10	Baja
10,1 a 35	Media
35,1 a 75	Alta

Fuente: Elaboración propia

El mapa de prevalencia de IRC (Figura 34), presenta tonalidad que van de amarillo, baja prevalencia a marrón alta prevalencia. Los valores de muy baja prevalencia se localizan con más intensidad en la TSPJ parte central y TC, localizada en la parte alta de la encargatura, prevalencia bajas (anaranjado) se registran en RaRu y LC. La prevalencia alta o al menos mayor que la media general, con tonalidad en rojo, se ubica hacia la encargatura de SNCH,SJI y SIAH y en menor medida RaRu, de estas, solamente 2 rejillas en TSPJ y una en TC, podríamos considerar una alta prevalencia ya que presenta una densidad de población categoría 3 y 4 respectivamente.

Mientras que el resto de rejillas de color rojo presentan una densidad de población de 1, es decir, baja densidad de población, no podemos interpretar que estas rejillas presentan mayor prevalencia, ya que estas rejillas están afectadas por una baja densidad de poblacional. En color marrón se presenta la prevalencia superior a 35 por cada 100 habitantes, localizada en la encargatura de SNCH, sin embargo, esto puede ser engañoso puesto que algunas rejillas presentan una densidad de población baja de 4 a 10 personas, en algunos casos se presentó qué: la rejilla contenía cuatro personas y dos o tres de ellas presentaban alguna enfermedad, esto aumenta la prevalencia a un 50 o 75%.

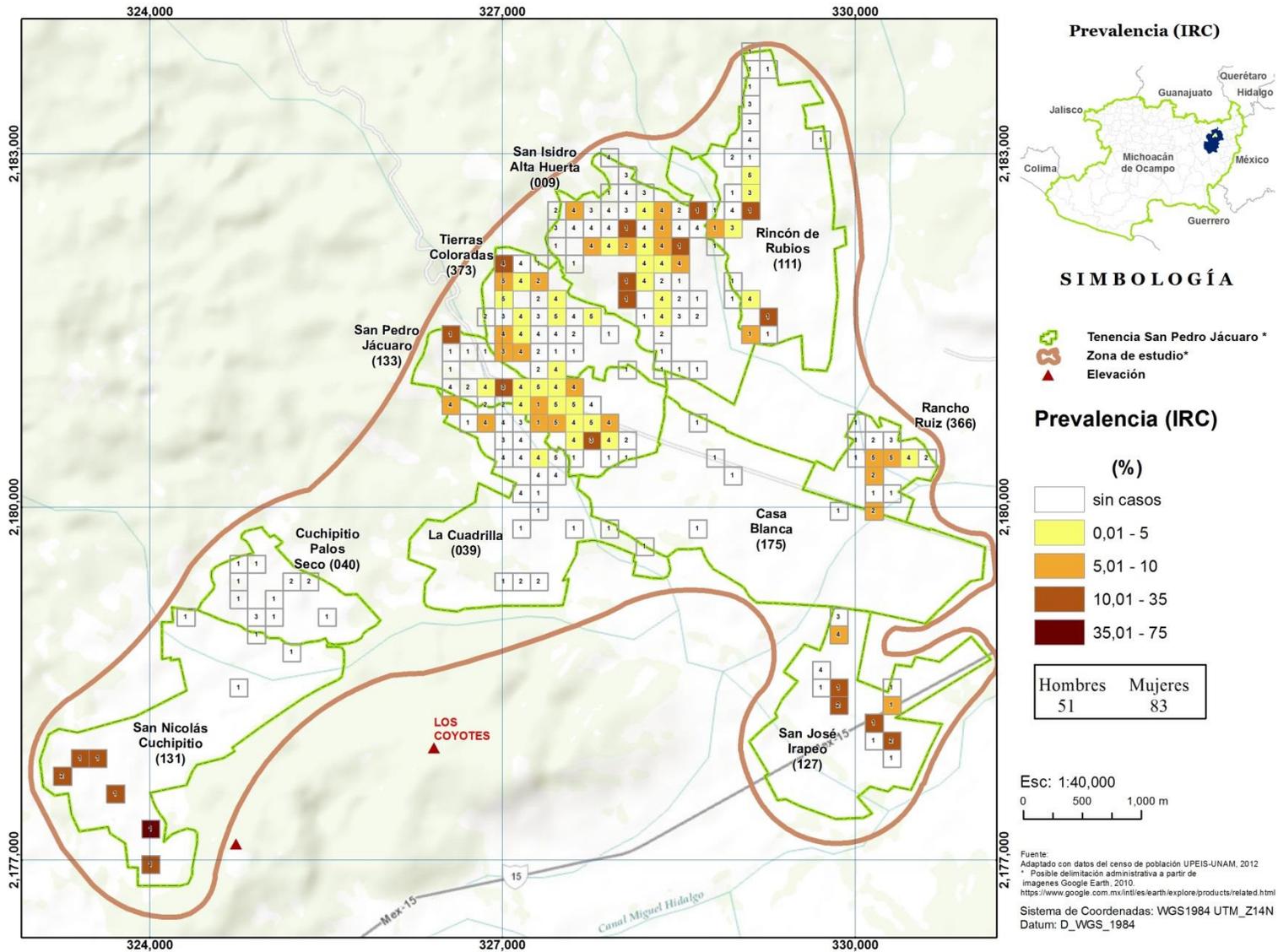


Figura 34. Mapa de prevalencia de IRC en la TSPJ y sus encargaturas
Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Mapa de prevalencia de Diabetes Mellitus (DM)

El padecimiento de la DM, es considerado como factor de riesgo a desarrollar IRC y por tanto se considera una variable que puede contribuir a localizar zonas de riesgo epidemiológico ante la IRC. Para el mapa de prevalencia de DM se registró un total de 225 personas, 127 corresponden al sexo femenino y 98 al masculino, 56% y 43% respectivamente, este dato indica una mayor afectación en mujeres que en hombres. La encargatura que más casos reporta es la TSPJ (68 casos) equivalente a un 30% y SIAH (42 casos) equivalente a un 18% y con un 15% en TC (Cuadro 18).

Cuadro 18.- Datos de DM en la zona de estudio.

Diabetes Mellitus					%	Edad Media
CVE_LOC	Encargatura	Mujeres	Hombres	Total		
039	Las cuadrillas	14	21	35	15.6	45
040	Cuchipítio palo seco	2	3	5	2.2	67
009	San Isidro Alta Huerta	26	16	42	18.7	50
111	Rincón de Rubios	10	10	20	8.9	46
127	San José Irapéo	1	2	3	1.3	52
131	San Nicolás Cuchipítio	4	2	6	2.7	48
133	San Pedro Jácuaro	41	27	68	30.2	54
366	Rancho Ruiz	5	4	9	4.0	59
373	Tierras Coloradas	22	13	35	15.6	47
		127	98	225	100.0	46.8

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 35, se observa el mapa de prevalencia de DM. En tonalidades en rosa se representa la prevalencia Muy baja localizadas en las encargaturas de SIAH, RiRu, RaRu y TC. Una Baja prevalencia en color azul cielo, hacia SIAH, TSPJ, LC y en menor intensidad en TC.

La prevalencias Altas de DM con valores que oscilan entre los 10 y 35 por cada 100 habitantes se representan con tonalidad de azul intenso en las encargaturas de TSPJ, LC, PSCH y en menor intensidad en las encargaturas de RiRu y SIAH.

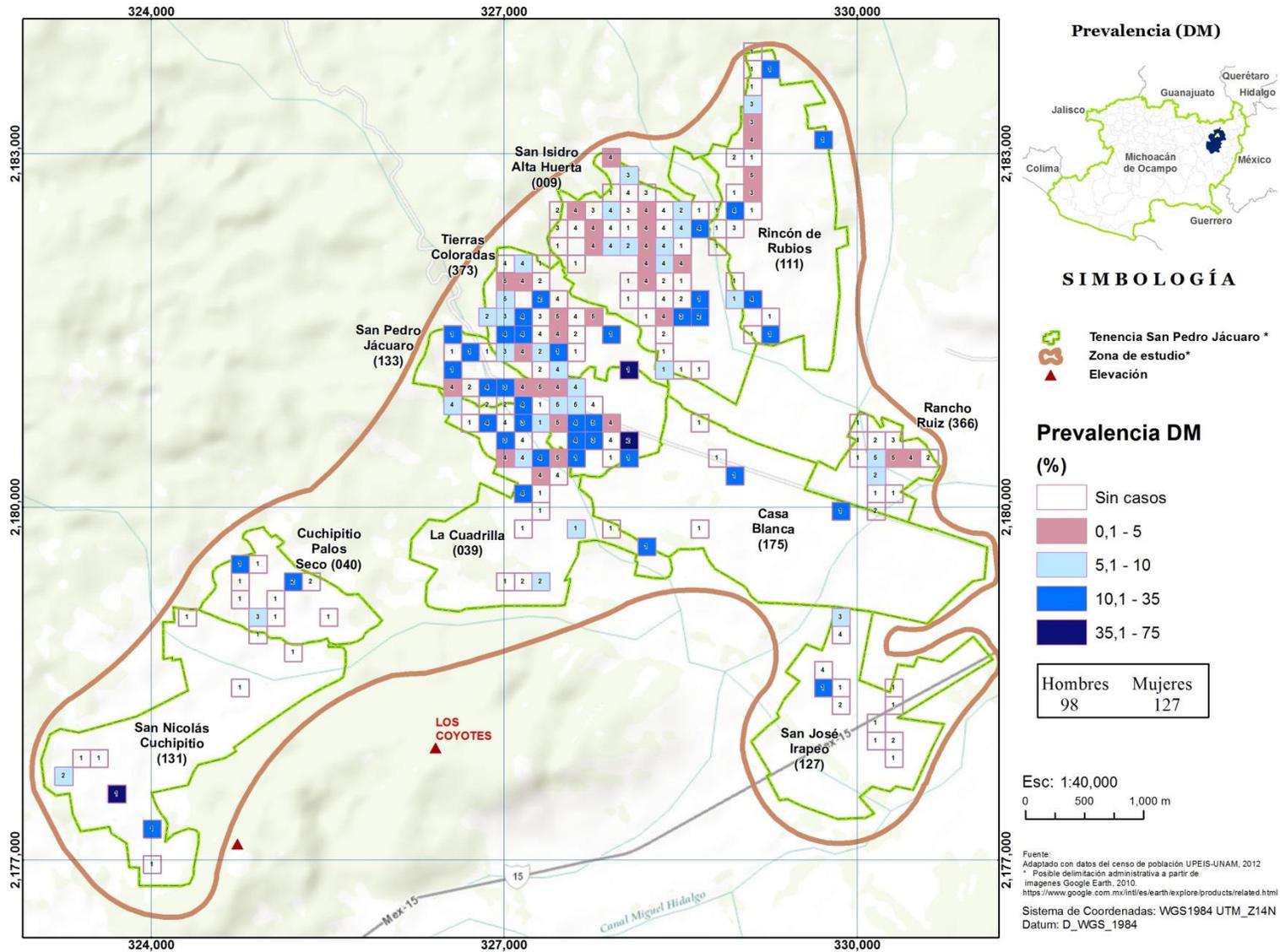


Figura 35. Mapa de prevalencia de DM en la TSPJ y sus encargaturas,
Fuente: Elaboración propia

Las rejillas con Muy Alta prevalencia representadas en color azul marino, se identificaron 2 en SNCH con densidad 1 y SPJ al igual que en TC. La densidad de población [2] indica que son rejillas con baja densidad, afectando con mayor fuerza al sexo femenino y población joven.

A partir de la distribución de prevalencias a escala fina y utilizando las rejillas, es posible observar a detalle la distribución de valores de prevalencia que predominan en general en la zona de estudio, siendo la TSPJ la que mayor cantidad de rejillas con altas y muy altas prevalencia de DM, si observamos la figura 33 y 34 correspondiente a la distribución de edad promedio y prevalencia de IRC, podemos observar una correspondencia de prevalencia altas.

