



**Caracterización de la Demanda, Presiones por Uso y Tensores
Contaminantes de la Explotación Doméstica de Agua Subterránea en San
Andrés por Unidad de Planificación Insular.**

Documento de análisis en el marco del proyecto "Evaluación, del estado, dinámica
y tendencia del agua subterránea" - Contrato Interadministrativo No. 217
de 2017 entre Coralina y la Universidad Nacional de Colombia
Sede Caribe

**Jairo Humberto Medina
Director**

**Universidad Nacional de Colombia
Sede Caribe
Jardín Botánico
San Andrés Isla
2018**

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	12
1. GENERALIDADES	13
1.1. Objetivo.....	13
1.2. Alcance	13
1.3. Consideraciones de planificación territorial	13
2. AMBITO LEGAL	15
3. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	17
3.1. Localización general.....	17
3.2. Geología	18
3.3. Clima.....	20
3.4. Suelos.....	20
3.5. Hidrología.....	24
4. CARACTERIZACION DE LA DEMANDA Y PRESION POR USO	28
4.1. Generalidades.....	28
4.2. Metodología	30
4.3. Extracción total o presión por uso de agua subterránea en el área urbana y rural. 37	
4.3.1. Número de registros	37
4.3.2. Régimen de extracción total o presión por uso	41
4.3.3. Análisis geoestadístico	57
4.4. Demanda de agua subterránea en las UPI's rurales y urbanas.....	60
4.4.1. Número de registros	60
4.4.2. Régimen de extracción o presión por uso de pozos exclusivamente domésticos	63
4.4.3. Cálculo de la demanda en pozos exclusivamente domésticos.....	66
4.4.4. Análisis geoestadístico de la demanda en pozos domésticos.....	74
4.5. Conclusiones.....	78
5. TENSORES CONTAMINANTES DE LA EXPLOTACIÓN DOMESTICA DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	80
5.1. Análisis.....	80
5.1.1. Presencia de charcos de agua estancada	82
5.1.2. Distancia al charco en metros.....	83

5.1.3.	Existe una letrina o pozo séptico	86
5.1.4.	Distancia a la letrina en metros.....	86
5.1.5.	Basura, criaderos o estiércol de ganado a su alrededor.	89
5.1.6.	Distancia a la basura o estiércol de ganado en metros.....	89
5.1.7.	Borde o grieta que permita el ingreso de agua superficial al mismo.	91
5.1.8.	Distancia a la grieta en metros	91
5.1.9.	Condición del punto de captación.....	94
5.1.10.	Cercanía a infraestructura o lugares potencialmente impactantes	102
5.1.11.	Otros tensores	107
5.2.	Conclusiones.....	112
6.	BIBLIOGRAFIA	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Unidades de Planificación Insular en la isla de San Andrés	14
Figura 2. Ubicación San Andrés Isla	17
Figura 3. Cuencas hidrográficas de la isla de San Andrés	25
Figura 4. Puntos de captación subterránea San Andrés.	35
Figura 5. Número de registros efectivos por UPIs.	40
Figura 6. Régimen de extracción total vs UPIs.....	45
Figura 7. Presión por explotación semanal vs UPIs	53
Figura 8 Análisis geoestadístico IDW calculado para la presión por uso (m3/día), calculado para las diferentes UPI's urbanas.	57
Figura 9 Análisis geoestadístico IDW calculado para la presión por uso (m3/día), calculado para las diferentes UPI's rurales.	58
Figura 10 Análisis geoestadístico IDW calculado para la presión por uso (m3/día), calculado para las diferentes UPI's.	59
Figura 11. Número de registros para el análisis de la demanda de agua vs UPIs.....	62
Figura 12. Régimen de extracción o presión por uso de pozos exclusivamente domésticos vs UPIs	65
Figura 13. Demanda promedio en l/día por usuario, calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.	70
Figura 14 Análisis geoestadístico IDW calculado para la demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's urbanas.	75
Figura 15 Análisis geoestadístico IDW calculado para la demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's rurales.	76
Figura 16 Análisis geoestadístico IDW calculado para la demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's.....	77
Figura 17. Presencia de charcos de agua estancada.....	85
Figura 18. Existencia de letrina o pozo séptico	88
Figura 19. Basura, criaderos o estiércol de ganado a su alrededor.....	90
Figura 20. Borde o grieta que permita el ingreso de agua superficial al mismo.....	93
Figura 21. Punto con cubierta adecuada.....	95
Figura 22. Piso de cemento alrededor de la captación.....	97
Figura 23. Cerco alrededor de la instalación adecuado	99
Figura 24. Tiene sello sanitario	101
Figura 25. Cercanía infraestructura cementerio	104
Figura 26. Cercanía infraestructura Lavadero de carros y motos.....	106
Figura 27. Cercanía infraestructura EDS	107
Figura 28. Cercanía infraestructura Pozo abandonado	108
Figura 29. Cercanía Residuos peligrosos	109
Figura 30. Cercanía Planta de Sacrificio	111
Figura 31. Cercanía Otra Fuente de contaminación.....	112

LISTA DE GRAFICOS

Grafica 1. Comparación del promedio de usuarios que habitan una vivienda tomados en las diferentes UPI's rurales.	32
Grafica 2. Comparación del promedio de usuarios que habitan una vivienda tomados en las diferentes UPI's urbanas.	33
Grafica 3. Comparación del promedio de usuarios que habitan una vivienda tomados en las diferentes UPI's urbanas y rurales.....	33
Grafica 4. Número de registros efectivos tomados en las diferentes UPI's rurales.....	37
Grafica 5. Número de registros efectivos tomados en las diferentes UPI's urbanas.....	38
Grafica 6. Número de registros efectivos tomados en las diferentes UPI's rurales y urbanas.....	38
Grafica 7. Número de registros no válidos en las diferentes UPI's rurales y urbanas.....	39
Grafica 8. Régimen de extracción promedio en l/día, calculado para las diferentes UPI's rurales.	41
Grafica 9. Régimen de extracción promedio en l/día, calculado para las diferentes UPI's urbanas.....	42
Grafica 10. Régimen de extracción promedio en l/día, calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.	43
Grafica 11. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m ³ /día), de las diferentes UPI's rurales.....	46
Grafica 12. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m ³ /día), de las diferentes UPI's urbanas.....	47
Grafica 13. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m ³ /día), de las diferentes UPI's.	48
Grafica 14. Régimen de extracción promedio en m ³ /semana, calculado para las diferentes UPI's rurales.	49
Grafica 15. Régimen de extracción promedio en m ³ /semana, calculado para las diferentes UPI's urbanas.	50
Grafica 16. Régimen de extracción promedio en m ³ /semana, calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.....	51
Grafica 17. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m ³ /semana), calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.....	54
Grafica 18. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m ³ /semana), calculado para las diferentes UPI's rurales.	55
Grafica 19. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m ³ /semana), calculado para las diferentes UPI's urbanas.	56
Grafica 20. Número de registros efectivos de pozos exclusivamente domésticos tomados en las diferentes UPI's rurales.	60
Grafica 21. Número de registros efectivos de pozos exclusivamente domésticos tomados en las diferentes UPI's urbanas.	61
Grafica 22. Número de registros efectivos de pozos exclusivamente domésticos tomados en las diferentes UPI's rurales y urbanas.....	61

Grafica 23. Régimen de extracción promedio en l/día en pozos exclusivamente domésticos en las UPI's rurales.....	63
Grafica 24. Régimen de extracción promedio en l/día en pozos exclusivamente domésticos en las UPI's urbanas.....	63
Grafica 25. Régimen de extracción promedio en l/día en pozos exclusivamente domésticos en las UPI's rurales y urbanas.	64
Grafica 26. Número promedio de usuarios por pozo del muestreo, reportado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.	66
Grafica 27. Demanda promedio en l/día por usuario, calculado para las diferentes UPI's rurales.	67
Grafica 28. Demanda promedio en l/día por usuario, calculado para las diferentes UPI's urbanas.....	68
Grafica 29. Demanda promedio en l/día por usuario, calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.....	69
Grafica 30. Gráfica del promedio y desviación estándar demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.....	72
Grafica 31. Gráfica del promedio y desviación estándar demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's urbanas.	73
Grafica 32. Gráfica del promedio y desviación estándar demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's rurales.	74
Grafica 33. Número de reportes de charcos con agua estancada, cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.....	83
Grafica 34. Distancia promedio en metros del charco con agua estancada al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.....	84
Grafica 35. Número de reportes de letrinas o pozos sépticos, cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.....	86
Grafica 36. Distancia promedio en metros de letrinas o pozos sépticos cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.....	87
Grafica 37. Número de basuras, criaderos o estiércol de ganado cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.....	89
Grafica 38. Distancia promedio en metros de basura o estiércol de ganado cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.....	89
Grafica 39. Número de reportes de grietas cercanas al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.	91
Grafica 40. Distancia promedio en metros de grietas cercanas al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.....	92
Grafica 41. Número de reportes de puntos de captación de pozos domésticos con cubierta adecuada en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.....	94
Grafica 42. Número de reportes de puntos de captación de pozos domésticos con piso de cemento alrededor en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.....	96

Grafica 43. Número de reportes de puntos de captación de pozos domésticos con cerramiento en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.	98
Grafica 44. Número de reportes de puntos de captación de pozos domésticos con sello sanitario en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.....	100
Grafica 45. Distancia promedio en metros de cementerios cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.	102
Grafica 46. Distancia promedio en metros de lavaderos de carros o motos cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Síntesis marco normativo nacional de los ERA.	15
Tabla 2. Distribución de las formaciones geológicas en la isla de San Andrés.....	19
Tabla 3. Cobertura y usos del suelo.....	23
Tabla 4. Usos actuales del suelo en San Andrés, características y distribución.....	24
Tabla 5. Descripción general de las cuencas hidrográficas existentes en San Andrés.....	26
Tabla 6. Caudal promedio de acuerdo a la potencia de diferentes tipos de bomba.....	30
Tabla 7. Resultados recolectados en el numeral 9 del FUNIAS	31
Tabla 8. Número de pozos y porcentajes por UPI's	34
Tabla 9. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/día) de las diferentes UPI's rurales. Fuente: Propia.....	45
Tabla 10. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/día) de las diferentes UPI's urbanas.....	46
Tabla 11. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/día) de las diferentes UPI's.	47
Tabla 12. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/semana) de las diferentes UPI's	53
Tabla 13. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/semana) de las diferentes UPI's rurales.....	54
Tabla 14. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/semana) de las diferentes UPI's urbanas.....	55
Tabla 15. Prueba de significancia de la ANOVA para la demanda de agua (l/día/usuario) de las diferentes UPI's	71
Tabla 16. Prueba de significancia de la ANOVA para la demanda de agua (l/día/usuario) de las UPI's urbanas.....	72
Tabla 17. Prueba de significancia de la ANOVA para la demanda de agua (l/día/usuario) de las UPI's rurales.....	73
Tabla 18. Tensores ambientales de las aguas subterráneas de la isla de San Andrés.	81

INTRODUCCION

La gestión integral del recurso hídrico requiere en las regiones información y conocimiento adecuados sobre el comportamiento y estado del agua (en cantidad y calidad), expresados en la distribución espacial y variación temporal de variables asociadas a la oferta y disponibilidad, calidad, uso y demanda y riesgos hidrológicos asociados a la variabilidad. Es así como desde el ámbito nacional a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en marzo de 2010, se expidió la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico – PNGIRH, definido por Technical Advisory Committee (TAC) del Global Water Partnership (GWP), como “un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”.

Aunado a lo anterior, en el marco de sus competencias el Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos de Colombia IDEAM, elaboró y publicó el Estudio Nacional del Agua (ENA) con el propósito de dar a conocer la situación actual y posibles escenarios futuros del agua en Colombia, donde además se desarrolló una metodología con un alcance nacional para el seguimiento del recurso y toma de decisiones en este nivel, es decir de cuencas y macro cuencas conforme a la zonificación hidrográfica establecida por el IGAC (2010). Este esquema metodológico fue el insumo requerido para avanzar en el escalamiento en el orden regional dando paso al Estudio Regional del Agua (ERA, 2011).

Este ERA abarca todo el esquema conceptual y metodológico que deberán implementar a nivel regional para avanzar en el conocimiento, la disponibilidad y eficiencia en la generación de información sobre el comportamiento y estado del agua, presiones y escenarios futuros para el mejoramiento de su gestión. De allí que se hace necesario llevar a cabo estudios a una mayor escala a partir de unidades hídricas de análisis espaciales y temporales; para el caso de San Andrés, es preciso entender las condiciones y estado de la cuenca hídrica subterránea.

De allí surge la necesidad a nivel regional de evaluar el estado, dinámica y tendencias de los puntos de captación de agua subterránea en la isla de San Andrés para lograr una adecuada administración, uso y manejo sostenible del recurso por parte de las entidades responsables.

En este sentido, este estudio pretende caracterizar y evaluar el estado, dinámica y tendencia de la demanda- presiones por uso y tensores contaminantes sobre el recurso subterráneo en Unidades de Planificación Insular (UPI's).



1. GENERALIDADES

Con el ánimo de brindar elementos que permitan comprender el documento en cuestión, se presenta información general a modo de contextualizar la metodología a ser empleada con el fin de realizar la caracterización de la demanda, presiones por uso y tensores contaminantes de la explotación doméstica de agua subterránea en San Andrés isla por Unidades de Planificación Insular- UPI's.

1.1. Objetivo

Realizar la caracterización de la demanda, presiones por uso y tensores contaminantes de la explotación doméstica de agua subterránea en San Andrés isla por Unidades de Planificación Insular- UPI's.



1.2. Alcance

Este documento abarca el marco metodológico y análisis estadístico específico para caracterizar la demanda que ejerce la población de la isla San Andrés en las diferentes Unidades de Planificación Insular - UPI's sobre el recurso subterráneo, así como la identificación de cuáles son las presiones más relevantes por uso del agua subterránea y los tensores contaminantes sobre los pozos domésticos con base en la metodología propuesta por IDEAM y Ministerio de Ambiente¹.

1.3. Consideraciones de planificación territorial

El presente estudio tiene en consideración las áreas geográficas establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial – POT, es decir, las Unidades de Planificación Insular (UPI's), teniendo como referencia la información estadística del DANE del número de unidades habitacionales por área, donde se definieron la cantidad significativa de los puntos de captación a caracterizar (pozos). Es así como las unidades de planificación insular – UPI's definidas para el Departamento son en total 31, 19 urbanas y 12 rurales (**Figura 1**).

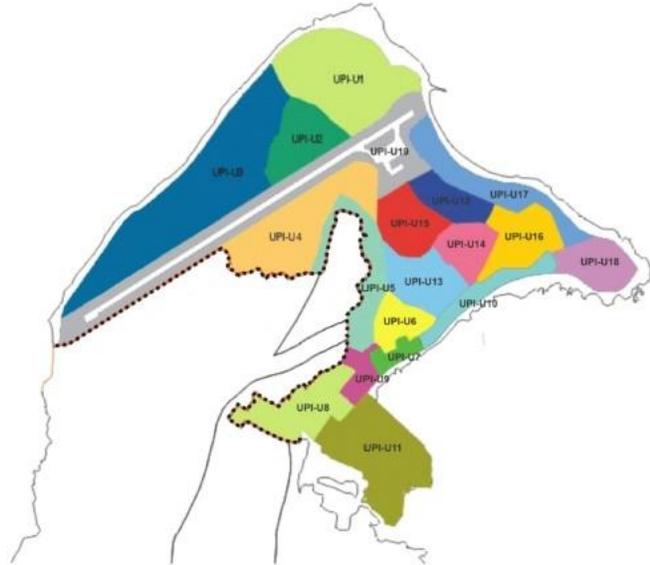
¹ Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERAS. IDEAM y Ministerio de Medio Ambiente. 2013

De Conformidad con el Decreto 325 de 18 de Noviembre de 2003 el suelo Urbano y Rural se define a través de las siguientes UPIs.

ZONA URBANA

UNIDADES DE PLANIFICACION INSULAR URBANA (UPI-U),

Residencial de Consolidación Sarta Bay	UPI-U1
Protección Ambiental Little Cliff	UPI-U2
Residencial de Desarrollo Red ground and Rock ground	UPI-U3
Residencial de Mejoramiento Integral Natania	UPI-U4
Espacio Público de Desarrollo Jardin de borde urbano al Cliff	UPI-U5
Residencial de Recualificación y Conservación Cotton tree	UPI-U6
Residencial de Consolidación Los almendros	UPI-U7
Residencial de Consolidación Barrio Obrero- el Bight	UPI-U8
Equipamientos de consolidación Centralidad Educativa	UPI-U9
Equipamientos de consolidación Nixon point	UPI-U10
Equipamientos de consolidación Multifuncional Portuaria	UPI-U11
Equipamientos de consolidación Swamp Ground deportiva	UPI-U12
Equipamientos de consolidación Black Dog	UPI-U13
Renovación de grandes Equipamientos Rock Hole	UPI-U14
Residencial de Renovación Swamp ground residencial	UPI-U15
Recualificación Comercial Hall Gate	UPI-U16
Renovación Hotel era Comercial Spratt Bight	UPI-U17
Consolidación Urbanística de Punta Hansa	UPI-U18
Consolidación de Equipamiento Aeropuerto	UPI-U19



ZONA RURAL .

Incumben al suelo rural los terrenos destinados a los usos no indicados para el suelo urbano, tales como: rutinas agropecuarias, agrestes, de aprovechamiento de recursos y actividades similares. Dentro de la clasificación del suelo rural se encuentra el suelo suburbano y Los asentamientos dispersos.

UNIDADES DE PLANIFICACION INSULAR RURALES (UPI-R),

- Asociadas a la Protección de medio Ambiente

North Cliff	UPI-R1
Residencial de Renovación Jardin de borde urbano Jones Road	UPI-R2
Residencial Especial, Jardin de borde - transición urbano - rural	UPI-R3
Reserva Forestal	UPI-R4
Reserva de Biosfera Parque regional Bahía Hooker	UPI-R5
Reserva mundial de biosfera cuenca del Cove corredor Suburbano Cove y la Loma	UPI-R6
Sub Urbana de grandes equipamientos	UPI-R7

- Asociadas al manejo de agua lluvia y suelos productivos (Distritos).

Distrito de Riego	UPI-R8
Vivienda Nativa Asociada a actividad agrícola sostenible – corredor suburbano de San Luis.	UPI-R9
Agropecuaria Primaria 1 Corredor sub urbano Pepper Hill – Four Comer – Tom Hooker.	UPI-R10
Agropecuaria primaria 2 Corredor suburbano Elsey Bar.	UPI-R11
Agropecuaria secundaria Corredor Suburbana del Cove.	UPI-R12



Figura 1. Unidades de Planificación Insular en la isla de San Andrés
Fuente: Decreto POT 363 de 2007.





2. AMBITO LEGAL

Los estudios regionales del agua como evaluaciones comprehensivas sobre los sistemas hídricos, son un insumo importante para el cumplimiento de la normatividad vigente. Esta normatividad corresponde a decretos, resoluciones nacionales y regionales y acuerdos regionales que obedecen a convenios internacionales multilaterales y bilaterales aprobados y ratificados por Colombia, políticas ambientales, Constitución Política Nacional de 1991, ley 99 de 1993 y disposiciones reglamentarias, Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente (Código 2811 de 1974) y Código Sanitario Nacional (Ley 9 de 1979).



En la **Tabla 1** se sintetiza el marco normativo de las Evaluaciones Regionales del Agua – ERAS.

Tabla 1. Síntesis marco normativo nacional de los ERA.

Fuente: Marco conceptual y metodológico para las Evaluaciones Regionales del Agua. IDEAM: 2011

NORMA	DISPOSICION	OBSERVACIONES
DECRETO 4728 DE 2010	Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial diciembre 23 de 2010	"Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010
DECRETO 3930 DE 2010	Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial octubre 25 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el título I de la Ley 9 de 1979, así como el capítulo II del Título IV -Parte III-Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974, en cuanto a usos del agua y residuos Líquidos y se dictan otras disposiciones
DECRETO 1324 DE 2007	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial abril 19 de 2007	Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones
DECRETO 1323 DE 2007	Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial octubre 20 de 2007	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
DECRETO 2570 DE 2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial agosto 01 de 2006	Por el cual se adiciona el Decreto 1600 de 1994 y se dictan otras disposiciones
DECRETO 1900 DE 2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial junio 12 de 2006	Por el cual se reglamenta el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones
RESOLUCION 0872 DE 2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial mayo 18 de 2006	Por la cual se establece la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones
RESOLUCION 0196 de 2006	Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial febrero 01 de 2006	Por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia
DECRETO N0 4742 DE 2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial diciembre 30 de 2005	Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas
RESOLUCION 157 DE 2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial diciembre 29 de 2005	Formulario Único Nacional de solicitud de prospección y exploración de aguas Subterráneas. Base legal: ley 99 de 1993, decreto 1541 de 1978.



DECRETO 3440 DE 2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial octubre 21 de 2004	Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones, reglamenta las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos Puntuales
RESOLUCION 0866 DE 2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Julio 22 de 2004	Por el cual se adopta el formulario de información relacionada con el cobro de las tasas por utilización de aguas y el estado de los recursos hídricos a que se refiere el Decreto 155 del 2004 y se Adoptan otras disposiciones.
RESOLUCION 0865 DE 2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Julio 22 de 2004	Por el cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan Otras disposiciones.
RESOLUCION 0240 DE 2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial marzo 08 de 2004	Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas
DECRETO 00155 DE 2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial enero 22 de 2004	Por el cual se reglamenta el Artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones
DECRETO 3100 DE 2003 MODIFICADO POR DECRETO 3440 DE 2004 Y DECRETO 2570 DE 2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial octubre 30 de 2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras Determinaciones.
DECRETO 1729 DE 2002	Ministerio del Medio Ambiente agosto 06 de 2002	Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y Se dictan otras disposiciones.



3. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

Se presenta una descripción de las características del entorno físico insular de la isla de San Andrés para conocer el entorno y su influencia sobre los componentes temáticos a ser caracterizados (demanda -presiones por uso y tensores contaminantes) como parte de la Evaluación Regional del Agua en la isla de San Andrés.

3.1. Localización general

El área general se ubica en la isla de San Andrés, la cual se encuentra situada entre 12° 35' 37" y entre 81° 40' 49" de latitud norte y 81° 43' 123" de longitud al oeste de Greenwich. A 480 millas de Cartagena E, a 200 millas de Colón, Panamá N.E, a 170 millas de Costa Rica N.E, a 150 millas de Nicaragua N.E, y a 528 millas de Jamaica S.O².



La isla de San Andrés (**Figura 2**) está conformada por una serranía longitudinal de norte a sur cuya elevación máxima es de 85 m llamada "La Loma". San Andrés es producto de sedimentos calizos recientes y su extensión total de norte a sur es de 13 km, mientras de este a oeste tiene 3 km de extensión³.



Figura 2. Ubicación San Andrés Isla
Fuente: GISLand, 2018.

² Elaboración del plan vial y de transporte para la isla de San Andrés y plan maestro de alcantarillado pluvial en el sector North End, ajustado al RAS 2000. Estrategias generales del análisis ambiental. 2006.

³ Diagnóstico de amenazas y evaluación de la necesidad del uso de sistemas de alerta temprana en la isla de San Andrés. Convenio interadministrativo de cooperación No 004 de 2013. CORALINA- Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Informe final



3.2. Geología

Estratigráficamente, la isla de San Andrés está constituida geológicamente por dos unidades calcáreas del Neoceno de características bien marcadas definidas por dos formaciones que contrastan litológica y morfológicamente: Una unidad de calizas heterogéneas, denominada *formación San Andrés*, de edad Mioceno, y una unidad de calizas coralinas de edad Pleistoceno, conocida como *formación San Luis*. La primera unidad aflora en la parte central de la isla y representa la zona de colinas suaves con alturas máximas de 87 m de altitud mientras que la formación San Luis es una región plana o suavemente inclinada de la plataforma arrecifal emergida.

Por su parte, los depósitos cuaternarios están representados por materiales de relleno artificial, rellenos sanitarios e hidráulicos, depósitos de origen lacustre, asociados a bosques de manglar y de vertientes y depósitos de vientos, playas y tormentas.



De acuerdo con Hubach⁴ en San Andrés se encuentran tres (3) formaciones, de la más reciente a la más antigua, así:

- La formación de plataforma marina reciente hasta sub-reciente, conformada por arenas calcáreas ricas en restos de equínidos, foraminíferos y fragmentos de corales.
- La formación de la plataforma terrestre o formación San Luis, ligeramente solevantada, considerada sub-reciente hasta Pleistocena. Esta es la que constituye las partes planas de la isla y está conformada en primer lugar por calizas coralinas sobre las cuales se observan suelos con poco desarrollo pedogenético y escasa profundidad; en segundo lugar, por arcilla calcárea arenosa depositada en zonas pantanosas (marismas) que dan origen a suelos orgánicos.
- La formación calcárea de San Andrés, que data del Mioceno, corresponde al cordón interior de la isla, conformado en su gran mayoría por caliza blanca maciza, moluscos recristalizados en calcita y fisuras rellenas de material oolítico ferruginoso, que ha originado suelos con características vérticas y altos contenidos de carbonato de calcio.

La formación San Andrés, ha sido descrita como una secuencia de calizas cristalinas esparíticas de origen químico, calizas arenosas y calizas lodosas de origen detrítico y químico. En algunos sectores se presentan calizas ricas en fósiles bien conservados (coquinas)⁵. INGEOMINAS caracterizó tres (3) unidades sin representación cartográfica; una unidad inferior de calcilitas fosilíferas de color blanco, una unidad intermedia bioesparítica y una unidad superior bioesparítica muy alterada. También se diferencia

⁴ Hubach, E. Aspectos geológicos, geográficos y recursos de las islas de San Andrés y Providencia. Cuadernos de geografía de Colombia. No. 12. 39 p. 1956.

⁵ Actualización del inventario de humedales interiores de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y propuesta general de zonificación para su gestión y manejo. Convenio No 004 de CORALINA- Fundación ALMA. 2015



cartográficamente un miembro arcilloso en esta formación, que sigue la depresión y lineamiento del Cove⁶.

Por su parte, la formación San Luis está compuesta por calizas coralinas arrecifales de composición bioesparítica. En sectores estas calizas coralinas se encuentran cubiertas por capas de humus arenoso de color rojizo consistente, que rellena las grietas y fisuras existentes. De igual forma, esta unidad de roca está formada por calizas coralinas de texturas cristalinas gruesas, con estructuras tabulares dispuestas radial y concéntricamente.

En general, en la isla de San Andrés se presenta una gran diversidad de depósitos cuaternarios no consolidados que se clasifican por su origen, composición y espesor. Entre estos depósitos figuran aquellos: (i) de origen antrópico como los rellenos sanitarios y rellenos hidráulicos y (ii) de origen geológico natural definidos según su ambiente de depositación en: depósitos de arenas de playa, depósitos de laderas, depósitos de zonas lacustres, depósitos de vertientes como coluviones y depósitos de manglares.

A manera de síntesis, la estratigrafía de las rocas que componen la isla de San Andrés proviene de tres periodos geológicos diferentes, siendo las más antiguas aquellas que se originaron en el Mioceno y que integran la formación de San Andrés, extendida por 34% (925,6 ha) del territorio; en seguida se encuentran aquellas cuyo origen data del Pleistoceno, constituyendo la formación San Luis, teniendo esta unidad geológica la mayor extensión territorial con 1.310 ha que representan el 48% del área de la isla.

Los depósitos más recientes del Cuaternario ocupan el 18,3% de la isla (**Tabla 2**) divididos en: (i) naturales como arenas, coluviones, depósitos de manglar y lacustres, derrubios y lagunas que se extienden por 13% del territorio, y (ii) depósitos de origen antrópico como rellenos y suelos residuales con el 5,3% de la extensión total.

Tabla 2. Distribución de las formaciones geológicas en la isla de San Andrés.
Fuente: Actualización del inventario de humedales interiores de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y propuesta general de zonificación para su gestión y manejo. Convenio No 004 de CORALINA- Fundación ALMA. 2015

EDAD GEOLOGICA	FORMACION	EXTENSION (HECTAREAS)	% TERRITORIAL
Mioceno	San Andrés	925,59	33,8
Pleistoceno	San Luis	1.310,22	47,9
Cuaternario-natural	Origen Arenas de playa	15,54	0,6
	Arenas y gravas	126,02	4,6
	Coluviones	12,93	0,5
	Depósitos de manglar	142,61	5,2
	Depósitos lacustres	10,51	0,4
	Derrubios	46,3	1,7
	Lagunas	2,25	0,1
Cuaternario-Antrópico	Origen Relleno artificial hidráulico	76,13	2,8
	Suelos residuales	68,73	2,5
Total		2.736,83	100,0

⁶ INGEOMINAS. Proyecto hidrogeológico del acuífero de San Andrés y recuperación del campo de pozos: Cartografía geológica de la isla de San Andrés. Informe interno. 2012.





3.3. Clima

El clima ha sido definido como el conjunto de condiciones atmosféricas fluctuantes que junto con los demás factores formadores del paisaje (suelo, geoforma y vegetación) dotan de características especiales a un determinado territorio.

En la isla de San Andrés, el clima está influenciado por su localización en la Zona de Confluencia Intertropical - ZCIT⁷, al igual que por sus características fisiográficas y por la acción de los vientos Alisios⁸ que soplan desde el noreste.

Dada su posición geográfica la isla ha sido afectada en varias ocasiones por tormentas tropicales y huracanes que se forman en el océano Atlántico, generando lluvias de gran intensidad e incrementos en las mareas sobre la costa.

Por su localización en la zona intertropical, la isla de San Andrés se caracteriza por las altas temperaturas que registran un promedio anual de 27.3°C, aun así, las temperaturas oscilan entre los 26°C y 29°C. La precipitación promedio anual de la isla de San Andrés es de 1898 mm.

El régimen de lluvias es monomodal, es decir, con un período lluvioso y un período seco durante el año. El período seco se extiende entre los meses de enero y abril con valores mínimos en el mes de marzo, de 24 mm en promedio. Los meses secos en conjunto, aportan en promedio un 10% de las lluvias totales anuales.

La temporada lluviosa comprende los meses de mayo a diciembre, con los mayores volúmenes de precipitación en el mes de octubre, cuando en promedio se alcanzan los 318 mm, que representan el 17% del total anual. Estos meses de lluvia aportan en conjunto el 90% de la lluvia total anual⁹.

3.4. Suelos

Las características morfológicas y fisicoquímicas de los suelos de la isla de San Andrés son el resultado de la acción de los procesos formadores (material parental y clima), en interacción con los factores pedogenéticos. Los factores activos (clima, vegetación y



⁷ La Zona de Convergencia Intertropical es una región de atmósfera en la que confluyen dos masas de aire con baja presión relativa. La diferencia entre los núcleos de alta presión y la ZCIT, da origen a movimientos horizontales del aire desde los trópicos hasta el ecuador. El curso anual de la ZCIT sigue el movimiento aparente del sol

⁸ Los vientos Alisios son corrientes de aire que soplan en casi todas las regiones tropicales y se extienden entre los cinturones de altas presiones subtropicales y las bajas presiones ecuatoriales

⁹ Gómez López, D. I., C. Segura-Quintero, P. C. Sierra-Correa y J. Garay-Tinoco (Eds). Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés" -INVEMAR- y Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina -CORALINA-. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 28. Santa Marta, Colombia 180 p. CORALINA-INVEMAR. 2012.



hombre) actúan sobre el factor pasivo (material parental), en una interacción que se modifica por las características del relieve a través del tiempo.

Los materiales originales de las diferentes formaciones (San Andrés, San Luis, etc.) al estar sometidos a la acción del clima (con un déficit de precipitación) y/o de los organismos, se alteran y por consiguiente se da lugar a la formación del suelo. Una vez iniciado el proceso de alteración ocurre la reorganización de los materiales hacia minerales secundarios, tal y como sucede por la presencia o no de carbonatos, transformación que es llevada a cabo a través de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos complejos.

En términos generales, los suelos de San Andrés se caracterizan por la complejidad de su relieve, sin ninguna variación altitudinal o climática y poca variación de vegetación y material parental, por lo cual son pocos los ecosistemas en los cuales los factores formadores de suelos actúan de diferente manera, ya sea de forma independiente o en interacción con otros.



Las anteriores características conforman un marco de desarrollo pedogenético dominado por el material, el relieve y el clima ambiental y en segundo lugar por la vegetación y la actividad del hombre. Los suelos presentes en el archipiélago pertenecen a los siguientes órdenes: inceptisol, entisol, vertisol y en una muy pequeña proporción histosoles¹⁰.

