

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS CAMBIOS EN USOS DE TERRENOS
EN LOS PATRONES DE RECARGA EN EL ACUÍFERO COSTANERO DE
SANTA ISABEL, PUERTO RICO**

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental
en Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental

Por
Carlos Rafael Maldonado Roubert

3 de diciembre de 2009

DEDICATORIA

*A los mejores regalos que me ha brindado Dios,
mi querida madre Marta Rina,
mi amada esposa Nataly,
y mi hermosa hija Paula Carolina,
y mi hijo de crianza Ghenry.*

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por haberme permitido completar este estudio dándome salud, fortaleza e intelecto. A mi querida madre por su apoyo incondicional y el sentido de responsabilidad. Mi amada esposa Nataly por todo el apoyo y paciencia durante estos últimos dos años para brindarme el estímulo necesario de finalizar este estudio. A mis dos hijos (Ghenry y Paula) por ser la inspiración confortante para alcanzar una meta. Un agradecimiento especial al modelo de la figura paterna en mi vida, José Rafael Roubert Colón, gracias por darme las herramientas, la inspiración y el estímulo de estudiar y ser un profesional. A mi tía Iris del Pilar por sus consejos y apoyo para completar mi maestría. Al Sr. Miguel A. Cedeño por darme la oportunidad, el tiempo y el apoyo para estudiar esta maestría; al igual que su Sra. esposa Marisel Portela por su apoyo y sabios consejos para mantenerme en la contienda. A la firma para la cual trabajo (Arcadis PR) por el tiempo, apoyo y cooperación para completar este estudio. A mi comité de lectores el Dr. Juan Carlos Musa y el Dr. Nefalí García por su tiempo y colaboración para llevar a cabo este trabajo. Un agradecimiento sumamente especial para mi Director y Mentor de tesis, el Sr. Sigfredo Torres, gracias por creer en mí, gracias por su dedicación, paciencia y compartir su sabiduría para elaborar y finalizar este trabajo, que Dios lo bendiga siempre. Por último quisiera agradecer a la facultad de la Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Metropolitana por haberme capacitado con la preparación académica para llevar a cabo esta tesis, gracias a todos.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGUAS	ix
LISTA DE APÉNDICES	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
Trasfondo del problema	1
Problema de estudio	3
Justificación del estudio	4
Preguntas de investigación	4
Meta	4
Objetivos	5
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	6
Trasfondo histórico	6
Marco conceptual o teórico	8
Estudio de casos	18
Marco legal	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	26
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
CAPÍTULO V: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	43
LITERATURA CITADA	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Precipitación vs. cambio en nivel freático durante mes de abril'05	57
Tabla 2.	Precipitación vs. cambio en nivel freático durante mes de julio'05	58
Tabla 3.	Precipitación vs. cambio en nivel freático durante mes de octubre'05.....	59
Tabla 4.	Área de polígono y unidad de vivienda	60
Tabla 5.	Valores para el volumen de cambio, volumen total y el volumen de infiltración al acuífero.....	61
Tabla 6.	Valores de la escorrentía durante un evento de lluvia equivalente al umbral de precipitación.....	62
Tabla 7.	Valores de la escorrentía durante un evento de lluvia que superó el umbral de precipitación.....	63
Tabla 8.	Resultado del porcentaje del umbral de precipitación	64
Tabla 9.	Por ciento de escorrentía a celda adyacente.....	65
Tabla 10.	Por ciento de escorrentía a celda adyacente que produce infiltración	66
Tabla 11.	Por ciento de escorrentía a celda adyacente en el polígono A1	67
Tabla 12.	Por ciento de escorrentía a celda adyacente en el polígono A2.....	68
Tabla 13.	Por ciento de escorrentía a celda adyacente en el polígono A3.....	69
Tabla 14.	Por ciento de escorrentía a celda adyacente que produce infiltración en el polígono A1	70
Tabla 15.	Por ciento de escorrentía a celda adyacente que produce infiltración en el polígono A2	71
Tabla 16.	Por ciento de escorrentía a celda adyacente que produce infiltración en el polígono A3	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del área de estudio	74
Figura 2.	Geología generalizada del área de estudio	75
Figura 3.	Usos de terrenos en la costa sur.....	76
Figura 4.	Zonas de intrusión salina en la costa sur	77
Figura 5.	Niveles freáticos diarios en el pozo de observación Alomar Oeste durante el mes de abril/mayo de 2005.....	78
Figura 6.	Niveles freáticos diarios en el pozo de observación Alomar Oeste durante el mes de junio/julio de 2005	79
Figura 7.	Niveles freáticos diarios en el pozo de observación Alomar Oeste durante el mes de octubre/noviembre de 2005.....	80
Figura 8.	Área del acuífero estudiada en Santa Isabel, PR.....	81
Figura 9.	Localización del pozo de observación Alomar Oeste, USGS.....	82
Figura 10.	Cambio neto en nivel freático como respuesta a la lluvia en el acuífero aluvial de Santa Isabel, condiciones hidrológicas del 2005	83
Figura 11.	Foto aérea del polígono A1	84
Figura 12.	Foto aérea del polígono A2	85
Figura 13.	Foto aérea del polígono A3	86
Figura 14.	Por ciento de flujo de escorrentía a celda adyacente.....	87
Figura 15.	Historial de contaminación en la cuenca hidrográfica de la costa sur de Puerto Rico.....	88

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Datos de precipitación en pulgadas de la estación numero 50106850 en el lago Coamo, los Llanos, PR durante octubre de 2004 a septiembre de 2006	90
Apéndice 2. Datos de niveles freáticos diarios en el pozo de observación Alomar Oeste del USGS durante el 2005-06	93
Apéndice 3. Inventario de fincas agrícolas en Santa Isabel, PR 2006-07 del Departamento de Agricultura de PR	109