4.2.5 Mapa de prevalencia de Hipertensión Arterial (HTA)

Con un total de 299 casos, la HTA se presenta con mayor frecuencia en las encargatura de SIAH y SPJ, con un total de 53% del total de sujetos, este padecimiento se presenta en edades jóvenes en promedio 46 años. (Cuadro 19)

Cuadro 19.- Casos reportados con HTA en la zona de estudio.

Hipertensión arterial (HTA)					%	Edad Media
CVE_LOC	Encargatura	Mujeres	Hombres	Total		
039	Las cuadrillas	16	7	23	7.7	53
040	Cuchipítio palo seco	3	2	5	1.7	57
009	San Isidro Alta Huerta	52	18	70	23.4	47
111	Rincón de Rubios	13	5	18	6.0	52
127	San José Irapéo	11	11	22	7.4	51
131	San Nicolás Cuchipítio	5	0	5	1.7	48
133	San Pedro Jácuaro	68	22	90	30.1	58
366	Rancho Ruiz	23	5	28	9.4	49
373	Tierras Coloradas	21	14	35	11.7	46
		212	87	299	100.0	46.1

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36, se observa la distribución de prevalencias de HTA, la representación cartográfica el degradado de colores cálidos indican la intensidad de prevalencia. En tonalidades en amarillo las prevalencias Muy bajas, se localizadas con mayor frecuencia en las encargaturas de LC, TC RiRu.

La prevalencia Baja en color verde limón se presenta con mayor intensidad en la encargatura de SIAH, RaRu, SJI y CHPS, este padecimiento se registra en edades promedio de 47, 52, 51 y 48 años respectivamente.

La prevalencia Alta, en tonalidad verde intenso, se localiza con mayor intensidad en la encargatura de TSPJ, SIAH, RaRu, SNCH y PSCH. La edad promedio en que se presenta este padecimiento es de 58, 47, 49, 48 y 57 años respectivamente

Las rejillas que presentan una prevalencia Muy Alta, se ven afectadas por la baja densidad de población, estas rejillas se localizan en las encargaturas de TSPJ, RaRu, SJI y SNCH, sin embargo, es importante mencionar que la tenencia de SIAH y RiRu presentan un conjunto de rejillas próximo en las partes alta de la zona de estudio, caso contrario las prevalencias muy bajas se localizaron en la parte central de la TSPJ.

Podemos mencionar que la HTA padecen con mayor frecuencia las mujeres, la localización de los casos es hacia la parte media y alta de la zona de estudio, TPSJ y SIAH. Y las edades promedio de estas personas están en el orden de los 46 años en TC y de mayor edad se encuentran en la TSPJ con 58 años promedio.

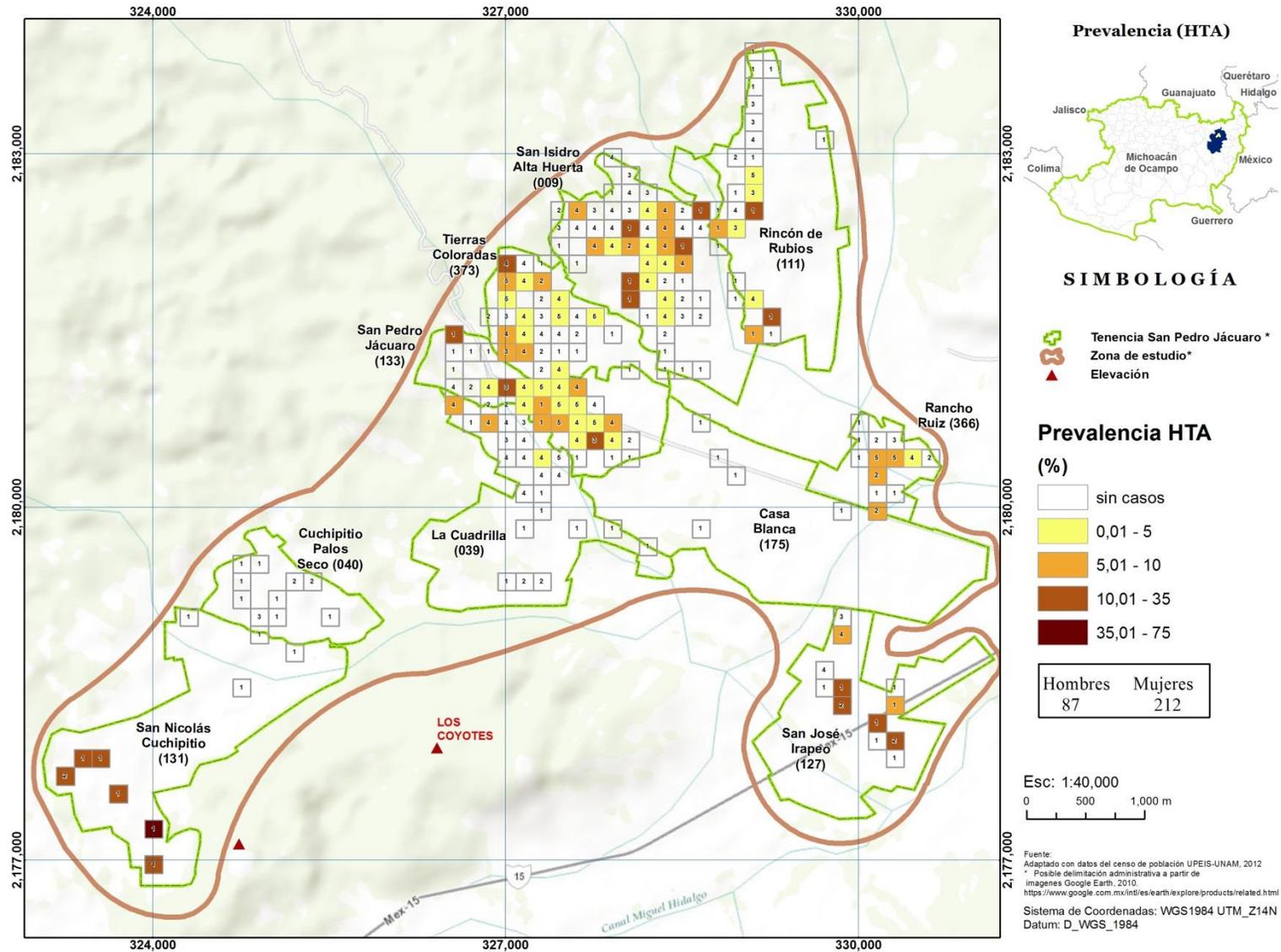


Figura 36. Mapa de prevalencia de HTA en la TSPJ y sus encargaturas.
Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Mapa de prevalencia de Infecciones en Vías Urinarias (IVU)

La Infección en Vías Urinarias, son consideradas como un factor de progresión, es decir que, si se padecen constantemente, es muy probable que el riñón presente problemas de filtración (Soriano, 2004). El 73 % de casos reportados con IVU reportadas en la zona de estudio corresponde al sexo femenino con un total de 280 casos, mientras que los hombres (104), representan el 27%. La edad promedio para esta enfermedad es de 34.6 años.

La encargatura de SIAH, agrupa el 27.6% de enfermos por vías urinarias con un total de 106 personas y una edad media de 33 años. Este padecimiento es más frecuente en la población joven y del sexo femenino. Estas características las comparte la encargatura de TSPJ en que se agrupa el 26% con 100 de estos, el 70% son mujeres de 39 años de edad promedio (Cuadro 20).

Cuadro 20.- Casos reportados con IVU en la zona de estudio.

Infecciones en vías urinarias					%	Edad Media
CVE_LOC	Encargatura	Mujeres	Hombres	Total		
039	Las cuadrillas	14	3	17	4.4	48
040	Cuchipítio palo seco	7	2	9	2.3	37
009	San Isidro Alta Huerta	81	25	106	27.6	33
111	Rincón de Rubios	13	8	21	5.5	39
127	San José Irapéo	19	7	26	6.8	36
131	San Nicolás Cuchipítio	7	2	9	2.3	34
133	San Pedro Jácuaro	70	30	100	26.0	39
366	Rancho Ruiz	29	13	42	10.9	41
373	Tierras Coloradas	37	14	51	13.3	39
		280	104	384	100.0	34.6

Fuente: Elaboración propia

En el mapa de prevalencia de IVU (Figura 37), en color lila se registran las rejillas que indica una Muy Baja prevalencia, identificadas en la encargatura de TC principalmente. Con una media poblacional de 39 años.

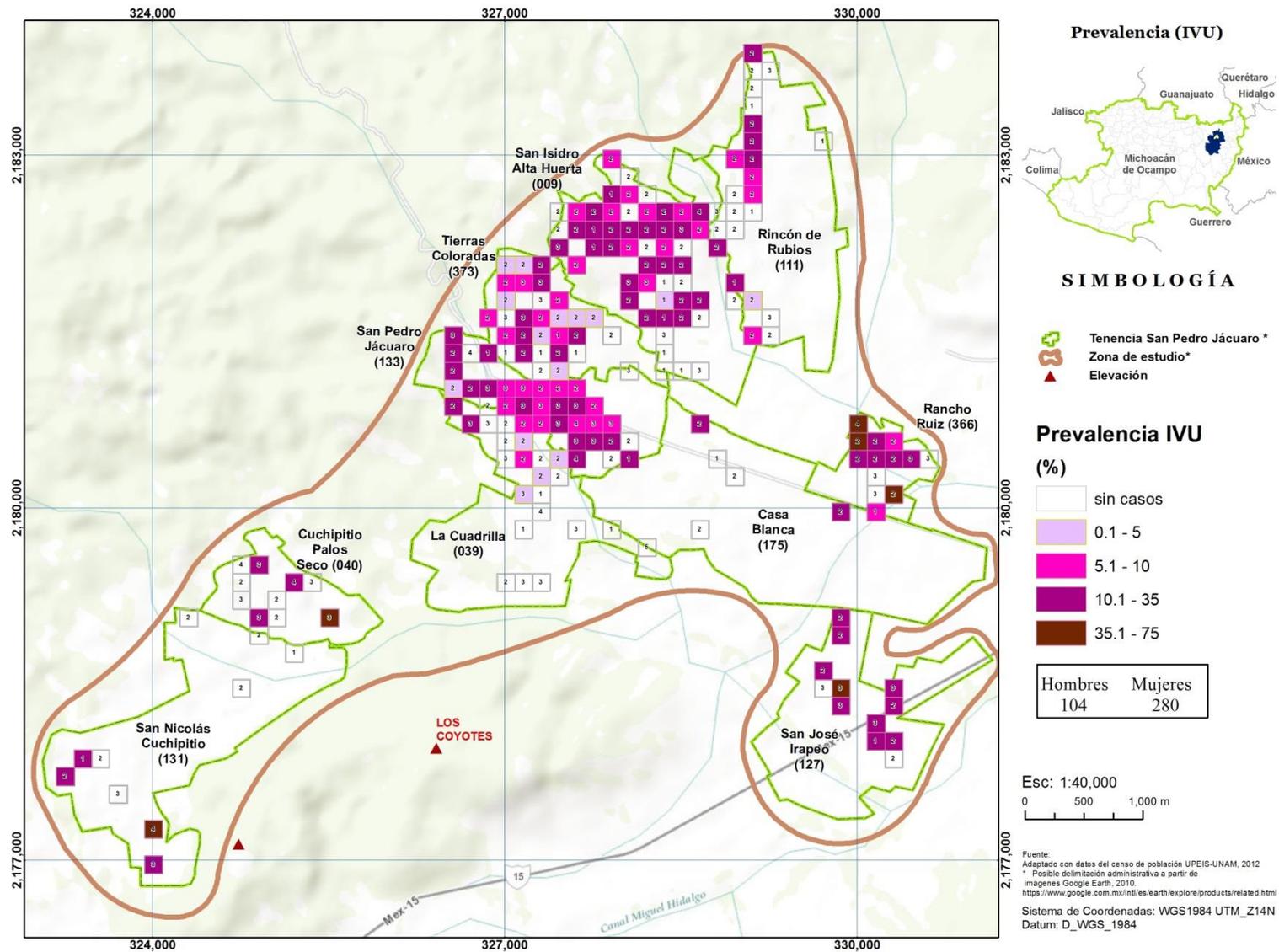


Figura 37. Mapa de prevalencia de IVU en la TSPJ y sus encargaturas.
Fuente: Elaboración propia

La prevalencia Baja en color rosa, que va de 5 a 10 personas por cada 100 habitantes predomina en la TSPJ, SNCH y SJI en rejillas alta densidad poblacional. En cuanto a la prevalencia Alta o superior a la media, en color rosa intenso, se aprecia una mayor presencia en la encargatura de SIAH, RaRu, SJI y PSCH, con medias de edad de 33, 41, 39 y 37 años respectivamente.