Predominan suelos de clima cálido árido o desértico, cuyo origen obedece a depósitos fluviales, fluviomarinos y lacustres, con influencia salina y eólica, localizados sobre las terrazas bajas de absorción. En las colinas, sobre la parte central de la isla, se pueden encontrar suelos de origen volcánico, bien drenados y de fertilidad baja a moderada; también existen suelos de origen sedimentario de fertilidad baja a moderada. En la planicie marina predominan suelos de clima cálido semi-húmedo originados a partir de depósitos fluviomarinos ricos en materia orgánica y con cierta influencia eólica.

Es importante mencionar que los suelos del casco urbano de San Andrés, tienen ciertas particularidades. En la zona Norte de la isla se realizaron rellenos artificiales que afectaron las características edáficas naturales. Estos están constituidos principalmente de arenas y limos, y en menor proporción, gravas y restos de materia orgánica. Las arenas son de composición calcárea, de grano fino a limosas, de color blanco y amarillo, mientras que las gravas están predominantemente formadas por restos de coral y moluscos de composición calcárea. La materia orgánica se constituye principalmente de lentes de arcillas turbosas¹¹.

¹⁰ USDA - United State Department of Agriculture. Soil Survey Staff. Décima edición. 374 p. 2010.

¹¹ Aguilera, M. Geografía económica del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. *Documentos de trabajo sobre economía regional*. Banco de la República - Centro de Estudios Económicos Regional (CEER) - Cartagena. No. 133. 80 p. 2010.



Con las actividades antrópicas de constante relleno y disposición de aguas residuales tratadas, se presentan alteraciones en las propiedades químicas del suelo. Los mayores cambios se encuentran enfocados a la lixiviación del componente mineralógico de los suelos, así como variaciones del valor de pH, disminución en los contenidos de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico y disminución de la actividad biológica debido a la generación de condiciones anaeróbicas.

Este proceso de lixiviación (lavado), se encuentra asociado al aumento del pH en horizontes inferiores y a la activación de procesos formadores de suelos, en donde la acumulación, pérdida, translocación o transformación de minerales se puede presentar cuando éstos pasan de un horizonte superficial a un horizonte sub-superficial.

Por otro lado, la disposición de residuos sólidos altera la estructura. La consistencia de los agregados varía si han estado expuestos a modificaciones en el contenido de humedad y se presenta un lavado de nutrientes afectando la porosidad de los suelos, trayendo como consecuencia la disminución en el movimiento vertical del agua e impidiendo la penetración de raíces a lo largo del perfil del suelo. Bajo estas consideraciones, actualmente los humedales de la zona urbana carecen de condiciones edafológicas naturales y deberían entrar a un proceso de restauración ecológica¹².

En la actualidad, más del 50% de la extensión territorial de la isla se encuentra ocupada por coberturas de uso antrópico, donde las zonas urbanas predominan en el paisaje ocupando 603 ha (22%), seguidas por los pastizales con 414 ha y los cultivos con 216 ha.

Las coberturas de tipo natural ocupan el 44,6 del territorio con 1.301 ha, en donde la vegetación secundaria es la cobertura predominante extendiéndose por 1.092 ha (40%).

También es importante la presencia de bosques densos, aunque éstos sólo ocupan el 5,5% del total. De acuerdo con los datos suministrados por el IGAC (2014), existen 7,6 ha ocupadas por cuerpos de agua, lo que representa apenas el 0,3%; y es importante mencionar que se encontraron 32,7 ha de áreas degradadas que incluyen zonas de extracción minera, zonas de disposición de residuos, tierras desnudas y quemadas¹³ (**Tabla 3**).



¹² Actualización del inventario de humedales interiores de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y propuesta general de zonificación para su gestión y manejo. Convenio No 004 de CORALINA- Fundación ALMA. 2015.

¹³ *Ibíd.*



Tabla 3. Cobertura y usos del suelo.
Fuente: IGAC 2014.

Unidades de cobertura Extensión %			
Antrópicas	Zonas urbanas	603,0	22,1
	Zonas verdes urbanas	6,7	0,2
	Áreas degradadas	32,7	1,2
	Cultivos permanentes y transitorios	216,5	7,9
	Pastizales	414,4	15,2
	Misceláneos	105,1	3,9
	Subtotal	1.378,4	50,6
Naturales	Bosques densos	149,7	5,5
	Arbustales	0,6	0,0
	Vegetación secundaria	1.092,3	40,1
	Playas y arenas	49,6	1,8
	Afloramientos rocosos	1,7	0,1
	Cuerpos de agua	7,6	0,3
	Subtotal	1.301,4	47,8
Sin información	44,6	1,6	



Por otra parte, el análisis y clasificación de las coberturas existentes en el territorio con respecto a la forma en que la sociedad lo utiliza, se denomina *uso actual del suelo*. En este sentido se encontró que el 48% de la isla, es usada para la conservación de sus suelos, y corresponde a aquellas unidades cubiertas por manglares y vegetación principalmente arbórea con dosel irregular y presencia ocasional de arbustos, palmas y enredaderas, que hacen referencia a los estadios intermedios de la sucesión vegetal. También se incluyen en esta porción, los cuerpos de agua lénticos y lóticos y coberturas naturales en las riberas de los cuerpos de agua con un alto nivel freático (**Tabla 4**).

Tabla 4. Usos actuales del suelo en San Andrés, características y distribución.
Fuente: Actualización del inventario de humedales interiores de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y propuesta general de zonificación para su gestión y manejo. Convenio No 004 de CORALINA- Fundación ALMA. 2015

Tipología de uso del suelo	Imagen	Tipología de uso del suelo	Imagen
<p>Uso urbano: Se extiende por 562,3 hectáreas (20,4%).</p>		<p>Zona verde urbana: Ocupa el 2% del total, de la Isla (55,6 ha).</p>	
<p>Uso extractivo: Áreas de extracción y deposición de materiales, que ocupan el 0,6 ha.</p>		<p>Agricultura de subsistencia: Cultivos distribuidos por 151,2 ha (5,5%).</p>	
<p>Agricultura: De mayor a mayor escala extendida por 155,7 ha (5,7%)</p>		<p>Uso pecuario: Con 428,6 hectáreas que representan el 15,6% del total</p>	
<p>Conservación: Ecosistemas estratégicos interiores distribuidos por 1.325,3 ha (48%)</p>		<p>Restauración: Procesos severos de degradación distribuidos por 44,6 ha (1,6%).</p>	

20 años Sede Caribe



3.5. Hidrología

La red hídrica de San Andrés está compuesta por corrientes o drenajes intermitentes y/o temporales conocidos como *guilles*, los cuales aparecen en época de lluvias en la parte montañosa de la isla, descendiendo con longitudes por debajo de un kilómetro. Dadas las características geológicas de estos sistemas de aguas corrientes, se generan escorrentías superficiales altas y recarga de acuíferos durante el período de invierno, lo cual denota el importante papel que éstos cumplen en el funcionamiento del sistema hídrico del territorio¹⁴. Estos drenajes dan origen a las cinco (5) cuencas hidrográficas existentes en la isla: norte, oeste, sur, este y central, esta última conocida como la Cuenca El Cove (**Figura 4 y Tabla 5**).

¹⁴ Ibid.

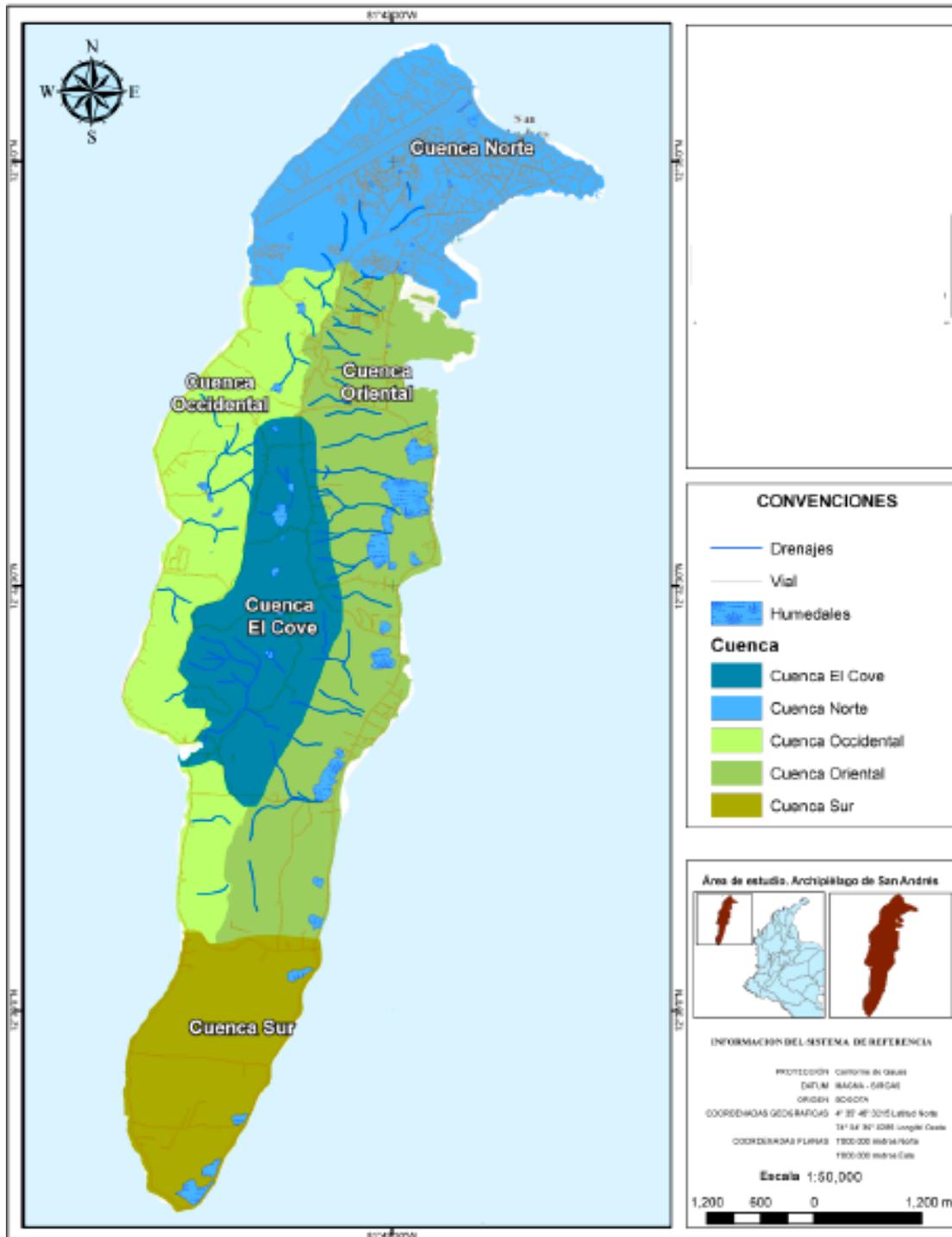


Figura 3. Cuencas hidrográficas de la isla de San Andrés
Fuente: Actualización del inventario de humedales interiores de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y Propuesta general de zonificación para su gestión y manejo. Convenio N° 004 de CORALINA- Fundación ALMA. 2015



Tabla 5. Descripción general de las cuencas hidrográficas existentes en San Andrés.
Fuente: Actualización del inventario de humedales interiores de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y propuesta general de zonificación para su gestión y manejo. Convenio No 004 de CORALINA- Fundación ALMA. 2015.

CUENCA	DESCRIPCION	MICROCUENCA
Norte	Comprende 552 hectáreas de la parte Norte de San Andrés (Zona Urbana), delimitada por North End al Norte, al oriente por la punta Hansa y al suroccidente con los límites del barrio Morris Landing.	Atlántico, Sambo, Las Gaviotas, Hill Well y Elefante.
El Cove	Consta de 277,7 hectáreas localizadas en la parte central de la isla de San Andrés.	El Cove y Manuel Pond
Oriental	Cuenta con 883,8 hectáreas que conforman la cuenca más grande de la Isla. Limita al Norte con el sector del Bightt y al sur con la vía Tom Hooker.	Cocoplum, The Hill Pomare, Jimm, Pepper Hill y Tom Hooker
Occidental	Con 594 hectáreas de extensión limitada al norte por el sector Morris Landing y al sur por la vía Circunvalar a la altura de Tom Hooker; hacia el oriente limita con el corredor vial del Cove.	Flower, Barkers, Mision, Mrs. Mays, Hawkins, Schooner, Green, Buby Rock, Evans Point, Massally y Morgan
Sur	Cuenta con 389,7 hectáreas que limitan por el Norte con la vía Tom Hooker y por el sur con el Hoyo Soplador.	No presenta drenajes y su dinámica funciona como zona de alta infiltración



De las cinco cuencas existentes, la de El Cove es de vital importancia socio ecológica para la isla ya que contiene las principales reservas de agua dulce, específicamente bajo la microcuenca denominada El Cove. Dicha cuenca transita por el sector central de la isla y desemboca en la costa Oeste. Su área de drenaje está conformada por corrientes intermitentes, pues solo se desarrollan caudales luego de lluvias intensas y bajo aguaceros de corta duración. La escorrentía media mensual marcada se inicia en el mes de diciembre y se extiende hasta abril, siendo los meses de febrero y marzo los más críticos con ausencia total de escorrentía¹⁵.

La cuenca El Cove es de forma alargada y, por lo tanto, presenta características de moderada torrencialidad. Este tipo de cuenca tiende a una respuesta más difusa, en comparación con las respuestas a tormentas de caudales altos en cuencas redondas. Esto se debe a que la escorrentía que drena todos los límites de una cuenca redonda tiene distancias similares de trayecto desde todos los cuadrantes y llega al colector principal al mismo tiempo, mientras que, en cuencas de forma alargada, ovas y oblongas al agua le toma un poco más circular desde las partes alta de la cuenca hasta el final¹⁶.

No obstante, en el evento súbito de una precipitación, se generan crecidas rápidas de nivel en el canal principal de los arroyos (*guilles*), en la medida que los suelos posean bajos índices de infiltración. Dicha cuenca se considera de gran importancia en el área de estudio por ser la zona de recarga dentro de la isla, función facilitada por su condición colinada donde se presenta una diversidad de geofomas como escarpes, altiplanos y

¹⁵ Modelación del acuífero San Andrés Isla. Proyecto INAP – Colombia. Coralina & UNAL. (2010).

¹⁶ Actualización del inventario de humedales interiores de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y propuesta general de zonificación para su gestión y manejo. Convenio N° 004 de CORALINA- Fundación ALMA. 2015.





depresiones, siendo esta última característica la que permite el almacenamiento de agua en épocas de altas precipitaciones y donde la textura del suelo permite mayor nivel de retención del agua y bajos índices de infiltración¹⁷.

La oferta hídrica que se desprende de las cuencas mencionadas se convierte en fuente de abastecimiento principal de agua dulce en la isla de San Andrés, provisionando el agua subterránea almacenada en acuíferos, los cuales surten de agua cerca del 80% de la población.

El acuífero de la isla de San Andrés consiste de dos (2) unidades hidroestatigráficas: el acuífero San Luis (Tsa) y el acuífero San Andrés (Tsl), nombres derivados de las formaciones geológicas bajo las cuales se encuentran. Según el Plan de Manejo de Aguas Subterráneas-PMAS de la isla de San Andrés, estas dos (2) unidades se encuentran conectadas hidráulicamente (de San Andrés a San Luis)¹⁸.



El acuífero San Andrés, es básicamente la principal fuente agua dulce de la isla. Está ubicado en la parte central montañosa, sobre la Cuenca El Cove, y cuenta con una profundidad que oscila entre los 170 y 270 metros. Su fuente principal de recarga proviene de las precipitaciones que, a través de los procesos de infiltración facilitados por la naturaleza de la formación (roca caliza), alimentan el acuífero¹⁹.

El acuífero San Luis, se origina a partir de formaciones geológicas coralinas arrecifales localizadas en la parte baja de la isla entre 0 y 44 metros de altitud, con un espesor que puede alcanzar entre 8 y 15 metros de profundidad. Desde el punto de vista hídrico, éste acuífero presenta influencia de agua salobre la mayor parte del tiempo, dada su cercanía al mar. No obstante, existen otras fuentes de alimento del acuífero, destacándose aquella proveniente de las precipitaciones locales, además de los aportes del acuífero de San Andrés dada su alta conectividad facilitada por las condiciones geológicas²⁰.

La disponibilidad de agua en la isla depende de varios factores, siendo los principales: la precipitación, la permeabilidad, las direcciones del flujo, la recarga del acuífero, la geomorfología, y la intrusión marina, entre otros. Es preciso anotar que no toda la lluvia va directamente al acuífero, debido a aspectos del ciclo hidrológico como la evapotranspiración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo, la retención en el suelo, las coberturas y la infiltración. Se considera que la recarga del acuífero se da principalmente en los meses de junio a noviembre cuando la evapotranspiración es menor que la precipitación. La zona primordial de recarga es el Valle del Cove por su gran permeabilidad y se estima que el acuífero San Andrés tiene una recarga potencial de 255

¹⁷ Modelación del acuífero San Andrés Isla. Proyecto INAP – Colombia. Coralina & UNAL. (2010).

¹⁸ Modelación del acuífero San Andrés Isla. Proyecto INAP – Colombia. Coralina & UNAL. (2010).

¹⁹ *Ibid.*

²⁰ *Ibid.*

mm/año para un año seco (afectado por el fenómeno de El Niño, por ejemplo); una recarga promedio de 498 mm/año para un año normal y una recarga promedio de 810 mm/año para un año húmedo (afectado por el fenómeno de La Niña, por ejemplo)²¹.

Según el PMAS, para el acuífero San Luis hay que considerar las filtraciones desde el acuífero San Andrés y aquellas por contaminación de aguas residuales, cuyas cifras no han podido ser cuantificadas. Sin embargo, se estima una recarga potencial entre 661 a 686 mm/año en condiciones climáticas normales²².

4. CARACTERIZACION DE LA DEMANDA Y PRESION POR USO



4.1. Generalidades

La demanda hídrica comprende la extracción de agua del sistema natural destinada a suplir las necesidades o requerimientos del consumo humano, la producción sectorial y las demandas de los ecosistemas no antrópicos. Se define como el agua extraída consumida más el agua extraída no consumida (**Ilustración 1**).



Ilustración 1. Concepto de demanda hídrica

²¹ Ibíd.

²² Ibíd.



Fuente: Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERAS. IDEAM y Ministerio de Medio Ambiente. 2013

En este sentido y teniendo en cuenta los objetivos de este componente, se hizo un análisis de las variables consignadas en el Formulario Único Nacional para Inventario de Puntos de Agua Subterránea- FUNIAS, que permitiera calcular el régimen de explotación de agua subterránea de cada pozo.

En el numeral No 5 del formulario, “Características de los Pozos y Aljibes”, se tuvieron en cuenta algunas variables de las “Características de explotación”:

- Método de extracción (Manual, Motobomba, Bomba sumergible)
- Potencia de la bomba (HP)
- Régimen de bombeo (H/día)
- Régimen de bombeo (día/semana)
- Número de usuarios domésticos



La primera variable seleccionada permitió determinar el tipo de extracción que se está llevando a cabo en cada pozo. Para efectos del presente estudio, sólo se tuvieron en cuenta los métodos de extracción mecánica, ya que de esta manera se puede tener un caudal de explotación determinado y se minimiza cualquier sesgo asociado a la interpretación conceptual.

Es importante mencionar que los encuestadores al momento de aplicar el formulario, tomaban algunas pruebas que permiten comprobar de manera veraz la información suministrada. Por esta razón, se otorga un peso considerable a la variable “Potencia de la Bomba”, ya que además de los datos suministrados por el usuario, se tomó una foto de la bomba para corroborar la referencia y contar con evidencia objetiva.

Las siguientes variables tenidas en cuenta (Régimen de bombeo: H/día, días/semana; Número de usuarios), dependen exclusivamente de la información suministrada por el usuario, porque en términos logísticos es muy difícil su comprobación. No obstante, se utilizó como referencia los datos reportados por el DANE (2013), respecto al promedio de personas que habitan una vivienda en las diferentes UPI’s rurales y urbanas.

De 2174 registros quedaron 1511 efectivos teniendo en cuenta que fueron eliminados porque algunas variables no presentaban datos completos. Estos registros fueron empleados para el cálculo del régimen de extracción total (presión por uso).

Por otra parte, de los 1511 registros se filtraron los datos de tal forma que quedaron únicamente los pozos domésticos propiamente dichos quedando en total 695 pozos para el cálculo de demanda de uso exclusivamente doméstico.

4.2. Metodología

Inicialmente se hizo una búsqueda bibliográfica para determinar el caudal medio que puede extraer una bomba eléctrica, dependiendo de su potencia. Es importante mencionar que las bombas eléctricas presentan diferencias en el potencial de extracción dependiendo de la marca, accesorios y voltaje. No obstante, la información que se utiliza en el presente estudio hace referencia a bombas de tipo estándar, lo cual minimiza cualquier error de muestreo. A continuación, en la **Tabla 6** se presenta la relación de caudales de explotación de las diferentes potencias de bombas:

Tabla 6. Caudal promedio de acuerdo a la potencia de diferentes tipos de bomba
Fuente: www.google.com <http://pdf.directindustry.es/pdf/pedrollo-28932.html>

Potencia de bomba (HP)	Caudal l/min
0,25	40
0,5	80
0,75	90
1	100
1,5	120
2	130
2,5	140
3	160
5	300
7	460



Para obtener el volumen de agua extraído en cada punto de monitoreo, se computó el caudal de extracción reportado en cada pozo con el régimen de bombeo diario. Para ello se unificaron las unidades de tiempo a minutos y se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Presión por uso} = \text{Caudal de Explotación} \times \text{Régimen de Bombeo}$$

Adicionalmente, se hicieron transformaciones para determinar el valor obtenido en otras unidades que permiten una mejor interpretación de los resultados, así como su comparación con otros estudios.

Es importante mencionar que en este punto se tiene en cuenta la presión total, entendida como la extracción calculada para los diferentes usos descritos en el numeral No 9 del FUNIAS: Industrial, transporte, agrícola, recreativo (turístico), doméstico, pecuario, abastecimiento público, otro (**Tabla 7**).



Tabla 7. Resultados recolectados en el numeral 9 del FUNIAS
Fuente: GISLand

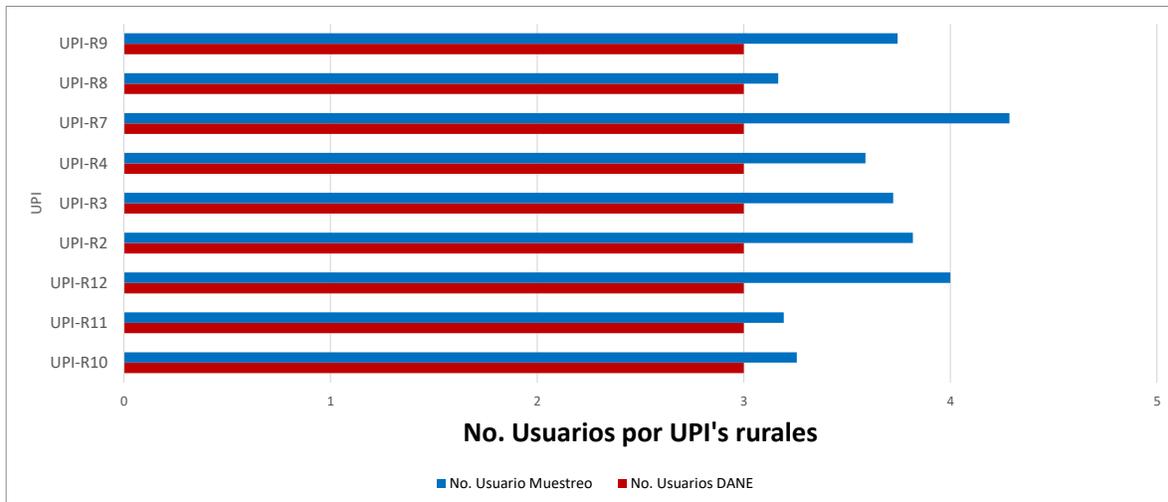
USO DEL AGUA		TOTAL	
No Sabe / No Responde	1,70%	37	7,77%
Abastecimiento público	0,83%	18	
Abastecimiento público Recreativo (turístico)	0,05%	1	
Abastecimiento público Uso doméstico	5,20%	113	
Agrícola	0,05%	1	0,09%
Agrícola Pecuario	0,05%	1	
Industrial	0,14%	3	0,14%
Otro	0,69%	15	0,69%
Pecuario	0,05%	1	0,05%
Recreativo (turístico)	0,55%	12	0,60%
Recreativo (turístico) Industrial	0,05%	1	
Uso doméstico	84,31%	1.833	90,66%
Uso doméstico Agrícola	0,05%	1	
Uso doméstico Industrial	0,32%	7	
Uso doméstico Otro	3,77%	82	
Uso doméstico Pecuario	0,09%	2	
Uso doméstico Recreativo (turístico)	2,02%	44	
Uso doméstico Recreativo (turístico) Otro	0,09%	2	
Total, general	100%	2.174	100%



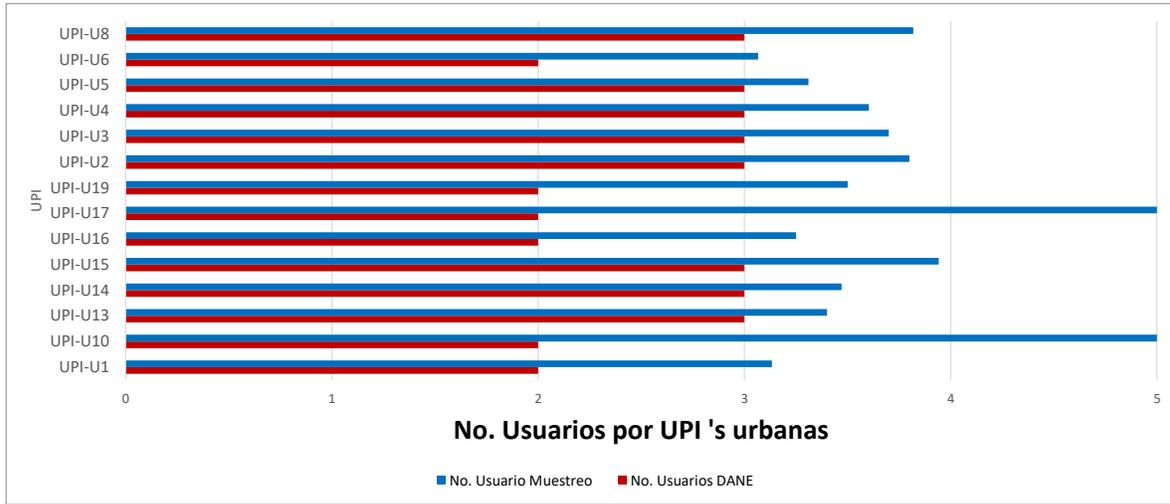
Por otro lado, para la caracterización de la demanda se realizó la diferenciación de la extracción sólo para los reportes de pozos de uso exclusivamente doméstico. En este sentido, se realizaron una serie de filtros para garantizar que los datos reportados no presenten sesgos altos y sean realmente representativos del comportamiento de dicha variable en el territorio insular. El primer filtro realizado fue la eliminación de los registros que no tuvieran la información completa (Esto se presentaba cuando el encuestado desconocía la información o no quiso suministrarla). Adicionalmente se analizaron los datos de potencia de la bomba y régimen de bombeo, encontrando que existían valores muy altos que no eran consecuentes con las características de la vivienda y el entorno. Por esta razón se tomaron sólo los registros de pozos explotados con bombas hasta de 1 HP (potencia de bomba normalmente empleada en una vivienda).

Finalmente se calculó la extracción total de agua subterránea en cada UPI y se dividió entre el número de viviendas encuestadas para obtener el total de extracción por pozo. En este punto se realizó la comparación de los datos de usuarios promedio que habitan una vivienda (DANE, 2013) y los registros de campo tanto para las UPI's rurales como urbanas, encontrando que las diferencias son relativamente despreciables entre las mismas (**Grafica 1, 2 y 3**).

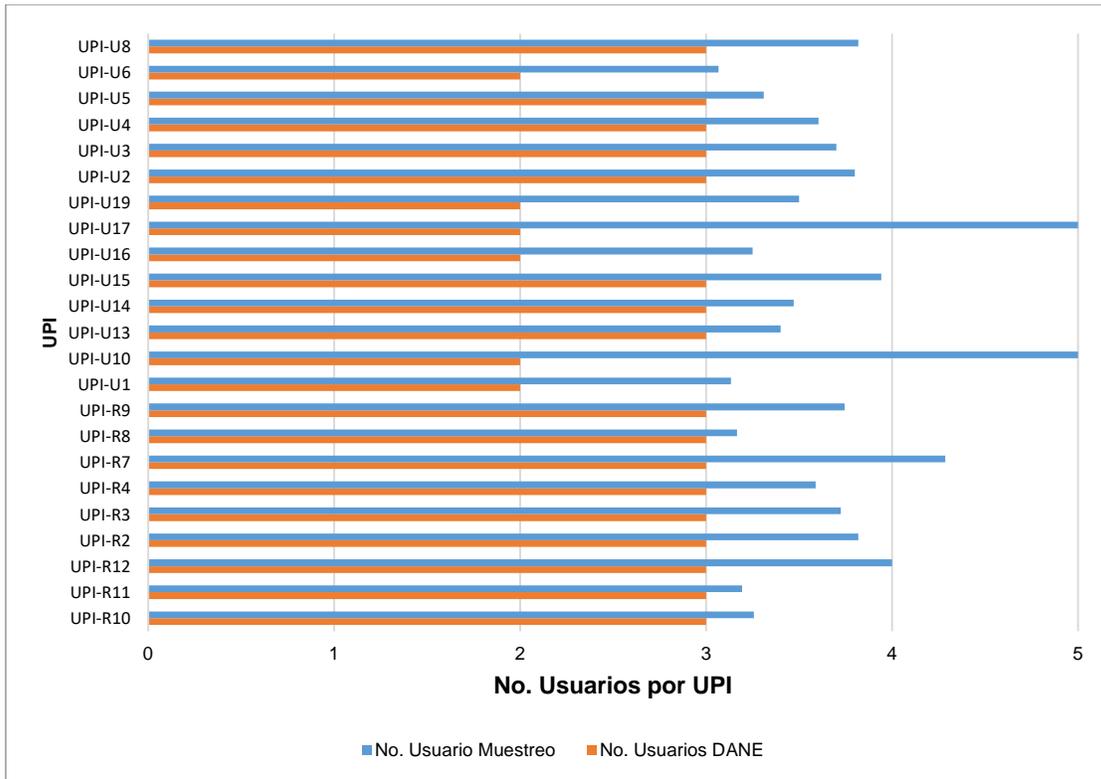
Se realizó un análisis de varianza- ANOVA de una vía que permite determinar si diferentes tratamientos muestran diferencias significativas o por el contrario puede suponerse que sus medias poblacionales no difieren, es decir si el comportamiento de las UPI's es similar o sectorizado en el territorio.



Grafica 1. Comparación del promedio de usuarios que habitan una vivienda tomados en las diferentes UPI's rurales.
Fuente: Propia



Grafica 2. Comparación del promedio de usuarios que habitan una vivienda tomados en las diferentes UPI's urbanas.
Fuente: Propia



Grafica 3. Comparación del promedio de usuarios que habitan una vivienda tomados en las diferentes UPI's urbanas y rurales.
Fuente: Propia





Para un mejor entendimiento de los patrones descritos para las variables “Presión por Uso” y “Demanda”, se llevó a cabo un análisis geoestadístico que permite identificar a nivel espacial los diferentes niveles de explotación de cada sector, así como las UPI’s que presentan los valores más críticos.

En la **Tabla 8**, como en la figura a continuación se describe el número de pozos y porcentajes por UPI’s considerados en este estudio.