RESUMEN

En este estudio identificamos los cambios en el uso del terreno del área que comprende el acuífero aluvial costanero de Santa Isabel y los efectos sobre los patrones de recarga a dicho acuífero. Evaluamos la escorrentía producida en áreas impermeabilizadas como medida de recarga al acuífero y el impacto de estas a la calidad del agua subterránea. La metodología consistió en el análisis de datos (1994-2006) de estudios realizados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos de Norte América (USGS), de los usos del terreno en el área de estudio; además del análisis físico espacial mediante el uso de una foto aérea del 2003 de los sistemas de información geográficas (SIG) de la Junta de Planificación de Puerto Rico (JPPR). Dicho análisis físico espacial lo utilizamos para la evaluación de la escorrentía producida en áreas impermeabilizadas. Con este análisis físico espacial determinamos el umbral de precipitación que produce una recarga al acuífero mediante la correlación de datos de precipitación en el área de estudio versus los niveles freáticos diarios de un pozo de observación del USGS. Una vez calculado dicho umbral de precipitación, mediante el uso de SIG, determinamos el área impermeabilizada para tres sectores urbanos con diferentes unidades de vivienda. Luego evaluamos la escorrentía producida según los porcentajes del umbral de precipitación para así determinar la infiltración potencial producida por el 40%-100% de la escorrentía a un área no impermeabilizada. Entre los hallazgos más importantes se encuentran: que los cambios en usos de terrenos se reflejan en el tipo de cultivo y la práctica de irrigación, además del desarrollo de complejos multifamiliares. Por otra parte si se considera 60% o más de la magnitud de flujo de la escorrentía se obtiene infiltración potencial para el 90% y el 100% del umbral de precipitación en las tres áreas impermeabilizadas estudiadas. La calidad de las aguas de escorrentía es una fuente de contaminación para el agua subterránea si no son tratadas. Como medida de mitigación para las aguas de escorrentías, recomendamos el uso combinado de filtros de arena y orgánicos (remoción sólidos en suspensión 65 – 90%) en conjunto con una trinchera de infiltración. Este estudio pretende servir de referencia para estudios posteriores en la implementación de mejores prácticas para el aprovechamiento de las aguas subterráneas y mitigar su riesgo de contaminación.

ABSTRACT

In this study the changes in the land uses in the area that comprehends the coastal alluvial aquifer of Santa Isabel were identified as well as the effects on the recharge patterns. The run-off component in non-permeable areas was evaluated as measure of recharge to the aquifer and their impact on the groundwater quality. The methodology consisted of data analysis of previous studies (1994-2006) carried out by the United States Geological Survey (USGS), for the collection of data and comparative analysis of the land uses in the study area; besides the spatial physical analysis of aerial photos from the Puerto Rico Planification Board's (PRPB) geographical information systems (GIS); for the run-off evaluation in non-permeable areas the precipitation threshold that produces a net recharge to the aquifer was determined by correlating precipitation data in the area of study versus ground water levels from an USGS observation well. Once the threshold calculated, the non-permeable areas for three urban sectors with different units of dwelling were determined with GIS tools. The run-off produced was evaluated with different percentage of the precipitation threshold for thus determine the potential infiltration produced by the 40%-100% of the run-off to a permeable area. Among the finds are: that the changes in land uses are related to the type of cultivation and the practice of irrigation, besides the development of dwellings complexes that impede the infiltration, which affects the net recharge to the aquifer. The study established that if 60% is considered or more for flux magnitude of the run-off, potential infiltration can be achieved for the 90% and the 100% of the precipitation threshold in the three impervious areas studied. The quality of the run-off water is a source of contamination for the groundwater if they are not treated. In order to mitigate run-off contamination, we recommend the use sand filters (65-90% suspended solids removal) in combination with infiltration trenches. This study intends to serve as reference for subsequent studies in the implementation of better management practices for the ground water usage in the Santa Isabel municipality, and mitigate the risk of pollution to this resource.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

La provincia de la costa sur comprende uno de los acuíferos principales en la isla, y suple cerca de la mitad de todo el consumo de agua subterránea en la isla (Renken, 2000). Estudios recientes en el área de Santa Isabel presentan altas concentraciones de sólidos disueltos totales en la parte poco profunda del acuífero aluvial (Gómez, 1998). El aumento de los sólidos disueltos ha causado problemas de calidad del agua, particularmente en el consumo doméstico y las aplicaciones de agua para riego agrícola. Estudios han demostrado que los cambios en el uso del terreno están estrechamente vinculados a dicho aumento en las concentraciones de sólidos disueltos. Estos cambios en uso de terrenos pudiesen estar afectando los patrones de recarga al acuífero; además de las condiciones hidrológicas de la costa sur, la cual se caracteriza como una región semiárida; dado al efecto de penumbra de lluvia en la vertiente sur de la Cordillera Central (Quiñones, Gómez y Renken, 1995).

El uso principal que se le ha dado a los terrenos que comprende el área de Santa Isabel, ha sido el uso agrícola. A principios del siglo XIX y durante el siglo XX, la mayoría de los terrenos de la costa sur eran usados para la producción de caña de azúcar. Debido al decaimiento en los precios del azúcar en el mercado a un nivel mundial, a partir de 1987 dichos terrenos han sido reemplazados en su totalidad para la cosecha de frutas y vegetales (Ramos-Ginés, 1994). Los métodos utilizados para riego han tenido un efecto neto en los patrones de recarga al acuífero, de acuerdo con los cambios en la

tecnología y las prácticas de cultivo (Yamauchi, 1984). Previo al 1930, la principal fuente de suministro para la agricultura era proveniente de aguas superficiales fuera del área de Santa Isabel; la cual se le proveía a los agricultores a través de un sistema complejo de canales de charcas (Ramos-Ginés, 1994) o también conocido como riego por inundación. Desde el año 1960 hasta el presente se comenzó a utilizar la extracción de agua subterránea como fuente de suministro para la riego, trayendo como consiguiente el decaimiento del nivel freático en el acuífero por la alta demanda. Esto también trajo como resultado la intrusión de agua salina al acuífero cerca de la costa (Ramos-Ginés, 1994). Dicha situación llevó a un cambio gradual en el método de riego durante la década del 1970 al 1980, la cual cambió de riego por inundación a riego por goteo. Este cambio en la práctica de riego no ayudó mucho a la restauración del nivel freático en el acuífero, ya que aunque dicha práctica de riego por goteo requiere menos volumen de agua subterránea, la recarga al acuífero debido a la aplicación de agua a las cosechas es prácticamente cero. En la actualidad aún continúan estas prácticas agrícolas en algunas fincas de la provincia de la costa sur.

Otro factor que ha contribuido al problema de sobre extracción de agua subterránea en el área de Santa Isabel, es el uso de terrenos para áreas residenciales. La contribución a la sobre extracción es debido al crecimiento poblacional, densificación urbana, aumento en demanda de consumo doméstico y desarrollo económico basado en la contribución sobre la propiedad en dicho municipio, el cual ha aumentado considerablemente en la última década. La base de dato del censo de 1990 y 2000 presenta que el total de habitantes para esos años fue de 19,318 y 21,665 respectivamente, lo cual refleja un aumento de 12.2% en la población para este

municipio. El aumento en población trae como consiguiente un aumento en la demanda para abasto de uso domestico. Además la impermeabilización de áreas de terreno aumentan el agua de escorrentía y disminuyen la infiltración, agravando la situación de recarga al acuífero.