El padecimiento de IVU en la zona de estudio es más frecuente en edades jóvenes, ya que la media en cada encargatura no alcanza los 40 años, este dato es importante de considerar esta afectación es mayor en la población joven y de sexo femenino 72%.

Una vez concluido el apartado constructivo y descriptivo de la cartografía de prevalencias de los factores de riesgo ante la IRC a nivel de rejilla, el siguiente paso fue examinar la variación espacial de valores de prevalencia. (Chin *et. al* 2009).

Ahora no solo nos interesa conocer la distribución de prevalencias, sino que, nos interesa conocer aquellas rejillas que presentan un patrón de distribución, es decir, si valores de prevalencia altos se encuentran cerca de valores altos lo que en la ciencias geográficas se conoce dependencia espacial o autocorrelación espacial.

4.3 AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL

El término de autocorrelación espacial, se refiere al grado de correlación de una variable contra sí misma en otra localización (Fortin & Dale, 2005 citado en Santos , 2008). Dicho término se fundamenta en la primera ley de la Geografía de W. Tobler (1970) que dice:

“Todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas más cercanas están más relacionadas que las más distantes”.

Es decir, que en el mundo natural y continuo, los objetos cercanos se parecen mucho entre sí autocorrelación espacial positiva, si por el contrario, los objetos cercanos, por el hecho de estar juntos, difieren mucho entre sí la autocorrelación espacial es negativa, en caso de no existir ningún tipo de

autocorrelación espacial se dice que son independientes su distribución es aleatoria (Olaya, 2012) (Figura 38)

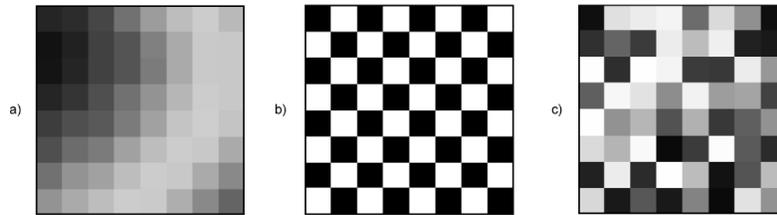


Figura 38.- Patrones de autocorrelación espacial
Fuente: Tomado de Olaya, 2012

Este tipo de métrica permite medir aspectos de la realidad territorial. No se refiere a medir el grado de correlación entre dos a más variables en un mismo espacio, si no la correlación de una única variable a través de diferentes unidades espaciales, es decir su comportamiento es horizontal. (Buzai, 2007)

El índice que se emplea con mayor frecuencia para conocer la autocorrelación es el *I de Moran Global y Local*, el primero es utilizado para averiguar si hay una tendencia global de agrupamiento, es decir si los valores altos o bajos se encuentra cerca de valores altos o bajos en toda el área examinada, mientras que el segundo, mejor conocido como indicador *I de Moran Local* ayuda a identificar donde se producen los grupos o “clúster”.

La identificación de agrupaciones “clúster” permite evaluar la posible relación entre una enfermedad y factores de riesgo tales como las fuentes ambientales de la contaminación, factores genéticos o factores socioeconómicos (Moraga & Montes, 2011).

El *I de Moran Global* es uno de los indicadores más utilizados para examinar zonas con variables continuas, este índice es similar al coeficiente de Pearson, da una puntuación que oscila entre -1 y 1. (Moran, 1948).

Una puntuación positiva indica un punto “caliente” o que un polígono con una puntuación alta tiene otros polígonos con puntaje altos que lo rodean. Por el contrario, la aparición de una puntuación menor a 0 indica un lugar “frio” debido a las bajas incidencias de puntuación contigua, una puntuación de cero indica aleatoriedad (Chin *et al.*, 2009) (Figura 39)

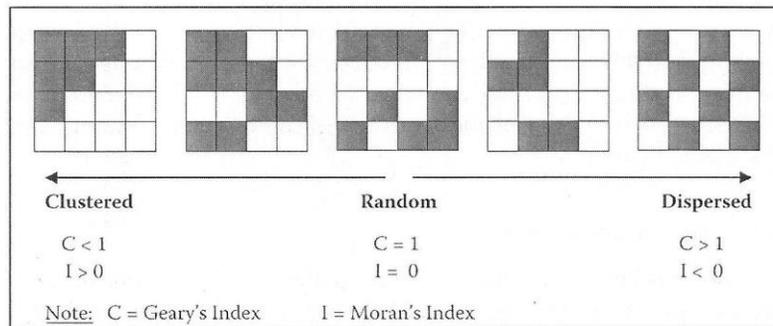


Figura 39. Asociación espacial y correlación.
Fuente: Tomado de Chin *et al.*, 2009.

Por tanto, todo procedimiento de medición de la autocorrelación espacial estaría intentando verificar que la distribución espacial obtenida a partir de valores de una variable no sea producida de manera aleatoria, la fórmula matemática es expresada de la siguiente forma:

$$I = \frac{n \sum_i (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})}{(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde I es el índice de dispersión n , es el número de unidades espaciales, x_i es el valor de la variable en la unidad espacial, x_j es el valor de la variable en la otra localización, \bar{x} es la media de la variable, y w_{ij} es una ponderación que indica la relación de contigüidad (matriz binaria) entre las unidades espaciales i - j . Si i - j comparten límites $w_{ij} = 1$, si no $w_{ij} = 0$ (Buzai, 2007)

De acuerdo Upton y Fingleton (1985) citando en Santos (2008), la determinación de la matriz de pesos está en función de las relaciones con respecto a los vecinos próximos, semejantes al juego de ajedrez, Rook (torre), el más utilizado, se considera adyacente a la localización "e" las b,d,f,h, la contigüidad Bishop (alfil), por el contrario, analiza las relaciones de proximidad en relación a la diagonal, y consideraría vecinas a la localización "e" las a, c, g, i; finalmente, el criterio de Queen (reina) combina los dos anteriores (Figura 40)

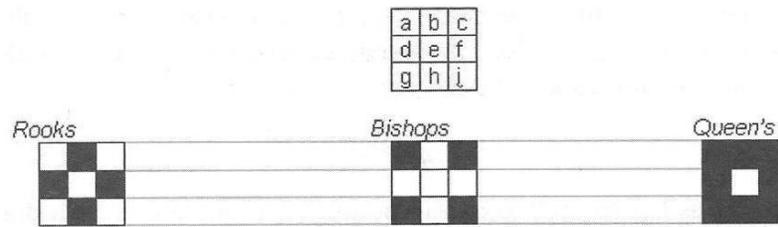


Figura 40. Medida de contigüidad espacial según los criterios Rooks, Bishop y Queen.
Fuente: Tomado de Santos, 2008

Verificar la existencia de autocorrelación espacial significativa tiene que ver con la generación de un test de hipótesis con las siguientes características: H_0 (hipótesis nula) establece que la configuración espacial de los datos se producen de forma aleatoria, y H_1 (hipótesis alternativa) establece que la configuración espacial no se produce al azar y que existe autocorrelación espacial (Buzai, 2007)

Aunque la fuerza de coeficiente *I de Moran* radica en su simplicidad, su principal limitación es la tendencia a las variaciones locales promedio, en estas situaciones de autocorrelación espacial es posible utilizar los Indicadores Locales de Autocorrelación Espacial (*LISA*, por su siglas en ingles) que puede ser visto como la descomposición del *I de Moran*, este indicador de asociación espacial tiene el propósito de evaluar la influencia de las ubicaciones individuales de la magnitud de la estadística global e identificar los “valores atípicos” como el diagrama de dispersión de Moran, (Anselin, 1995) (Figura 41)

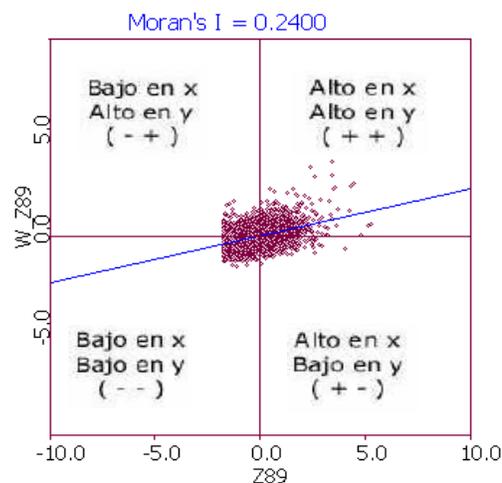


Figura 41. Diagrama de dispersión (Anselin, 1995)
Fuente: Tomado de Chin *et al.*, 2009

En el eje de las X aparecen los valores estandarizados de una variable para cada unidad espacial del área estudiada, y en el eje de la Y los valores estandarizados del promedio de los valores en unidades vecinas de la misma variable.

Los valores *LISA* permiten la verificación en cuanto se distribuye cada unidad espacial, pone a prueba su importancia proporcionando 5 escenarios: Altos-Altos [HH], Bajos-Bajos [LL], Altos-Bajos [HL], Bajos Altos [LH] y no significativo (Cuadro 21)

Cuadro 21.- Escenarios de la autocorrelación LISA

	High –High [HH]	Puntos calientes “ <i>hot spot</i> ” o lugares con altos valores son similares vecinos
	High-Low [HL]	Valores atípicos espaciales con localización de altos valores con vecinos de bajo valor
	Low- Higt [LH]	Valores atípicos espaciales con localización de bajos valores con vecinos de alto valor.
	Low-Low [LL]	Los puntos fríos “ <i>cold spot</i> ” o lugares con bajos valores son similares vecinos
	Not significant	Localizaciones sin autocorrelación significativa

Fuente: Tomado de Chin *et al.*, 2009.

La expresión matemática de la función LISA se expresa de la siguiente manera;

$$L_i = f(y_i, yJ_i)$$

Dónde:

L_i = variable observada en la localización i

f = una función (que puede incluir parámetros adicionales)

yJ_i = son los valores observados en el vecindario J_i de i .

Los valores utilizados en el cálculo estadístico de y y y , pueden ser las observaciones originales (crudo) o bien, estandarizados. En nuestro caso se muestran las dos formas para observar su variación.

4.3.1 Índice de Moran Global y Local aplicado a factores de riesgo ante a la IRC.

Con el fin de detectar estas variaciones espaciales (valores atípicos) en la zona de estudio, se utilizó el estadístico *I de Moran Global*, fue realizado con ayuda del software cartográfico Arc Gis V.10 de Esri. Los módulos que contienen las herramientas de autocorrelación son: *Spatial statistics tolos; Analyzing*

patterns/Spatial Autocorrelación (Moran I) para el cálculo de la autocorrelación global, mientras que para los indicadores de asociación espacial *LISA* se empleó el módulo de: *mapping clúster/clúster and outlier Analisis (Anselin Local Moran I)*. Antes de comenzar la prueba estadística se planteó la siguiente hipótesis.

H_0 = Los casos reportados con alguna enfermedad asociada a la IRC se encuentran distribuidos de forma aleatoria sobre la TSPJ y sus encargaturas.

H_1 = Los casos reportados con alguna enfermedad asociada a la IRC no se encuentran distribuidos de forma aleatoria sobre la TSPJ y sus encargaturas.