Tabla 8. Número de pozos y porcentajes por UPI’s
Fuente: GISLand

UPI	N. Pozos	%
UPI-R2	22	1,01%
UPI-R3	184	8,46%
UPI-R4	193	8,88%
UPI-R5	11	0,51%
UPI-R6	1	0,05%
UPI-R7	43	1,98%
UPI-R8	56	2,58%
UPI-R9	151	6,95%
UPI-R10	94	4,32%
UPI-R11	74	3,40%
UPI-R12	9	0,41%
UPI-U1	112	5,15%
UPI-U2	32	1,47%
UPI-U3	186	8,56%
UPI-U4	419	19,27%
UPI-U5	95	4,37%
UPI-U6	49	2,25%
UPI-U7	12	0,55%
UPI-U8	76	3,50%
UPI-U10	10	0,46%
UPI-U11	8	0,37%
UPI-U12	5	0,23%
UPI-U13	57	2,62%
UPI-U14	61	2,81%
UPI-U15	102	4,69%
UPI-U16	82	3,77%
UPI-U17	21	0,97%
UPI-U18	5	0,23%
UPI-U19	4	0,18%
Total	2174	100%



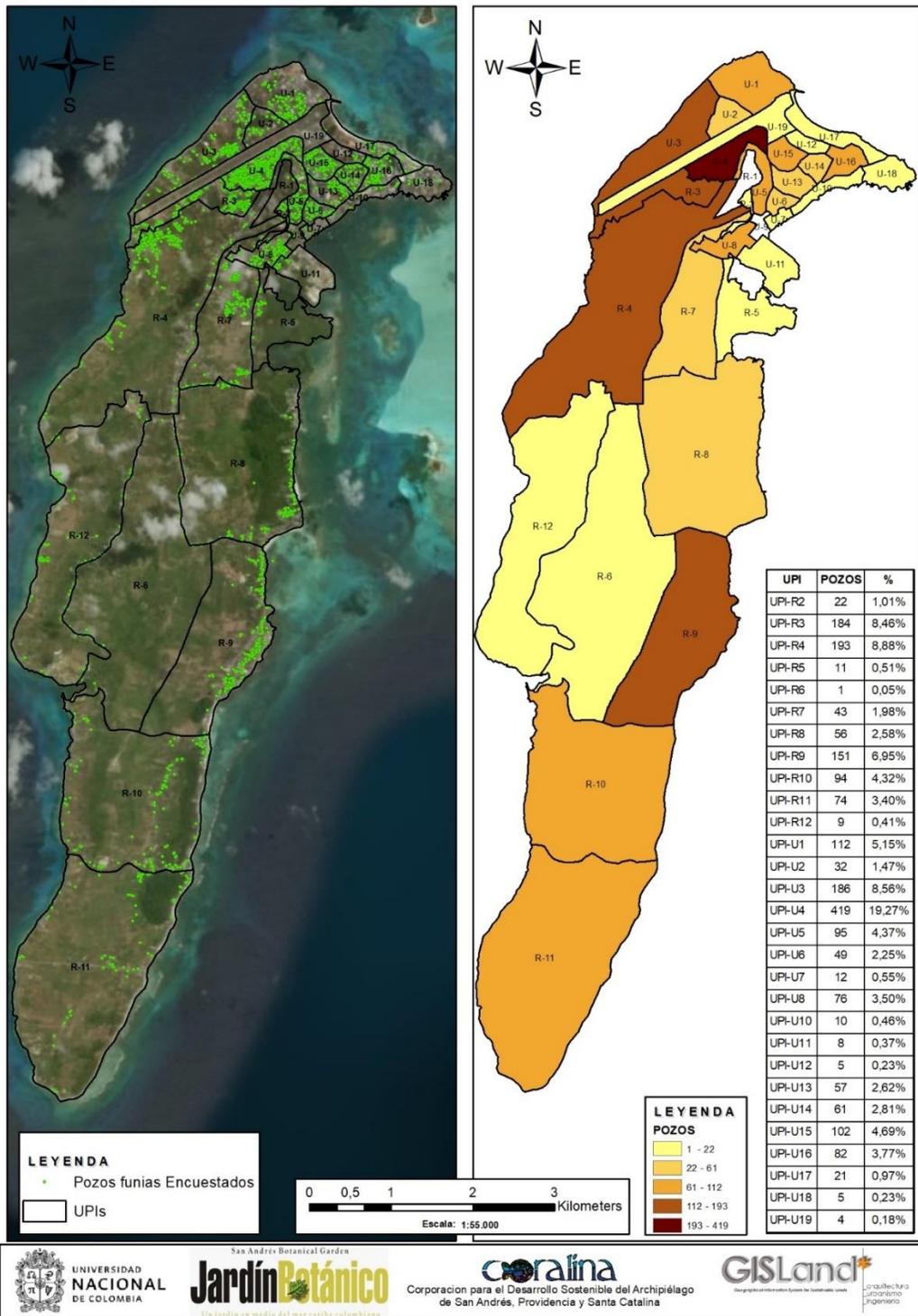


Figura 4. Puntos de captación subterránea San Andrés.
GISLand, 2018.



Para un mejor entendimiento de los patrones descritos para las variables “Presión por Uso” y “Demanda”, se llevó a cabo un análisis geoestadístico que permite identificar a nivel espacial los diferentes niveles de explotación de cada sector, así como las UPI’s que presentan los valores más críticos. La interpolación espacial es “un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio, conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio”²³.

Los métodos de interpolación determinísticos calculan un valor para celda de la cuadrícula usando únicamente las propiedades de las variables muestreadas²⁴.

La herramienta utilizada fue el “IDW” (Distancia Inversa Ponderada) la cual limita el rango de valores utilizados para la interpolación. Dado que la IDW es un promedio de distancia ponderado, el promedio no puede ser mayor que el valor máximo o mínimo registrado. Por lo tanto, no puede crear asociaciones en las áreas donde no existen pozos²⁵. La influencia de cada registro sobre un valor interpolado es isotrópica. El geoestadístico IDW se encuentra disponible en la mayoría de los programas de sistemas de información geográfica SIG²⁶ y su definición formal es la que se muestra a continuación²⁷:



$$\hat{e}_c = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n p_{mc} e_m$$

Donde \hat{e}_c es la elevación calculada para la celda c utilizando n muestras de la variable de interés; e_m es el valor de las muestras de cada variable; y p_{mc} es el peso (o influencia) entre 0 y 1 asignado a cada muestra, calculado como:

$$p_{mc} = \frac{1}{d_{mc}}$$

donde d_{mc} es la distancia euclidiana entre la muestra de elevación m y el centro de la celda c de la malla. Opcionalmente, con el fin de mejorar resultados, es común utilizar un exponente a para disminuir la influencia de las muestras conforme se incrementa la distancia²⁸.

²³ Bosque Sendra, J. Sistemas de Información Geográfica, Ediciones Rialp, Madrid. 2000.

²⁴ Goovaerts, P. Geostatistics for natural resources evaluation, Oxford University Press, New York. 1997.

²⁵ Watson, D.F. and Philip, G.M. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. Geoprocessing, 2, 315-327. 1985

²⁶ Pérez Vega, A. y J.-F. Mas. “Evaluación de los errores de modelos digitales de elevación obtenidos por cuatro métodos de interpolación”, Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 69, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 53-67. 2009

²⁷ O’Sullivan, D. and D. J. Unwin. Geographic Information Analysis, Wiley, Nueva Jersey. 2003.

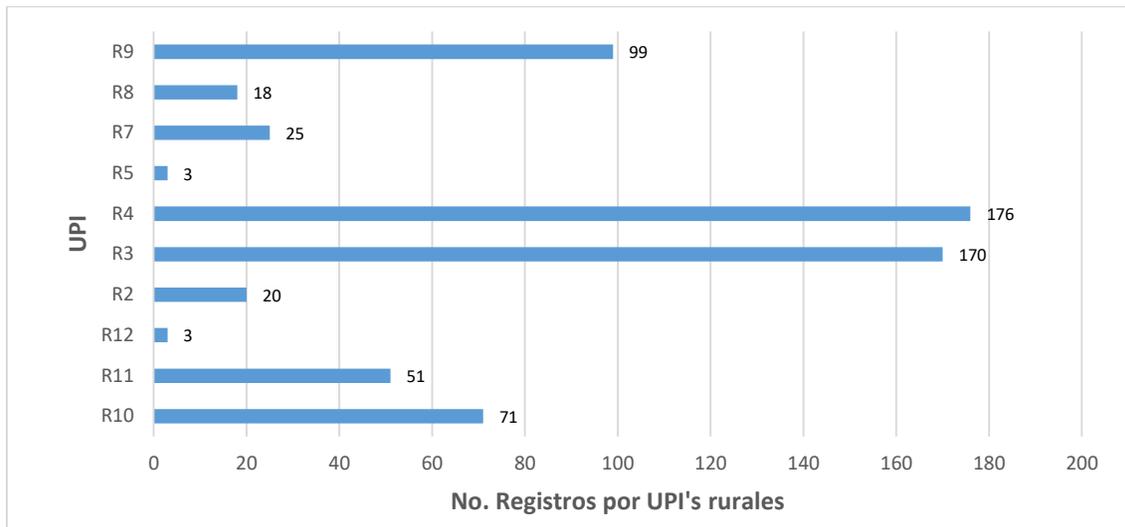
²⁸ Bosque Sendra, J. Sistemas de Información Geográfica, Ediciones Rialp, Madrid. 2000.

$$p_{mc} = \frac{1}{d_{mc}^a}$$

4.3. Extracción total o presión por uso de agua subterránea en el área urbana y rural.

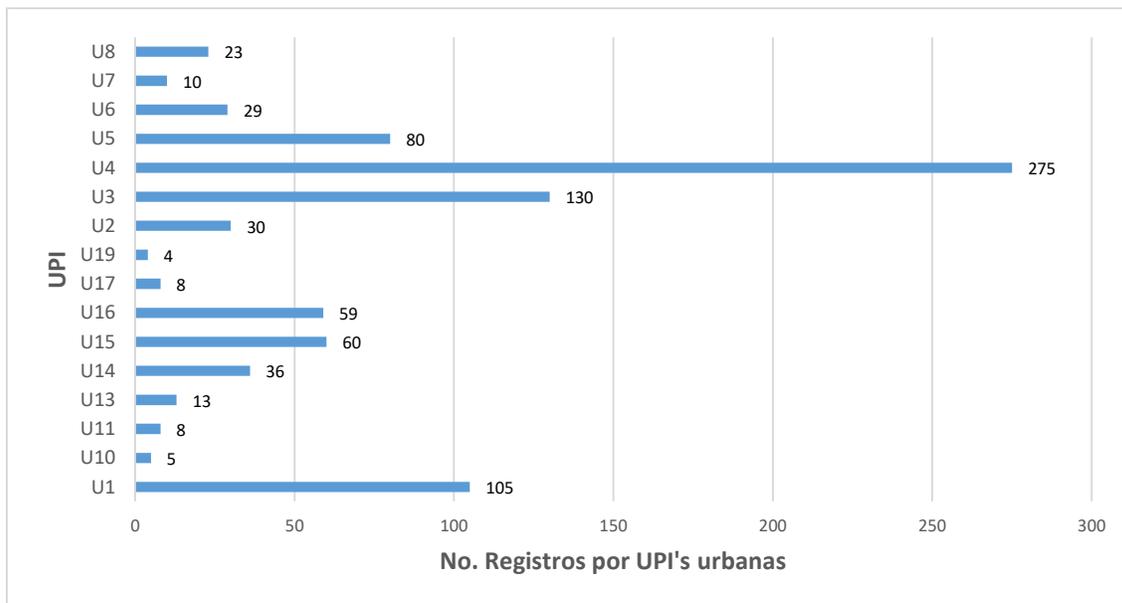
4.3.1. Número de registros

En total se analizaron 1511 registros completos, distribuidos en 26 UPI's, 10 de tipo rural y 16 de tipo urbano. Se detalla el número de registros en las UPI's rurales (**Grafica 4**), urbanas (**Grafica 5**) y totales (**Grafica 6**).

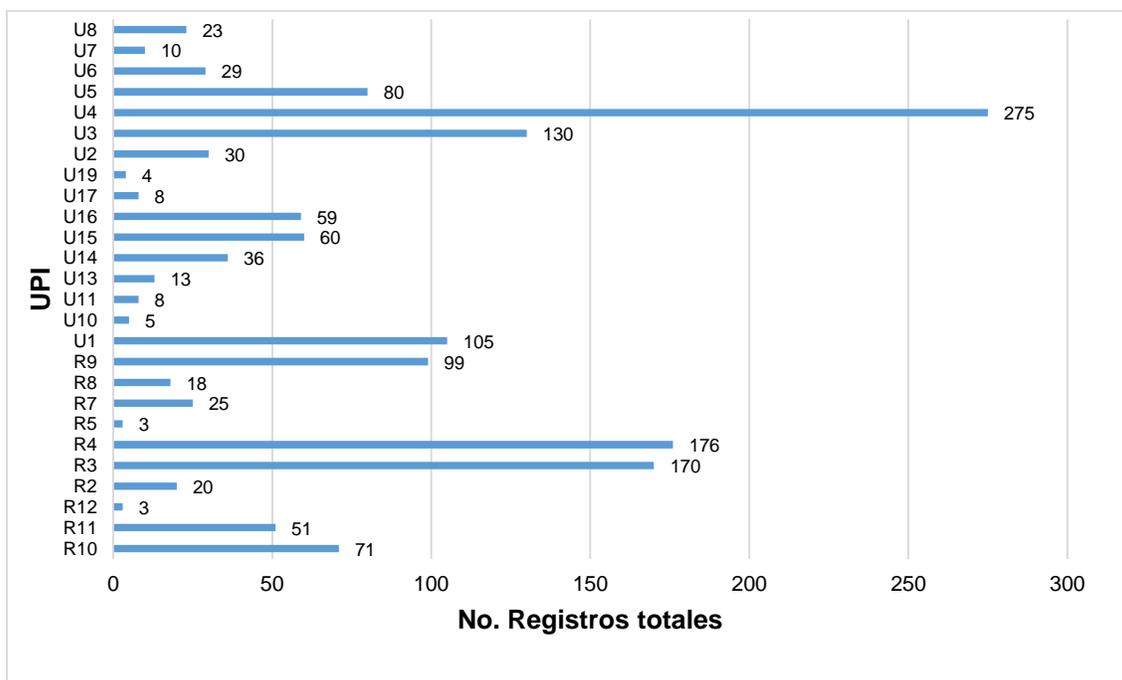


Grafica 4. Número de registros efectivos tomados en las diferentes UPI's rurales.
Fuente: Propia





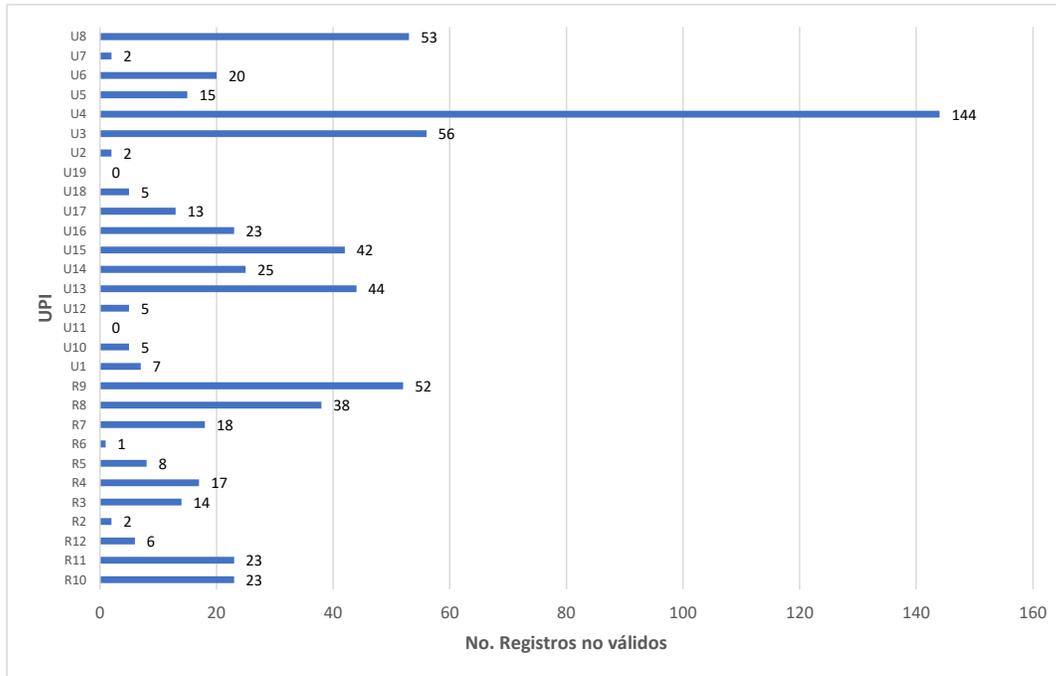
Grafica 5. Número de registros efectivos tomados en las diferentes UPI's urbanas.
Fuente: Propia



Grafica 6. Número de registros efectivos tomados en las diferentes UPI's rurales y urbanas.
Fuente: Propia



En la **Grafica 7** se detallan los registros no válidos por cada una de las UPI's rurales y urbanas debido a que no presentaron datos completos o inconsistencias en los mismos.



Grafica 7. Número de registros no válidos en las diferentes UPI's rurales y urbanas.

Fuente: Propia

Es de anotar que las UPI's rurales R1 y R6 al igual que las urbanas U9, U12 y U18, no presentaron registros efectivos para este estudio debido a varias razones:

- Desconocimiento de las características técnicas del pozo por parte de los propietarios.
- Incredulidad institucional.
- Reporte de información no confiable.



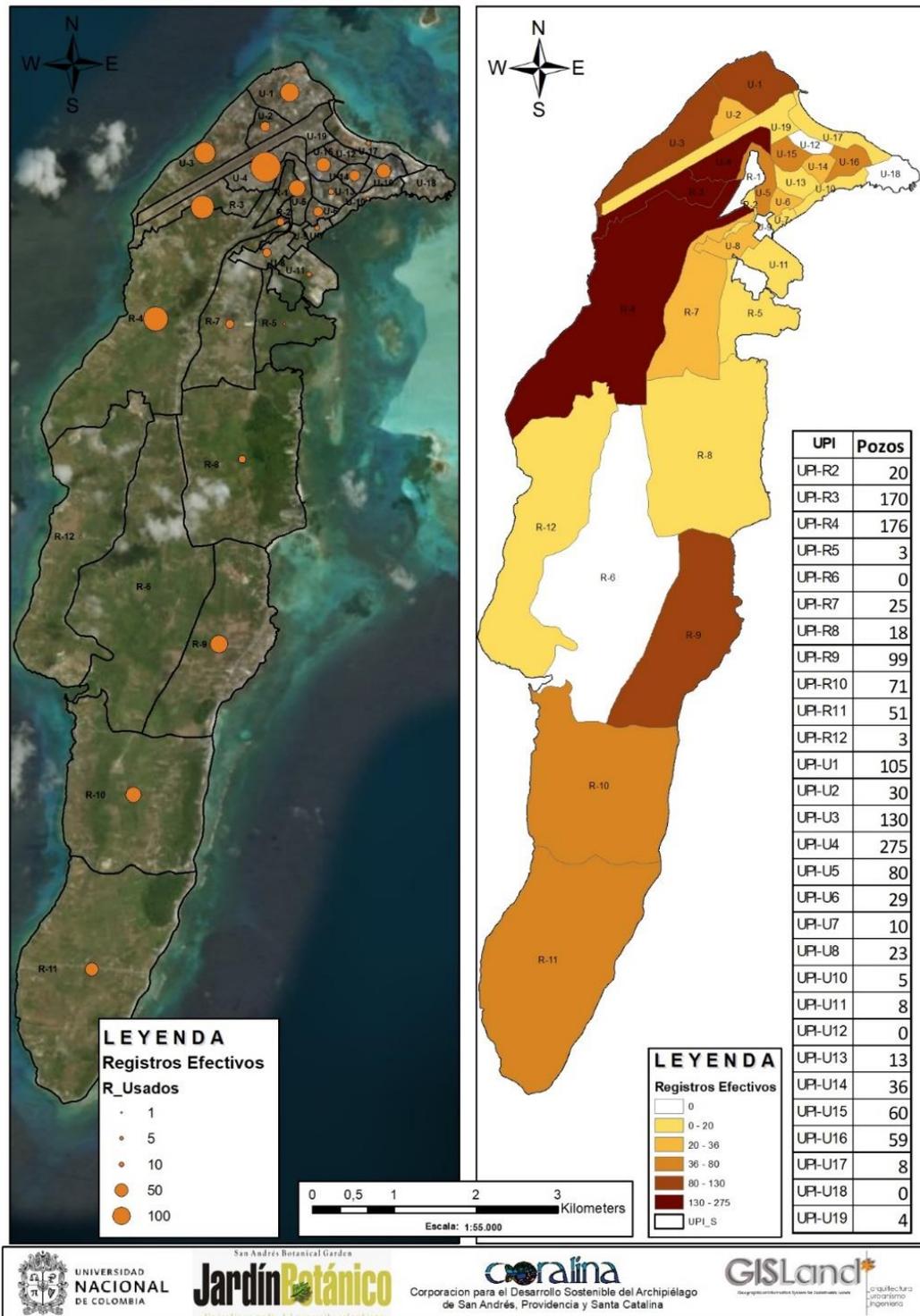
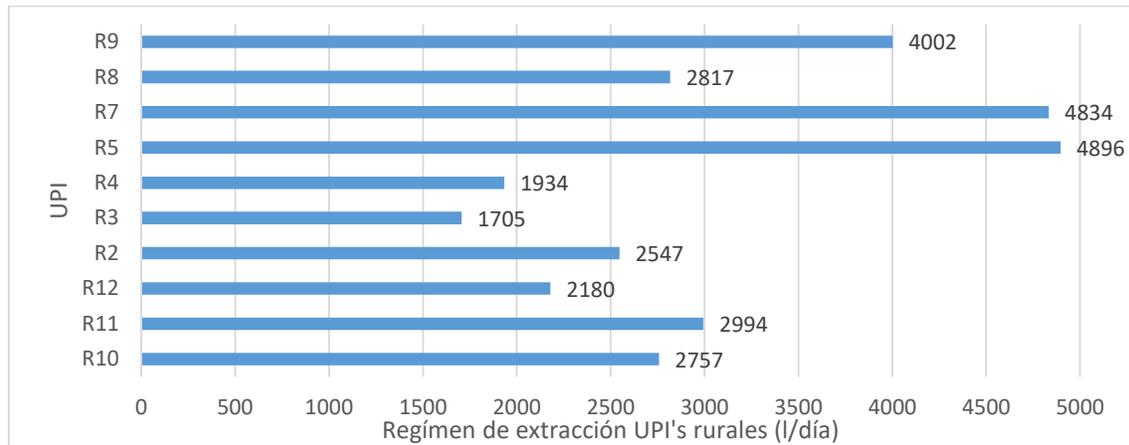


Figura 5. Número de registros efectivos por UPIs.

Fuente: Propia

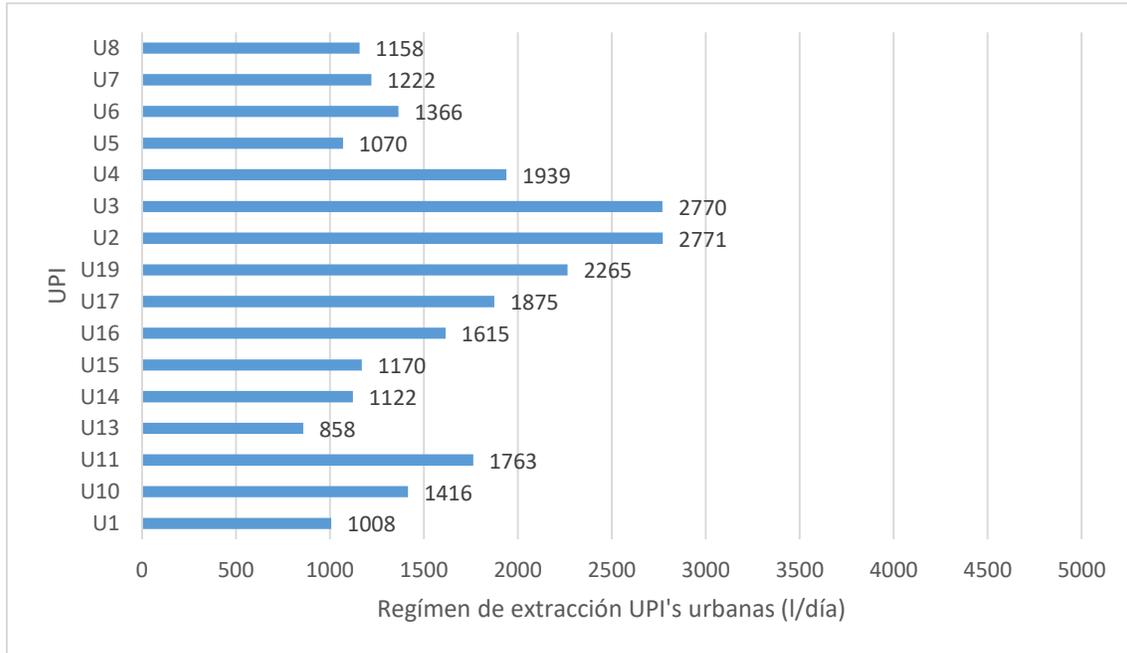
4.3.2. Régimen de extracción total o presión por uso

En cuanto al régimen de extracción, es interesante analizar que las UPI's que presentaron mayores valores fueron la R5, seguida por la R7 y R9 respectivamente. Esto se debe a que en estas UPI's se reportan extracciones continuas con bombas de alto caudal y con un régimen de bombeo de hasta dos horas diarias (**Grafica 8**).



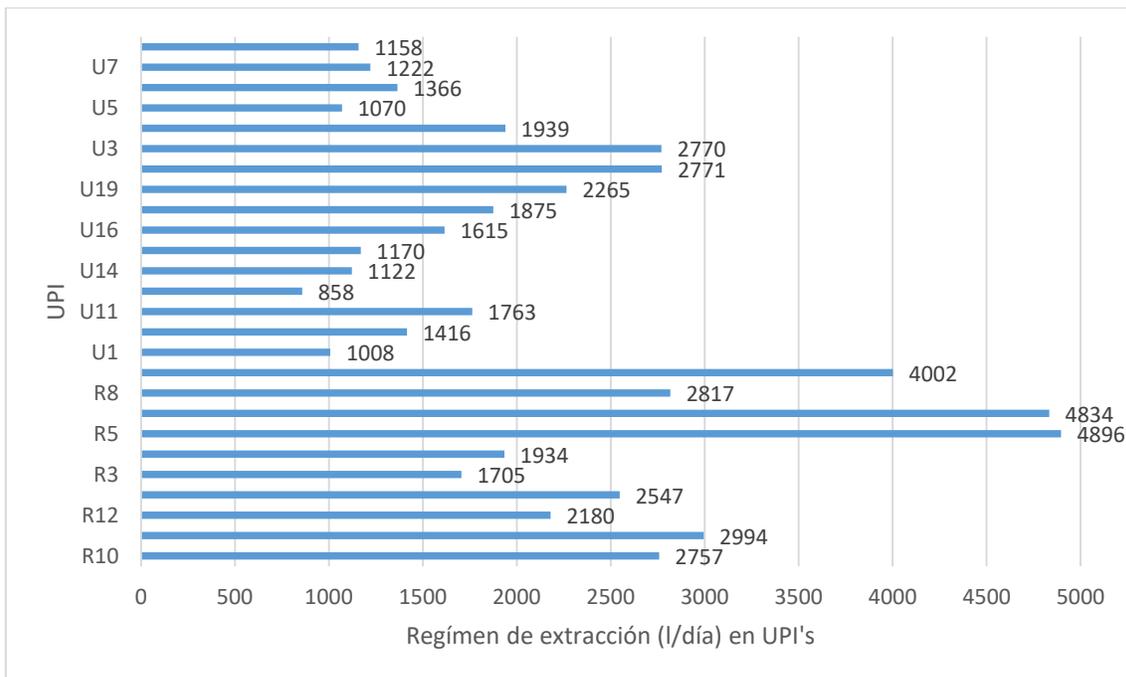
Grafica 8. Régimen de extracción promedio en l/día, calculado para las diferentes UPI's rurales.
Fuente: Propia

En cuanto a las UPI's urbanas se observa que las extracciones son menores comparadas con las rurales observándose mayores registros en las UPI's U2, U3 y U19 (**Grafica 9**).



Grafica 9. Régimen de extracción promedio en l/día, calculado para las diferentes UPI's urbanas.
Fuente: Propia

En términos generales, se detalla que el régimen de extracción promedio para la isla fue de 2156 l/día equivalente a 2,1 m³/día, alcanzando un máximo de 4896 l/día en R5 y un mínimo de 858 l/día en U13 (**Grafica 10**).





Grafica 10. Régimen de extracción promedio en l/día, calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.

Fuente: Propia

Para el análisis de varianza se tomaron los datos, pero en m³/día para tener un mejor parámetro de interpretación, aunque se debe mencionar que el comportamiento es el mismo ya que sólo se hizo una transformación de unidades, por lo tanto, la tendencia es igual.



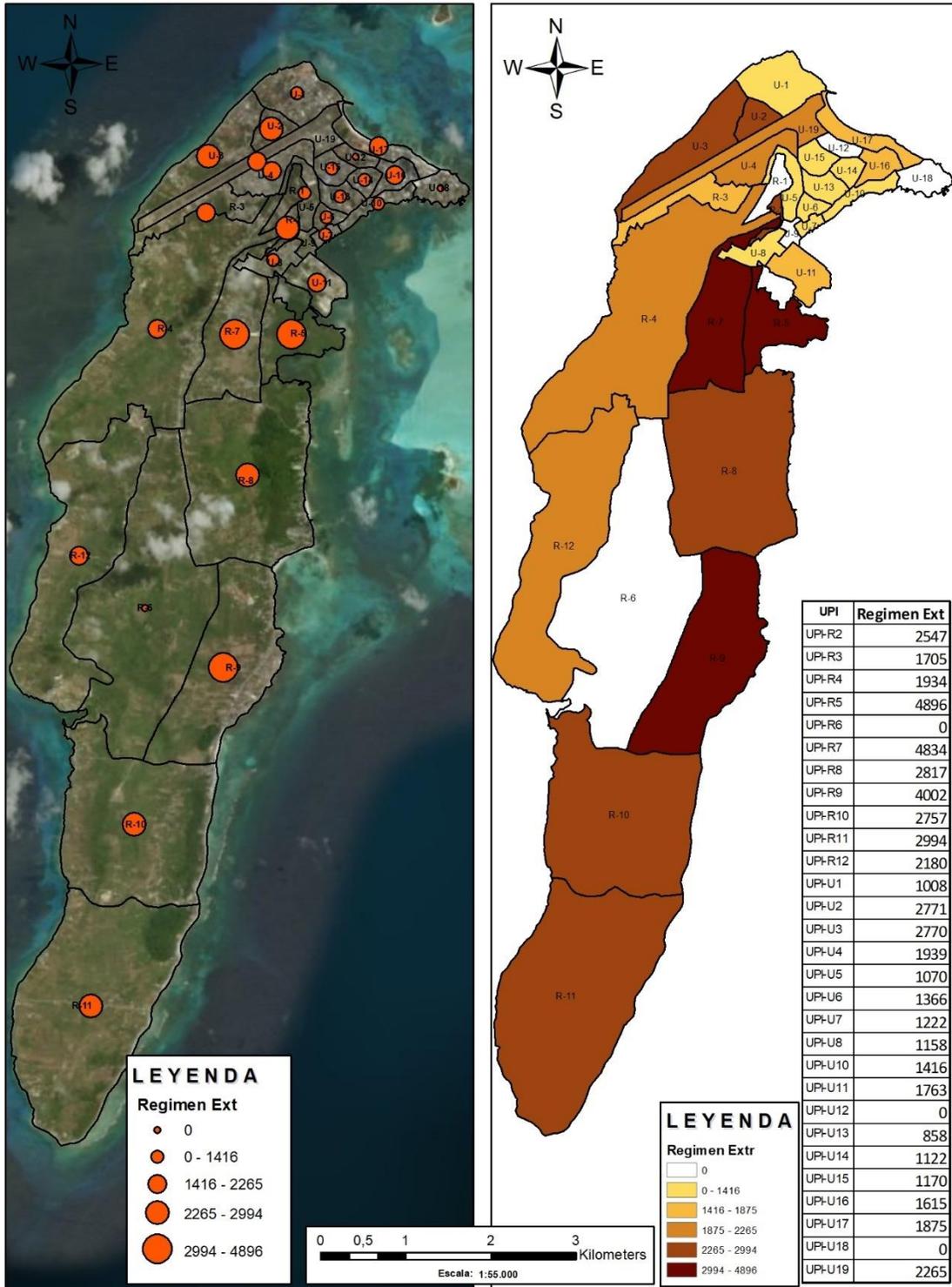


Figura 6. Régimen de extracción total vs UPIs

Fuente: Propia

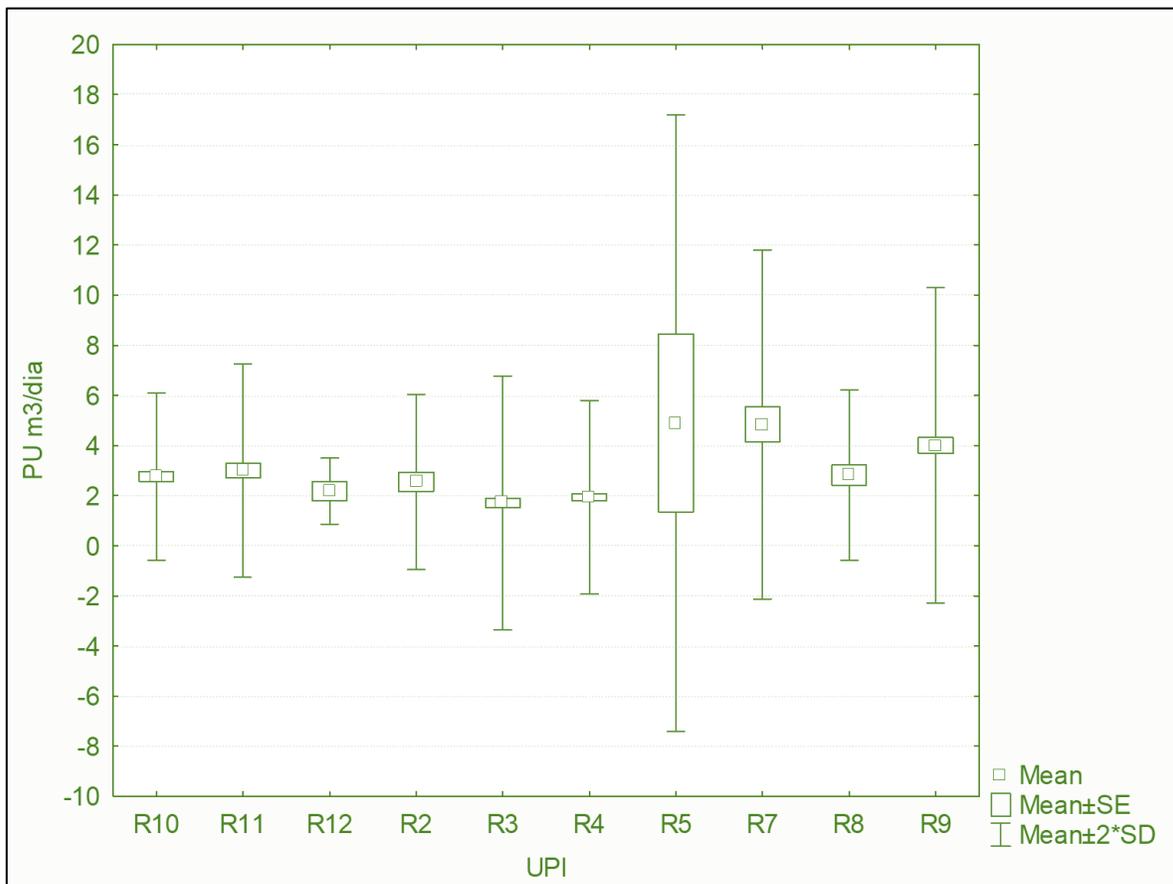
En este sentido, se observa que el análisis de varianza realizado para las UPI's rurales arrojan resultados con diferencias significativas en cuanto a la extracción (**Tabla 9 y Grafica 11**).