Problema de estudio

Estudios han demostrado que los cambios en el uso del terreno en la zona que comprende el acuífero costanero de Santa Isabel han propiciado un aumento en la demanda de agua potable (consumo doméstico) y una reducción en la recarga neta al acuífero aluvial (Kuniansky et al., 2004). Uno de los principales cambios ha sido el uso del terreno para el desarrollo de viviendas, el cual tiene como resultado directo la impermeabilización del terreno. Dicho resultado no permite la infiltración del agua de lluvia al terreno, aumentando el agua de escorrentía. La infiltración es uno de los mecanismos naturales primarios para los patrones de recarga de los cuerpos de agua subterráneos.

Estos cambios en los usos de terrenos pudiesen estar afectando los patrones de recarga al acuífero y la cantidad de extracciones del mismo. Lo cual presenta un impacto adverso en la calidad y disponibilidad de este importante recurso. Este estudio va dirigido a realizar un análisis del impacto creado por los cambios en uso de terrenos en los patrones de recarga y la calidad de agua subterránea en el acuífero; además de evaluar la escorrentía en áreas urbanas como medida de recarga al acuífero.

Justificación del estudio

El análisis de los principales cambios en el uso del terreno en el área del acuífero costanero de Santa Isabel, mediante la revisión de estudios previos en el área, servirán para la determinación del uso del terreno en la actualidad y su efecto sobre la calidad y disponibilidad de agua subterránea, y los patrones de recarga al acuífero. Además de identificar el riesgo de contaminación al acuífero y evaluar medidas para su mitigación. Esto servirá de referencia para el desarrollo de prácticas apropiadas que se ajusten al uso del terreno actual para el manejo del recurso de agua en el área de estudio, ya que el agua subterránea es la fuente principal de abasto para uso agrícola y doméstico.

Preguntas de investigación

1. ¿Qué cambios significativos en el uso de terrenos han ocurrido en los últimos años en el área de Santa Isabel?
2. ¿Qué efectos en los acuíferos puede ocasionar el cambio en uso de agua como consecuencia del cambio en uso de terrenos?
3. ¿Cuál es el umbral de precipitación para producir una recarga al acuífero?
4. ¿Se puede conseguir dicho umbral de las áreas impermeabilizadas en forma de escorrentía?

Meta

Evaluar el impacto de los cambios del uso del terreno en los patrones de recarga en el acuífero costanero de Santa Isabel y medidas que mitiguen su riesgo de contaminación.

Objetivos

1. Identificar los cambios de uso del terreno en el área del acuífero de Santa Isabel y el riesgo de sus efectos sobre los patrones de recarga.
2. Evaluar el componente de escorrentía en áreas urbanas como medida de recarga al acuífero.
3. Evaluar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas mediante el uso de las escorrentías en áreas urbanas como medida de recarga al acuífero.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

A través de la historia los terrenos en la Provincia de la costa sur, en su mayoría han sido utilizados para prácticas agrícolas. Renken et al. (2000), expone en el documento de Análisis del Sistema Regional de Acuíferos, que el desarrollo de aguas superficiales en la costa sur ha modificado considerablemente el sistema hidrológico en el área. Ante condiciones de predesarrollo, el acuífero del Llano Costanero del Sur era recargado principalmente por actividad de lluvia poco frecuente y el flujo de los ríos cerca del abanico aluvial; en adición también el acuífero se recargaba a través mediante la aplicación de agua para riego transportada por los canales de riego (Renken, 2000). En términos regionales, 30% del agua superficial usada para riego por inundación recarga el acuífero (Guisti, 1971; Bennett, 1976) y entra al sistema de flujo mayormente mediante áreas del abanico próximas o intermedias al plano del abanico delta.

El acuífero del Llano Costanero del Sur consiste de depósitos aluviales y de abanicos –delta del Cuaternario en edad, que sostiene y forma una planicie baja continua de 70 Km. de largo localizada entre Ponce y Patillas (Renken, 2000). En 1987 se estimó que la extracción de agua subterránea del acuífero era 72.4 millones de galones por día (Mgal/d); 67% era utilizado para la riego, con cantidades restantes mayormente utilizadas para abastecimiento municipal (Rodríguez del Río y Gómez-Gómez, 1986).

Entre 1900 y 1930 la desviación del flujo de los ríos por sistemas de riego de estanques canalizados, servían como la principal fuente de agua para usos agrícolas.

Entre 1914 y 1930 prácticas de riego por inundación de predios agrícolas aumentaron la recarga al acuífero; la cual a su vez aumentaron la descarga de los ríos al mar y humedales costaneros (Quiñones-Aponte et al., 1997). La construcción de canales de drenaje costanero fue a consecuencia de las prácticas de riego; los canales eran utilizados para controlar el registro de agua de suelos costaneros, para recobrar tierra para el cultivo de caña de azúcar, la formación de pantanos costaneros y el control de enfermedades a través del agua como la malaria (Quiñones-Aponte et al., 1997).

Durante los años 1960 y 1970, el incremento neto en el consumo de agua subterránea para abasto público ha contribuido a la disminución en la descarga de drenajes costaneros (Renken et al., 2000). Para Febrero de 1968, se encontraron grandes conos de depresión al sur de Ponce, cerca de Santa Isabel y en el área de Salinas (Gómez-Gómez, 1980). En ciertas áreas los niveles freáticos se encontraban hasta 6 metros bajo el nivel del mar. La posibilidad de intrusión salina era entonces una preocupación. Las concentraciones de cloruro cerca del abanico costanero de Coamo, aumentaron de 50 mg/L en el 1960 a 250 mg/L en el 1967 (Guisiti, 1971). La baja en los niveles freáticos llevo a un cambio gradual en las prácticas de riego; de riego en surcos a riego por goteo; la caña de azúcar fue reemplazada por la cosecha de vegetales (Ramos-Ginés, 1994). Para el 1986, la reducción en el consumo de agua subterránea ha recuperado los niveles freáticos y mitigado el problema de intrusión salina, según el Análisis del Sistema Regional de Acuíferos (Renken et al., 2000). Estudios recientes señalan que ha encontrado concentraciones altas de sólidos disueltos totales entre Santa Isabel y Salinas (Gómez-Gómez, 1998), que podría estar relacionado al aumento en la extracción de agua subterránea para abasto público.

Marco conceptual o teórico

El agua que se precipita de la actividad de lluvia, y cae en la superficie de un suelo poroso, pasará a través del suelo por un proceso llamado infiltración (Fetter, 2001a). Debajo de la superficie de la tierra, los poros en el suelo contienen aire y agua. A esta región se le conoce como la zona vadosa o zona de aireación. Después de la zona vadosa o de aireación, a mayor profundidad, los poros del suelo o la roca se encuentran saturados con agua. A esta zona se le conoce como zona de saturación y se llama nivel freático. El agua que se almacena en dicha zona se llama agua subterránea; y ésta fluye a través de la roca y las capas de suelo de la tierra hasta que descarga o aflora en otros cuerpos de agua como: charcas, lagos, ríos u océanos.