El *test* de autocorrelación *I Moran global* se realizó con ayuda del software cartográfico ArcGis V.10, con el módulo *Spatial statistics tools/Analizing patterns/Spatial autocorrelation (Moran I)*, dentro de las ventanas de ayuda se definió el archivo *shape file* de rejilla con información de prevalencia, los campos utilizados fueron las variables en el cual contiene los valores de prevalencias de casos que reportaron IRC, DM, HTA, IVU y edad media. Se solicitó un reporte en formato XML y el método de distancia a partir de una matriz de contigüidad de pesos espaciales tipo reyna. Los resultados obtenidos de esta prueba de autocorrelación se pueden visualizar en el cuadro 22.

Cuadro 22.- Prueba de autocorrelación espacial I de Moran global

Resultados de la autocorrelación espacial I de Moran						
Variable	I Moran	Esperado	varianza	Z score	p valor	Patrón
Prevalencia IRC	0,1211	-0,004762	0,003993	1,9932	0,046238	Clúster
Prevalencia DM	-0,024707	-0,004762	0,004516	-0,296795	0,766623	Disperso
Prevalencia HTA	0,162387	-0,004762	0,004815	2,408822	0,01004	Clúster
Prevalencia IVU	0,106867	-0,004762	0,004756	1,618663	0,10552	Clúster
Edad media	0,166318	-0,004762	0,004889	2,446801	0,014413	Clúster

Fuente: Elaboración propia

Se observa que las variables de prevalencia de DM presenta un patrón de dispersión con valores *Z* de -0.2967, mientras que las variables restantes presentan un patrón de agrupamiento >1.65 . Los valores

Z altos se registraron en las frecuencias y prevalencias de HTA e IVU. los resultados de los valores Z sugieren el rechazo de la hipótesis nula de aleatoriedad, como se ilustra en la Figura 43, en la cual se presentan los valores críticos de Z y los valores de significancia de p.

La variable que presentó mayor fuerza de agrupación fueron los valores de frecuencias HTA, IVU e IRC con valores Z de 4.9, 4.8 y 4,5 respectivamente. Mientras que las prevalencia se obtuvieron un valor Z inferior a 2.5. A manera complementaria y con la finalidad de tener una visualización ilustrativa se creó el gráfico con los valores Z (Figura 43)

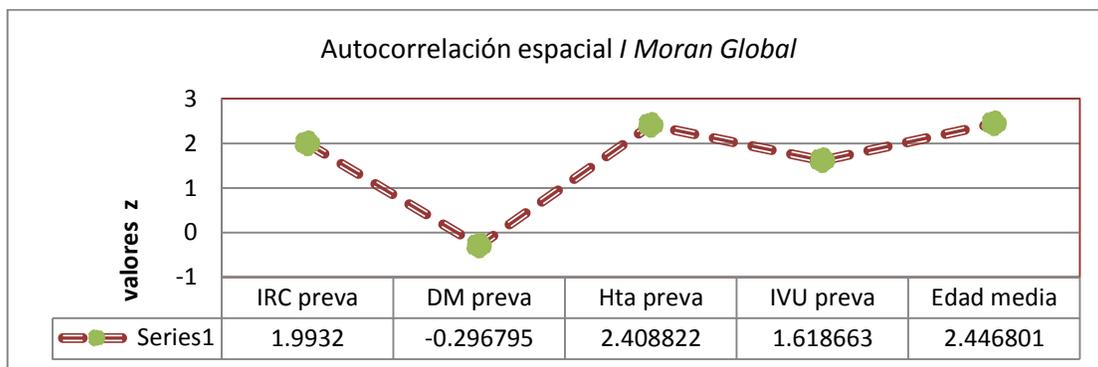


Figura 42. Índice de Autocorrelación *I Moran Global* en factores de riesgo ante la IRC
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los anteriores resultados es posible mencionar que, con un alfa de 0.05 y valores Z superiores a 1.65 hay menos de 5% de probabilidad que los patrones de agrupamiento sean el resultado de aleatoriedad.

La prueba estadística de autocorrelación proporcionó información muy útil sobre los patrones de las variables analizadas, sin embargo, no podemos visualizar en donde se están produciendo dichos patrones de agrupamiento, por tal motivo se utilizó los Indicadores Locales de Autocorrelación Espacial (*LISA*).

4.3.2 Indicador Local de Autocorrelación Espacial (*LISA*)

Los insumos necesarios para la prueba *LISA* son básicamente los mismos que se utilizaron para la autocorrelación global, el archivo en formato *shape file* de rejillas, los campos de las variables y la matriz de pesos.

A diferencia de la autocorrelación global, la estadística *LISA* proporciona un archivo de salida en formato *shape file* el cual muestra los resultados de los valores Z y P, incorporado en la base de datos resultante, el software crea un campo llamado *COType IDW* con clasificación de 5 posibles resultados; *HH, LL, HL, LH* y *No significant*.

En la (Figura 43), se puede observar las cuatro variables analizadas, y debido que los resultados son muy específicos en identificar rejillas con significancia estadística en un solo mapa se integraron.

4.3.3 Resultados de autocorrelación *LISA* con valores de prevalencia

Los resultados del análisis de *LISA* identificaron rejillas donde se forman áreas calientes, es decir, rejilla en la cual los valores de prevalencia altos se encuentran cerca de valores altos [*High-High*] o Alto- Alto, que significan rejillas con autocorrelación positiva (rejillas de color negro) localizadas en SIHA, parte inferior, SJI, dos rejillas en la parte central y SNCH.

En el caso de la DM revela un clúster de valores HH en la TSPJ, 4 rejillas en la parte inferior, en cuanto a la encargatura de SNCH se reportaron 2 rejillas, al igual con la IRC, presentan una prevalencia alta debido al efecto de densidad poblacional.

Por otra parte se reportan rejillas de valores altos rodeados de valores bajos en la encargatura de PSCH, con una rejilla, en SJI una rejilla, dos rejillas en RiRu y por último la encargatura de SIAH con una rejilla de este tipo. En cuanto al resto de rejilla y encargaturas no presentaron una autocorrelación significativa a esta escala.

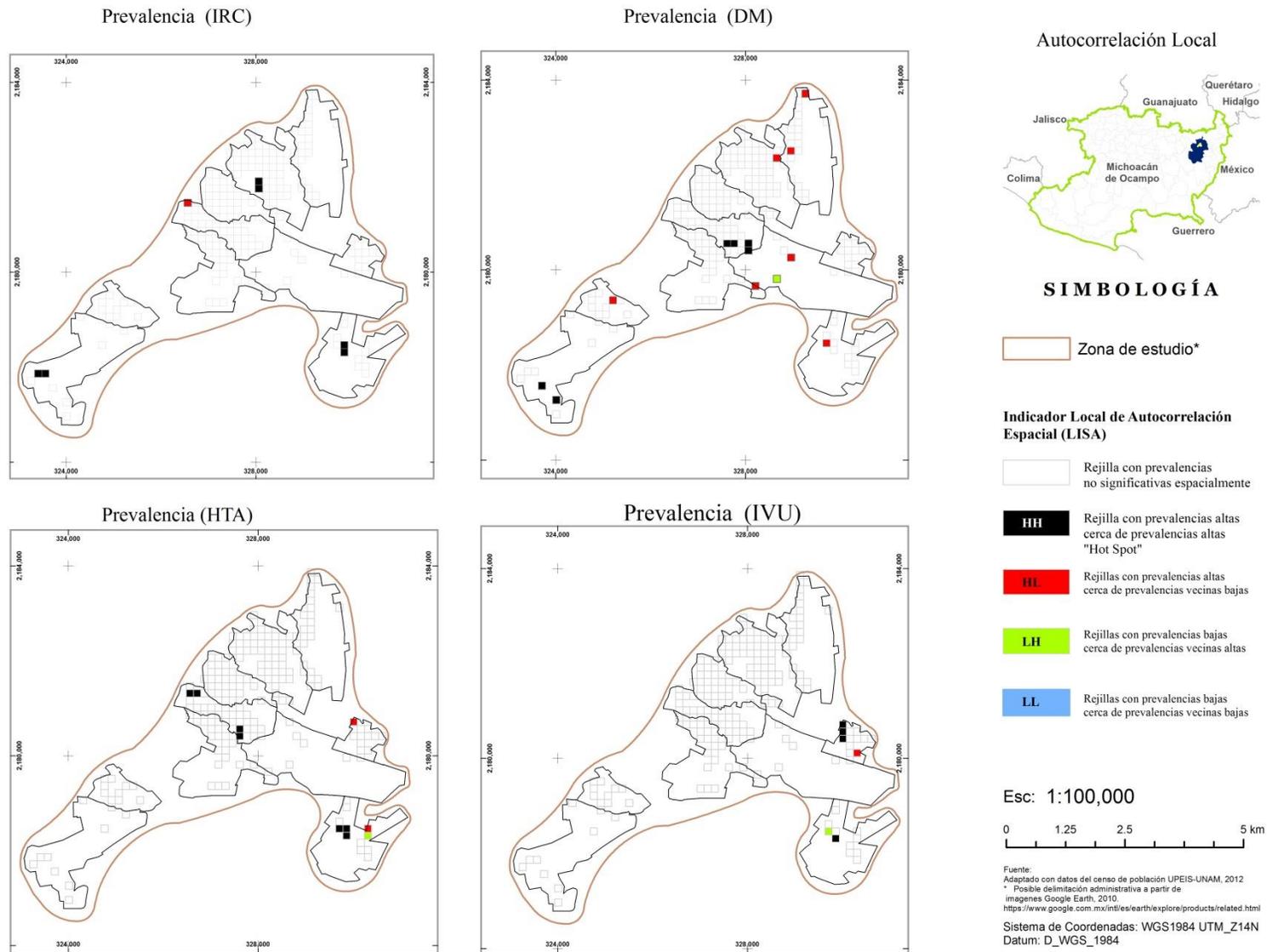


Figura 43. Mapa de autocorrelación Local (prevalencia)
Fuente: Elaboración propia

Para el mapa temático de HTA, se observa un clúster de valores HH localizados en la TSPJ 2 en la parte superior y 2 más en la parte inferior. 3 rejillas contiguas en SJI y por último una rejilla en la encargatura de RaRu con valores HL y 2 más en la encargatura de SJI.

Por su parte la variable de IVU, se presentó con mayor fuerza en la rejillas de RaRu sumando 3 rejillas contiguas y una más en la encargatura de SJI. El resto de encargaturas no presentaron una autocorrelación local significativa a esta escala. Lo que llama la atención es la aparición de rejillas con valores HH en encargaturas de SNCH y SJI, en los cuales se muestran valores HH en cuanto a IRC y DM.

A manera de resumen, podemos mencionar que la técnica *LISA* facilitó la localización de aquellas rejillas con prevalencias significativas, las cuales están formando conglomerados de eventos como es la DM, HTA, e IVU. Sin embargo, los que nos interesa en esta investigación condensar esta información en un solo mapa, para este fin es necesario exportar la información resultante a un formato raster, el cual permita realizar operaciones sencillas como la suma y multiplicación que a continuación se menciona.

4.4 SUPERPOSICIÓN DE MAPAS

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite almacenar dos tipos de modelos de datos para representar el mundo real, 1) modelo vectorial, y 2) el modelo de datos raster¹¹, (Olaya, 2012; Ordoñez, 2003).