Tabla 9. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/día) de las diferentes UPI's rurales. Fuente: Propia

Efecto	SS	GL	MS	F	p
Intercepto	1083,953	1	1083,953	187,9203	0,00
UPI	558,611	9	62,068	10,7604	0,00
Error	3610,864	626	5,768		



SS: suma de cuadrados, GL: grados de libertad, MS: cuadrados medios, F: prueba F, P: probabilidad





**Grafica 11. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m3/día), de las diferentes UPI's rurales.
Fuente: Propia**

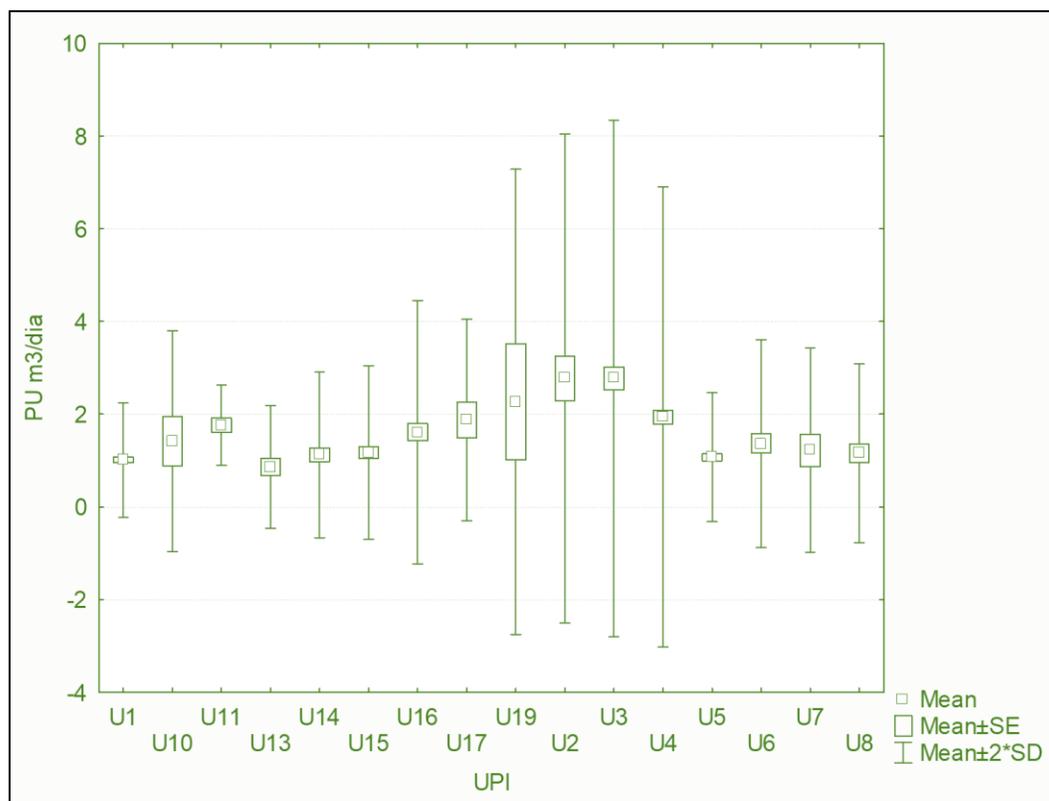
Para el caso de las UPI's urbanas, se observa un comportamiento similar al de las UPI's rurales evidenciando que los datos arrojados presentan una amplia variación con respecto a la media (**Tabla 10 y Grafica 12**).

**Tabla 10. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/día) de las diferentes UPI's urbanas.
Fuente: Propia**



Efecto	SS	GL	MS	F	p
Intercepto	595,182	1	595,1820	156,0689	0,00
UPI	332,514	15	22,1676	5,8128	0,00
Error	3272,056	858	3,8136		

SS: suma de cuadrados, GL: grados de libertad, MS: cuadrados medios, F: prueba F, P: probabilidad



Gráfica 12. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m3/día), de las diferentes UPI's urbanas.
Fuente: Propia

Como era de esperarse, los resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) indican que hay diferencias significativas de la extracción en las diferentes UPI's, ya que existen promedios estadísticamente altos respecto a la tendencia general, aunque las desviaciones estándar de los mismos se encuentran en el mismo rango de interpretación (Tabla 11).

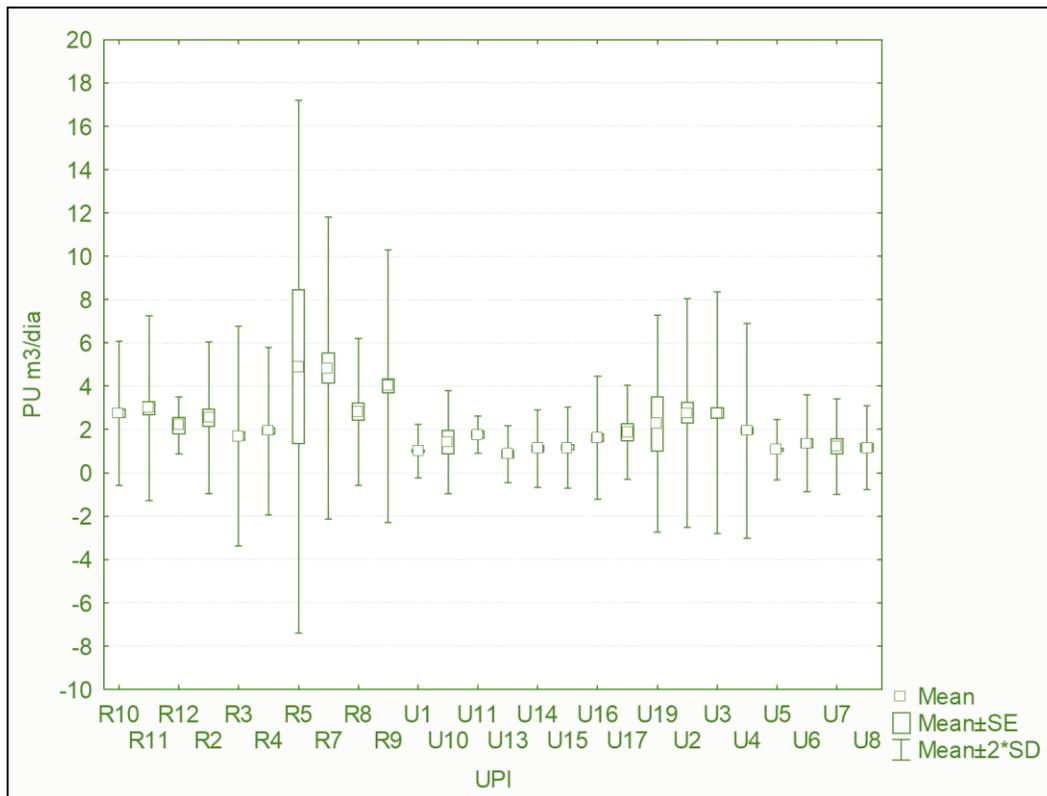
Tabla 11. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/día) de las diferentes UPI's.
Fuente: Propia

Efecto	SS	GL	MS	F	p
Intercepto	1610,785	1	1610,785	347,5249	0,00
UPI	1140,220	25	45,609	9,8400	0,00
Error	6883,003	1485	4,635		

SS: suma de cuadrados, GL: grados de libertad, MS: cuadrados medios, F: prueba F, P: probabilidad

Para una mejor interpretación se llevó a cabo la prueba Post-Anova de Tukey ya que esta es utilizada en experimentos que implican un número elevado de comparaciones y los factores de agrupamiento no tienen el mismo número de datos.

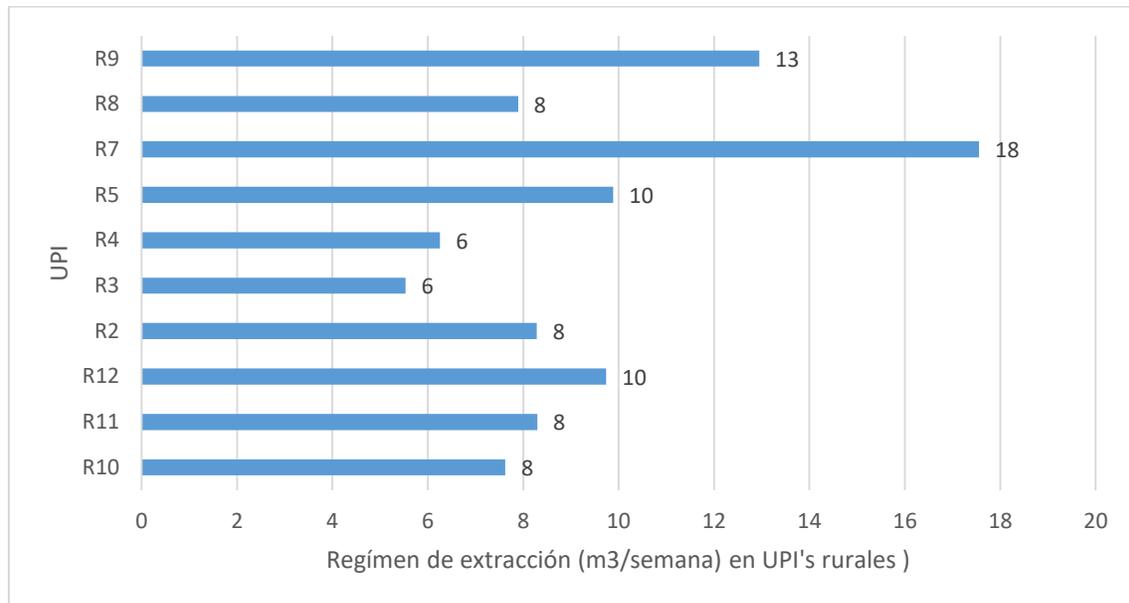
Este análisis nos indicó que las estaciones que presentaron diferencias fueron las UPI's rurales R7, R9 y la UPI urbana U1. La UPI R7 obtuvo un régimen de bombeo diario de 4834 litros. Aunque la estación R5 tuvo un régimen de bombeo similar 4896 l/día, el promedio de extracción fue constante en todos los pozos monitoreados mientras que en las estaciones con diferencias existen promedios muy elevados y poco frecuentes. Un comportamiento similar se observó en las UPI's urbanas U1, U5 y U13, aunque en este caso se observa un patrón contrario porque existen valores muy bajos respecto al promedio general (**Figura 17**).



Grafica 13. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m3/día), de las diferentes UPI's.

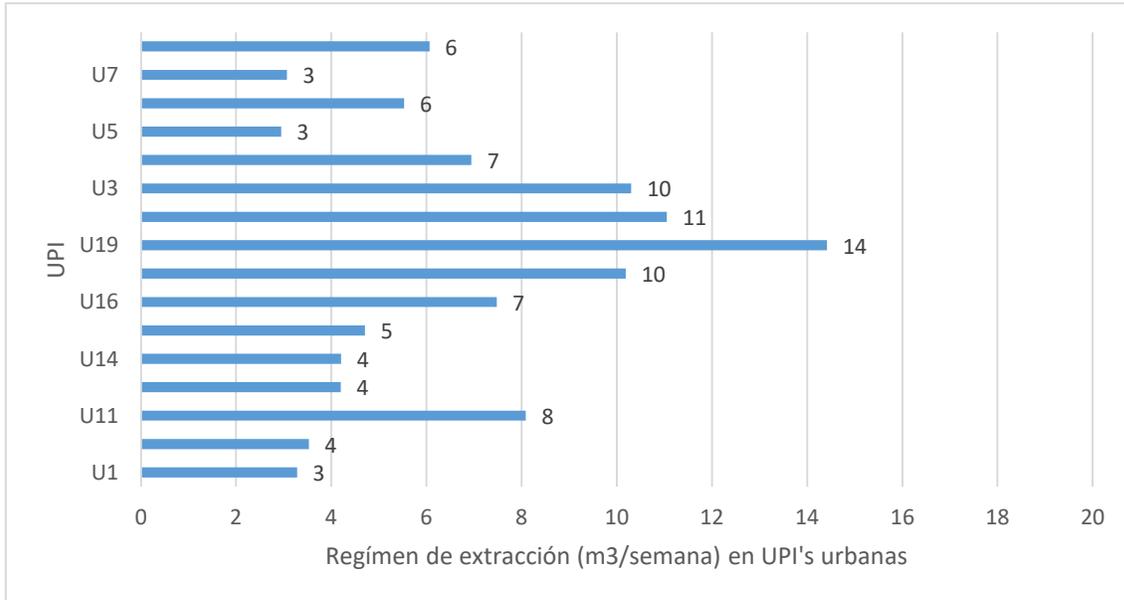
Fuente: Propia

En cuanto a la presión por explotación semanal, los resultados arrojan en la zona rural, las UPI's R7 y R9 con los valores más altos de extracción (**Grafica 14**). En el área urbana, las UPI's U19 y U2 fueron las de mayores reportes con 14 y 11 m³/semana respectivamente. Los menores valores se observaron en las UPI's U1, U5 y U7 con 3 m³/semana (**Grafica 15**).



Grafica 14. Régimen de extracción promedio en m3/semana, calculado para las diferentes UPI's rurales.

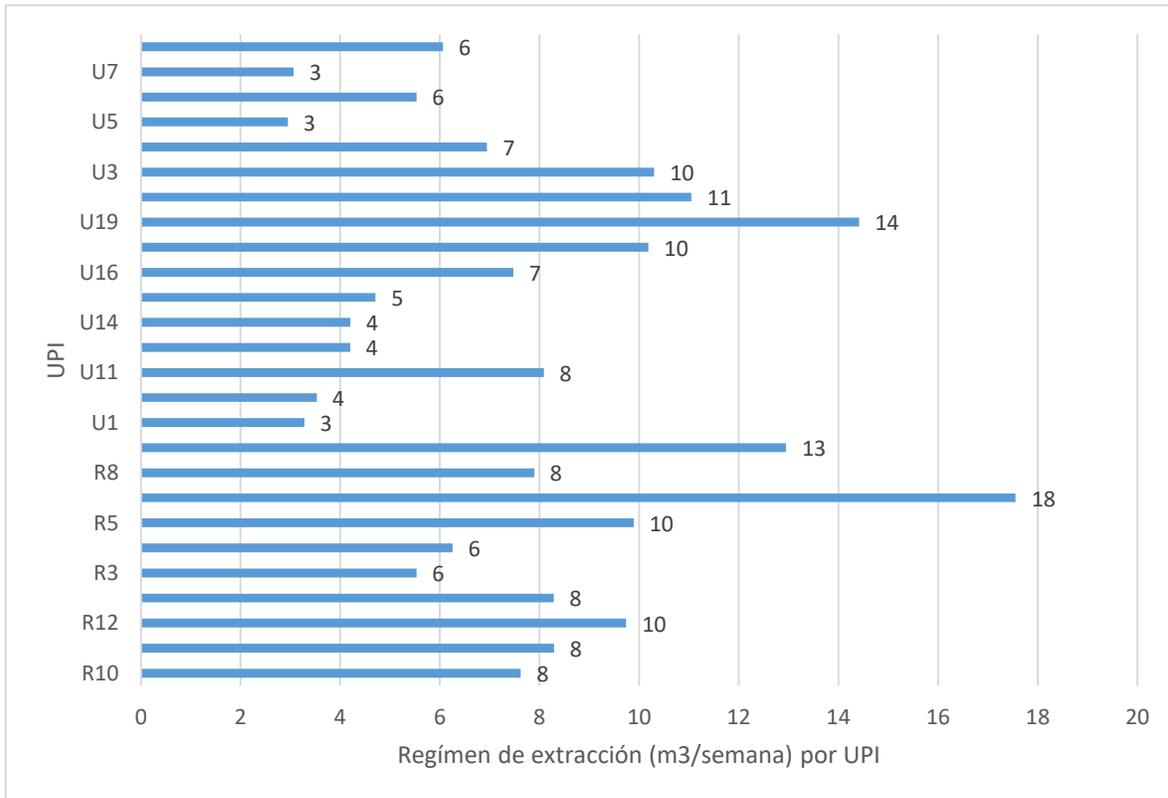
Fuente: Propia



Grafica 15. Régimen de extracción promedio en m3/semana, calculado para las diferentes UPI's urbanas.

Fuente: Propia.

Para analizar la presión por explotación semanal se tuvo en cuenta el régimen de bombeo en días a la semana. De esta manera se pudo observar que, en promedio, en la isla se explotan 8 m³ de agua subterránea a la semana por pozo, oscilando entre 3 y 18 m³ respectivamente (**Grafica 16**).



Grafica 16. Régimen de extracción promedio en m3/semana, calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.
Fuente: Propia

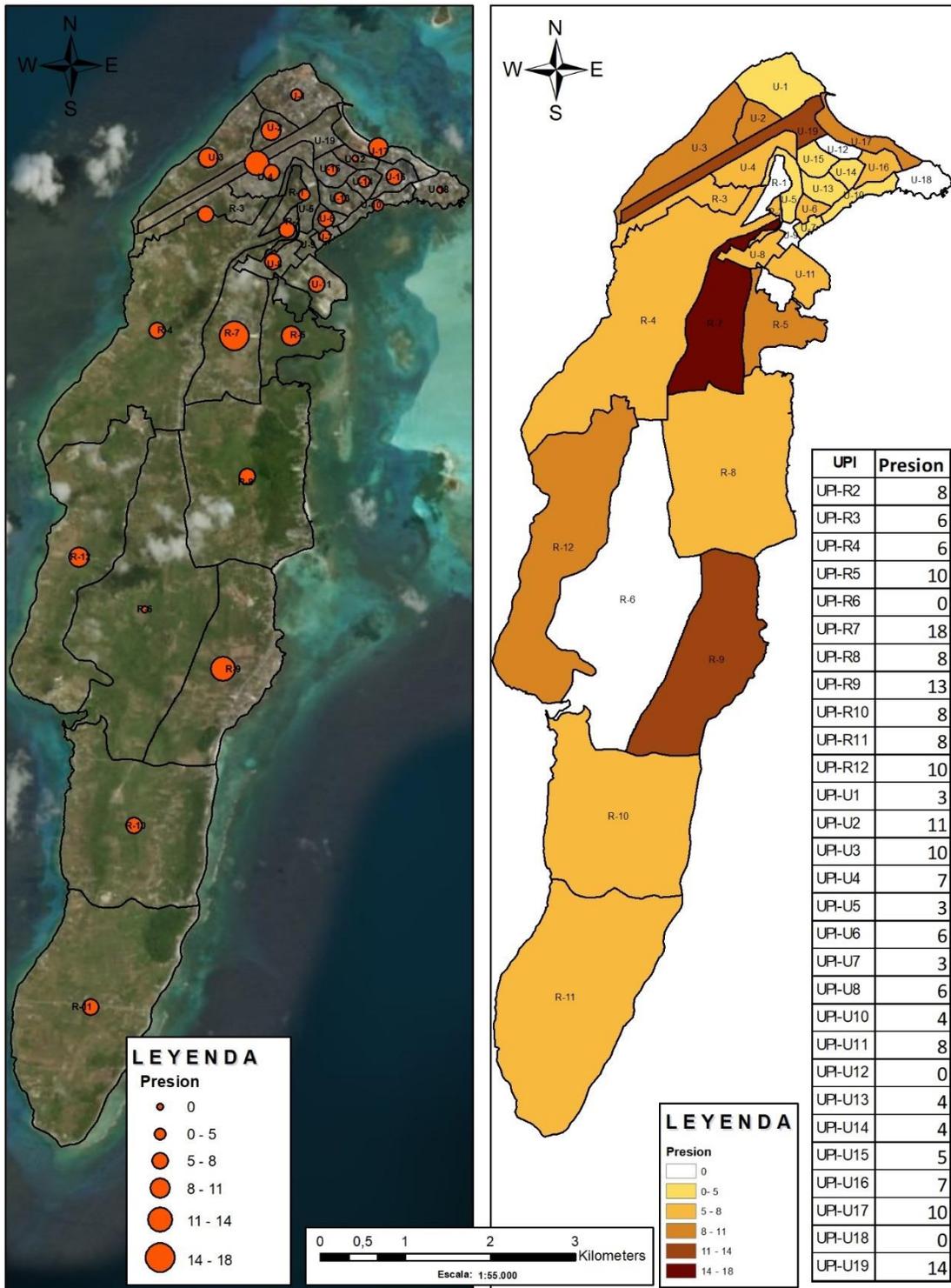




Figura 7. Presión por explotación semanal vs UPIs

Fuente: Propia

El análisis de varianza general muestra que al igual que el régimen de bombeo diario, existen diferencias significativas para el bombeo semanal entre las diferentes UPI's de la isla (**Tabla 12**).

Tabla 12. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/semana) de las diferentes UPI's

Fuente: Propia

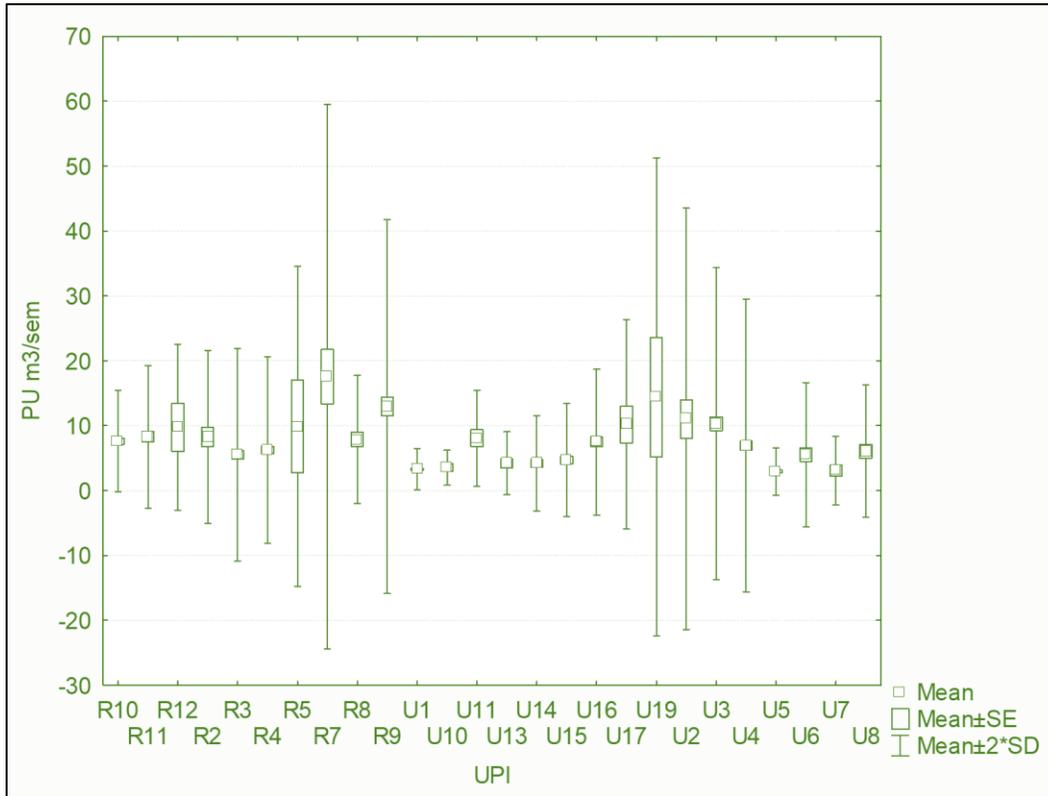
Efecto	SS	GL	MS	F	p
Intercepto	1610,785	1	1610,785	347,5249	0,00
UPI	1140,220	25	45,609	9,8400	0,00
Error	6883,003	1485	4,635		

SS: suma de cuadrados, GL: grados de libertad, MS: cuadrados medios, F: prueba F, P: probabilidad

En este caso el análisis Post-Anova nos muestra que sólo las UPI's rurales R7 y R9 fueron significativamente diferentes de las demás. Nuevamente se llega a la conclusión que los reportes de estas unidades espaciales presentan los valores más altos de extracción de todo el monitoreo, no sólo por caudal de extracción sino por régimen de bombeo diario y semanal (**Grafica 17**).

Las demás UPI's, tanto rurales como urbanas muestran una tendencia similar. Lo cual es un indicador de estabilidad del sistema, aunque los niveles de extracción se consideran relativamente altos para nuestro contexto insular.





Grafica 17. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m3/semana), calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.

Fuente: Propia

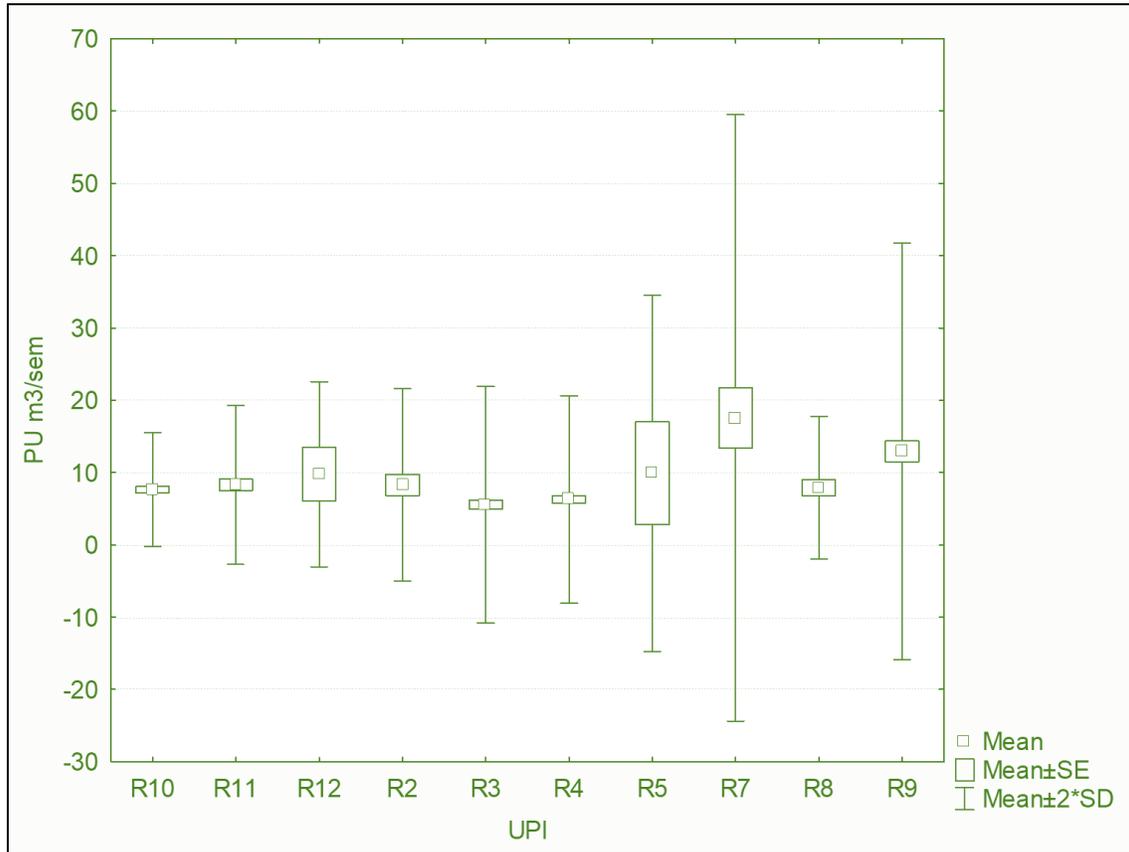
De igual manera se detallan por tipo de UPI (Tablas 13 y 14) y (Graficas 18 y 19) lo mencionado anteriormente, corroborando las diferencias que existen entre los datos de las diferentes unidades de planificación.

Tabla 13. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/semana) de las diferentes UPI's rurales.

Fuente: Propia

Efecto	SS	GL	MS	F	p
Intercepto	10188,78	1	10188,78	115,0833	0,00
UPI	6313,83	9	701,54	7,9239	0,00
Error	55422,28	626	88,53		

SS: suma de cuadrados, GL: grados de libertad, MS: cuadrados medios, F: prueba F, P: probabilidad



Grafica 18. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m3/semana), calculado para las diferentes UPI's rurales.