Un acuífero es definido como una unidad geológica con suficiente permeabilidad y porosidad interconectada para almacenar y transmitir grandes cantidades de agua bajo gradientes hidráulicos naturales (Cleary, 2009). Existen diferentes tipos de unidades geológicas que sirven como acuíferos, tales como: formaciones de arenas y grava no consolidadas, roca caliza, basaltos, rocas plutónicas y metamórficas fracturadas.

Los acuíferos normalmente se encuentran cerca de la superficie de la tierra, con capas continuas de materiales de alta permeabilidad intrínseca que se extiende desde la superficie de la tierra hasta base del acuífero. Tal acuífero se conoce como un acuífero no confinado. La recarga a este tipo de acuífero se da mediante la infiltración de agua superficial a través de la zona insaturada. Otro medio de recarga es mediante el movimiento lateral de agua subterránea o el movimiento lateral de ésta desde un estrato subyacente (Fetter, 2001a).

La infiltración es el proceso de transición por el cual el agua producto de la precipitación de lluvia o el agua almacenada en un cuerpo de agua superficial pasa al subsuelo. Dicho proceso puede ser cuantificado mediante una razón de infiltración en un periodo de tiempo corto o uno acumulativo, el cual está limitado por la capacidad de infiltración del subsuelo. Esta razón de infiltración tiene una relación directamente proporcional a la duración del evento de lluvia (Seiler & Gat, 2007). Mientras más lluvia se precipite mayor será la capacidad de infiltración y viceversa.

Existen otros tipos de acuíferos llamados acuíferos confinados o artesianos. Éstos se encuentran cubiertos por una capa de poca impermeabilidad o total impermeabilidad. Esta capa puede ser una capa de arcilla, la cual es un material impermeable. La recarga a este tipo de acuífero puede ocurrir tanto como en un área donde el acuífero aflora, como a través de infiltración lenta en una capa confinada de poca permeabilidad.

El flujo de recarga de agua subterránea es el residuo del flujo de infiltración una vez se ha tomado en cuenta la pérdida de agua por medio de la evapotranspiración y el flujo intermedio en la llamada zona de percolación. Este flujo de agua subterránea entra al margen capilar en la zona vadosa y por consiguiente a la zona saturada donde se encuentra el nivel freático (Seiler & Gat, 2007).

La recarga a los acuíferos esta sujeta a la porosidad y permeabilidad del material en la formación. La porosidad es el por ciento de espacios abiertos en un material; mientras que la permeabilidad es una función del tamaño de los espacios abiertos por el cual un fluido se mueve. A medida que el tamaño del grano sea más pequeño, mayor será el área de superficie en contacto con el fluido, lo cual incrementa el coeficiente de fricción en el flujo, disminuyendo así la permeabilidad de éste (Fetter, 2001a).

Debido a la naturaleza de la inclinación en dirección hacia al mar de los estratos en los llanos costeros, los acuíferos de gran profundidad obtienen su recarga tierra adentro. El agua dulce fluye gradiente abajo y luego es descargada por diferentes mecanismos a los cuerpos de aguas costeras. La cantidad de agua dulce que un acuífero puede descargar es función del volumen de la recarga en el acuífero y la cantidad de agua dulce que emigra gradiente abajo mediante los mecanismos existentes. Entre los diferentes mecanismos existentes se encuentran: (1) la evapotranspiración, (2) el pasaje directo a manantiales, ríos, aguas de marea y la corteza oceánica, (3) la mezcla con agua subterránea salina en una zona de difusión, (4) flujo a través de una capa semipermeable bajo la influencia de un gradiente hidráulico y (5) un flujo a través de una capa semipermeable debido a la presión osmótica por el gradiente de salinidad (Fetter, 2001a).

Otra forma por la cual un acuífero puede ser recargado es mediante una recarga artificial. La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (2001), define dicho concepto como el uso de cualquier método para aumentar o incrementar la recarga a un acuífero mediante inducción de agua que no estaría presente de forma natural. Uno de los métodos más comunes es la inyección de agua dulce mediante pozos de inyección. Para dicho método se necesita una fuente de abasto externa, normalmente un cuerpo de agua superficial.

La degradación de calidad de agua más común en acuíferos costaneros es causada por la intrusión salina. Esto ocurre como resultado del desvío de agua dulce que ha sido descargada de un acuífero costanero, la intrusión salina puede ser activa o pasiva (Fetter, 2001; 1973). Esto es inducido por actividad antropogénica. Feters (2001), describió la intrusión pasiva como la desviación de agua dulce de un acuífero, pero que todavía su

gradiente hidráulico está en pendiente hacia la zona de interfase; este es el mecanismo que mayormente ocurre hoy día en los acuíferos costaneros en donde recursos de agua subterránea están siendo desarrollados. En cambio el mecanismo activo ocurre cuando el gradiente hidráulico es invertido y el agua dulce se aleja de la zona de interfase. Esto ocurre cuando existe sobre explotación de agua subterránea creando un cono de depresión profundo (Fetters, 2001b). Un cono de depresión se produce cuando se extrae agua de un pozo, al comienzo de la extracción el nivel de agua cae progresivamente hasta alcanzar equilibrio tanto dentro como fuera del pozo; la superficie potencio métrica formada se conoce como cono de depresión (Cleary, 2009).

El mayor problema de las aguas subterráneas en la isla es su disponibilidad y su calidad química (Olcott, 1999). Olcott presenta en el documento HA 730-N del Atlas de Agua Subterránea de los Estados Unidos de Norte América, que la extracción máxima estimada de agua dulce en la isla para el 1985 era de 440 millones de galones/día. La proyección del desarrollo agrícola, industrial e instalaciones domésticas requerirían 100 millones de galones por día para el año 2000. Además señala que el problema de la calidad de agua subterránea proviene de fuentes conocidas de contaminación e intrusión salina. En este documento, Olcott también expone que la proximidad o la conexión directa al mar de los acuíferos en Puerto Rico y las islas crean altos conos de depresión de agua salada, como resultado de la sobre explotación, o la intrusión de agua salada como resultado de la disminución en recarga al acuífero durante períodos de sequía. Altas concentraciones de cloruro y sodio en el agua subterránea pueden también ser el resultado del efecto de aerosol del agua de mar sobre la costa transportado por el viento; permitiendo así la infiltración de sales al subsuelo.