En el primer modelo permiten representar objetos del mundo real a través de geometrias espaciales como son; puntos, líneas o poligonos, mientras que el segundo modelo divide el mundo real en una malla regular de celdas, normalmente cuadradas, asignando a cada celda un valor numérica que represente el atributo del mundo real, cada una de estas celdas que componen la malla se denomina *pixel*, acronimo del *picture element*. La longitud de cada lado de un *pixel* cuadrado sobre el mundo

¹¹ El formato raster se fundamenta en la división del área de estudio en una matriz de casillas cuadradas. Cada una de estas casillas recibe un valor único que se considera representativo para toda la superficie abarcada por la misma. Aunque a veces se intercambian, es preferible, para evitar confusiones, reservar el término celdas para los elementos que componen una capa raster y *pixel* para los elementos en que se divide la pantalla de un ordenador. Para profundizar en el tema se recomienda consultar a Santiago (2005).

real original se conoce como resolución de la imagen, siendo una representación tanto más precisa cuanto menor es su resolución (Figura 44)

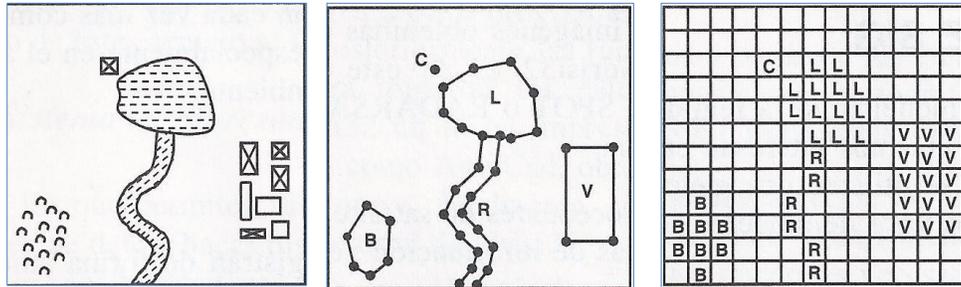


Figura 44.- Transformación del modelo de datos vectoriales a modelo raster.
Fuente: Tomado Ordoñez y Martínez.2003

El proceso de superposición de mapas es una técnica que surgió desde antes que existieran las computadoras, este método no es nada novedoso puesto que los precursores de las ciencias geográficas utilizaban papel transparente dividido en celdas, sobre las que dibujaban los mapas, estos mapas se superponían físicamente unos sobre otros para encontrar atributos correspondientes a zonas comunes en los distintos mapas (Ordoñez, 2003).

En la actualidad, se sigue utilizando el mismo principio y gracias al apoyo de los ordenadores es una tarea relativamente sencilla, la regularidad y sistematicidad del modelo raster hace sencillo de implementar operaciones algebraicas (suma, resta, multiplicación hasta operaciones complejas). o lógicas (*AND*, *OR*, *NOT*) entre los valores de los pixeles en cada mapa (Figura 45)

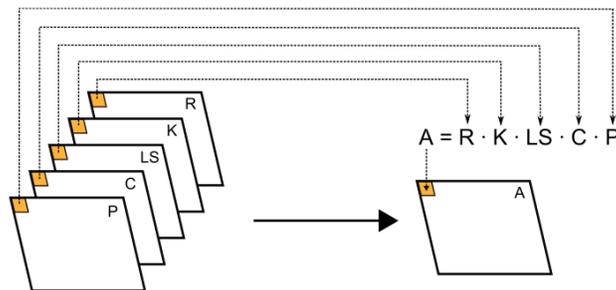


Figura 45.- Combinación de capas raster para obtener información derivada
Fuente: Tomado de Olaya, 2012

De acuerdo con Briggs & Elliot, es posible el modelaje de datos espaciales, a través de operaciones de superposición de capas sobre la incidencia de eventos de salud a otras capas de interés (Briggs & Elliot, 1995).

Con la idea de obtener un mapa que sintetice la información proporcionada de la prueba *LISA*, se recurrió a utilizar la superposición ponderada¹² para obtener un mapa de riesgo epidemiológico. Esta técnica ofrece la posibilidad de combinar mapas temáticos (sumar y multiplicar) los valores de cada píxel.

Antes de hacer uso de la técnica de superposición ponderada, fue necesario preparar la información para ser combinadas ya que poseen valores distintos y escalas distintas que no permiten realizar alguna operación algebraica o lógica.

Para superar esta situación, se realizó el proceso de reclasificación¹³ de valores originales con la finalidad de hacerlos medibles en su conjunto. Se designaron valores que van del 0 a 3, siendo 0 un valor bajo, ó que no contribuye a desarrollar IRC y un valor de 3 para aquellas rejillas que contribuye fuertemente en el desarrollo de la IRC (Cuadro 23).

Como se observa en el cuadro 23, cada variable posee diferentes valores, sin embargo, con ayuda de un campo denominado escala unificadora fue posible hacerlos medibles entre sí. A cada mapa o capa vectorial les fue sustituido los valores originales por [0,1,2,3] respetando la importancia de valores en cada mapa. De esta manera tenemos el valor (3) para aquellos valores de mayor importancia para cada mapa temático.

12 La superposición de mapas exige que todos los mapas estén en los mismos sistemas de coordenadas y que la resolución de cada uno de ellos sea la misma.

13 La reclasificación implica pasar de una variable cuantitativa a una semi-cuantitativa de manera que puedan asignarse etiquetas de texto a los identificadores numéricos utilizados. Todos los softwares SIG disponen de un módulo que permite reclasificar capas de información siguiendo criterios similares.

Cuadro 23.- Datos de reclasificación de valores de cada variable integrada al proceso de superposición de mapas

Re-clasificación de mapas de factores de riesgo ante la IRC						
Escala Unificadora (reclas)	Densidad de población	Edad media	IRC prevalencia LISA	DM prevalencia LISA	HTA prevalencia LISA	IVU prevalencia LISA
0	1	< 20	LL	LL	LL	LL
1	2	21 a 30	LH	LH	LH	LH
2	3 a 4	31 a 60	HL	HL	HL	HL
3	5	> 61	HH	HH	HH	HH

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso fue la transformación de formato vectorial (rejillas) a formato raster (píxeles), esta tarea se realizó con el módulo; *conversion tools/To raster/poligon to raster* del software cartográfico Arc Gis 10.

La herramienta de conversión de formatos necesita una capa de entrada (variables), así como un campo con el cual se tomara su valor para asignarlo a cada celda (escala unificadora) y por último nos pide un tamaño de celda el cual se mantuvo a 150m, este procedimiento se aplica a las seis variables que intervinieron en la identificación del riesgo epidemiológico ante la IRC.

El resultado de este proceso fue la creación de los seis mapas en formato raster con extensión (.tif) necesarios para el proceso de superposición ponderada. Una vez obtenida la información en el formato raster junto con su correspondiente tratamiento para el proceso de superposición de mapas se utilizó la herramienta *spatial analysis tools/Overlay/ weighted sum*.

La superposición de mapas exige que todas la capas estén en el mismo sistema de referencia y que la resolución de cada uno de ellos sea la misma (Ordoñez, 2003)

La herramienta *weighted sum* solicita integrar las seis variables en formato raster que participan en el proceso de superposición (Figura 46)

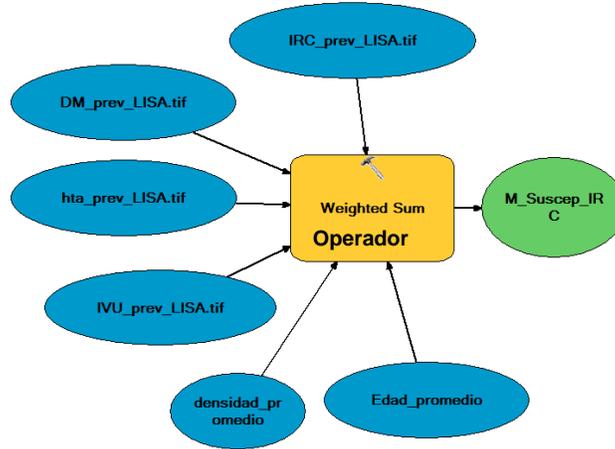


Figura 46. Modelo de superposición de mapas temáticos
Fuente: Elaboración propia

Finalmente la herramienta permite asignar un peso en cada una de las variables a combinar.

De acuerdo con Olaya (2012), al referirse a los métodos de combinación de capas raster, menciona que existen al menos tres métodos para asignar pesos espaciales a las variables a combinar, una es la media ponderada de los distintos factores, la regla de Dempster¹⁴ y jerarquías analíticas basada en la importancia de cada factor.

En esta investigación y dado que se tiene información sobre la probabilidad de cada factor de riesgo ante la IRC a partir de las razones de momios (OR), se utilizaron estas probabilidades como pesos no espaciales, sino epidemiológico (Cuadro 24).

Los cuales al momento de ser sumados los valores de pixel y multiplicado por el peso epidemiológico dé como resultado un valor numérico que indique la intensidad de riesgo a desarrollar IRC, entre mayor sea su valor numérico contenido en cada pixel, mayor será el riesgo epidemiológico.

¹⁴ Es una extensión a la teoría de la probabilidad para describir incertidumbre en la evidencia. Se centra en la credibilidad que se asigna a que un evento pueda ocurrir, que desde el punto de vista y de acuerdo a la experiencia de la persona que toma la decisión, en contraste con la probabilidad clásica.

Cuadro 24.- Peso ponderado asignado a cada variable a partir de los *odds ratio*.

	IVU	HTA	DM	IRC	Edad media	Densidad de población	Total
<i>Odds ratio (OR)</i>	6.1	2.7	1.9	1	11.7
<i>Proporción al 90%</i>	$6.1*90/11.7=47$	$2.7*90/11.7=20.7$	$1.9*90/11.7=14.6$	$1*90/11.7=7.7$	5%	5%	100%
Peso %	47	20.7	14.6	7.7	5	5	100%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo antes descrito se asignó un peso epidemiológico de 47% a la variable IVU ya que se obtuvo un OR de 6 veces la probabilidad de desarrollar IRC entre quienes presentan esta enfermedad con respecto a los que no la presentan. Para el caso de la variables HTA se asignó un peso de 20.7% ya el *OR* calculado fue de 2. 7 veces de padecer IRC si la persona tiene HTA con respecto a los que nos la presentan.

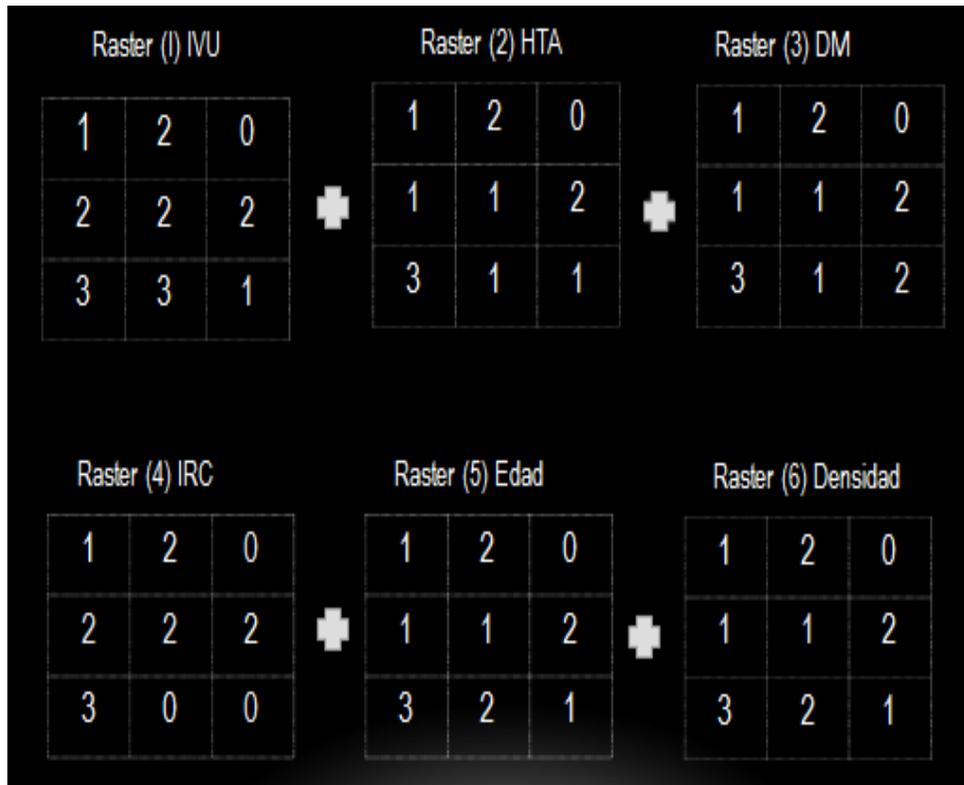
Por último se asignó un peso de 5 a la variable de densidad de población y edad media. Ya que son variables que sirvieron como referencia en cuanto a la interpretación de la distribución, es decir que estas variables tendrán un peso bajo a la hora de combinar los mapas. Con esta distribución de pesos epidemiológicos se obtuvo el 100% de influencia o ponderación.