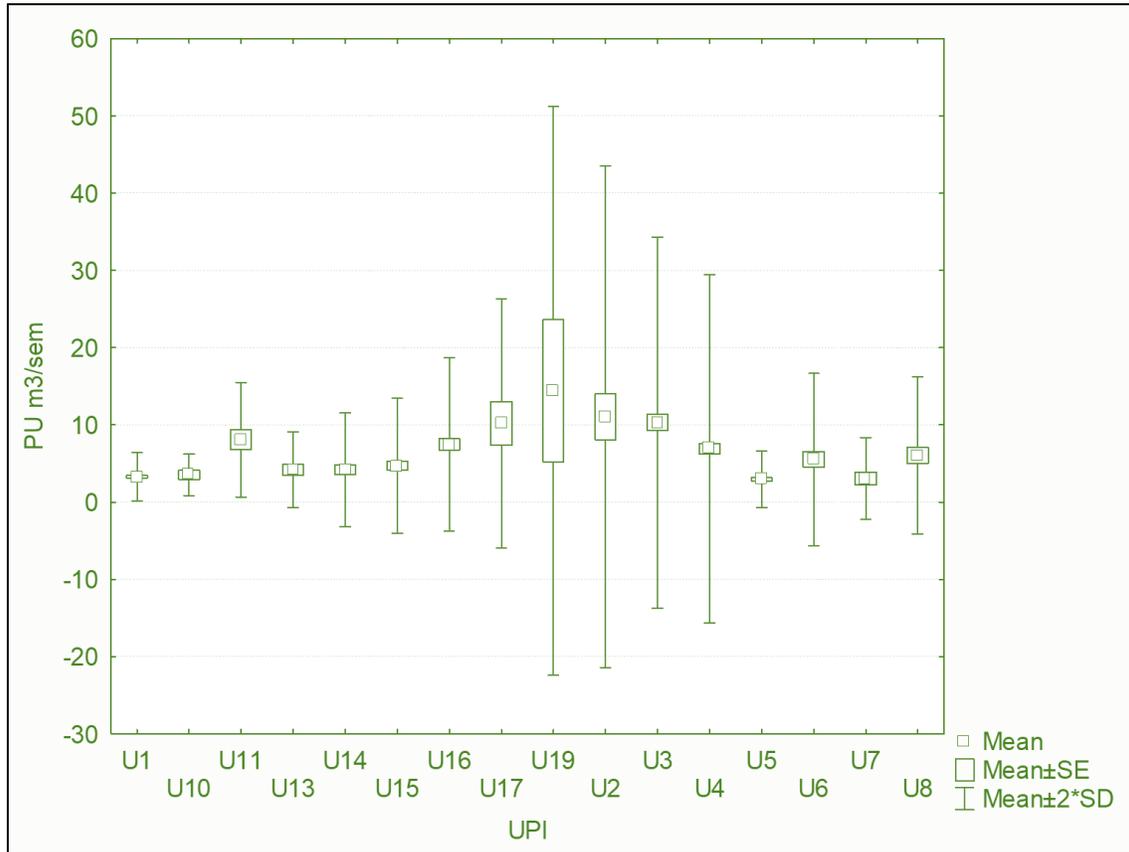
Fuente: Propia

Tabla 14. Prueba de significancia de la ANOVA para la extracción (m3/semana) de las diferentes UPI's urbanas.

Fuente: Propia

Efecto	SS	GL	MS	F	p
Intercepto	10373,91	1	10373,91	130,6209	0,000000
UPI	5708,23	15	380,55	4,7916	0,000000
Error	68142,32	858	79,42		

SS: suma de cuadrados, GL: grados de libertad, MS: cuadrados medios, F: prueba F, P: probabilidad



Grafica 19. Gráfica del promedio y desviación estándar para la extracción (m3/semana), calculado para las diferentes UPI's urbanas.
Fuente: Propia

4.3.3. Análisis geoestadístico

Es claro que la presión por uso del agua no sólo depende del sistema de extracción. La cantidad de usuarios asociados a la explotación de cada pozo puede ser un indicador de los requerimientos de este importante recurso en las diferentes Unidades de Planificación Insular UPI's (Figuras 5, 6 y 7).

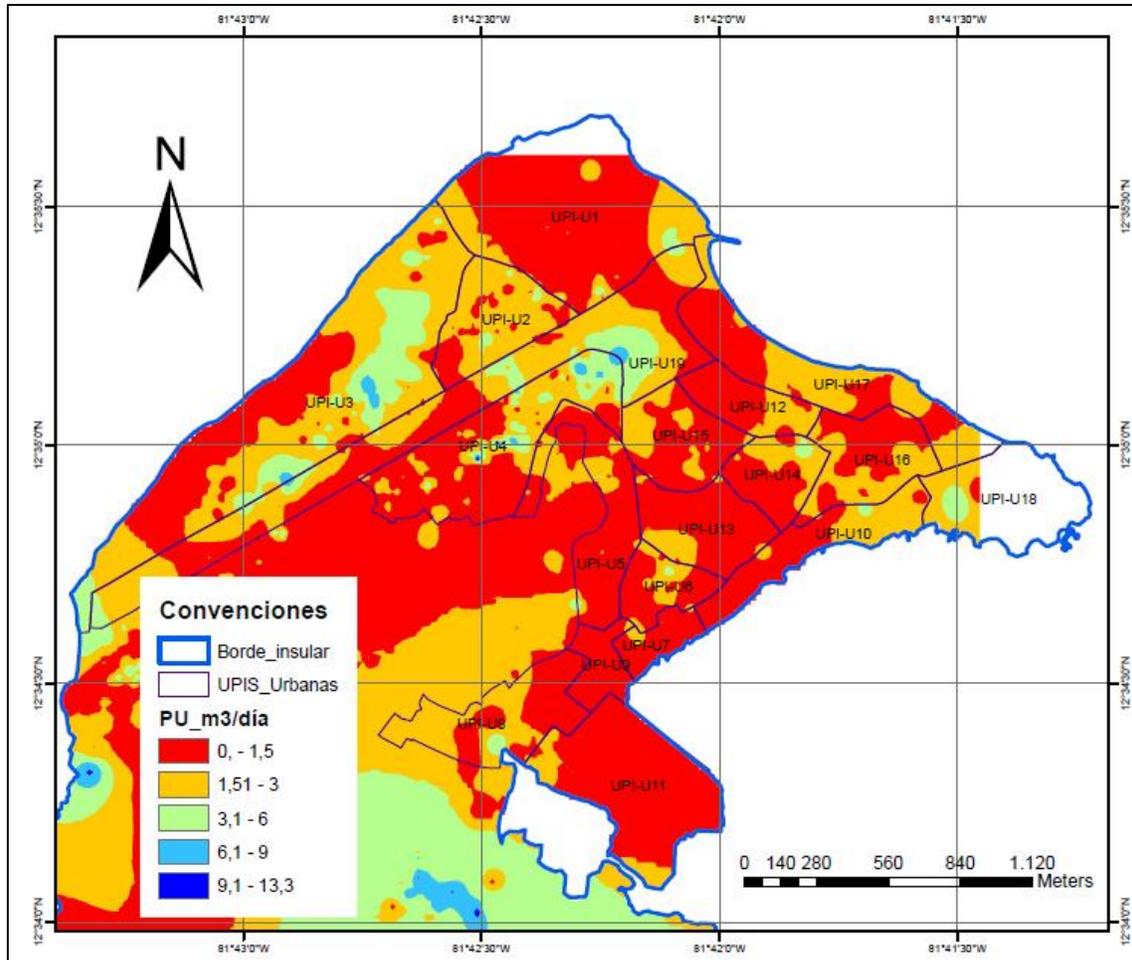


Figura 8 Análisis geoestadístico IDW calculado para la presión por uso (m3/día), calculado para las diferentes UPI's urbanas.

Fuente: Propia

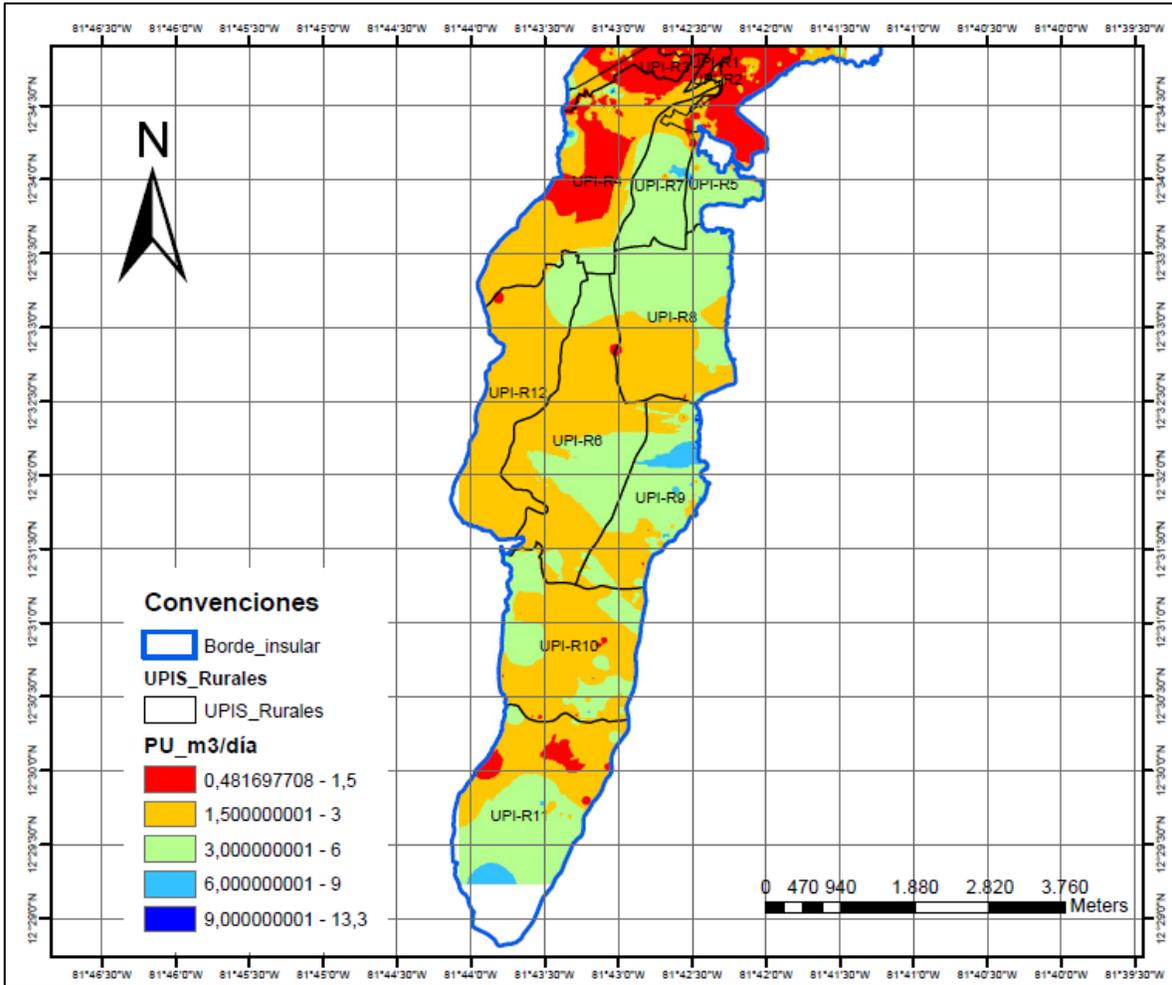


Figura 9 Análisis geostatístico IDW calculado para la presión por uso (m3/día), calculado para las diferentes UPI's rurales.

Fuente: Propia

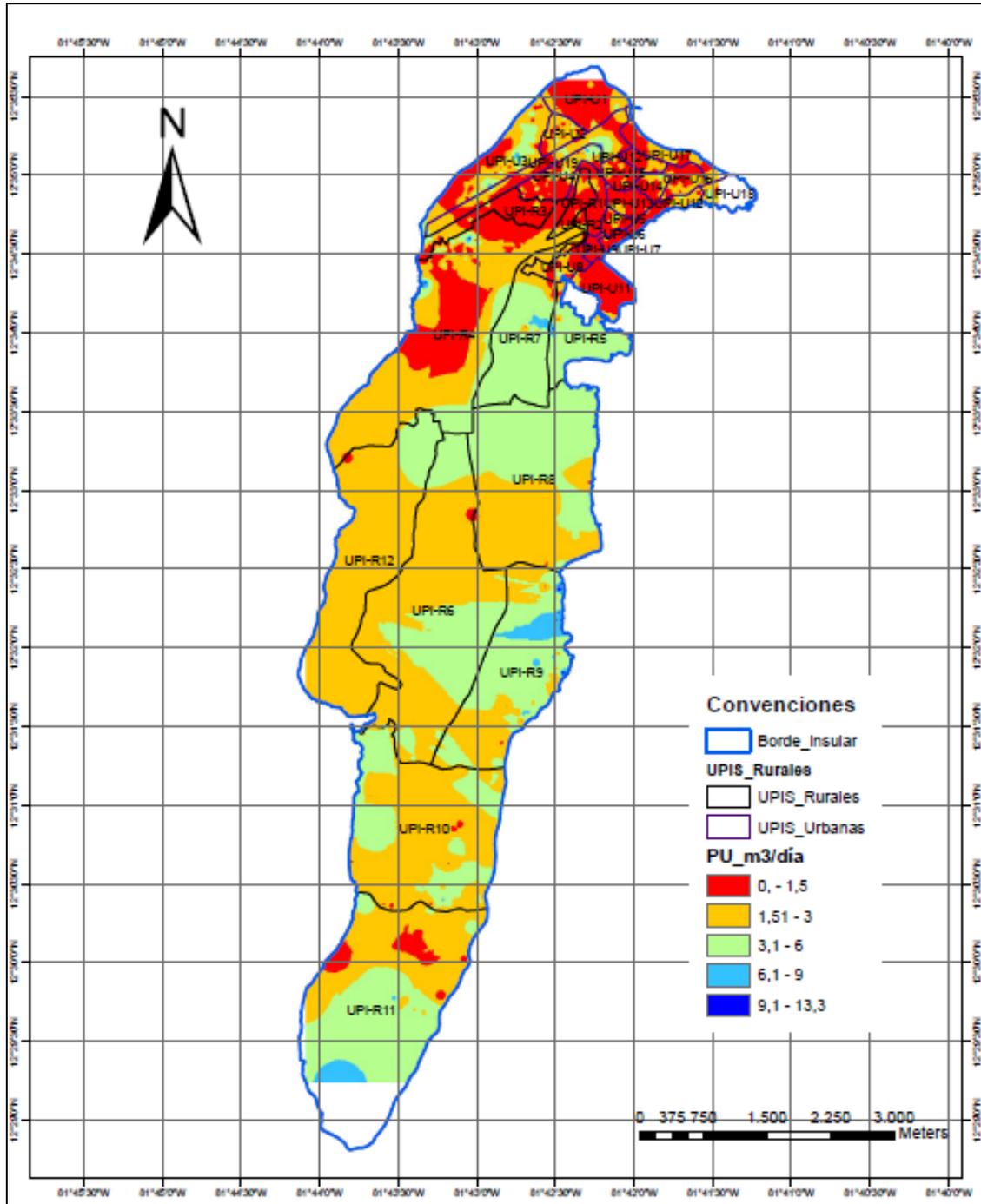


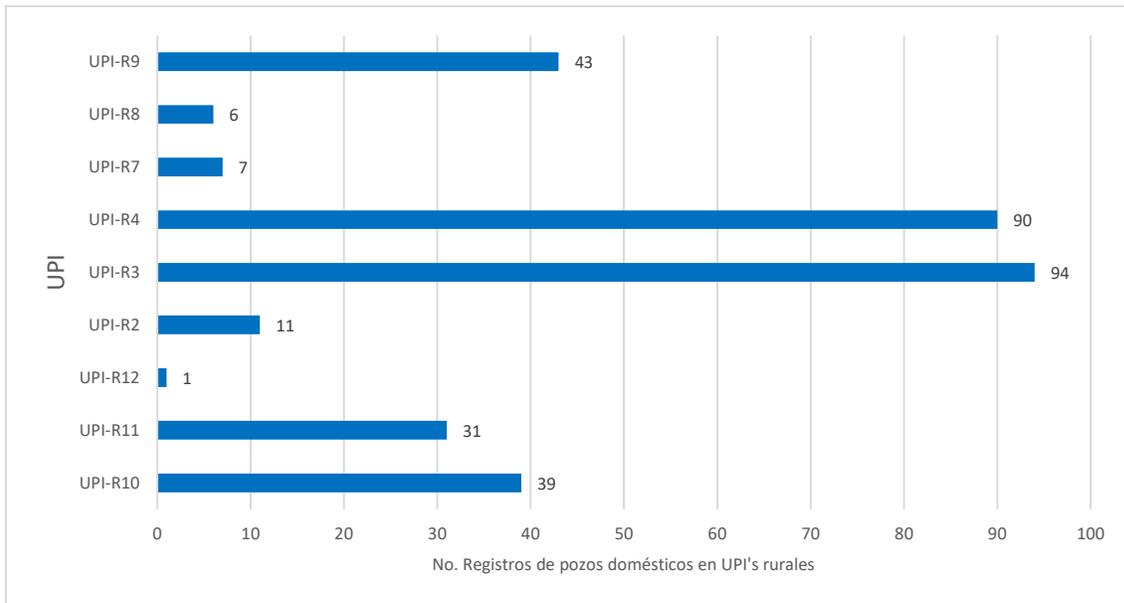
Figura 10 Análisis geoestadístico IDW calculado para la presión por uso (m³/día), calculado para las diferentes UPI's.
Fuente: Propia

4.4. Demanda de agua subterránea en las UPI's rurales y urbanas

4.4.1. Número de registros

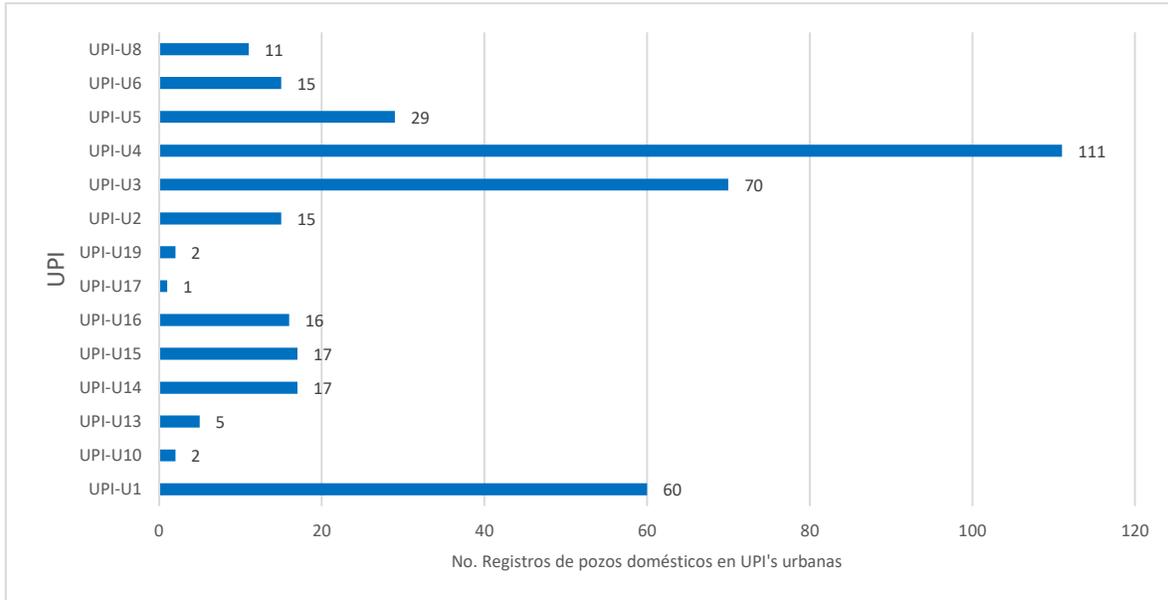
Para analizar la demanda de agua, se tuvo en cuenta el régimen de extracción o presión por uso sólo de pozos de uso exclusivamente doméstico y el número de usuarios reportados en el FUNIAS, Capítulo 9, "Usos del Agua".

Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis arroja 9 UPI's rurales (**Grafica 20**) y 14 de tipo urbano (**Grafica 21**), es decir en total se analizaron 693 registros completos, distribuidos en 23 UPI's (**Grafica 22**).

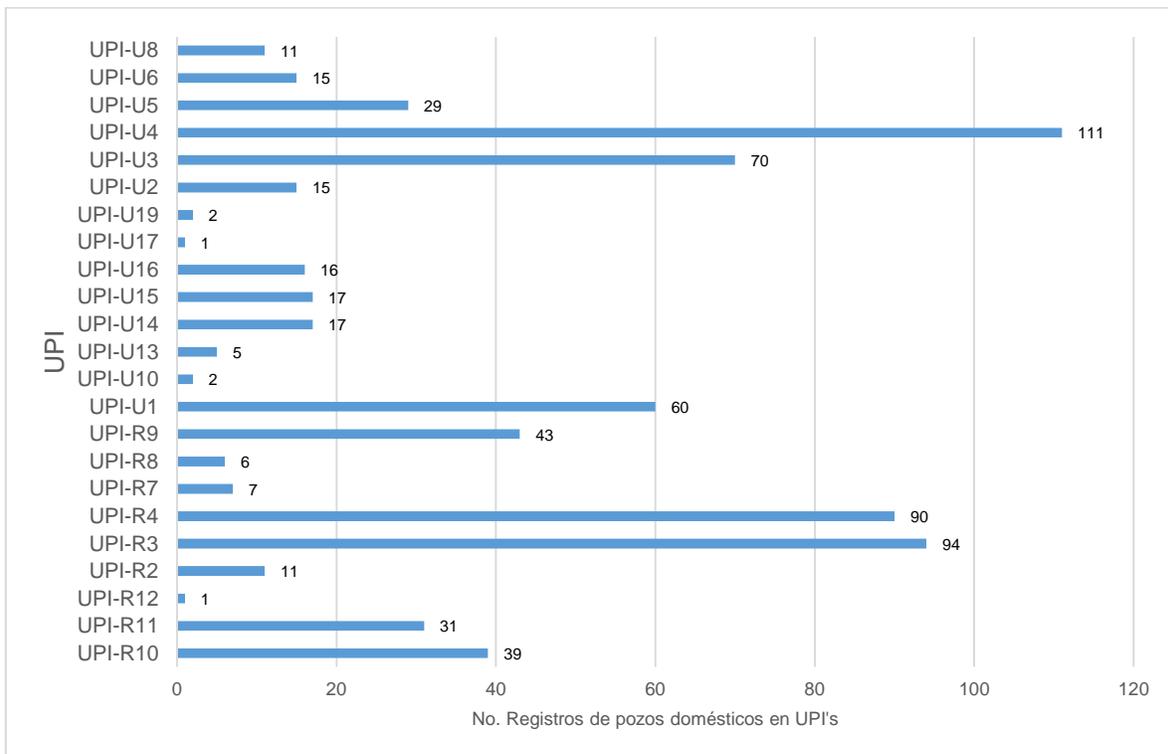


Grafica 20. Número de registros efectivos de pozos exclusivamente domésticos tomados en las diferentes UPI's rurales.

Fuente: Propia



Grafica 21. Número de registros efectivos de pozos exclusivamente domésticos tomados en las diferentes UPI's urbanas.
Fuente: Propia



Grafica 22. Número de registros efectivos de pozos exclusivamente domésticos tomados en las diferentes UPI's rurales y urbanas.
Fuente: Propia

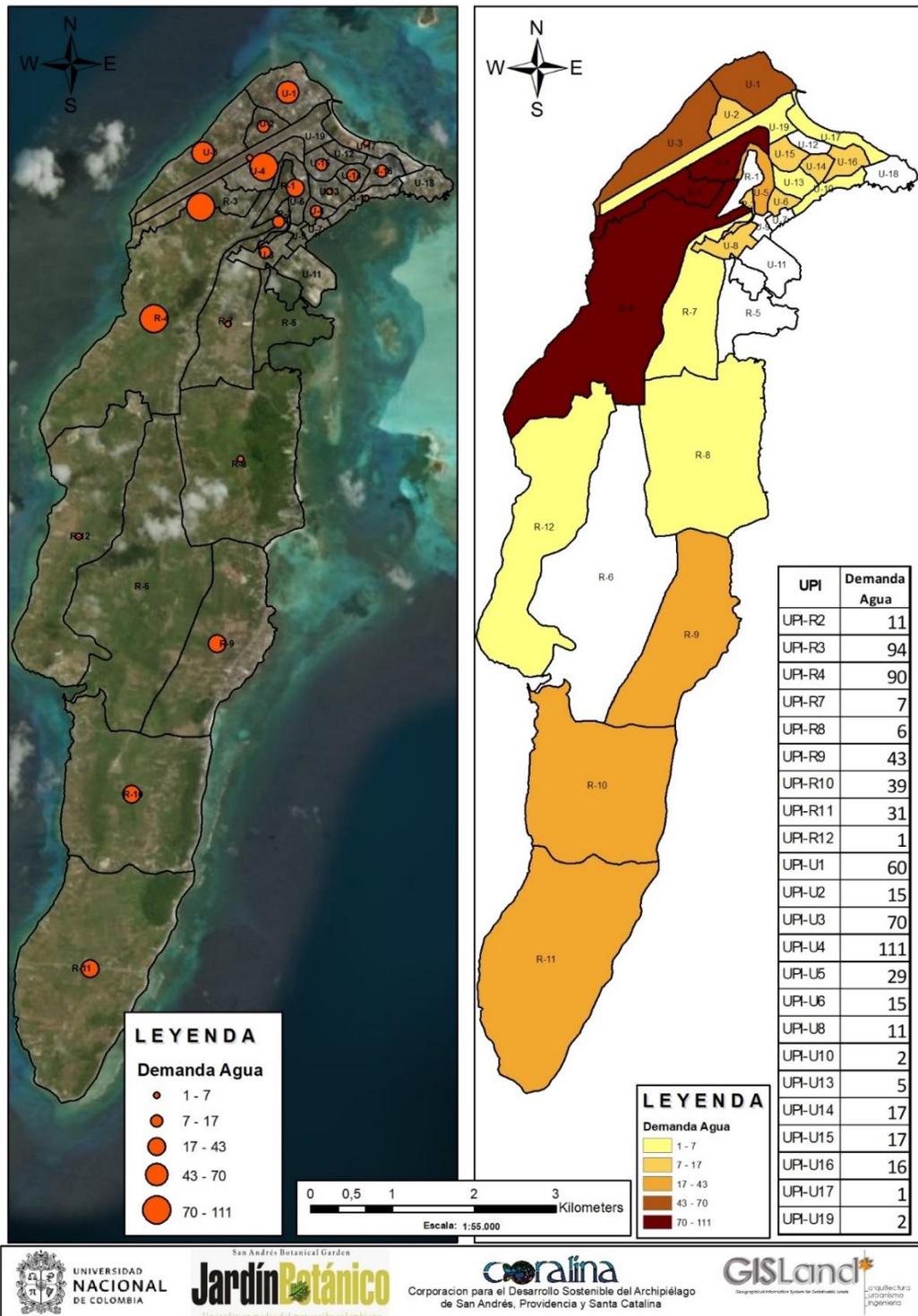
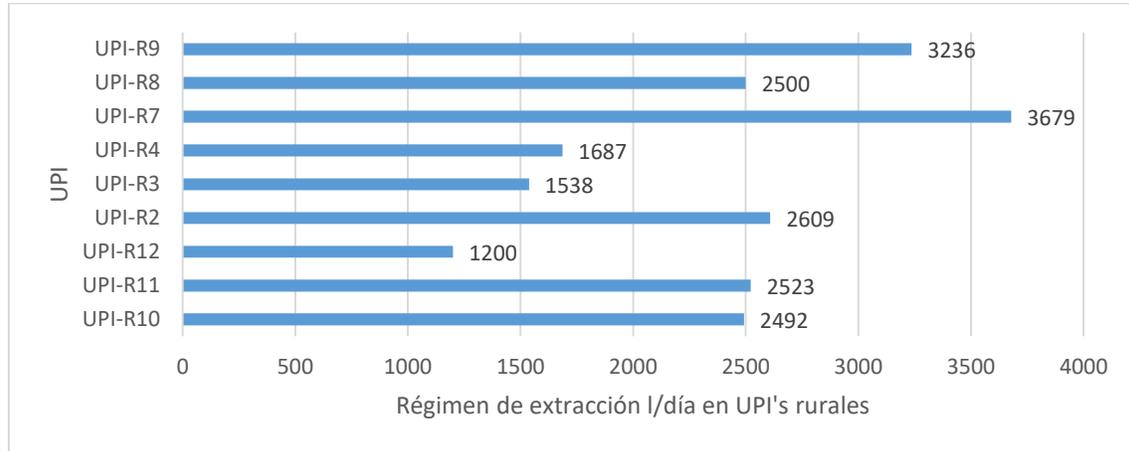


Figura 11. Número de registros para el análisis de la demanda de agua vs UPIs
Fuente: Propia

4.4.2. Régimen de extracción o presión por uso de pozos exclusivamente domésticos

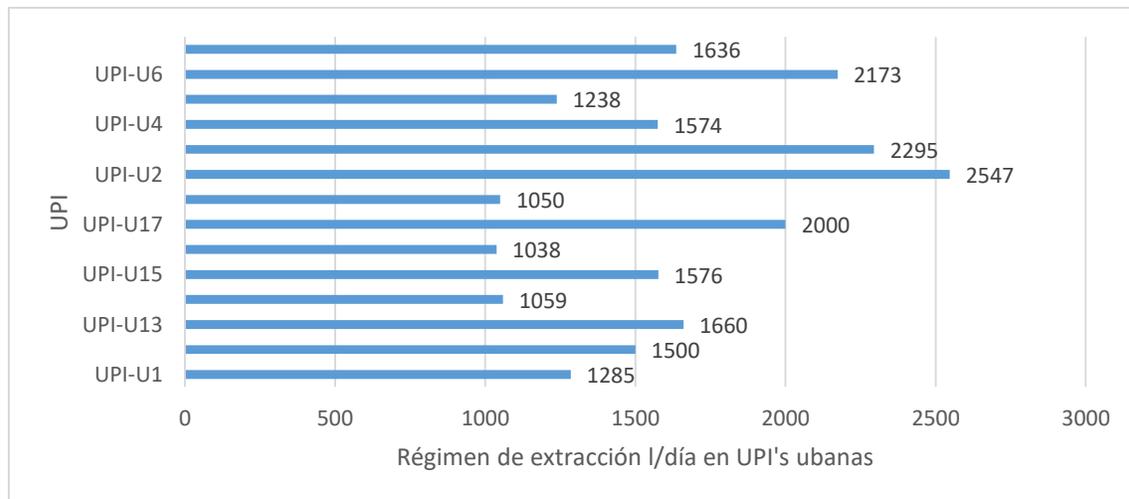
Se observa que las UPI's que presentaron mayores valores de régimen de extracción de pozos exclusivamente domésticos corresponden a R7, seguida de R9 y R2 respectivamente (**Grafica 23**).



Grafica 23. Régimen de extracción promedio en l/día en pozos exclusivamente domésticos en las UPI's rurales.

Fuente: Propia

Al igual que en el ítem 4.3.2, se observa que las extracciones de pozos exclusivamente domésticos en las UPI's urbanas son menores comparadas con las rurales, encontrándose los mayores registros en U2, U3 y U6 (**Grafica 24**).



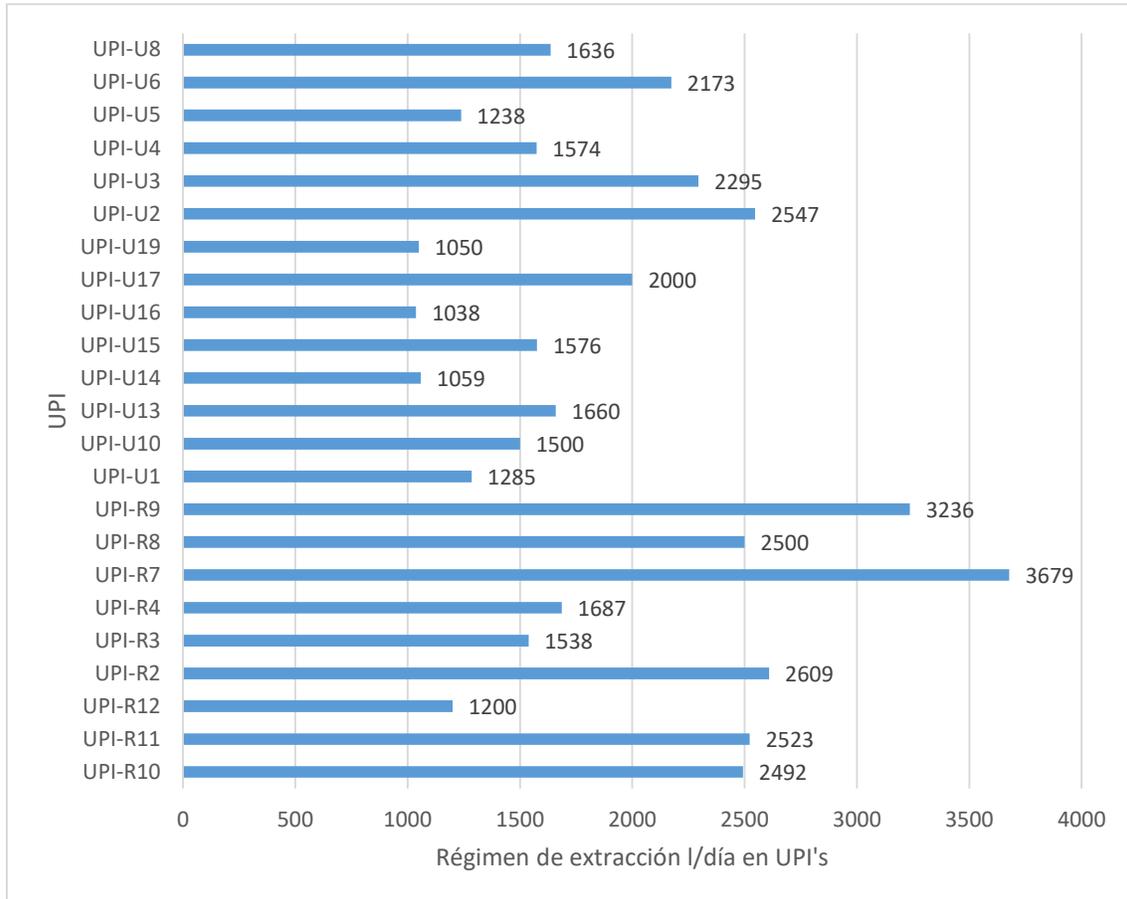
Grafica 24. Régimen de extracción promedio en l/día en pozos exclusivamente domésticos en las UPI's urbanas.