En el estado de la Florida de los Estados Unidos de Norte América, se han hecho estudios para determinar los mecanismos del potencial de intrusión salina al acuífero superior en los condados de Duval, St. Johns y Hernando; dado al aumento en demanda para abastos de agua, por el crecimiento poblacional. La sobre explotación de agua subterránea ha generado que en ciertas áreas del acuíferos superior se hayan registrado concentraciones de hasta 16,800 mg/L (Spechler, 1994). Spechler expone que varios de los mecanismos principales para el problema de intrusión salina en el sistema de acuíferos en la Florida son: (1) la presencia de bolsillos de agua salada no afluidos; (2) el movimiento lateral de la zona de interfase fuera de la costa; (3) conos agudos de depresión en zonas saladas profundas, debajo de pozos de bombeo; (4) liqueo de zonas profundas cuyo contenido es agua salada a través de pozos de extracción mal contruidos o en deterioro; (5) liqueo de zonas cuyo contenido es agua salada por medio de unidades semiconfinadas de poco espesor adyacentes a fallas u otras estructuras geológicas. En este estudio, Spechler concluyó que el potencial de contaminación de agua salada en las zonas de flujo de agua dulce, continuará en aumento debido al descenso de la presión artesiana en la zona superior; y que la implementación de estrategias de manejo del recurso en cuestión podrían reducir el potencial de intrusión salina en el sistema de acuíferos en la Florida.

Por otra parte, estudios realizados en los años noventa por Ryder y Mahon, atribuyen que dicho potencial se debe a la extracción de agua subterránea en términos largos o temporeros del sistema de acuíferos en dicho estado, para usos agrícolas, abastos de industrias y municipios. Éstos han causado el declive en la superficie potenciométrica

cerca de la costa. Se espera que el problema continúe en aumento con el rápido crecimiento poblacional y el incremento de la demanda en los recursos de agua.

Otro problema que afecta la calidad de los cuerpos de agua subterránea es la escorrentía. Existen dos tipos de escorrentía, la superficial y la subterránea. La escorrentía de tipo superficial, es la que se genera cuando la zona vadoza se satura. Al saturarse la zona vadosa durante un evento de lluvia, la lluvia subsiguiente no se infiltra y se produce escorrentía superficial. La escorrentía subterránea es el agua de un evento de lluvia que se infiltra y fluye más lento hacia un cuerpo de agua, que la escorrentía superficial (Horner et al., 1994). Para fines de este estudio se analizará la calidad de la escorrentía generada en áreas agrícolas y urbanas.

La escorrentía generada en áreas agrícolas erosiona el suelo. Éste puede contener nutrientes, plaguicidas y materia orgánica, que diluidos por el agua de escorrentía pueden ser transportados hacia los acuíferos contaminándole. Las áreas agrícolas son conocidas por contener una gama de contaminantes en el suelo, como fosfatos, herbicidas, plaguicidas, nitratos y bacterias. De éstos, los nitratos y los plaguicidas son los mayores contaminantes del agua subterránea (Reed & Ensley, 1994).

Los nitratos en las prácticas agrícolas son utilizados como fertilizantes. Éstos son aplicados al suelo cultivado para aumentar el crecimiento del producto cosechado. Éstos normalmente son aplicados al suelo en varias formas de nitrógeno. Las dos formas más comunes son mediante amonio y nitrato de amonio. Otra fuente de nitratos utilizada como fertilizantes son las eses fecales de los animales. La oxidación de los compuestos de nitrógeno en estos desechos son transformados en nitratos (Reed & Ensley, 1994). Este tipo de fertilizante contiene bacterias patogénicas, las cuales pueden ser

transportadas hasta el agua subterránea. Como por ejemplo, el abono de aves caseras contiene metales pesados como el cobre, dependiendo del estado de valencia del ión cobre, éste puede migrar hasta el agua subterránea generando así contaminación (Reed & Ensley, 1994). Este tipo de fertilizante puede ser aplicado directamente al suelo, o colectados en charcas. Al ser colectados en charcas, aumenta la probabilidad de que los compuestos de nitrógeno migren hacia el suelo y por consiguiente al agua subterránea. Los nitratos son un contaminante de alta preocupación, debido al efecto detrimental que produce a la salud humana. La enfermedad más común derivada del consumo de agua con concentraciones de nitratos que excedan 10 mg/l, es el síndrome de niño cianótico (Sally, 1992). Dicha enfermedad o condición disminuye la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, causando que la piel del infante se torne morada, debido a la falta de oxígeno en las células del cuerpo. Otra condición muy común generada por ingestión de nitratos, es el cáncer. El nitrato una vez ingerido se convierte en nitrito y reacciona con los compuestos orgánicos formando compuestos de N-nitroso en el estómago; éstos son conocidos por ser carcinógenos. Además se conoce que el nitrato afecta la glándula tiroides generando así el mal funcionamiento del sistema endocrino (Reed & Ensley, 1994).

El mecanismo de transporte de los nitratos en el suelo está sujeto a las propiedades iónicas de estos compuestos. Una las características que hacen que los suelos sean convenientes para el uso agrícola es su capacidad de intercambio de cationes. Esta es la habilidad de los suelos para enlazar electro-estáticamente cationes en la doble capa difundida de la solución de suelo. Esta propiedad proviene de la carga neta negativa del suelo, normalmente encontrada en los minerales arcillosos. Muchos suelos no poseen

suficiente capacidad para intercambio de aniones, por lo cual los nitratos, que poseen una carga neta negativa, no son removidos de la solución de suelo. Al los nitratos no ser removidos de dicha solución, éstos son transportados por el movimiento de agua en el suelo (Eick, 1997). Cuando las plantas en el suelo no absorben los compuestos de nitrógeno o las concentraciones se exceden la capacidad de éstas para ser absorbidas, los nitratos son lixiviados hasta el agua subterránea.

Los otros contaminantes más comunes en las áreas agrícolas son los plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas). Los plaguicidas son utilizados para eliminar las plagas de las cosechas. Existen alrededor de 240 químicos principales utilizados para la manufactura de plaguicidas. Entre los más comunes se encuentran los “s-triazines”. Debido a diversa variedad de químicos utilizados para la manufactura de plaguicidas, se desconoce en exactitud las condiciones adversas que éstos puedan producir a la salud humana (Reed & Ensley, 1994). Los factores que controlan el transporte de los plaguicidas a un cuerpo de agua subterráneo son la absorción y la solubilidad en agua. La presencia de materia orgánica en los suelos aumenta la absorción de éstos en los suelos debido a su capacidad de intercambio de cationes. En los suelos arcillosos debido a su alta capacidad para intercambiar cationes, éstos retienen bien estos compuestos. El problema existente con este tipo de compuesto, es que no todos los acuíferos tienen un alto contenido de una matriz arcillosa, por lo cual en un acuífero aluvial la absorción de estos compuestos es mínima, permitiendo así la migración de éstos hasta el cuerpo de agua subterráneo.