4.5 MAPA DE RIESGO EPIDEMIOLÓGICO ANTE LA IRC EN LA TSPJ Y SUS ENCARGATURAS

Los resultados de la superposición ponderada de los 6 mapas arrojaron una sumatoria en cada uno de los pixeles, que va de 0 a 225 puntos como valor máximo, estos valores obtenidos indican el grado de riesgo epidemiológico a desarrollar IRC, entre más alto sea el valor obtenido mayor es el riesgo y viceversa.

A manera de ejemplificar la tarea de superposición ponderada de cada mapa se realizó el siguiente ejemplo:

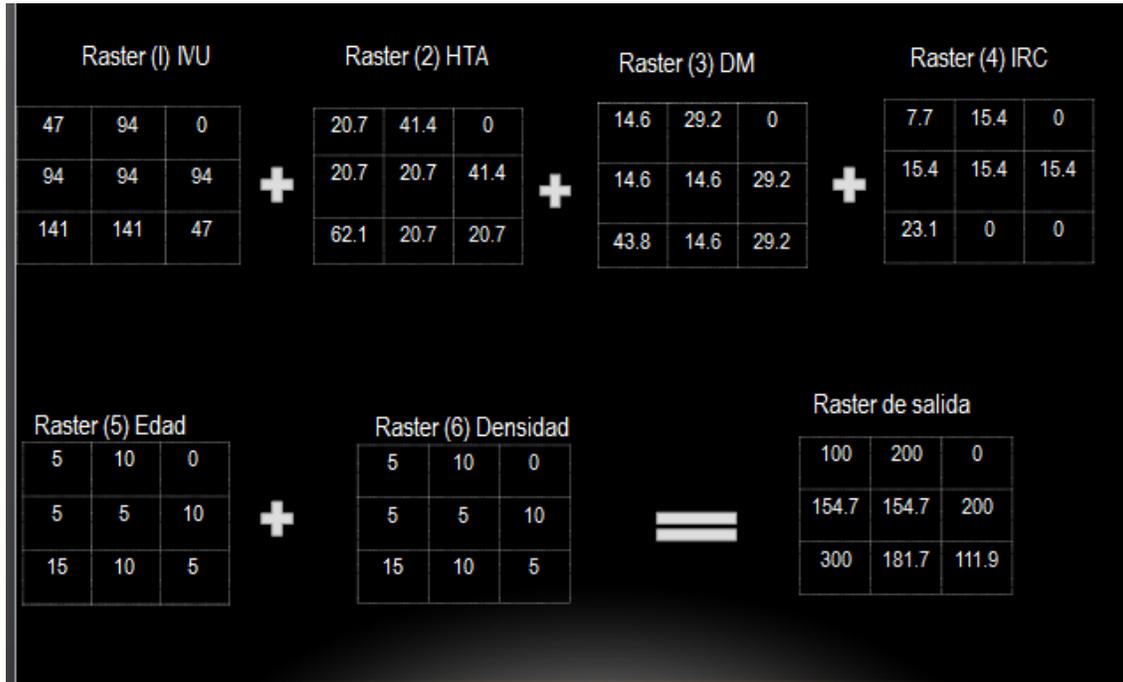
Valores reclasificados por variable o factor de riesgo ante la IRC



Multiplicación por un peso en a cada mapa (odds ratios)



Suma y multiplicación de los valores para obtener el mapa de riesgo epidemiológico.



La numeración derivada de la suma de cada una de las capas y multiplicada por el peso epidemiológico se clasifico a una escala ordinal a partir del método de *natural break* para identificar *out layers* ya que va de 0 como rejillas con muy poco riesgo epidemiológico a rejillas con las máximas puntuaciones indicando que en esas rejillas es posible que la gente desarrolle IRC (Figura 48).

Color	Puntaje	Clasificación
	0 - 10	Muy bajo
	11 - 20	Bajo
	21 - 50	Medio
	51 - 100	Alto
	101 - 210	Muy alto

Figura 47.- Clasificación de puntajes obtenidos del proceso de superposición
Fuente: Elaboración propia

Un puntaje alto estaría indicando un mayor riesgo a padecer IRC

Las áreas de riesgo epidemiológico Muy Alto (rejillas color negro) se identificaron en al menos 3 zonas con altas puntuaciones.

- 1) Parte sur de la TSPJ; el mapa de riesgo epidemiológico indica que el conjunto de personas que viven hacia la parte sur-Este de esta localidad tiene una mayor probabilidad a desarrollar IRC, es interesante observar que el riesgo Muy alto está rodeado de la categoría de riesgo alto y riesgo medio. A partir de esta imagen, podemos decir que el riesgo a desarrollar IRC no es aleatorio, si no que esta agrupado hacia la parte sur de la Tenencia.
- 2) Rancho Ruiz; por su parte, la localidad de Rancho Ruiz, presenta una concentración de personas con altos puntajes indicando áreas críticas hacia la parte Oeste. Es importante mencionar que a pesar de la frecuencia de enfermos renal en esta encargatura no es muy alto, el mapa de riesgo indica que este grupo de personas podrían estar propensas a desarrollar IRC ya que la puntuación resulto alta en esta zona.
- 3) San José Irapeo; esta zona resulta contrastante, ya que se lograron identificar dos rejillas con altas puntuaciones dividida por el trazo vial hacia la parte sur se localizar cuatro rejillas con puntuaciones muy bajas.

Una de los resultados que podemos mencionar es que con esta información es posible mencionar que no solo la TSPJ están presentes los enfermos renales, sino que por el contrario existen al menos dos probables áreas en que los factores de riesgo epidemiológico son evidentes.

Como es posible apreciar en la cartografía resultante, existe un patrón de agrupamiento de riesgo bajo hacia las partes altas de la zona de estudio, mientras que las partes medias y bajas se localizar rejillas con alto y muy alto riesgo epidemiológico.

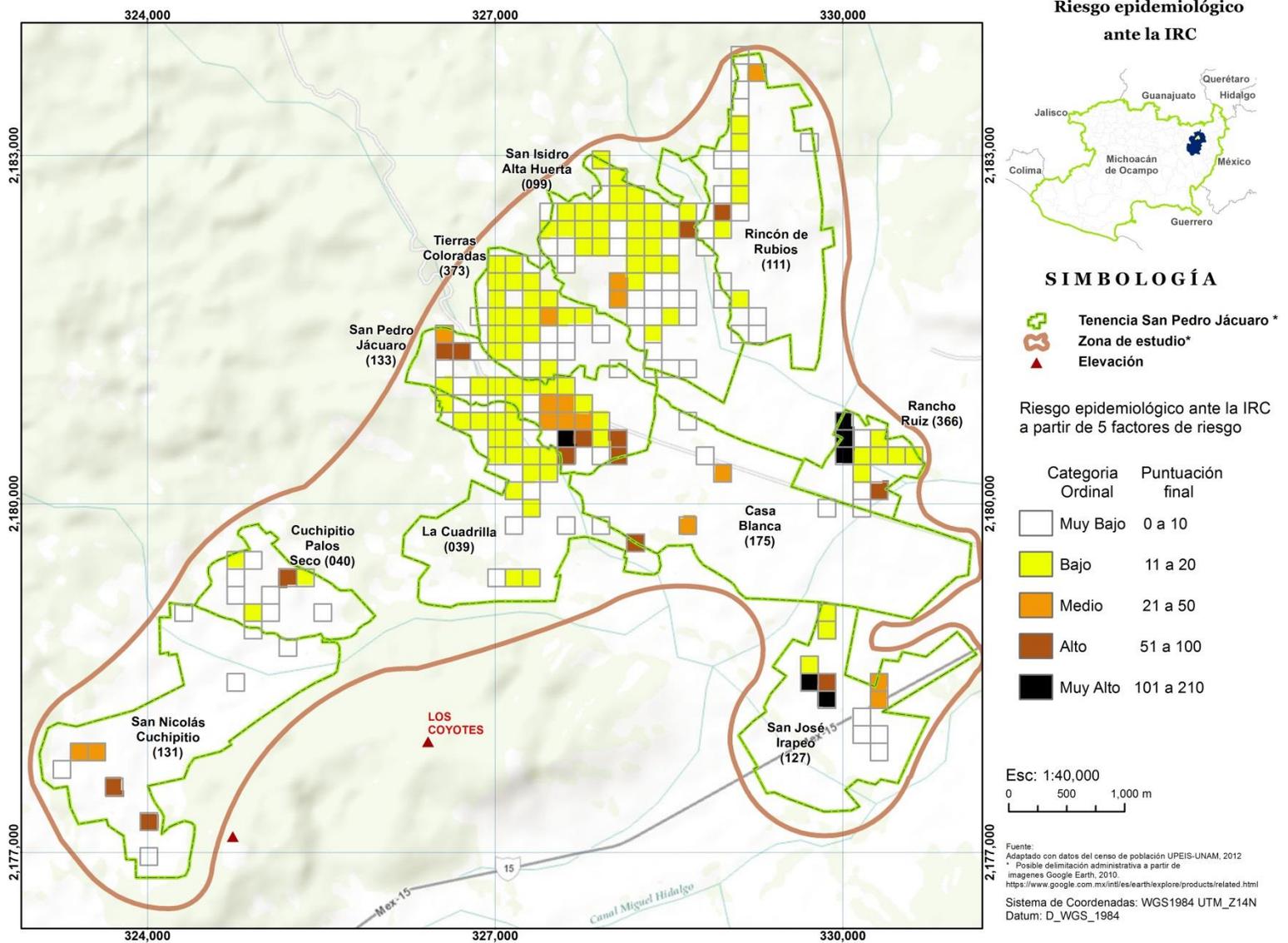


Figura 48. Mapa de riesgo epidemiológico ante la IRC en la TSPJ y sus encargaturas.
Fuente: Elaboración propia

5 CONCLUSIONES

La insuficiencia renal crónica es una enfermedad multifactorial silenciosa e irreversible, en la cual los riñones van perdiendo su capacidad funcional de filtrar la sangre de sustancias tóxicas que de manera natural produce el cuerpo, en la actualidad, esta enfermedad es considerada como un problema de salud pública ya que va en aumento, es una enfermedad que no es endémica, si no por el contrario, esta enfermedad está presente en todo el mundo, no hace distinción de países ricos o pobres, aunque en estos últimos los estragos económicos son catastróficos ya que los tratamientos son altamente costosos.

De acuerdo a las estadísticas de mortalidad en México proporcionadas por INEGI, esta enfermedad se posiciona entre las primeras 10 causas de muerte, y junto con la DM (2da causas de mortalidad en México), algunos investigadores predicen un aumento significativo en los próximos años. Esta preocupación se hace evidente en todo el país.

Debido a esta preocupación, algunas autoridades de salud han realizado estudio al respecto, tal es el caso de Ciudad Hidalgo Michoacán, quien solicitó un estudio epidemiológico para conocer las causas que origina una alta prevalencia en la Tenencia de San Pedro Jácuaró, ya que una de sus percepciones de sus habitantes fue que la actividad de la geotérmica (Los Azufres) era la responsable de dicho incremento en los casos con IRC. Sin embargo, los estudios de calidad de agua de la UNAM-CIATEJ no ofrecen evidencia suficiente en la cual se relacione este padecimiento con un aumento de enfermos renales en la zona de estudio.

Dado que la UPEIS-UNAM realizó un estudio epidemiológico al cual integro información georreferenciada fue posible abordar el tema de la IRC desde un enfoque geográfico a un nivel exploratorio, en la cual el objetivo de estudio fue identificar áreas prioritarias ante esta enfermedad, no buscando su causalidad sino, su distribución espacial.

El principal objetivo de este trabajo de tesis se ve reflejado en un mapa de riesgo epidemiológico ante la Insuficiencia Renal Crónica (IRC) en la Tenencia de San Pedro Jácuaró, Ciudad Hidalgo,

Michoacán, para lograr su construcción fue necesario conocer y conceptualizar las características que favorecen a la IRC, (factores de riesgo) desde el punto de vista epidemiológico.