Fuente: Propia





En términos generales, se observa que el régimen de extracción promedio de pozos exclusivamente domésticos para la isla fue de 1917 l/día equivalente a 1,9 m³/día, alcanzando un máximo de 3679 l/día en R7 y un mínimo de 1038 l/día en U16 (**Grafica 25**).



Grafica 25. Régimen de extracción promedio en l/día en pozos exclusivamente domésticos en las UPI's rurales y urbanas.

Fuente: Propia



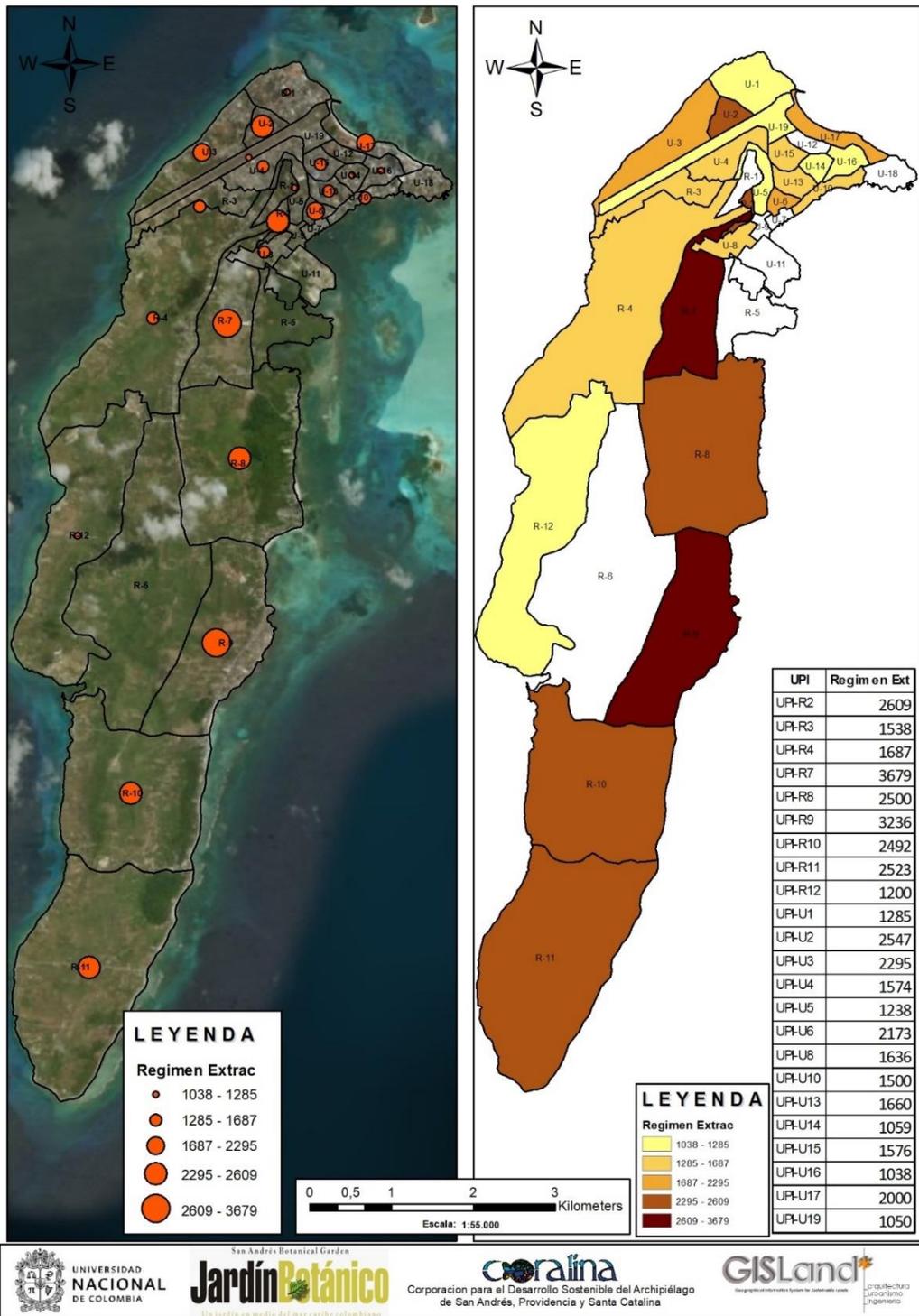
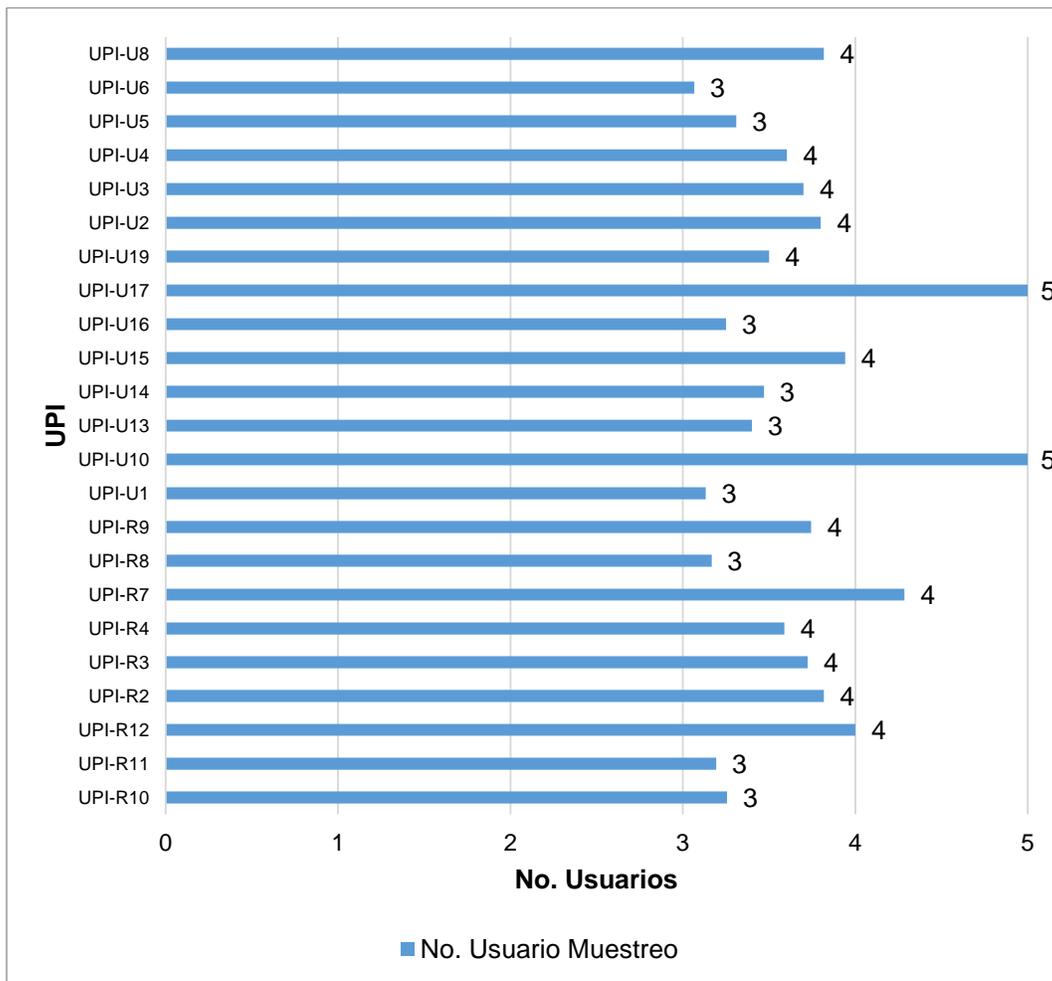


Figura 12. Régimen de extracción o presión por uso de pozos exclusivamente domésticos vs UPIs
Fuente: Propia

4.4.3. Cálculo de la demanda en pozos exclusivamente domésticos

Teniendo en cuenta que los valores de los datos de usuarios promedio que habitan una vivienda (DANE, 2013) y los registros de campo encontrados para las UPI's son parecidos según lo consignado en el ítem 4.2, se tomaron los resultados del número promedio de usuarios del muestreo (**Grafica 26**) y el régimen de extracción o presión por uso en cada UPI para calcular la demanda por UPI. Estas variables se relacionan mediante la ecuación que se describe a continuación:

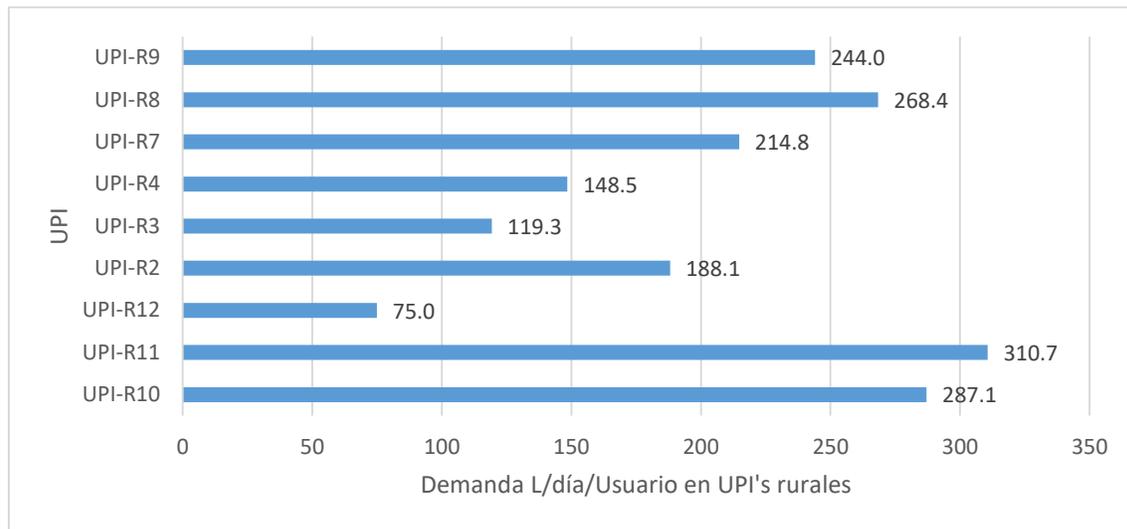
$$\text{Demanda de agua} = \text{Presión por uso} / \text{Número de viviendas por UPI} / \text{Número usuarios promedio por UPI}$$



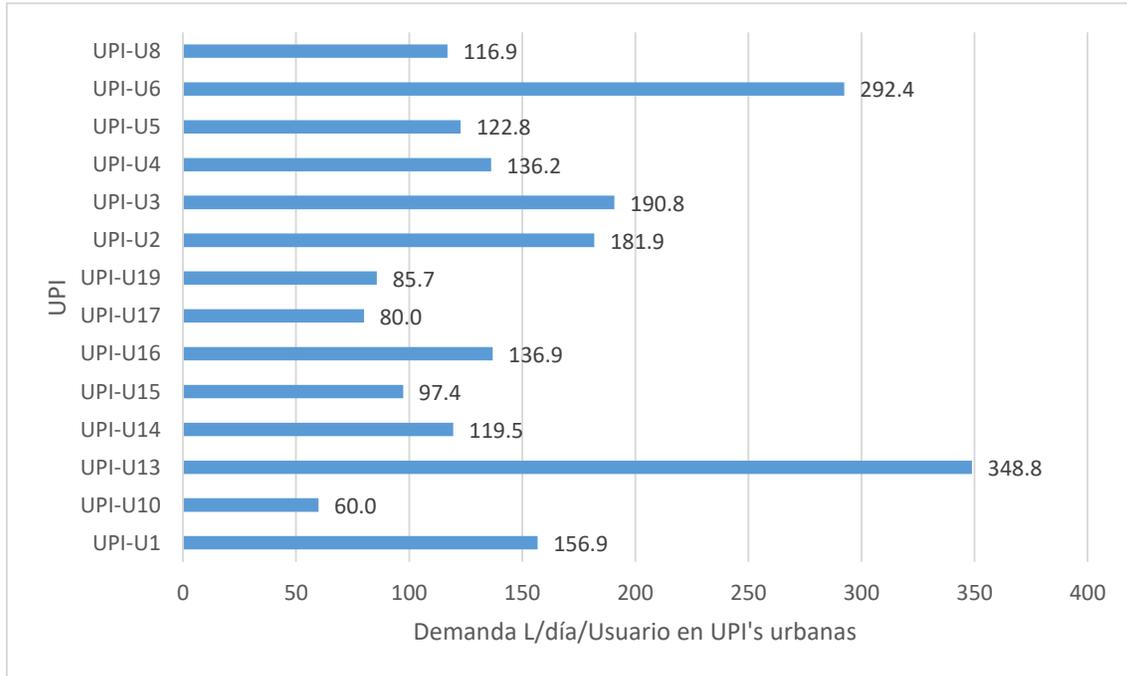
Grafica 26. Número promedio de usuarios por pozo del muestreo, reportado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.

Fuente: Propia

Con la información anteriormente descrita se obtuvo la demanda, es decir el valor de consumo en l/día por cada usuario. Las UPI's rurales más representativas del sector, es decir que presentan mayores demandas corresponden a la R11, R10 y R8 (**Grafica 27**). No obstante, la UPI urbana U13 (**Grafica 28**) fue la que tuvo el mayor valor de consumo por usuario de todo el estudio (348,8 l/día). El siguiente valor representativo es el observado en la U6 (292,4 l/día).



Grafica 27. Demanda promedio en l/día por usuario, calculado para las diferentes UPI's rurales.
Fuente: Propia



Grafica 28. Demanda promedio en l/día por usuario, calculado para las diferentes UPI's urbanas.
Fuente: Propia

En promedio los datos arrojan que una persona consume o hace uso de 173,1 litros de agua subterránea por día. Aunque este valor es relativamente alto, es interesante ver que el máximo registro de consumo alcanzó los 348,8 l/día y el mínimo los 60,0 l/día, valor cercano a otros reportes bibliográficos (**Grafica 29**).

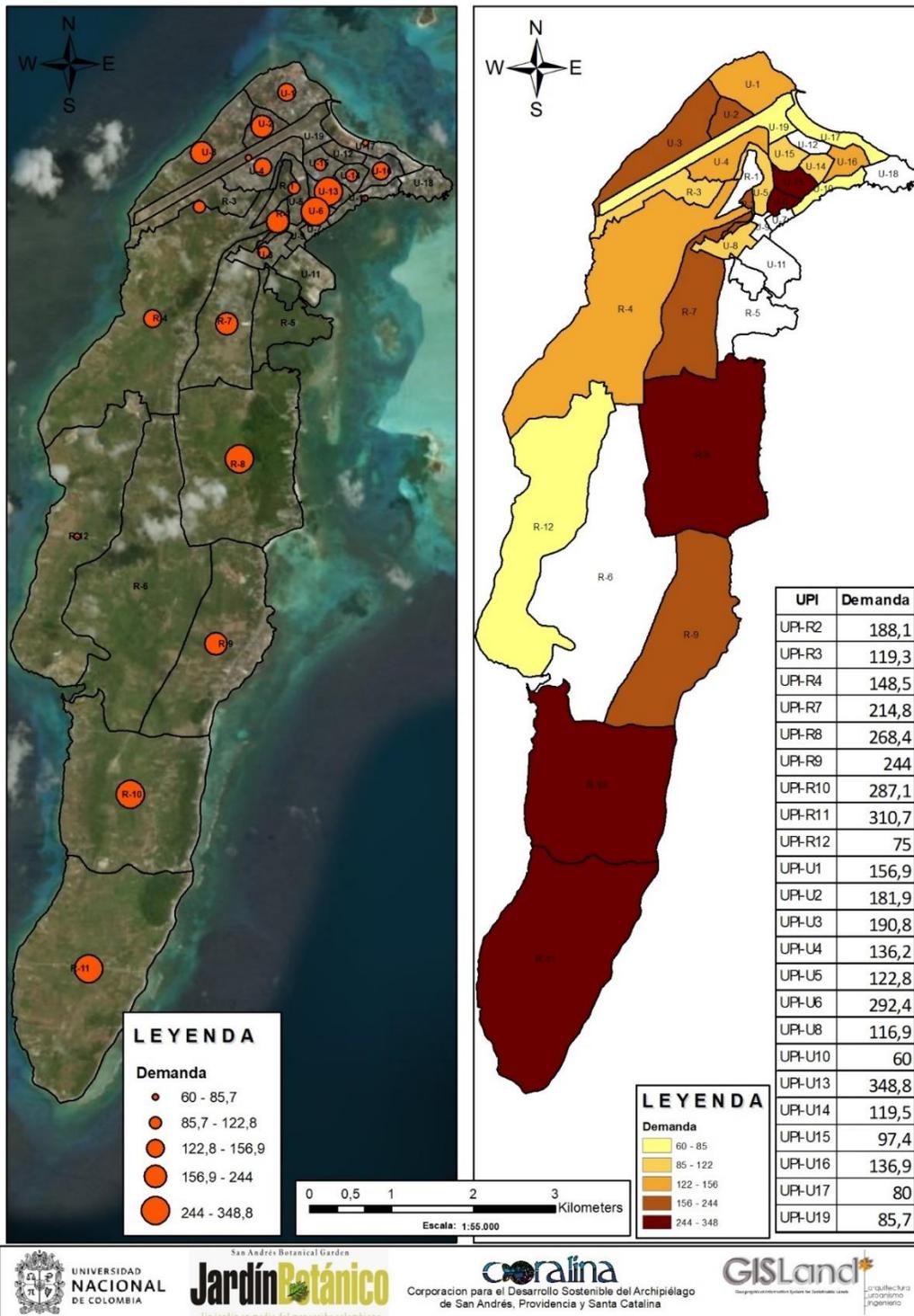


Figura 13. Demanda promedio en l/día por usuario, calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.

Fuente: Propia



Al correr el análisis de varianza (ANOVA) se encuentra nuevamente que las UPI's tanto rurales como urbanas presentan diferencias significativas en la demanda de agua (l/día/usuario). La prueba se realizó con un nivel de significancia del 95% (**Tabla 15**).

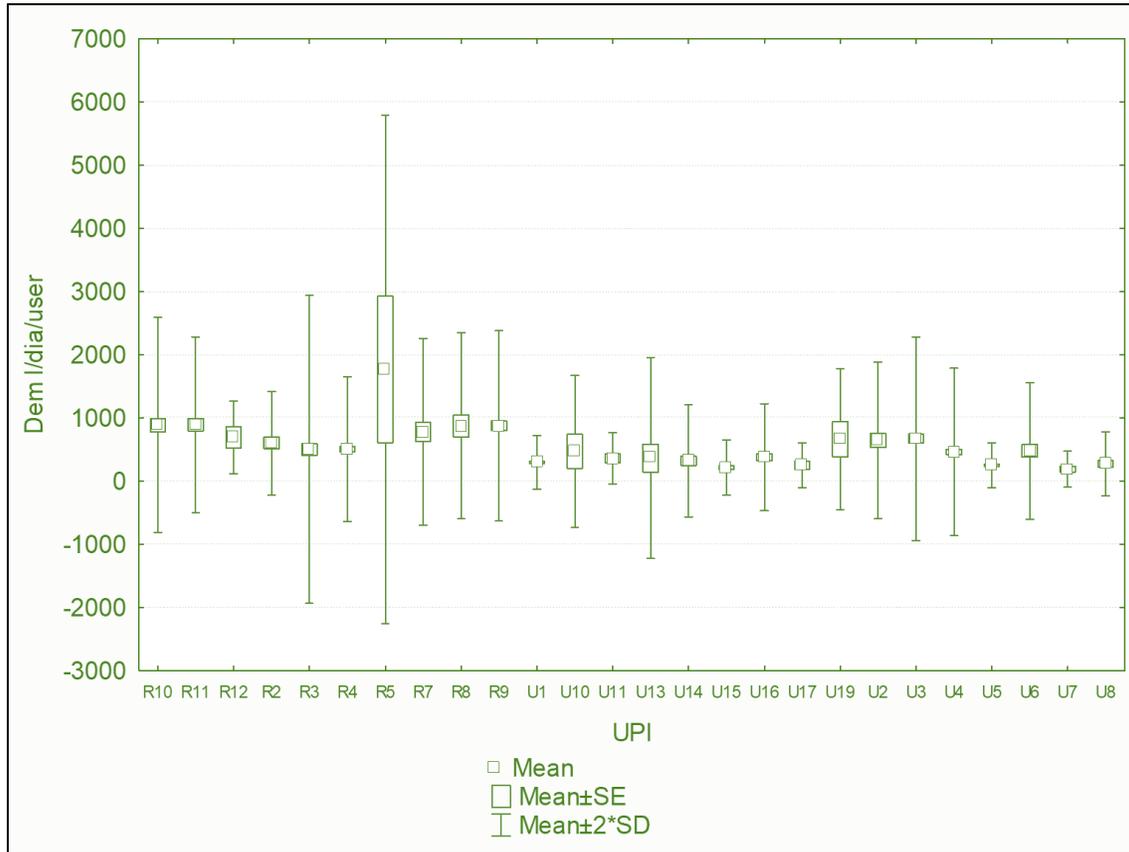
Tabla 15. Prueba de significancia de la ANOVA para la demanda de agua (l/día/usuario) de las diferentes UPI's
Fuente: Propia

Efecto	SS	GL	MS	F	p
Intercepto	59306423	1	59306423	177,7006	0,00
UPI	34053668	23	1480594	4,4363	0,00
Error	223941943	671	333744		

SS: suma de cuadrados, GL: grados de libertad, MS: cuadrados medios, F: prueba F, P: probabilidad



El análisis post ANOVA nos indica que las UPI's rurales R7 y R9, y la UPI U3 son estadísticamente diferentes a las demás (**Grafica 30**).



Gráfica 30. Gráfica del promedio y desviación estándar demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's rurales y urbanas.
Fuente: Propia

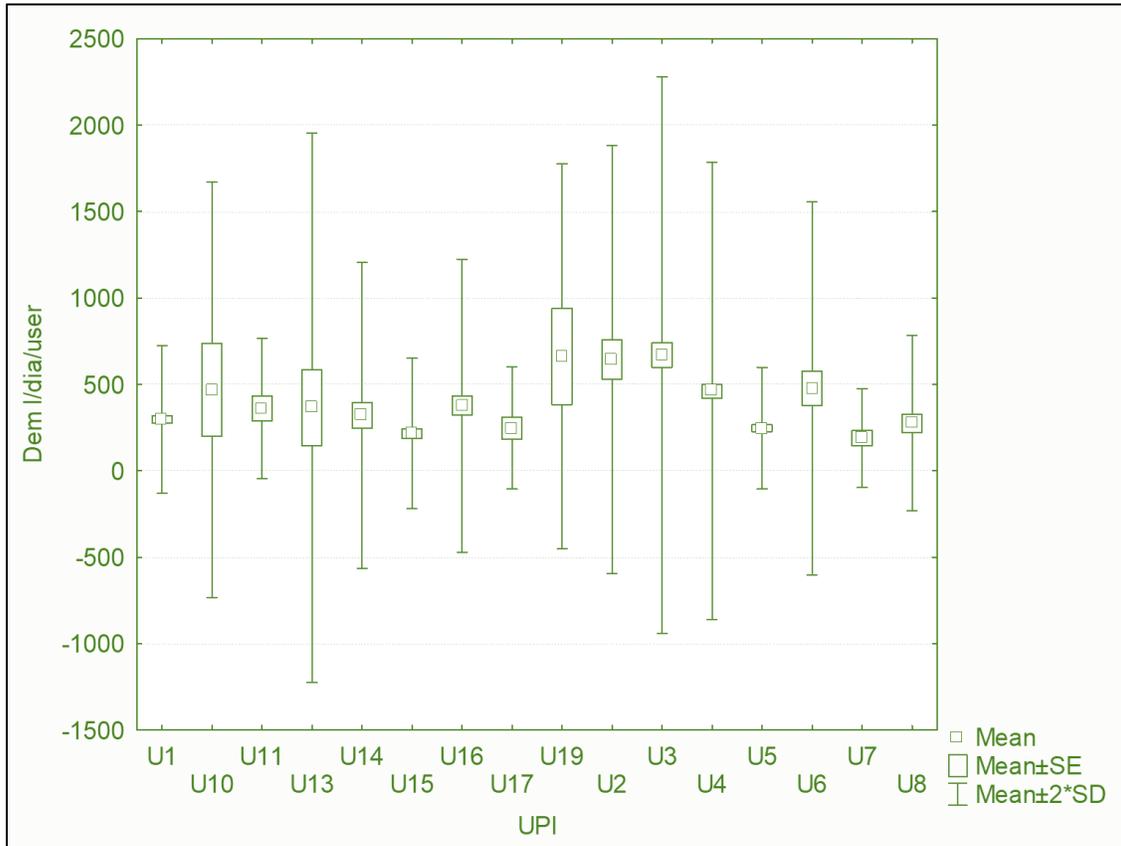
Con los resultados anteriores y buscando algún patrón o tendencia específico, se corrió un análisis de varianza independiente para las UPI's urbanas (**Tabla 16 y Gráfica 31**) y otro para las UPI's rurales (**Tabla 17 y Gráfica 32**). No obstante, los resultados se mantuvieron, mostrando diferencias entre las UPI's para ambos casos

Tabla 16. Prueba de significancia de la ANOVA para la demanda de agua (l/día/usuario) de las UPI's urbanas.

Fuente: Propia

Efecto	SS	GL	MS	F	p
Intercepto	36266523	1	36266523	118,5751	0,00
UPI	18683010	15	1245534	4,0723	0,00
Error	262421580	858	305853		

SS: suma de cuadrados, GL: grados de libertad, MS: cuadrados medios, F: prueba F, P: probabilidad



Grafica 31. Gráfica del promedio y desviación estándar demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's urbanas.

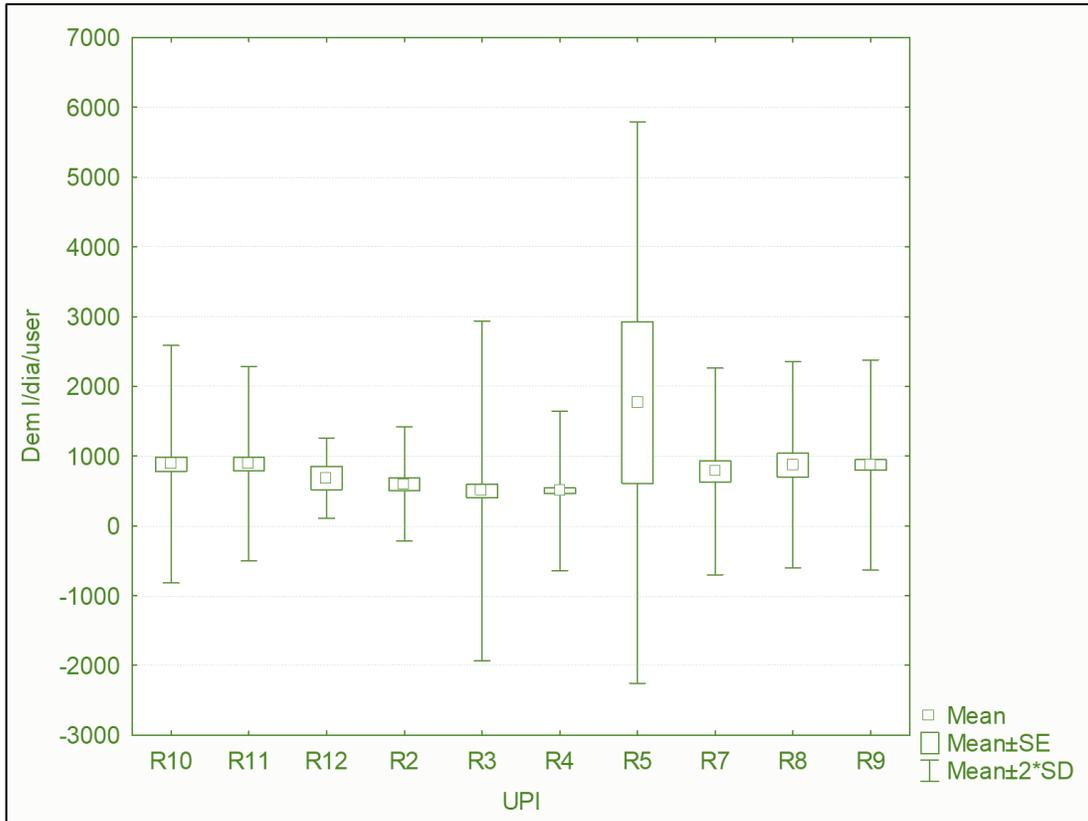
Fuente: Propia

Tabla 17. Prueba de significancia de la ANOVA para la demanda de agua (l/día/usuario) de las UPI's rurales

Fuente: Propia

Efecto	SS	GL	MS	F	p
Intercepto	80372700	1	80372700	106,5112	0,00
UPI	24381127	9	2709014	3,5900	0,000226
Error	472375892	626	754594		

SS: suma de cuadrados, GL: grados de libertad, MS: cuadrados medios, F: prueba F, P: probabilidad



Grafica 32. Gráfica del promedio y desviación estándar demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's rurales.

Fuente: Propia

4.4.4. Análisis geoestadístico de la demanda en pozos domésticos

En el presente estudio el análisis espacial buscó comparar el patrón de las áreas con valores de demanda bajos con el patrón de las áreas con demandas altas para determinar si las áreas de corte están más agrupadas de lo esperado, dada la distribución general de todos los reportes de las diferentes UPI's.

Teniendo en cuenta que las áreas de análisis son relativamente amplias, el análisis se interpreta diferenciando las UPI's rurales de las urbanas (**Figuras 8, 9 y 10**).

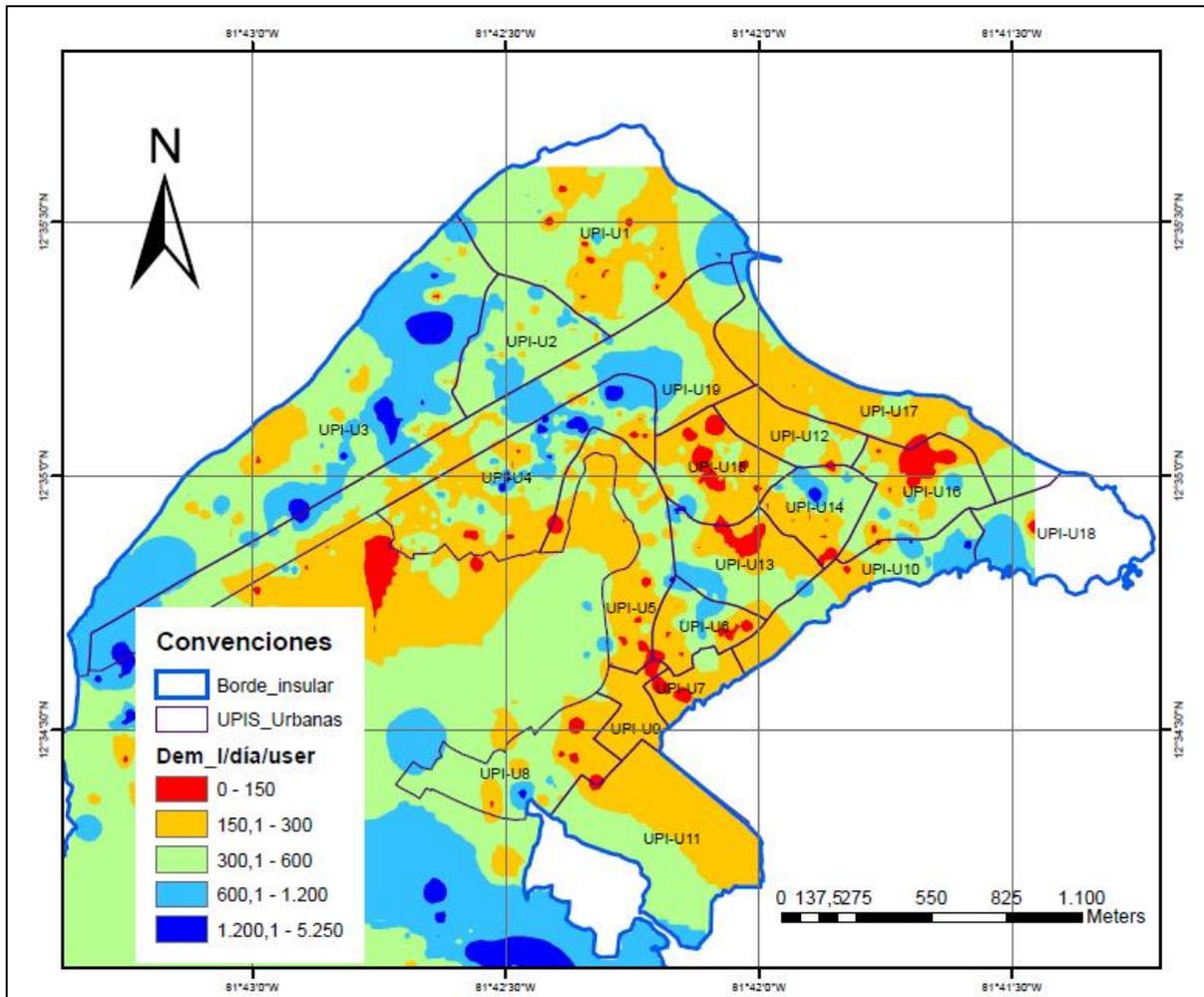


Figura 14 Análisis geoestadístico IDW calculado para la demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's urbanas.