El riego ineficiente es otro mecanismo que contribuye a la contaminación del agua subterránea. En las áreas áridas, la evaporación del agua irrigada crea altas

concentraciones de sal en el suelo, la cual aumenta las concentraciones de sólidos disueltos en ellos. Por otro lado, el exceso de riego puede afectar la calidad del agua subterránea mediante la erosión, el transporte de nutrientes (nitratos y fosfatos), plaguicidas y metales pesados. Este mecanismo de contaminación en áreas agrícolas se clasifica como una fuente no precisada (NPS, por sus siglas en inglés).

El otro tipo de escorrentía que afecta la calidad de las aguas superficiales y eventualmente las subterráneas es la escorrentía generada en zonas urbanas. La escorrentía de zonas urbanas consiste del agua que discurre sobre superficies no porosas hechas por el ser humano. Dichas superficies consisten en carreteras, aceras, estructuras techadas, lotes de estacionamiento y aeropuertos entre otros. La precipitación de lluvia, así como el riego de agua sobre dichas superficies, lavan los compuestos sobre éstas y los transportan hacia un punto de captación. Los terrenos urbanos son áreas impermeabilizadas que no permiten la infiltración ni la degradación de los contaminantes como es el caso de los suelos naturales. Los contaminantes más comunes asociados con la escorrentía en zonas urbanas se encuentran como sólidos u otro particulado natural. El constituyente primario en la contaminación en las aguas de escorrentía urbanas es la suspensión de sedimentos. Estos sedimentos en suspensión provienen de numerosas fuentes como: erosión del suelo, vegetación en descomposición, alcantarillados sanitarios averiados, sistemas sépticos de pobre operación, disposición ilegal de aceite y pinturas a través de los sistemas de alcantarillados pluviales, derrames accidentales y la filtración de tanques soterrados, entre otros. Los contaminantes más comunes encontrados en muestras de agua escorrentía en zonas urbanas son: plomo, zinc, cobre, cromo y arsénico.

El daño a la salud humana proveniente de las escorrentías urbanas, no sólo proviene de los contaminantes que éstas transportan; sino de la infraestructura de los sistemas de alcantarillados. Una práctica común para abaratar el costo de construcción, es combinar los sistemas de alcantarillados pluviales y sanitarios en su ruta a la planta de tratamiento. El exceso de aguas pluviales pueden causar el deterioro de las uniones de dichos sistemas resultando así en la contaminación de las vías por donde discurre el agua en los sistemas de alcantarillado y eventualmente el subsuelo ya que estos sistemas son soterrados.

En referencia al manejo de la calidad de las aguas de escorrentía, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) ha generado una serie de prácticas para el control de calidad de dichas aguas. Estos controles se encuentran bajo el programa del Sistema de Eliminación de Descarga de Contaminación Nacional (NPDES, por sus siglas en inglés). Dichos controles se conocen como Prácticas de Mejor Manejo (PMM) (BMPs, por sus siglas en inglés). Estos controles tienen como fin establecer unas prácticas que mitiguen la contaminación de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos. Existen diferentes tipos de PMM, para fines de este estudio hablaremos de aquellas relacionadas a la filtración e infiltración de las aguas de escorrentía para zonas urbanas. Los filtros de arena y orgánicos es una combinación de dos cámaras en donde el particulado grueso de las aguas de escorrentía se asienta en una cámara y luego pasa por un medio filtrante de arena u orgánico. Estos filtros de arena y orgánicos son eficientes en la remoción de sólidos totales en suspensión (65 – 90%), metales (25 – 90%) y bacterias (55%) entre otros (EPA, 2006). Para la infiltración existe lo se conoce como trinchera de infiltración. Dicha trinchera se compone de una trinchera

rellena de un material permeable en dónde la escorrentía es almacenada y luego se infiltra en el suelo. Para el uso de esta práctica, la escorrentía debe ser pre-tratada por un mecanismo de filtración (eg. filtros de arena y orgánicos). El uso de las trincheras de infiltración es eficiente como medida de recarga a un acuífero (EPA, 2006). Las prácticas antes mencionadas forman parte del concepto de Desarrollo de Poco Impacto (DPI) (LID, por sus siglas en inglés). Este concepto presenta una estrategia de manejo para promover el uso de sistemas naturales para el diseño de PMM costo-eficientes y de mínimo impacto ambiental (EPA, 2007).

Estudio de casos

Estudios realizados en la parte suroeste de los Estados Unidos han demostrado que el cambio en uso y la cubierta de los terrenos afectan la calidad de agua subterránea y la recarga al acuífero. Un estudio en el desierto de Amargosa en el Nevada y en las Altas Llanuras de Texas, demostró que el uso y la cubierta del terreno están directamente vinculados con el transporte de solutos a la zona de saturación en el acuífero. El estudio establece que el cambio de zonas no cultivadas a zonas de cultivo cambia la dirección de flujo de un movimiento vertical hacia arriba por uno vertical hacia abajo (Scanlon et al., 2005). Dicho movimiento hacia abajo es el que transporta los solutos (sales y nitratos) acumulados a la zona de saturación del acuífero, debido a la presión de agua en los poros de dicha zona. Scanlon et al. determinaron en su estudio que en zonas no cultivadas no se consigue recarga debido a la evapotranspiración y el subsuelo exhibe altas concentraciones de cloruro y nitratos; zonas agrícolas la recarga es de moderada a alta

con moderadas a bajas concentraciones de cloruro y nitratos; y en zonas agrícolas sin riego la recarga es moderada con bajas concentraciones de cloruros y sales.

Un estudio en Australia occidental, también presenta esta situación del cambio en uso y cubierta del terreno como un factor que influye en la recarga a un acuífero freático. En dicho estudio se evaluó la recarga de agua subterránea mediante una serie de técnicas de estimación que llevaron a concluir que la recarga obtenida en suelo con vegetación nativa fue menor de 12 mm (0.47 pulgadas); mientras que en suelo reemplazado por pastoreo y cosechas anuales, la recarga fue entre 20 – 50 mm (0.79 – 1.97 pulgadas) (Bekele et al., 2006).

Por otro lado a nivel mundial, en la parte occidental de Arabia Saudita se han realizado estudios para identificar áreas afectadas, delinear los mecanismos de intrusión salina y desarrollar un manejo adecuado del sistema de acuíferos en el área. Debido a que la fuente de abasto para consumo doméstico en Arabia Saudita es el agua desalinizada del mar la sobreexplotación de agua subterránea para propósitos agrícolas e industriales son la fuente principal para la causa del fenómeno de intrusión salina o aumento de sólidos disueltos en el área costera del Mar Rojo (Sharaf, Hussein & Al-Bassam, 2001).