Al momento de examinar la información de los 4,125 sujetos fue posible hacer uso de algunas pruebas estadísticas para detectar si las frecuencias de la IRC están asociadas a las frecuencias de DM, HTA e IVU (factores de riesgo ante la IRC), los estadísticos que permitió corroborar esta asociación fue la Chi², la cual indico con un valor $p > 0.05$ en las cuatro variables, es decir que las variables que se consideraron como factores de riesgo ante la IRC si están asociados.

Por otra parte y dada la naturaleza de la variable de respuesta dicotómica se calcularon los *odds ratios* para estas variables, a partir de la regresión logística fue posible conocer la probabilidad de ocurrencias de IRC cuando se presenta algún factor de riesgo con respecto a lo los que no presentan alguna de estas enfermedades.

Los resultados de la regresión logística indicaron que aquellas personas que padecen IVU, tiene 6 veces más el riesgo a desarrollar IRC, con respecto a aquellas personas que no padecen IRC, en cuanto a aquellas personas que padecen HTA, tienen un riesgo de casi 3 veces más de enfermar de los riñones con respecto a las personas que no tiene HTA. Para el grupo de personas que reportaron padecer DM, tiene un riesgo de 91% más de que desarrollen IRC con respecto a los que no reportaron DM.

En esta investigación resaltar la importancia de contar con información georreferenciada, ya que sin ella no hubiese sido posible analizar la distribución de la IRC y sus factores de riesgo a una escala detallada.

Dada la importancia del tema se dedicó el capítulo III de esta tesis a describir la metodología utilizada para generar datos espaciales con la ayuda del explorador Google Earth, la cual resulto bastante económico ya que proporciona información confiable y de libre distribución.

Una vez que se contó con datos georreferenciados es posible analizar casi cualquier enfermedad a nivel espacial, así mismo este tipo de información abre la posibilidad de utilizar y aplicar algunas técnicas geográficas, como la técnica de cuadrantes (*Quadrats*) que en esta tesis se propone trabajar con un

conjunto de rejillas regulares y cuadradas para detectar áreas con altas prevalencias, ya que es común encontrar los datos de prevalencia de manera global, los cuales discrimina la localización, en ese contexto, esta tesis propone generar reporte de prevalencia a una escala detallada, la cual puede ser utilizada para dirigir políticas de salud.

Gracias a los Sistemas de Información Geográficas fue posible no solo identificar altas tasas de prevalencia a escalas finas, sino que se hizo uso de las algunas métricas disponibles en estos sistemas capaces de analizar el comportamiento de la prevalencia a nivel espacial y dado que las prevalencia se manejaron a nivel poligonal (rejillas de 150x150m) fue posible aplicar la autocorrelación espacial global y local basadas en la primera y única de la geografía descrita por W. Tobler (1979) que dice; *“todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas más cercanas están más relacionadas que las más distantes”*.

La autocorrelación espacial permitió obtener rejillas con valores altos de prevalencia cerca de valores altos de prevalencia es decir con autocorrelación positiva (*High-High*) o zonas calientes o *clúster* al igual que rejillas donde la prevalencia bajas cerca de prevalencia bajas (autocorrelación negativa).

Con apoyo de los SIG fue posible identificar rejillas con significancia estadísticas, y dada las ventajas que ofrecen estos sistemas fue posible superponer mapas y al mismo tiempo asignarles un peso no espacial, sino de tipo epidemiológico a partir de las razones de momios.

Con este geoprocetamiento de información fue posible identificar al menos 3 áreas con Muy alto riesgo epidemiológico tales como; el centro sur de la tenencia de SPJ, la parte oeste de tenencia de rancho Ruiz, y la zona norte de San José Irapeo.

Este conjunto de rejillas son de especial interés para los tomadores de decisión ya que este grupo de personas que viven en estas rejillas tiene más probabilidad a desarrollar IRC, cada una de estas áreas es merecedora de un análisis más detallado sin embargo, este material cartográfico deberá someterse a una validación en campo

6 BIBLIOGRAFÍA

- Albert D., Gesler W. & Levergood B. (2000). *Spatial Analysis Gis, And Remote Sensing Applications in the Health Sciences*. Chelsea: AnnAbor.
- Almeida F., C. L. (2009). Riesgo: Concepto básico de la epidemiología. *SALUD COLECTIVA*, 22.
- Amato. (2005). Prevalence of chronic kidney disease in an urban Mexican population. *Kidney International*, 68(97).
- Anselin L. (1995). *Local indicators of spatial association* .
- APHA, AWWA, WEF. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*,. Washington DC American Public Health Association.
- Arreola-Mendoza L., Del Razo L.M, Barbier O., Martínez-Saldaña C., Avelar-González F., Jaramillo- Juárez F., & Reyes-Sánchez J.L. (2011). *Potable water pollution with heavy metals, arsenic and fluoride and its relation to the development of kidney chronic illness in the infant population of Aguascalientes*. México: Oswald-Spring.
- Baile T., Gattell A., Diggle p. & Rowlinson B. (1995). *Spatial point patterns analysis and its application in geographical epidemiology*.
- Briggs DJ. & Elliot P. (1995). *The use of geographical information system in studies on enviroment and health*. Stat.
- Brooks D. (2009). *Informe Final de Estudio de Alcance Epidemiología de Enfermedad Renal Crónica en Nicaragua*. Boston: Ombdasman.
- Brunhes J. (1948). *geografía humana*. Barcelona: Juventud.
- Buzai, G. (2007). Métodos cuantitativos en Geografía de la Salud. *Universidad Nacional de Lujan*.
- Cedillo F., Silva R & Vargas H. (1989). *Estudio Geohidrológico, Los Azufres-Cuitzeo estado de Michoacan*. Departamento de exploración: Comición Federal de Electricidad, Gerencia de proyectos geotérmicos.
- Chandrajith R., Nanayakkara S., Kozuyoshi I., Aturaliya T., Dissanayake C., & Abeysekera Koizumi A. (2011). *Chronic kidney disease of uncertain etiology (CKDu) in Sri Lanka: geographical distribution and environmental implications*. Sir Lanka: Environ Geochem Health.
- Chin P., Mun F. & Wing K. (2009). *Spatial Epidemiological Approaches in Disease Mapping a Analysis*. taylor & Francis Group.
- CONAGUA. (7 de Abril de 2008). *Determinación de la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero 1610 Ciudad Hidalgo-Tuxpan, Estado de Michoacán*. Obtenido de http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Aguasubterranea/pdf/DR_1610.pdf
- Cressie N. (1993). *Statistics for Spatial Data*. New York: Wiley.
- D., Amato. (2005). Prevalence of chronic kidney disease in an urban Mexican population. *Kidney International*, 68(97).

- Darcy VanDeort., L. D. (2014). *Spatial Distribution of Unspecified Chronic Kidney Disease in El Salvador by Crop Area Cultivated and Ambient Temperature*. El Salvador: MEDICC.
- Diggle P. (2003). *Statistical analysis of point Patterns*. New York: Oxford University Press Inc.
- Dir. Martinez V. (05 de Septiembre de 2012). *Plan Municipal de Desarrollo de Ciudad Hidalgo Michoacan*. Obtenido de Periodico Oficial del Gobierno constitucional del estado de Michoacan de Ocampo: file:///C:/Users/Maestro_r/Downloads/o2744404.pdf
- Dunn., Kingham S., Rowlingson B., Bhopal R., Cocking s., Foy C., Acquilla S., Halpin J., Diggle P & Walker D. . (2001). *Analysing spatially referenced public health data; a comparison of three metodological approaches*. Health and place.
- Ebdon, D. (1982). *Estadísticas para Geografos*. Barcelo: Oikos Tau.
- ENSANUT. Olaiz-Fernández G., R.-D. J.-L.-H.-A.-A. (2006). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición*.
- Evans P. & Taal M. (2011). *Epidemiology and causes of chronic kidney disease*. Medicine.
- FMR. (10 de Enero de 2012). *FMR*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2016, de Fundación Mexicana del Riñon A.C.: <http://www.fundrenal.org.mx/about.html>
- Fortin M. J. & M. R. T. Dale. (2005). *Spatial Analysis A Guide for Ecologists*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Galli B., Galli B. & Chiaravalloti F. (2008). *Temporal-spatial risk model to identify areas at high-risk for occurrence of dengue fever*. Rev. Salude publica.
- Garrocho C. (1997). Los Sistemas de Información Geográfica en geografía médica. *Economía, Sociedad y Territorio*.
- Geissler G y Arroyo M. (2011). *El agua como un recurso natural renovable*. México: Trillas.
- Gesler. (2005). *The use of spatial analysis in medical geography*. Social Science & Medicine.
- Getis A. & Ord J. K. (1992). *The analysis of spatial association by use of distance statistics*.
- Goodchild M., Smith M., & Longley P. (2015). *A comprehensive guide to principles techniques and software tools* (5 ed.). Londres: Winchelsea.
- Google Earth. (14 de Abril de 2014). *Directrices de atribución para Google Maps y Google Earth*. Recuperado el 20 de Agosto de 2015, de <https://www.google.com/intl/es/policies/terms/>
- Gutierrez-Negrín L. & Quijano-León. (2003). Geothermal develoment in Mexico in 2002. *Geothermal Resources Council Transaction*, 53-57.
- Hernán A., W. M. (2003). *Fundamentos de medicina, Nefrología*. Medellín, Colombia: Corporación para investigaciones biológicas.
- INEGI. (Mayo de 15 de 2010). *Censo de población y vivienda 2010*. Obtenido de http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx
- INEGI. (Marzo de 20 de 2010). *Estadísticas básicas sobre el Medio Ambiente*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx>
- INEGI. (18 de Septiembre de 2010). *Marco Geoestadístico 2010 versión 4.3*. Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825296520>

- INEGI. (20 de Octubre de 2014). *Simulador de flujo de agua de cuencas hidrográficas*. Obtenido de http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#
- INEGI. (20 de Agosto de 2015). *Principales causas de mortalidad por residencia habitual, grupos de edad y sexo del fallecido*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/vitales/mortalidad/tabulados/ConsultaMortalidad.asp>
- Infantas I. (17 de febrero de 2009). Visión geográfica deñ ciberespacio. *GeoCritica Aracne*.
- Jayasekara J.M.K.B., Dissanyake Adhikari S.B. & Bandera P. (2013). *Geographical distribution of chronic kidney disease of unknown origin in North Central Region of Sri Lanka*. Ceylon: Medical Journal.
- Jayatilake N., Mendis S., Maheepala P. & Meheta F. (2013). *Chronic kidney disease of uncertain aetiology: prevalence and causative factors in a developing country*. *BMC Nephrology*. BMC.
- Jeefoo P, T. N. (2011). *Spatio-temporal diffusion pattern and hotspot detection of dengue in Chachoengsao province, Thailand*. Tailand.
- Jha V., Garcia G., Iseki K., Li Z., Naicker S., Plattner B.& Yang C.W. (2013). *Chronic kidney disease: global dimensión and perspectives*. *Lancet*.
- Jiménez A. (1991). *Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores kernel*. Societat catalana de geografia.
- KDIGO. (20 de Septiembre de 2002). *Clinical practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney disease*. Obtenido de http://www.kdigo.org/clinical_practice_guidelines/pdf/CKD/KDIGO_2012_CKD_GL.pdf
- Knox E.G. & Gilman E. (1992). *Leukaemia clusters in Great Britain. 2. Geographical concentrations*. *Journal of Epidemiology and Commmunity Health*.
- Kulldorff M., Athas W., Feuer E., Miller B. & Key C. (1988). *Evaluating cluster alarms: A space-time scan statistics and brain cancer in Los Alamos*. E.U.A: American Journal of Public Health.
- Kumate J., Sepulveda J. & Gutiérrez G. (1993). *El Cólera, epidemias, endemias y pandemias*. México: McGraw Hill.
- Lasser M. (1978). *Trazadores de agua subteránea*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2015, de <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca03/3902/1978-39-2%20Lesser.pdf>
- Legendre P. (1993). *Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm?* *Ecology*. (74) 1659-1673.
- Longley P. A., M.F. Goodchild., D.J Maguire & D.W. Rhind. (2001). *Geographic information system and science*. London: Jhon Wiley.
- López Cervantes. (2010). *Enfermedad Renal Crónica y su Atención Mediante Tratamiento Sustitutivo en México*. México: UNAM.
- Marin, R. (2009). Creatinina elevada o Filtrado glomerular estimado bajo criterios de derivación al especialista de nefrología. *Servicio de Salud del principado de Asturias*.
- Mc Lean D., Eng A., Mannetje A., Walls C., Dryson E., Cheng S., Wong K. & Pearce N. (2007). *Health Outcomes in former New Zealand timber workers exponed to pentaclorophenol (PCP)*. New Zelanda: Tecnical report.