Fuente: Propia

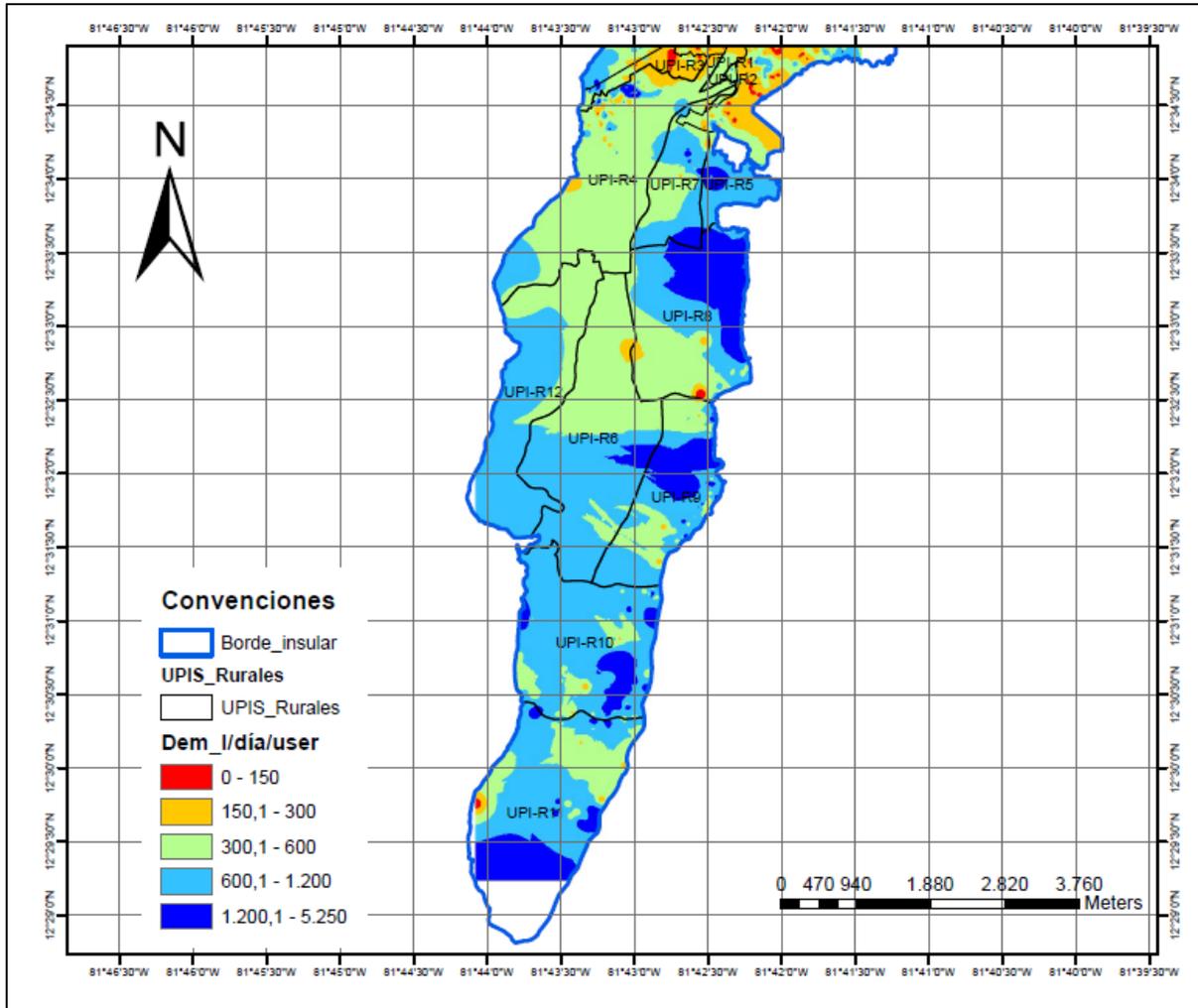


Figura 15 Análisis geoestadístico IDW calculado para la demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's rurales.
Fuente: Propia

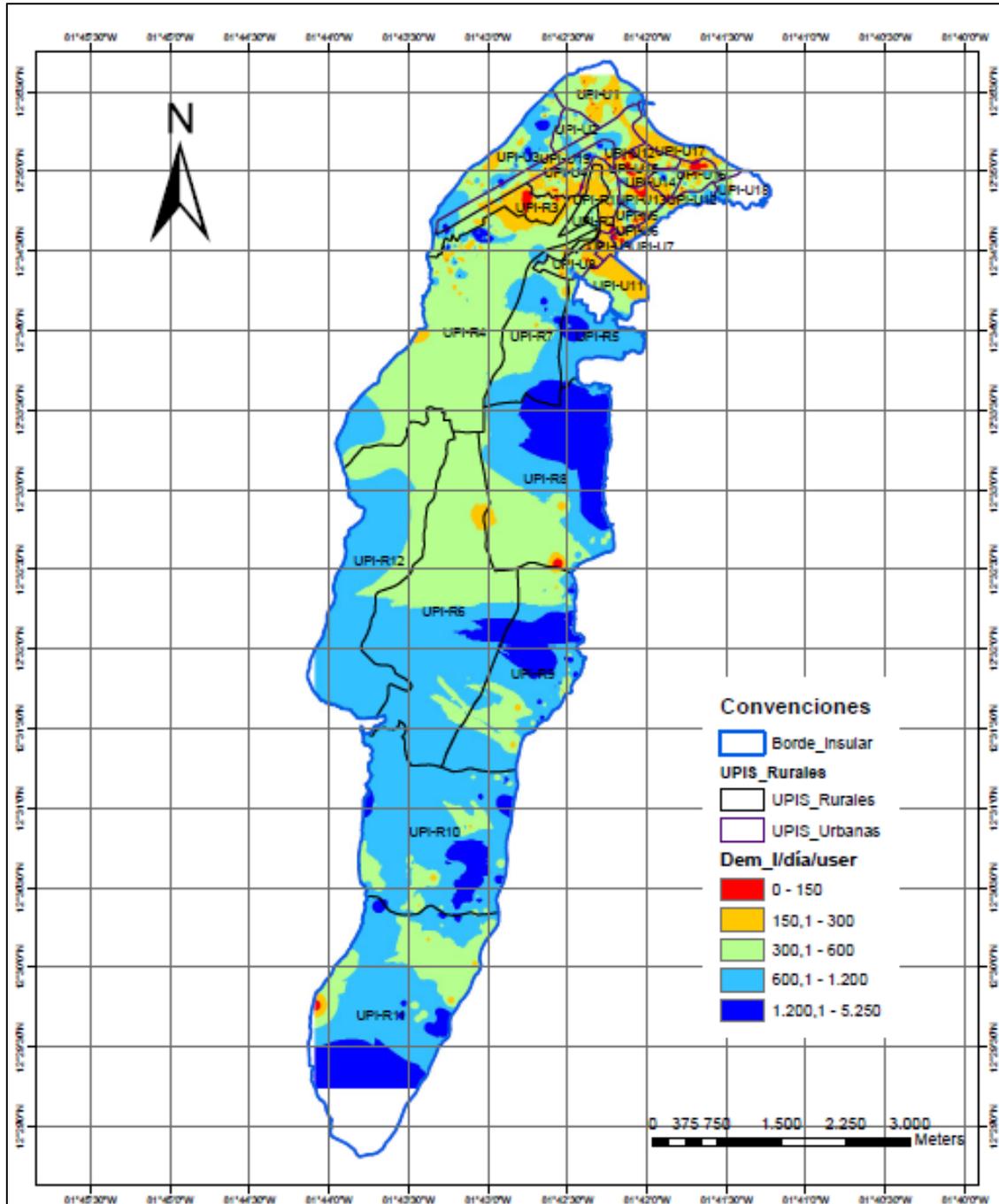


Figura 16 Análisis geostatístico IDW calculado para la demanda (l/día/usuario), calculado para las diferentes UPI's.
Fuente: Propia



4.5. Conclusiones

En términos generales el análisis de la presión por uso, entendida como la extracción de agua subterránea por unidad de tiempo se calculó basada en datos de campo obtenidos mediante la aplicación del formulario FUNIAS en UPI's tanto urbanas como rurales.

Las variables empleadas para el cálculo de la presión por uso fueron: el caudal de extracción, obtenido a partir de la potencia de la bomba en HP y aplicando los aforos estándar reportados para nuestro país; y el régimen de bombeo expresado en diferentes unidades (l/min, l/día, m³/día).



Para el cálculo de la presión por uso total, se analizaron 10 UPI's de tipo rural y 16 de tipo urbano alcanzando un total de 1511 registros completos.

El régimen de extracción general promedio para la isla fue de 2156 l/día equivalente a 2,1 m³/día, alcanzando un máximo de 4896 l/día y un mínimo de 858 l/día. Por su parte el régimen de extracción promedio para **uso doméstico** exclusivamente, para la isla fue de 1917 l/día equivalente a 1,9 m³/día, alcanzando un máximo de 3679 l/día y un mínimo de 1038 l/día.

Las UPI's que presentaron un mayor régimen de extracción fueron la R5, seguida por las R7 y R9 respectivamente. Esto se debe a que en estas UPI's se reportan extracciones continuas con bombas de alto caudal y con un régimen de bombeo de hasta dos (2) horas diarias durante los siete (7) días de la semana.

Los resultados del análisis de varianza ANOVA indican que existen diferencias significativas de la extracción en las diferentes UPI's tanto rurales como urbanas, ya que existen promedios estadísticamente altos respecto a la tendencia general, aunque las desviaciones estándar de los mismos se encuentran en el mismo rango de interpretación.

Se pudo determinar que, en promedio, en la isla se explotan 8 m³ de agua subterránea a la semana por pozo, oscilando entre 3 y 18 m³ respectivamente. Nuevamente dos (2) UPI's rurales presentaron los valores altos de extracción siendo la R7 y R9 las más representativas. En el área urbana, las UPI's U19 y U2 fueron las de mayores reportes con 14 y 11 m³/semana respectivamente. Los menores valores se observaron en las UPI's U1, U5 y U7 con 3 m³/semana. El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre las clases de UPI's monitoreadas.



Para analizar la demanda de agua, se tuvo en cuenta el régimen de extracción sólo de pozos de uso exclusivamente doméstico y el número de usuarios reportados en el FUNIAS, Capítulo 9, “Usos del Agua”. En total se analizaron 695 registros completos, y en promedio se observa que una persona residente consume o hace uso de 173,1 litros de agua subterránea por día. Este valor no dista del reportado por la Corporación Ambiental²⁹ equivalente a 150 l/día para residentes.

La ANOVA realizado para la demanda de agua (l/día/usuario) reporta nuevamente que las UPI's tanto rurales como urbanas presentan diferencias significativas con un nivel de significancia del 95%.

Con los resultados anteriores se puede inferir que cada Unidad de Planificación Insular UPI se comporta de manera independiente, por lo tanto, su análisis debe llevarse a cabo de la misma manera. Se sugiere revisar los reportes de las UPI's rurales ya que aparentemente están direccionando o sesgando los demás resultados.



²⁹ Diagnóstico actualizado de la oferta y demanda de agua en la isla de San Andrés para toma de decisiones a nivel de administración del Recurso Hídrico (2016-2017). CORALINA. 2017



5. TENSORES CONTAMINANTES DE LA EXPLOTACIÓN DOMESTICA DE AGUA SUBTERRÁNEA

5.1. Análisis

Las aguas subterráneas son una de las principales fuentes de suministro para uso doméstico y para el riego en muchas partes del mundo. La isla de San Andrés, depende en la actualidad en más de un 80% del agua subterránea para su abastecimiento, sin embargo, su explotación a través de aljibes, pozos barrenados y pozos profundos se ve afectada por explotaciones anti-técnicas, fugas de aguas servidas de la red de alcantarillado y en general por el poco conocimiento del sistema acuífero³⁰. En lugares en los que las precipitaciones son escasas e irregulares son un recurso vital y una gran fuente de riqueza, ya que son limitantes para la supervivencia de los asentamientos humanos.

Las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Esto sucede porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación.

Las aguas subterráneas son contaminadas por las actividades que se desarrollan en la superficie por la acción antrópica y dentro de las cuales sobresalen³¹:

- a) Derrame o fuga de sustancias toxicas en la superficie que posteriormente se infiltran (aceites y grasas, aguas residuales, residuos, químicos, etc.).
- b) Hidrocarburos por filtración de tanques de almacenamiento subterráneo o derrames accidentales.
- c) Sobre explotación de los acuíferos poniendo en riesgo la recarga y normal funcionamiento del mismo.
- d) Inadecuado mantenimiento de los sistemas de extracción de los pozos.
- e) Contaminación biológica de las aguas subterráneas por sobrealimentación o mal funcionamiento de sistemas sépticos o fugas en la red de alcantarillado.
- f) Eliminación, impermeabilización o urbanización de las zonas de recarga de los acuíferos.



³⁰ Metodología de Trabajo para Actualización del Inventario de Puntos de Agua Subterránea en la Isla de San Andrés utilizando el formato FUNIAS. CORALINA, 2017

³¹ Orozco com pers, 2018



Una vez contaminada, la limpieza del agua subterránea es muy complicada por su difícil acceso. Además, el uso indiscriminado de aguas subterráneas puede generar agotamiento del recurso.

En el marco del documento de Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua del año 2013, emitido por el IDEAM, así como la Resolución 955 de 2012, donde se adopta el Formato Único Nacional de Inventario de Aguas Subterráneas (FUNIAS) como herramienta para la caracterización de las aguas subterráneas a nivel nacional; el presente estudio toma en cuenta la información relevante a los tensores contaminantes para evaluar la vulnerabilidad del acuífero al analizar las variables que se consideraron relevantes.

En este sentido, se analizaron los datos reportados en el punto 10 del formulario “Diagnóstico Sanitario de la Captación” para 2161 pozos distribuidos de manera aleatoria entre las Unidades de Planificación Insular UPI’s, tanto del sector urbano como rural de la isla de San Andrés.

A continuación, se presenta en la **Tabla 18**, el listado de las 23 variables que se consideraron como tensores ambientales para las aguas subterráneas de la isla de San Andrés:



Tabla 18. Tensores ambientales de las aguas subterráneas de la isla de San Andrés.

Fuente: Formato FUNIAS.

Variable	Tipo
Presencia de charcos de agua estancada	Si/No
Distancia al charco en metros	Numérico
Existe una letrina Pozo Séptico	Si/No
Distancia a la letrina en metros	Numérico
Basura, criaderos o estiércol de ganado a su alrededor	Si/No
Distancia a la basura o estiércol de ganado en metros	Numérico
Borde o grieta que permita el ingreso de agua superficial al mismo	Si/No
Distancia a la grieta en metros	Numérico
Punto con cubierta adecuada	Si/No
Tiene sello sanitario	Si/No
Piso de cemento alrededor de la captación	Si/No



Cerco alrededor de la instalación adecuado	Si/No
Distancia en Metros/Cementerio	Numérico
Distancia en Metros/Estación de servicio	Numérico
Distancia en Metros/Lavadero de carros y motos	Numérico
Distancia en Metros/Pozo abandonado	Numérico
Distancia en Metros/Residuos sólidos	Numérico
Distancia en Metros/Residuos peligrosos	Numérico
Distancia en Metros/Campo de infiltración	Numérico
Distancia en Metros/Plantas de sacrificio	Numérico
Distancia en Metros/Lagunas de oxidación	Numérico
Distancia en Metros/Otra Fuente de contaminación	Numérico
Distancia en Metros/Disposición de residuos sólidos	Numérico



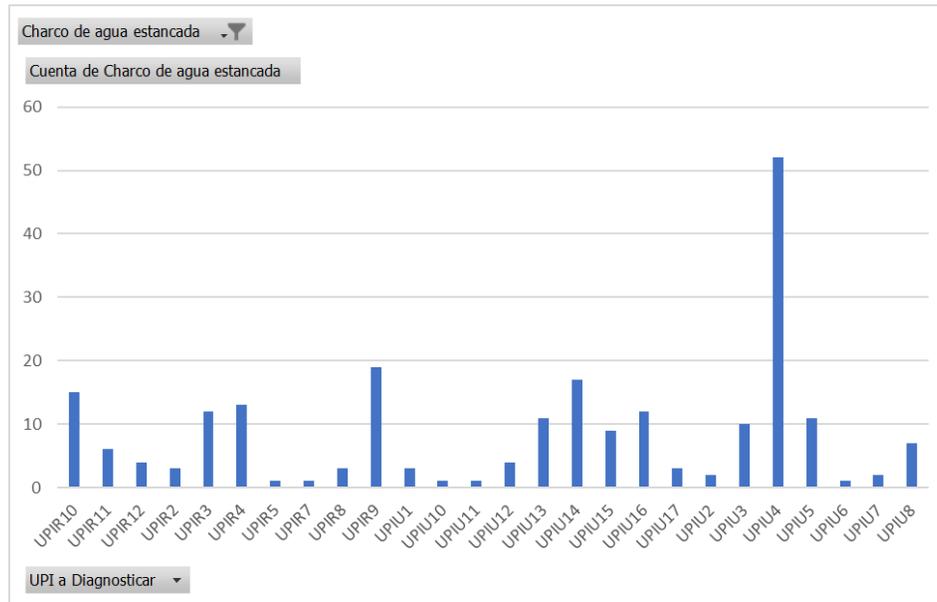
Después de descargar la información del formulario digital, los registros obtenidos fueron digitalizados y organizados en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel®. Para cada punto de monitoreo se separa la información de las variables de estudio. Inicialmente se aplicó estadística descriptiva para determinar las tendencias y posteriormente, en los casos necesarios, se hicieron las transformaciones requeridas para un análisis paramétrico.

De esta manera se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las UPI's muestreadas.

5.1.1. Presencia de charcos de agua estancada

El primer tensor ambiental analizado fue la presencia de charcos de agua estancada que eventualmente pueden contaminar el acuífero al influenciar los procesos de infiltración. Durante el muestreo se reportan 223 viviendas con pozos que pueden estar influenciados por la presencia de aguas estancadas.

Los resultados indican (**Grafica 33**) que la UPI U4 (urbana) presentó la mayor cantidad de reportes, seguida por la UPI R10 y R9 (rurales).



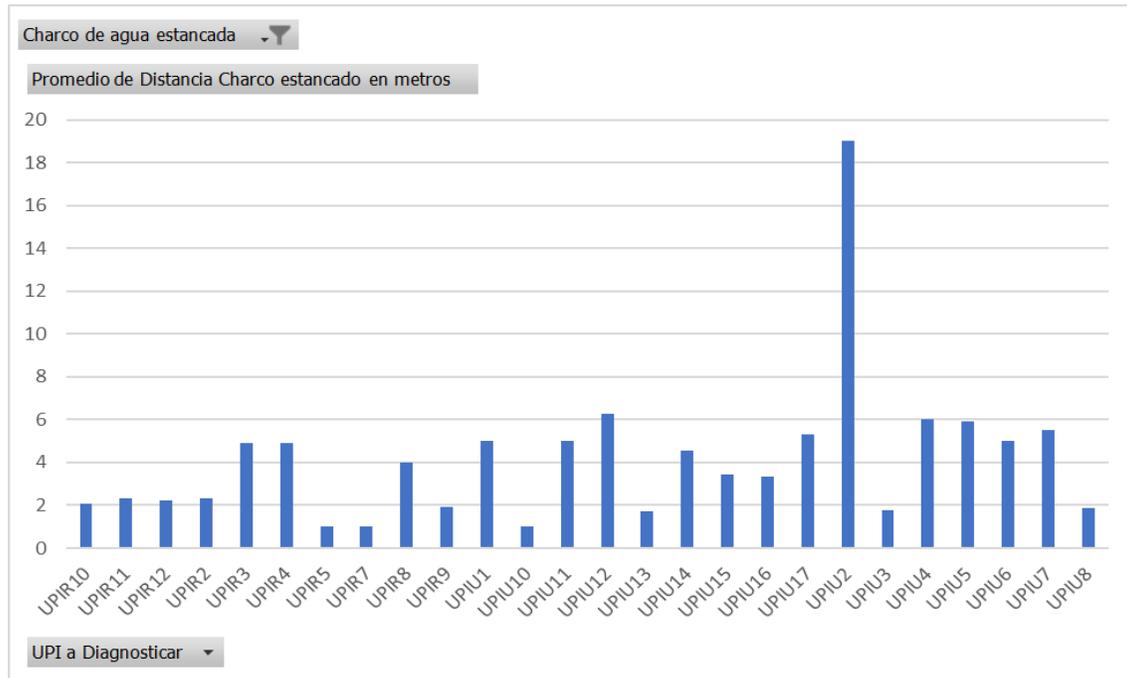
Grafica 33. Número de reportes de charcos con agua estancada, cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.

Fuente: Propia



5.1.2. Distancia al charco en metros.

Al analizar la distancia promedio de este factor, se encontró que en las UPI's anteriormente descritas la distancia osciló entre 2 y 6 m, aunque es interesante observar que la UPI U2, aunque presentó pocos registros, éstos tuvieron las mayores distancias respecto al pozo.



Grafica 34. Distancia promedio en metros del charco con agua estancada al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.

Fuente: Propia

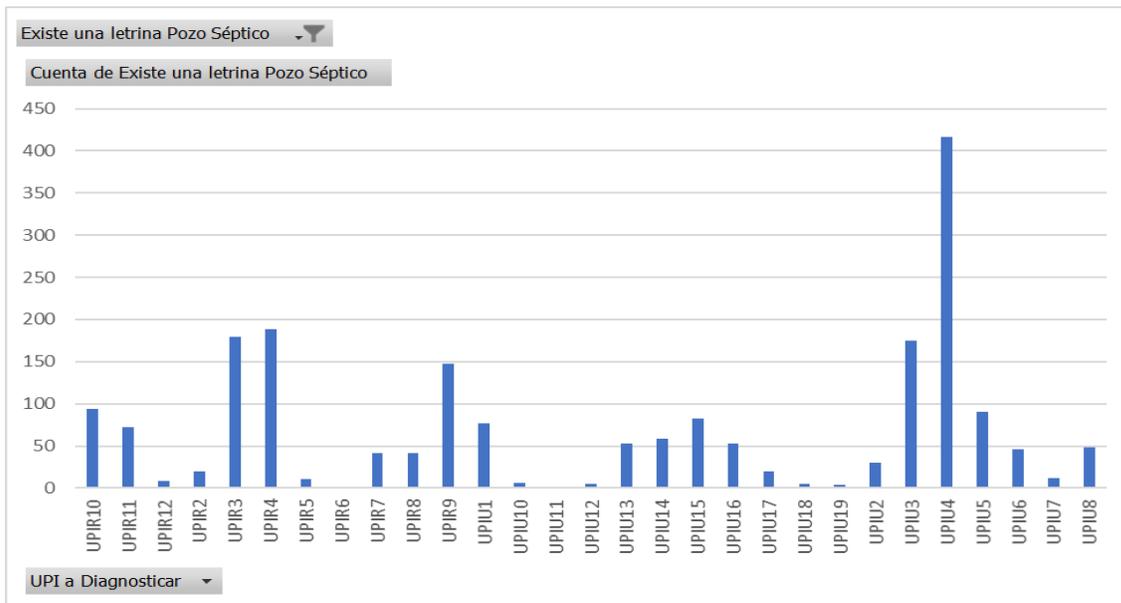


Figura 17. Presencia de charcos de agua estancada
Fuente: Propia

5.1.3. Existe una letrina o pozo séptico

Este es uno de los resultados más interesantes del estudio ya que la presencia de letrinas o pozos sépticos cerca de los puntos de captación de aguas subterráneas ha sido considerada como uno de los factores con mayor impacto en la contaminación de los acuíferos, especialmente cuando los sistemas sépticos se han construido de manera inapropiada y permiten la infiltración de sus aguas. En la isla tradicionalmente se construían pozos sin fondo, lo cual incrementa todos los factores de riesgo. Los registros indican que un 92% de las viviendas muestreadas (1988) reportan la presencia de estos sistemas cerca al punto de captación.

Como se puede observar la UPI U4 tiene 419 reportes, lo cual nos indica que la totalidad de las viviendas muestreadas tienen pozos bajo la influencia de los sistemas sépticos. Así mismo se presentan altos reportes para la UPI U3 y las UPI R3 y R4 (**Grafica 35**).



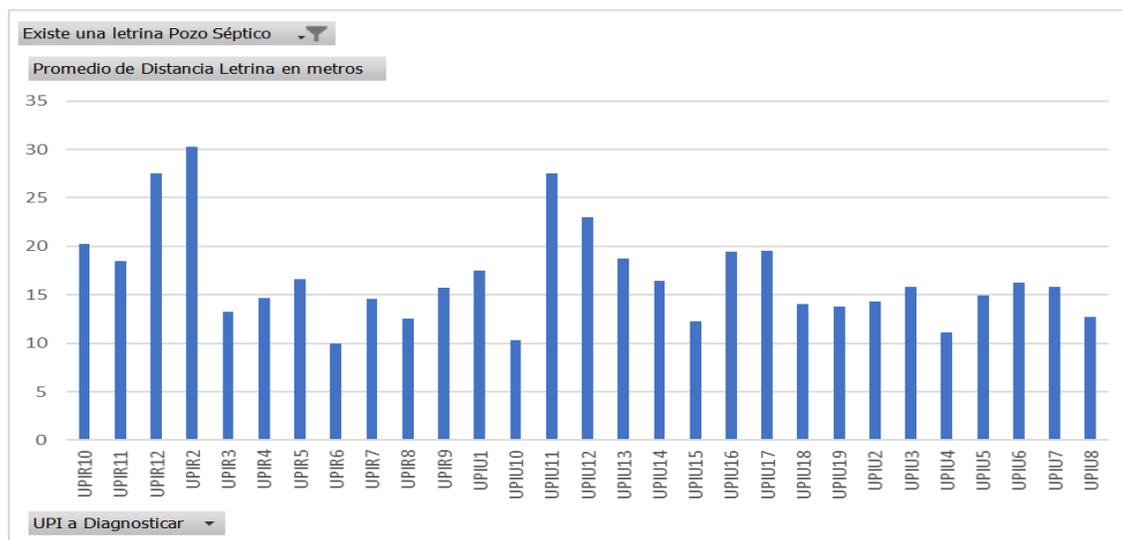
Grafica 35. Número de reportes de letrinas o pozos sépticos, cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.

Fuente: Propia

5.1.4. Distancia a la letrina en metros

Se encontró que en promedio los sistemas sépticos están a 15 m del punto de captación de agua, sin embargo, se observa que la UPI U4 cuya frecuencia de observación fue muy alta, presenta uno de los valores promedio más bajos de cercanía del pozo al sistema séptico (12 m). Esto también se observa para la UPI U10 y UPI R6 (**Grafica 36**).





Grafica 36. Distancia promedio en metros de letrinas o pozos sépticos cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.
Fuente: Propia

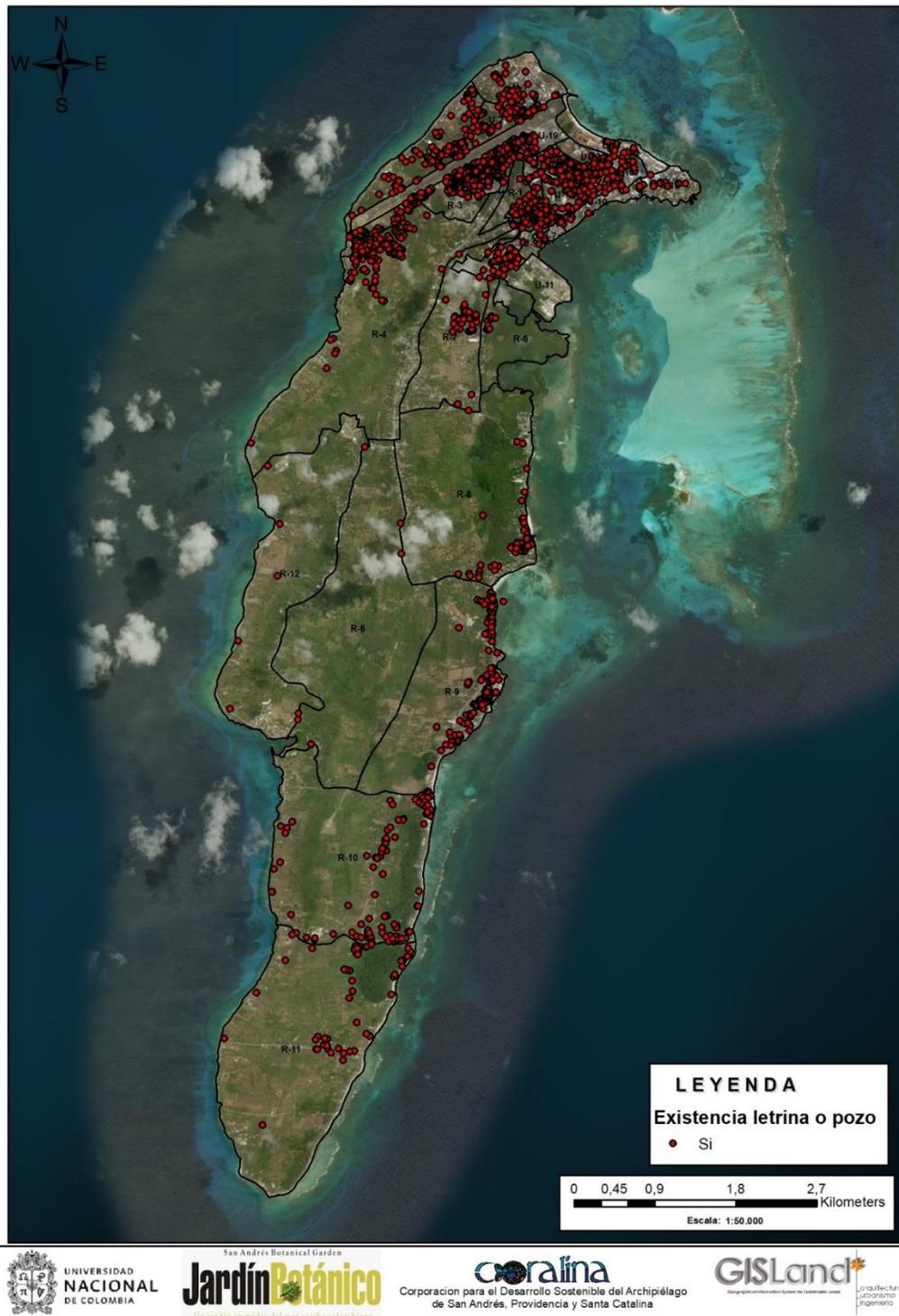


Figura 18. Existencia de letrina o pozo séptico
Fuente: Propia

5.1.5. Basura, criaderos o estiércol de ganado a su alrededor.

Aunque se conoce ampliamente el problema que suscita el manejo de los residuos sólidos o subproductos de criaderos de animales en la isla de San Andrés, es interesante saber que sólo 81 viviendas (3,8%) reportan cercanía de su punto de captación respecto a sitios de acumulación de este tipo de elementos. Nuevamente, se observa que la UPI U4 tuvo la mayor cantidad de reportes (8) seguida por la UPI U10 y U16 (**Grafica 37**).