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) ha realizado estudios hidroquímicos en el acuífero costanero del sur en relación con la recarga de agua superficial (Gómez-Gómez, 1998), y en el área de Santa Isabel-Juana Díaz, con el fin de determinar los efectos de los cambios en las prácticas de riego en la hidrología del agua subterránea. El efecto inmediato del cambio en las prácticas de riego, de riego por surcos a riego por goteo, fue la disminución en la cantidad de recarga al acuífero de el agua

usada para la riego por surcos (Ramos-Ginés, 1994). Entre 1988 y 1989 se estimó que el 27% de todo el consumo de agua dulce no procedente de ríos era utilizado para propósitos de riego (Dopazo & Molina-Rivera, 1995). Antes de la implementación del uso de agua subterránea como fuente para las prácticas de riego, la recarga al acuífero era de 18.7 Mgal/d y 37.0 Mgal/d cuando el método principal de riego era el de riego por inundación previo a la década de 1970. Cuando se establece el cambio a riego por goteo, la recarga estimada era de 6.6 Mgal/d, esto presenta una disminución substancial de 30.4 Mgal/d. A pesar de que el cambio de la practica de riego representó una disminución en la recarga al acuífero, éste dio paso a la restauración de los niveles de agua subterránea para el año 1987 debido a la disminución substancial de extracción de agua subterránea en el acuífero. La extracción del acuífero antes de la implementación del uso de agua subterránea como suministro para el riego era de 26 Mgal/d a mediados de la década de 1980 (Torres-González & Gómez- Gómez, 1987). El uso de agua subterránea a mermado desde entonces a menos de 15 Mgal/d (S. Torres-González, comunicación verbal, 23 de abril de 2009).

Otro estudio realizado en el área de Santa Isabel por Kuniandy et al. (2004), presentó los efectos del desarrollo y los cambios en las prácticas de riego sobre la viabilidad de agua subterránea. En este estudio se presenta que las variaciones en precipitación, los cambios en las prácticas de riego y el incremento en la demanda para abasto público son los factores que controlan las fluctuaciones en los niveles de agua subterránea en el acuífero costanero de Santa Isabel. A partir de 1970 se comienza a realizarse el cambio de la práctica de riego por inundación a riego por goteo; debido a la ineficiencia de utilizar grandes cantidades de agua para la inundación de los terrenos para

el riego (Kuniansky et al., 2004). Al final de la década 1980 y principio de la década 1990, se llevó a cabo la transición al método de micro riego por goteo. Este método presentó una manera sumamente eficiente para el riego, ya que disminuyó la extracción de agua del acuífero. La cantidad de agua requerida para el riego es mínima, ya que el agua es aplicada directamente a la zona de la raíz de la planta.

El estudio concluyó que los principales efectos de los cambios en la practicas agrícolas, son la reducción: 1) en la recarga al acuífero y 2) la extracción de agua subterránea para el riego. El resultado de la aplicación de dicha práctica lleva a la perdida del flujo de riego al acuífero. Dichos cambios combinados con el incremento en la extracción de agua para abasto público han resultado en la disminución del nivel freático bajo el nivel del mar en la mayor parte del área de Santa Isabel (Kuniansky et al., 2004). Esta disminución del nivel freático ha revertido la descarga natural a lo largo de la costa, resultando en el movimiento de agua salada tierra a dentro, aumentando la salinidad del acuífero (Kuniansky et al., 2004).

Finalmente, la disminución en la actividad agrícola ha estado acompañada de la expansión de las zonas urbanas en la región causando un aumento gradual pero sostenido a más del doble de la extracción de agua para abasto público, de menos de 4.0 millones de galones por día previo a 1970 a cerca de 9.4 millones de galones diarios en la actualidad (S. Torres-González, com. pers., 17 de septiembre de 2009). El impacto de duplicar la extracción de agua subterránea para abasto público es sumamente dañino debido a que esta operación se extiende 24 horas al día todos los días del año, mientras que la operación agrícola se extiende 8 horas al día por solo 150 días al año.

Estudios realizados por Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) han demostrado que la escorrentía en áreas urbanas aumenta un 45% más que un área no urbana. Esto tiene como resultado que la infiltración se reduzca de un 25% a un 10 – 5% (EPA, 2003).

Un estudio realizado Jonathan M. Harbor (1994) en Akron, Ohio, demostró que al aumentar la escorrentía como resultado del cambio en uso de terreno, ésta puede ser utilizada como una medida de la pérdida de recarga. Para ello determinó la escorrentía producida en un área antes y después de ser impermeabilizada del lugar de estudio. Sus resultados presentaron que para la conversión de un área rural a una de baja densidad urbana reduce la recarga entre 11 – 30%; mientras que para el cambio de una área rural a una de alta densidad urbana se reduce entre 94 – 100% (Harbor, 1994). Por lo cual Harbor concluye que la conversión de áreas permeables a impermeables tiene un efecto adverso en la recarga natural de agua subterránea.

Por otra parte, Seiler y Gat, en su libro titulado *Ground Water Recharge from Run-Off, Infiltration and Percolation* del 2007, presentan el concepto de que el manejo adecuado de las aguas de escorrentía en áreas impermeabilizadas puede minimizar la pérdida de recarga de agua subterránea mediante el uso de técnicas apropiadas de infiltración. Para ello citan un estudio realizado en la ciudad de Long Island en Estados Unidos, donde Ku et al. (1992) concluyeron que para un área impermeabilizada entre un 20-30% se consigue un 12% de aumento en recarga de agua subterránea a través de márgenes de infiltración.

Un estudio realizado en la ciudad de Melbourne, Australia, por Jayasuriya et al. (2007) demostró mediante estudios de laboratorio y aplicaciones de campo en

pavimentos permeables se consigue la disminución y la mejora de la calidad de aguas de escorrentía en áreas urbanas. Dichos estudios demostraron una reducción de 52% en la descarga pico durante un evento intenso de lluvia. Además de una reducción entre 80 y 88% en sólidos suspendidos totales (TSS, por sus siglas en inglés) y aceites respectivamente (Jayasuriya et al., 2007). Por lo cual, este estudio presentó una medida de mitigación al deterioro de la calidad de cuerpos de aguas superficiales y subterráneas.

En cuanto a una medida para la restauración de los niveles freáticos en acuíferos, un estudio en el Valle de Las Vegas, Nevada, demostró ser costo beneficioso en el uso de la recarga artificial. El estudio presenta que mediante la recarga artificial proveniente de un cuerpo de agua superficial, se ha alcanzado un aumento en los niveles freáticos de 50 pies. Dicho aumento en los niveles freáticos representa un ahorro mínimo de 5\$ en el costo de bombeo anual en energía (Donovan et al., 2002).