- Méndez A., Méndez F., Tapia T., Muñoz A. y Aguilar L. (2010). *Epidemiología de la insuficiencia renal crónica en México*. Obtenido de <http://zl.elsevier.es/es/revista/dialisis-trasplante-275/epidemiologia-insuficiencia-renal-cronica-mexico-13147524-originales-2010>
- Michael Goodchild y Haining. (2004). SIG y análisis espacial de datos: perspectivas convergentes. *Investigaciones regionales*.
- Monkhouse F.J. (1948). *Diccionario de términos geográficos*. Barcelona: Oikos-tau.
- Moraga P. & Montes F. (2011). *deteccion of spatial disease cluster with LISA functions*. Statistics in Medicine.
- Moran P. (1948). *The interpretation of statistical maps*. Journal of the Royal Statistics Society.
- NKF. (Octubre de 29 de 2013). *National Kidney Foundation*. Obtenido de About Chronic Kidney Disease: <https://www.kidney.org/kidneydisease/aboutckd.cfm>
- NOM-030-SSA2. (17 de Enero de 2001). *Para la prevención, tratamiento y control de la hipertension arterial*. Obtenido de Norma Oficial Mexicana: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/030ssa29.html>
- Olaya, V. (2012). *Sistemas de Información Geografica. Tomo I*. España: OsGeo.
- Olvera-Correa, L. (19 de Marzo de 2013). *Gaceta Parlamentaria, Número 3731-VIII*. Recuperado el 30 de 11 de 2016, de <http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/62/2013/mar/20130319-VIII/ProposicionUOR-1.html>
- OMS. (11 de Marzo de 2014). *Organización Panamericana de Salud/ Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Crece el número de enfermos renales entre los mayores de 60 años con diabetes e hipertensión: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9379%3A2014-kidney-disease-rising-among-seniors-diabetes-hypertension&Itemid=1926&lang=es
- OMS. (10 de Enero de 2016). *Inorme Mundial sobre la diabetes*. Obtenido de OMS: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204877/1/WHO_NMH_NVI_16.3_spa.pdf?ua=1
- Openshaw. (1990). *Automating the search for cancer cluster: a review of problem, progress, and opportunities*. London: Pion, Papers in regional Geography.
- Openshaw S. (1984). *The modifiable areal unit problem*. Norwich: CATMOG 38.
- OPS/OMS. (2016). *Renal failure and chronic disease (CKD) mortality visualization*. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de Renal failure and chronic disease (CKD) mortality visualization: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9402%3A2014-renal-failure-chronic-kidney-disease-ckd-mortality-visualization&catid=2390%3Aregional-health-observatory-themes&Itemid=2391&lang=es
- Ordoñez C. y Martínez R. (2003). *Sistemas de Información Geografica, Aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales*. España: Alfaomega Ra-Ma.
- Panduro M. (2015). *Evaluación de la calidad de agua ante la enfermedad renal crónica en la zona oriente de Michoacán*. Guadalajara Jal.
- Pickenhayn J. (2009). *Salud y enfermedad en geografía*. Buenos Aires: Lugar.
- Pickenhayn, J. (1999). *Fundamentos teóricos de la geografía de la salud*. Tucumán, Argentina: Universidad de Tucuman.

- Quintero J. (2009). Definición y origen de los sistemas de información geográfica. En A. R., *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México* (1 ed., pág. 365). Ciudad Universitaria: Geografía para el S.XXI. Instituto de Geografía.
- Ribes E. (2004). Fisiopatología de la insuficiencia renal crónica. *Anales de cirugía cardíaca y vascular*, 8-76.
- Rotela C., Fouque F., Lamfri M., Sabatier P., Introini V. & Zaidenberg M. (2004). *Space-time analysis of the dengue spreading dynamics in the 2004 Tartagal outbreak*. Argentina: Act Trop.
- Sabath E., & Robles-Osorio, M. L. (2012). *Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados*. Nefrología.
- San Pedro A., Sousa Santos R., sabroza PC. & Oliveira RM. (2009). *Specific dengue transmission conditions at the local level: a study in Itaipu, Niterói, Rio de Janeiro State, Brazil*. Brazil: Salud Publica.
- Santiago, I. (2005). *Fundamentos de ArcGis, versión Arc View 9.1 Tutoriales de lecturas*. Puerto Rico: OGP.
- Santos E. & García F. (2008). *Análisis estadístico de la información geográfica*. Madrid: UNED.
- Sarton G. (1965). *Historia de la ciencia*. Buenos Aires: EUdeBA.
- Serralde, E. (10 de Marzo de 2010). *Panorama epidemiológico de la Insuficiencia Renal Crónica en México*. Obtenido de Panorama epidemiológico de la Insuficiencia Renal Crónica en México: http://www.hgm.salud.gob.mx/descargas/pdf/enfermeria/insuficiencia_renal.pdf
- Snow J. (1855). *On the mode of communication of cholera* (2 ed.). London.
- Soriano . (Febrero de 17 de 2004). *Definición y Clasificación de los estadios de la ERC. Prevalencia. Claves para el diagnóstico precoz. Factores de Riesgo de ERC*. Obtenido de <http://www.revistanefrologia.com/revistas/P7-E237/P7-E237-S141-A3100.pdf>
- Sorre M. (1947). *Les fondements de la Géographie Humaine*. Paris: Annales de géographie.
- Sotomayor, G. V. (2005). *Estadística con Excel*. Mexico: Trillas.
- Stenvinkel, P. (4 de Agosto de 2010). Chronic kidney disease: a public health priority and harbinger of premature cardiovascular disease. *Journal of Internal Medicine*, 268, 456-467.
- Thomas C. Voice, S. P. (2006). *Evaluation of the hypothesis that Balkan endemic nephropathy is caused by drinking water exposure to contaminants leaching from Pliocene coal deposits*. Balkan: Nature.
- Thomas RW. (1979). *An Introduction to Quadrat Analysis*. Norwich: Geo Abstracts.
- Tobler W. (1970). *A computer movie simulating urban growth in the Detroit region*. Economic Geography.
- Unwin T. (1995). *El lugar de la geografía*. Barcelona: Catedra.
- Upton G. & Fingleton B. (1985). *Spatial Data Analysis By Example*. Wiley.
- URSDS. (2013). *United States Renal Data System*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2016, de United States Renal Data System: <https://www.usrds.org/reference.aspx>
- Urteaga L. (1980). *Miseria, miasmas y microbios. Las toponografías médicas y el estudio del medio ambiente en el siglo XIX*. Barcelona: Geo Critica.
- Villa Romero A, M. A. (2012). *Epidemiología y estadística en Salud Pública*. México D.F: McGraw-Hill Interamericana.

7 ANEXOS

7.1 ASOCIACIÓN DE FACTORES DE RIESGO ANTE LA IRC EN STATA V.13

tab2 irc dm, chi2

-> tabulation of irc by dm

		dm		
irc	0	1	Total	
0	3,782	209	3,991	
1	117	17	134	
Total	3,899	226	4,125	

Pearson chi2(1) = 13.8943 Pr = 0.000

. tab2 irc hta, chi2

-> tabulation of irc by hta

		hta		
irc	0	1	Total	
0	3,729	262	3,991	
1	100	34	134	
Total	3,829	296	4,125	

Pearson chi2(1) = 68.8550 Pr = 0.000

. tab2 irc ivu, chi2

-> tabulation of irc by ivu

		ivu		
irc	0	1	Total	
0	3,664	327	3,991	
1	80	54	134	
Total	3,744	381	4,125	

Pearson chi2(1) = 159.4032 Pr = 0.000

./ * La Ho: La variable explicatoria es independiente de la variable respuesta, por tanto
 > sí la p es significativa (p<0.05), se rechaza la Ho y se concluye que
 > Las variables están asociadas */

. tab2 edad10 irc, chi2

-> tabulation of edad10 by irc

edad10	irc		Total
	0	1	
0	880	5	885
10	913	22	935
20	667	21	688
30	452	22	474
40	381	22	403
50	310	16	326
60	186	10	196
70	111	11	122
80	43	4	47
90	8	1	9
Total	3,951	134	4,085

Pearson chi2 = 55.2276 Pr = 0.000

/* La p fue significativa p<0.05, por lo tanto las variables están asociadas */

7.2 MODELO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA EN STATA

Entrada en stata

logistic irc i.dm i.hta i.ivu if irc!=. & dm!=. & hta!=. & ivu!=. & edad10!=.

Logistic regression Number of obs = 4085
 LR chi2(3) = 122.88
 Prob > chi2 = 0.0000
 Log likelihood = -528.24747 Pseudo R2 = 0.1042

irc	Odds Ratio	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
1.dm	1.934236	.5589799	2.28	0.022	1.097788	3.408006
1.hta	2.722716	.6228613	4.38	0.000	1.738912	4.263117
1.ivu	6.124063	1.188868	9.34	0.000	4.185962	8.959503
_cons	.0190636	.002298	-32.85	0.000	.015052	.0241442

. estimate store modelo_crudo

. logistic irc i.dm i.hta i.ivu i.edad10 if irc!=. & dm!=. & hta!=. & ivu!=. & edad10!=.

Logistic regression Number of obs = 4085
 LR chi2(12) = 146.47
 Prob > chi2 = 0.0000
 Log likelihood = -516.45083 Pseudo R2 = 0.1242

```
-----+-----
irc | Odds Ratio Std. Err. z P>|z| [95% Conf. Interval]
-----+-----
1.dm | 1.531603 .4565329 1.43 0.153 .8539333 2.747061
1.hta | 2.099522 .5086588 3.06 0.002 1.30586 3.375546
1.ivu | 5.363846 1.051533 8.57 0.000 3.652633 7.876741
|
edad10 |
10 | 3.708854 1.852351 2.62 0.009 1.393527 9.871068
20 | 3.882212 1.960333 2.69 0.007 1.442989 10.44469
30 | 5.259671 2.665347 3.28 0.001 1.948098 14.20059
40 | 6.374697 3.236039 3.65 0.000 2.356987 17.24098
50 | 4.795054 2.565731 2.93 0.003 1.680094 13.68527
60 | 4.684603 2.686723 2.69 0.007 1.522264 14.41636
70 | 7.716395 4.511534 3.49 0.000 2.45326 24.27087
80 | 9.142097 6.600212 3.07 0.002 2.220823 37.63377
90 | 8.381853 10.36694 1.72 0.086 .7422452 94.65263
|
_cons | .0051086 .0022967 -11.74 0.000 .0021165 .0123305
-----+-----
```

. estimate store modelo ajustado

. lrtest modelo crudo modelo ajustado

Likelihood-ratio test LR chi2(9) = 23.59
 (Assumption: modelo crudo nested in modelo ajustado) Prob > chi2 = 0.0050

./ * La variable edad si es una variable confesora del efecto de IRC */

7.3 PONDERACIÓN DE OR EN STATA

```
Ponderación
> OR 0.90% 0.95%
> -----
> DM 1.53 0.15 0.16
> HTA 2.10 0.21 0.22
> IVU 5.36 0.54 0.57
> -----
> 8.99 0.90 0.95
```