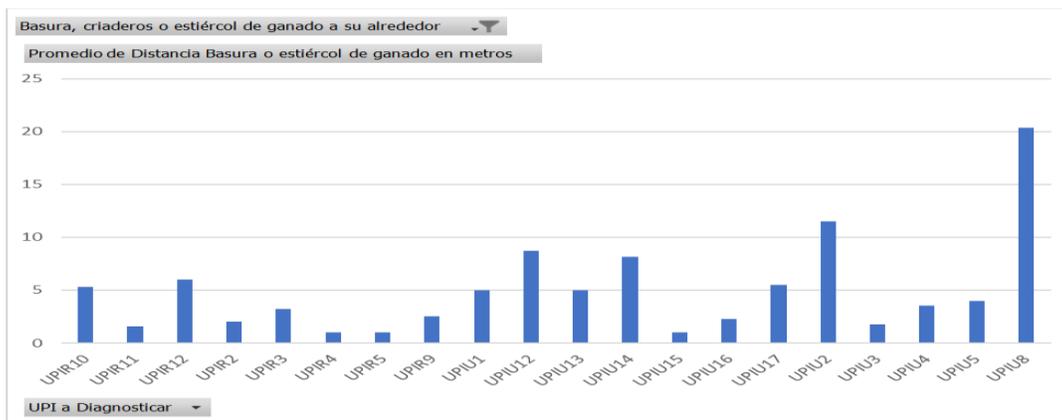
Grafica 37. Número de basuras, criaderos o estiércol de ganado cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.

Fuente: Propia



5.1.6. Distancia a la basura o estiércol de ganado en metros

Entre las UPI's que reportaron este tensor ambiental, las rurales presentaron los menores valores de este componente oscilando entre 2 y 4 metros de distancia, no obstante, el promedio general fue de 4.8 m (**Grafica 38**).



Grafica 38. Distancia promedio en metros de basura o estiércol de ganado cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.

Fuente: Propia

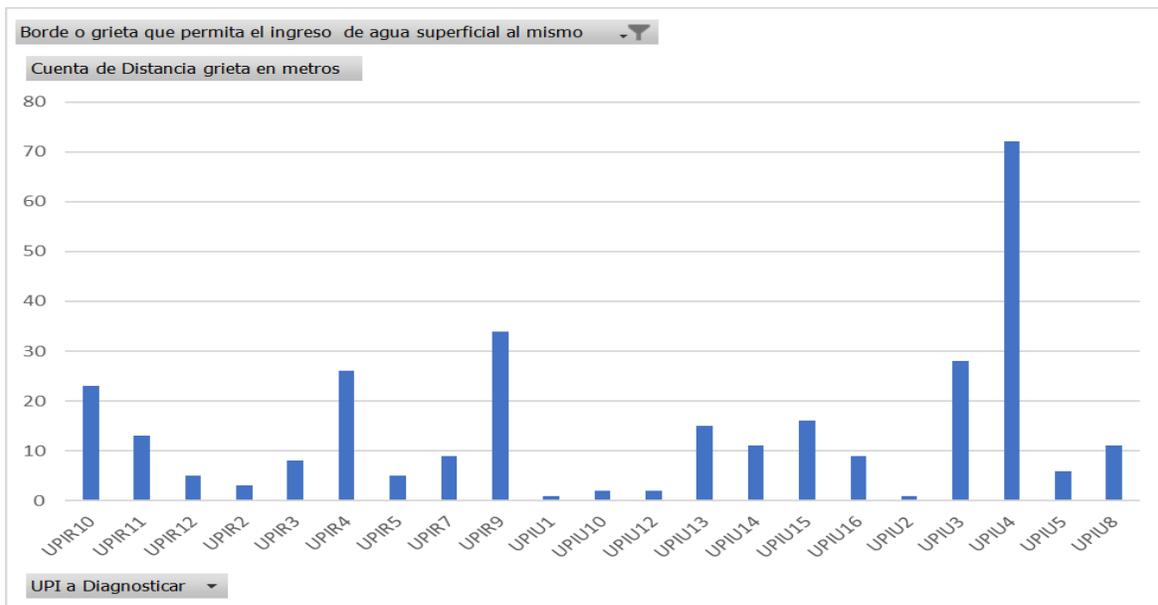


Figura 19. Basura, criaderos o estiércol de ganado a su alrededor.
Fuente: Propia

5.1.7. Borde o grieta que permita el ingreso de agua superficial al mismo.

La existencia de grietas, fracturas o cualquier deformación en la superficie terrestre puede convertirse en un punto crítico para el ingreso de factores contaminantes al acuífero. A través de este tipo de accidentes geomorfológicos puede existir un flujo directo de agentes contaminantes, al mismo tiempo que puede incrementar los índices de infiltración de los mismos. Se observa que un 14% de las viviendas encuestadas (300) reportan cercanía de dicha situación.

La **Grafica 39** nos muestra como la UPI U4 tiene la mayor cantidad de registros. En este punto sería interesante analizar el tipo de accidente reportado, ya que puede ser debido a la configuración del sustrato de cimentación del área o puede deberse a la percepción de las personas, lo cual puede introducir un sesgo a los resultados del estudio.

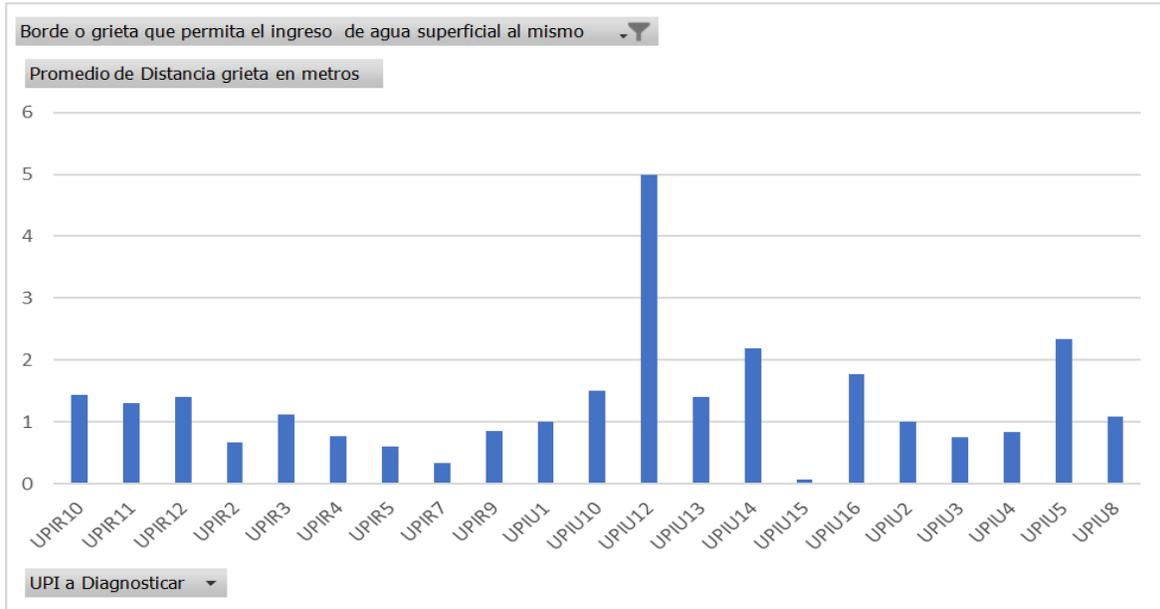


Grafica 39. Número de reportes de grietas cercanas al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.

Fuente: Propia

5.1.8. Distancia a la grieta en metros

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, la presencia de grietas o accidentes geomorfológicos en la UPI U4 indica que hay una alta vulnerabilidad debido a que la distancia al punto de captación es menor a 1 m (**Grafica 40**).



Gráfica 40. Distancia promedio en metros de grietas cercanas al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.
Fuente: Propia

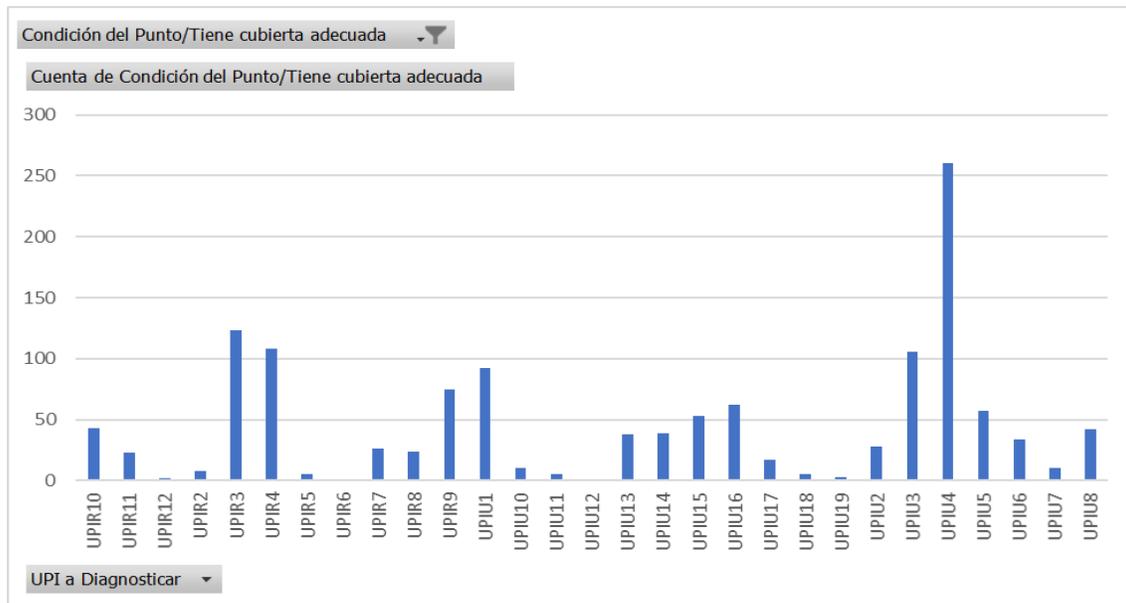


Figura 20. Borde o grieta que permita el ingreso de agua superficial al mismo
Fuente: Propia

5.1.9. Condición del punto de captación

5.1.9.1. Punto con cubierta adecuada.

Para garantizar la calidad del agua explotada a través de pozos domésticos se recomienda tener una cubierta adecuada. El estudio indica que un 60,2% de las viviendas encuestadas (1300) presentan esta condición. Nuevamente la UPI U4 presenta la mayor frecuencia de reportes lo cual indica que a pesar de su importancia en otros aspectos evaluados, existe una preocupación por parte de las personas por el mantenimiento de sus sistemas de explotación del recurso hídrico (**Grafica 41**).



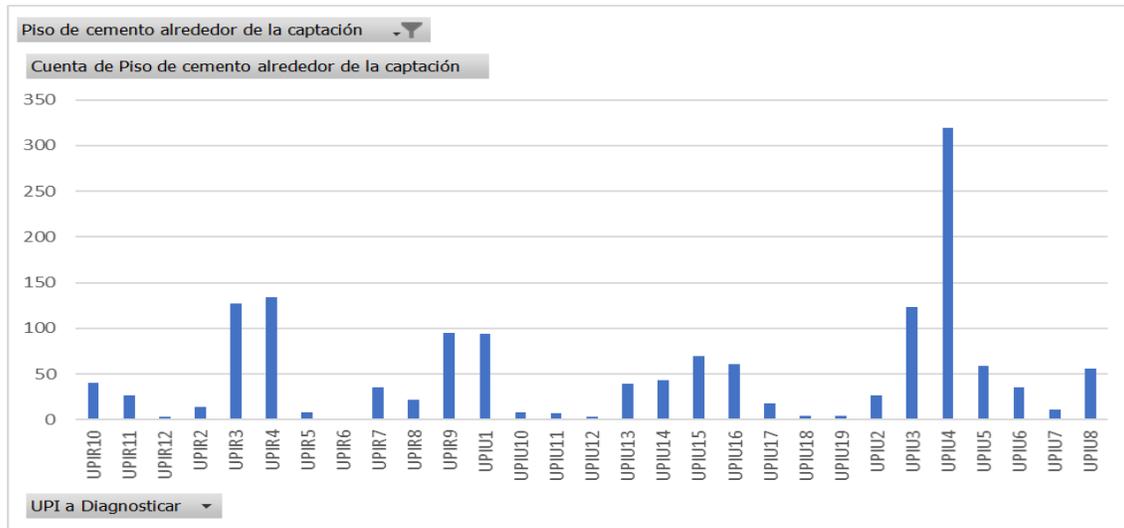
Grafica 41. Número de reportes de puntos de captación de pozos domésticos con cubierta adecuada en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.
Fuente: Propia



Figura 21. Punto con cubierta adecuada.
Fuente: Propia

5.1.9.2. Piso de cemento alrededor de la captación

La cimentación de las áreas adyacentes al punto de captación de un pozo se convierte en un factor positivo para el mismo ya que permite el buen mantenimiento del mismo. El estudio indica que el 70% de las viviendas encuestadas (1489) tienen al menos un piso de cemento. Como se observa en la **Grafica 42**, la UPI U4 presenta la mayor cantidad de pozos con esta característica con un 80% de los reportes para esta área de muestreo.



Grafica 42. Número de reportes de puntos de captación de pozos domésticos con piso de cemento alrededor en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.
Fuente: Propia

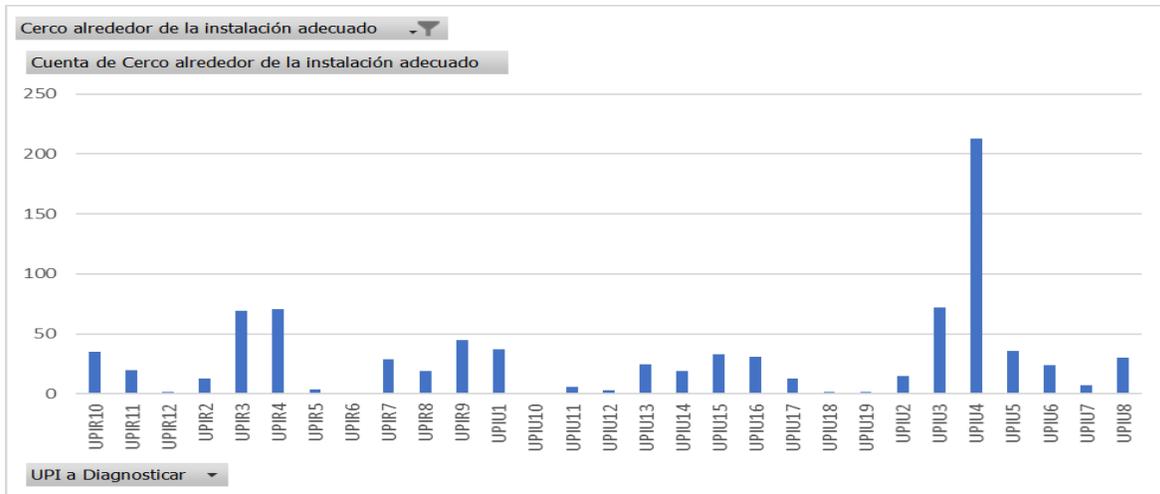




Figura 22. Piso de cemento alrededor de la captación
Fuente: Propia

5.1.9.3. Cerco alrededor de la instalación adecuado

Un 46,5% de las viviendas encuestadas (877) reportan la existencia de sistemas de protección perimetral, reafirmando la preocupación por el mantenimiento de unas buenas condiciones alrededor del punto de captación de agua. De manera reiterativa se observa la UPI U4 presenta el mayor número de registros, siendo consecuente con los resultados anteriores (**Grafica 43**).



Grafica 43. Número de reportes de puntos de captación de pozos domésticos con cerramiento en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.

Fuente: Propia



San Andrés Botanical Garden

Figura 23. Cerco alrededor de la instalación adecuado
Fuente: Propia

5.1.9.4. Tiene sello sanitario

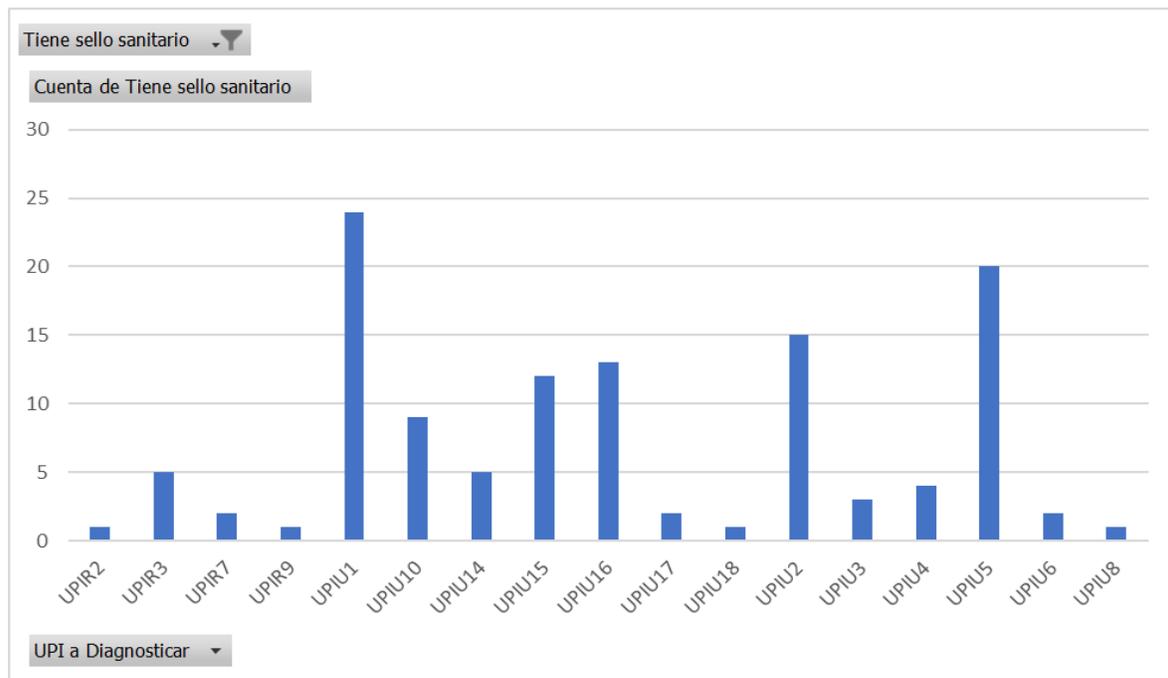
El “Sello Sanitario”, es una barrera impermeable que se coloca entre la perforación y la tubería de revestimiento del pozo con el fin de evitar la entrada de agentes contaminantes al agua subterránea. Esta barrera generalmente se hace con cemento, bentonita o una mezcla de ambos con aditivos químicos para facilitar el fraguado de la mezcla.

Bajo la Ley 9° de 1979, artículo 60 se exige la implementación del sello sanitario para todos los pozos construidos para el aprovechamiento del agua subterránea con la finalidad de protegerlo contra fuentes potenciales de contaminación.

El estudio nos muestra que solo un 14% de las viviendas encuestadas (120) presentan dicha característica. Este resultado nos puede sugerir que se debe fomentar su implementación para incrementar los niveles de protección de cada pozo doméstico.



En la **Grafica 44**, se observa que las UPI's urbanas U1 y U5 presentan las mayores frecuencias de observación (>20), sin embargo, en UPI's que tienen una mayor densidad de pozos, sólo se reportan máximo 5 (Ej. UPI U4, U3 y U8).



Grafica 44. Número de reportes de puntos de captación de pozos domésticos con sello sanitario en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.
Fuente: Propia





Figura 24. Tiene sello sanitario
Fuente: Propia

5.1.10. Cercanía a infraestructura o lugares potencialmente impactantes

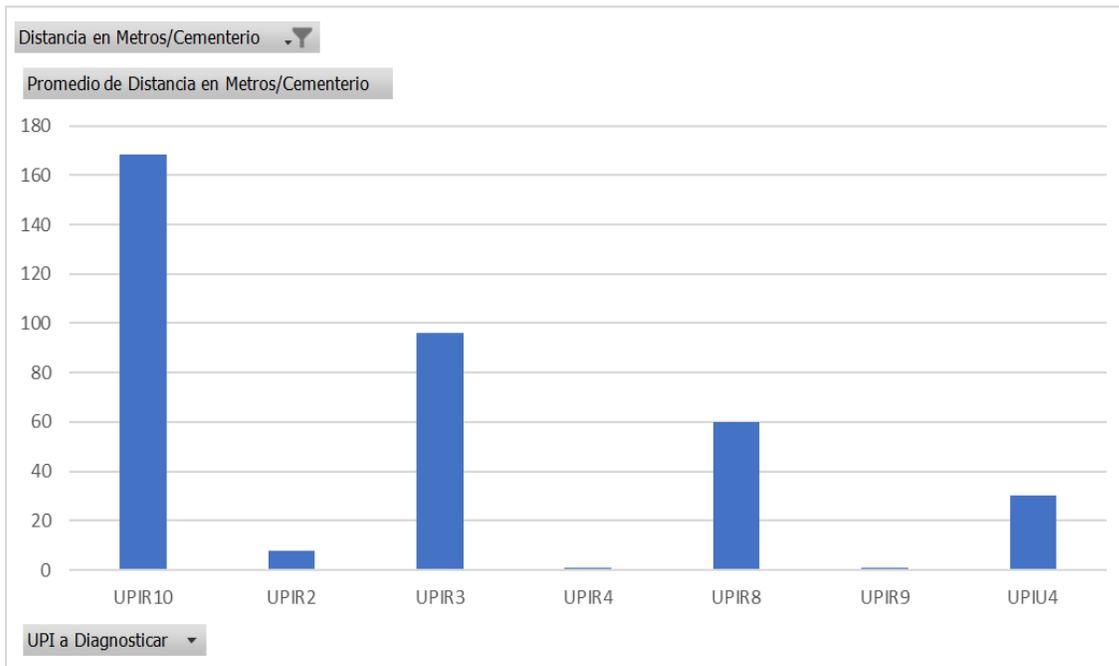
5.1.10.1. Distancia en metros/cementerio

La presencia de cementerios es un tensor ambiental con bastante relevancia para las aguas subterráneas. Los elementos que aportan este tipo de infraestructuras pueden constituirse como los mayores contaminantes o los más peligrosos para las aguas subterráneas.

Aunque existen cementerios formalmente establecidos en diferentes sectores de la isla, tradicionalmente se utilizan los terrenos descubiertos de las casas para sepultar a los seres queridos, lo cual incrementa el número de cementerios familiares.

No obstante, el estudio sólo muestra 13 reportes de viviendas con cercanía a cementerios, especialmente en las UPI's rurales.

Aunque en la UPI R10, R3 y R8 la distancia del cementerio al punto de captación es superior a 60 m; las R2, R4 y R9 reportan cercanía inferior a 10 m (**Grafica 45**).



Grafica 45. Distancia promedio en metros de cementerios cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.

Fuente: Propia



San Andrés Botanical Garden

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Jardín Botánico
Su Jardín es medio del mundo colombiano

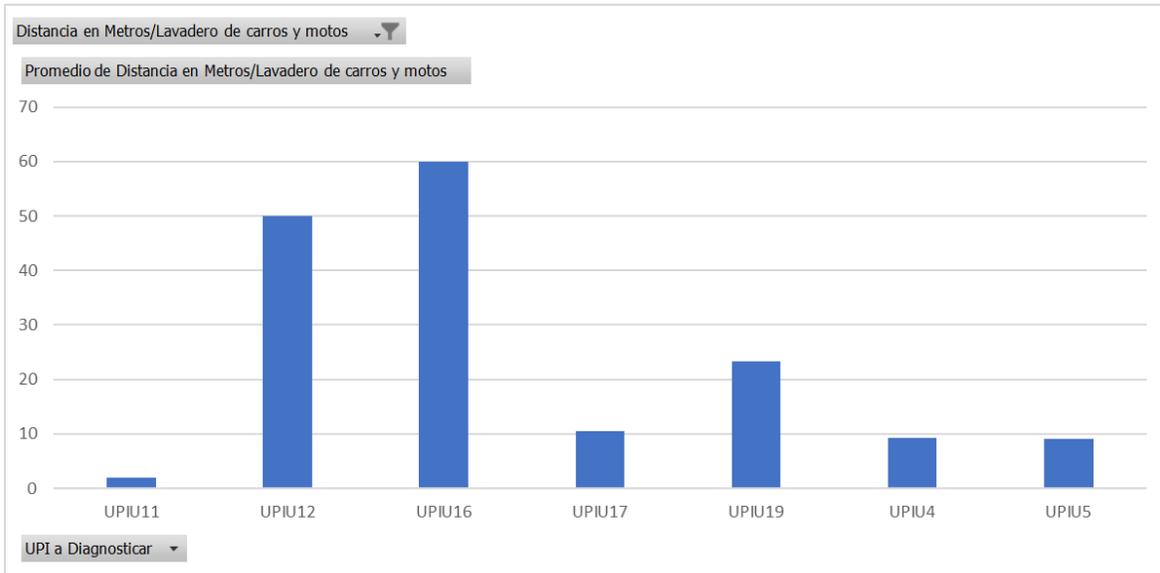
coralina
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

GISLand
Ingeniería de Infraestructura Urbana y Ambiental

Figura 25. Cercanía infraestructura cementerio
Fuente: Propia

5.1.10.2. Distancia en metros/lavadero de carros y motos

Aunque sólo se encontraron 20 reportes formales de la cercanía de lavaderos de carros y motos al punto de captación. Se considera importante reportar las UPI's con mayor frecuencia de observación.



Grafica 46. Distancia promedio en metros de lavaderos de carros o motos cercanos al punto de captación de pozos domésticos en las UPI's urbanas y rurales de la isla de San Andrés.

Fuente: Propia

La UPI U4 tuvo 8 registros seguida por la UPI U19 y U12 con 4 y 3 registro respectivamente. La distancia promedio a este tipo de infraestructuras es de 18 m, aunque en las UPI's U4, U5, U11 y U17 están a menos de 10 m (**Grafica 46**).





Figura 26. Cercanía infraestructura Lavadero de carros y motos
Fuente: Propia

5.1.11. Otros tensores

A continuación, se referencian los resultados obtenidos para cada componente de acuerdo a las preguntas del formulario FUNIAS, sin embargo, la frecuencia de respuestas hizo que no fueran relevantes para el análisis general ya que sólo hubo uno (1) o dos (2) registros.

a) Distancia en Metros/Estación de servicio

Sólo dos (2) viviendas de la UPI R2 reportaron cercanía a estaciones de servicios.



Figura 27. Cercanía infraestructura EDS



Fuente: Propia

b) Distancia en Metros/Pozo abandonado

Solo se reportan tres (3) pozos abandonados cerca de viviendas en la UPI U4, UPI U5 y UPI U12 respectivamente.



20 años Sede Caribe

SESQUICENTENARIO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Figura 28. Cercanía infraestructura Pozo abandonado

Fuente: Propia

c) Distancia en Metros/Residuos sólidos

Sólo una (1) vivienda de la UPI U3 reportó cercanía a residuos sólidos.

d) Distancia en Metros/Residuos peligrosos

Sólo dos (2) viviendas de la UPI U8 reportaron cercanía a residuos peligrosos.



Figura 29. Cercanía Residuos peligrosos

Fuente: Propia

e) Distancia en Metros/Campo de infiltración

Sólo una (1) vivienda de la UPI R 10 reportó cercanía a campos de infiltración.

f) Distancia en Metros/Plantas de sacrificio

Sólo dos (2) viviendas de las UPI R3 y UPI R10 reportaron cercanía a plantas de sacrificio.



Figura 30. Cercanía Planta de Sacrificio

Fuente: Propia

g) Distancia en Metros/Lagunas de oxidación

Sólo dos (2) viviendas de la UPI U 13 reportaron cercanía a lagunas de oxidación.

h) Distancia en Metros/Otra Fuente de contaminación

Sólo 33 viviendas reportaron cercanía a otras fuentes de contaminación, entre las que se resaltan los talleres de reparación, mantenimiento y lavado de automotores (carros y motos).





Figura 31. Cercanía Otra Fuente de contaminación
Fuente: Propia

5.2. Conclusiones

En términos generales el análisis de los tensores ambientales que eventualmente inciden de manera negativa sobre los pozos de explotación doméstica de aguas subterráneas en la isla de San Andrés es, en orden de relevancia: la cercanía de letrinas o pozos sépticos, la existencia de grietas o perforaciones que permiten la contaminación del acuífero y la presencia de charcos de agua estancada en el área de influencia de la vivienda.

Factores que evidentemente son considerados como agentes directos de contaminación para los acuíferos (residuos sólidos y/o especiales), presentaron valores muy bajos de reporte, lo cual puede ser un indicador de la falta de conciencia de las personas frente a este tipo de problemática.

Un alto porcentaje de viviendas (60,2%) presentan pozos con cubiertas adecuadas, lo cual es un buen indicador de que la gente considera importante tener en buenas condiciones el sistema de captación para mantener la calidad del recurso explotado. Esta consideración se apoya también en el hecho que un 69% de las viviendas encuestadas presentan piso de cemento consolidado alrededor del pozo y casi el 41% tienen un cerramiento adecuado alrededor del mismo.

Es claro que la gestión de un sello sanitario muchas veces puede ser un proceso complicado y económicamente alto, no obstante, se reportan 120 registros (5,6%) de pozos con este tipo de aditamento.

La UPI U4 presentó la mayor cantidad de registros en cada una de las variables evaluadas. Esto nos indica que esta Unidad de Planificación Insular se convierte en un área importante para el seguimiento de las condiciones de las aguas subterráneas ya que implícitamente tiene la mayor incidencia de tensores sobre el recurso hídrico.





6. BIBLIOGRAFIA

1. Actualización del inventario de humedales interiores de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y propuesta general de zonificación para su gestión y manejo. Convenio No 004 de CORALINA- Fundación ALMA. 2015.
2. Aguilera, M. Geografía económica del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Documentos de trabajo sobre economía regional. Banco de la República - Centro de Estudios Económicos Regional (CEER) - Cartagena. No. 133. 80. 2010.
3. Bosque Sendra, J. Sistemas de Información Geográfica, Ediciones Rialp, Madrid. 2000.
4. Gómez López, D. I., C. Segura-Quintero, P. C. Sierra-Correa y J. Garay-Tinoco (Eds). Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés" -INVEMAR- y Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina -CORALINA-. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 28. Santa Marta, Colombia 180 p. CORALINA-INVEMAR. 2012.
5. Diagnóstico actualizado de la oferta y demanda de agua en la isla de San Andrés para toma de decisiones a nivel de administración del Recurso Hídrico (2016-2017). CORALINA. 2017.
6. Diagnóstico de amenazas y evaluación de la necesidad del uso de sistemas de alerta temprana en la isla de San Andrés. Convenio interadministrativo de cooperación No 004 de 2013. CORALINA- Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Informe final.
7. Elaboración del plan vial y de transporte para la isla de San Andrés y plan maestro de alcantarillado pluvial en el sector North End, ajustado al RAS 2000. Estrategias generales del análisis ambiental. 2006.
8. Goovaerts, P. Geostatistics for natural resources evaluation, Oxford University Press, New York. 1997.
9. Hubach, E. Aspectos geológicos, geográficos y recursos de las islas de San Andrés y Providencia. Cuadernos de geografía de Colombia. No. 12. 39 p. 1956





10. INGEOMINAS. Proyecto hidrogeológico del acuífero de San Andrés y recuperación del campo de pozos: Cartografía geológica de la isla de San Andrés. Informe interno. 2012.
11. Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERAS. IDEAM y Ministerio de Medio Ambiente. 2013.
12. Modelación del acuífero San Andrés Isla. Proyecto INAP – Colombia. Coralina & UNAL. (2010).
13. O’Sullivan, D. and D. J. Unwin. Geographic Information Analysis, Wiley, Nueva Jersey. 2003.
14. Pérez Vega, A. y J.-F. Mas. “Evaluación de los errores de modelos digitales de elevación obtenidos por cuatro métodos de interpolación”, Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 69, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 53-67. 2009.
15. Plan director del recurso hídrico. Producto No 2. Diagnóstico situación actual. Gobernación de San Andrés- Findeter. CDM Smith. 2016.
16. Síntesis marco normativo nacional de los ERA. Fuente: Marco conceptual metodológico para las Evaluaciones Regionales del Agua. IDEAM: 2011.
17. USDA - United State Departament of Agriculture. Soil Survey Staff. Décima edición. 374 p. 2010.
18. Watson, D.F. and Philip, G.M. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. Geoprocessing, 2, 315-327. 1985.