Marco legal

La Junta de Calidad Ambiental (JCA) es la agencia estatal designada responsable de asegurar la calidad de todas las aguas superficiales de Puerto Rico. Éste incluye las aguas subterráneas; en colaboración con la agencia federal de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA por sus siglas en inglés. La JCA promulgó el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico, según enmendado en marzo de 2003. Éste Reglamento tiene como propósito: (1) designar los usos para los cuales la calidad de los cuerpos de agua de Puerto Rico deberá ser mantenida y protegida; (2) prescribir los estándares de la calidad de agua a fin de conservar los usos designados; (3) identificar otras reglas y reglamentos aplicables a las fuentes de contaminación a las fuentes de

contaminación que puedan afectar la calidad de las aguas sujetas a este Reglamento y (4) prescribir medidas adicionales necesarias para alcanzar y mantener la calidad de agua. Dicho Reglamento fue promulgado conforme a la Ley Sobre Política Pública Ambiental, Ley Núm. 416 del 22 de septiembre de 2004 que derogó la Ley Núm. 9, según enmendada el 18 de junio de 1970. En la sección 2.3.1.1, presenta la clasificación de las aguas subterráneas como: Clase SG, la cual incluye las aguas subterráneas que sirven o pueden servir como fuente de abasto de agua potable y para usos agrícolas incluyendo riego; y clase SG2, la cual incluye aguas subterráneas que debido a su alta concentración de sólidos disueltos totales (concentraciones en exceso de 10,000 mg/l) no son aptas como fuente de abasto de agua potable aún después de tratamiento. El fin de este Reglamento es preservar, conservar y restaurar la calidad de los cuerpos de agua de Puerto Rico, de tal manera que sean compatibles con las necesidades sociales y económicas del Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

La otra agencia estatal que regula el uso de las aguas subterráneas en Puerto Rico es el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA). El DRNA promulgó el Reglamento para el Aprovechamiento, Uso, Conservación y Administración de las Aguas de Puerto Rico, cual tiene como propósito establecer los procedimientos administrativos que regirán los usos y aprovechamientos de las aguas de Puerto Rico con el fin de promover un mejor manejo y conservación del recurso. Para así asegurar la protección y uso adecuado del recurso en cuestión. El DRNA es el ente regulador que emite los permisos para la instalación de pozos de extracción, con el fin de llevar un inventario de éstos para el control de la extracción de agua subterránea.

A nivel federal la EPA es la agencia reguladora de la calidad de agua subterránea mediante el Acta de Agua Potable Segura (Safe Drinking Water Act). Ésta tiene como propósito la protección de la salud pública mediante la regulación de los sistemas de abasto de agua público. Dicha Acta autoriza a la EPA a establecer estándares para agua potable, basados en la salud pública, para proteger dicho recurso de contaminantes tanto naturales como inducidos por el ser humano. Así como para el control de las aguas de escorrentía y las descargas pluviales, la EPA tiene un programa llamado el Sistema de Eliminación de Descarga de Contaminación Nacional (NPDES, por sus siglas en inglés). Este programa se encuentra bajo el Acta de Agua Limpia (CWA, por sus siglas en inglés), de 1977. Dicho programa tiene como meta proteger la salud pública, la vida acuática, así como asegurar que toda industria trate las aguas usadas antes de ser descargadas a un cuerpo de agua. Los tipos de contaminantes regulados en este programa son: contaminantes convencionales, tales como los desperdicios domésticos, alcantarillados, aceites, grasas y detergentes; contaminantes tóxicos como plaguicidas, solventes, bifenilos poli clorinados (PCBs, por sus siglas en inglés) y metales (plomo, plata, mercurio, cobre, cromo, entre otros); y contaminantes no convencionales tales como nitratos y fosfatos.

Dichos estándares están establecidos por el Código Federal de Regulaciones, Título 40 (40 CFR, por sus siglas en inglés), Parte 141 Regulaciones Nacionales Primarias para Agua Potable (National Primary Drinking Water Regulations). Esta parte establece regulaciones primarias para agua potable de acuerdo con la sección 1412 del Acta de Servicio de Salud Pública (Public Health Service Act), según enmendada por el Acta de Agua Potable Segura.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este estudio evaluamos el impacto de los cambios del uso del terreno en los patrones de recarga en el acuífero costanero de Santa Isabel. Además, analizamos el componente de escorrentía en áreas impermeabilizadas como una medida de recarga al acuífero; así como el impacto de éstas sobre la calidad en el agua subterránea. Para mantener consistencia con la base de datos obtenidos de la literatura citada todos los resultados cuánticos fueron presentados en el sistema inglés.

Descripción del área de estudio

El área de estudio comprende 50 millas cuadradas (mi²), entre Santa Isabel y Juana Díaz, localizada en la costa sur central de Puerto Rico. Al oeste está circundada por el Río Descalabrado, en el este por el Río Jueyes, al norte por la Cordillera Central, y al sur por el Mar Caribe. La topografía es prácticamente llana, con una pendiente promedio de 10 pies por milla (pies/mi).

El uso mayor de terrenos en el área de estudio es el agrícola. Para el 1987 un total de 25,000 acres eran utilizados para la cosecha de vegetales y frutas; y las áreas restantes para sectores urbanos (5,300 acres), humedales (1,000 acres) y pastoreo (640 acres) (Ramos-Ginés, 1994).

El clima es característico de una zona semiárida, con dos periodos de lluvia abundante entre mayo y octubre-noviembre. Además, el área tiene una evaporación potencial alta, de 81 pulgadas durante todo el año. Según la base de datos basada en un

periodo de 30 años (1955-84), el promedio anual de lluvia en el área es de 32 pulgadas (Ramos-Ginés, 1994).

La geología del área de Santa Isabel-Juana Díaz está compuesta por tres unidades litológicas principales. Éstas son: (1) depósitos de aluvión del Cuaternario, siendo ésta la de menos profundidad; (2) la Formación Juana Díaz del Terciario, de profundidad intermedia y (3) las rocas volcánicas del Terciario al Cretácico, la más profunda. Los depósitos de abanicos de aluvión del Cuaternario, constituyen el acuífero principal en el área; y están compuestos de capas a cuerpos lenticulares de tamaño irregular, arcilla no consolidada a pobre consolidada, limo, arena, grava y peñones de forma angular a redondeada (Ramos-Ginés, 1994).

La hidrogeología en este sistema está caracterizada por depósitos secuenciales de río que influyen en la capacidad del acuífero para transmitir agua. Esta propiedad del acuífero es conocida como la transmisividad. La transmisividad del acuífero de aluvión varía de 500 a 100,000 pies cuadrados por día (Gómez-Gómez, 1989). Hacia el noreste de Santa Isabel la transmisividad es alta y disminuye hacia la costa como resultado del incremento en arcilla y limo en el aluvión (Ramos-Ginés, 1994).

Identificar los cambios de uso del terreno en el área del acuífero de Santa Isabel y el riesgo de sus efectos sobre los patrones de recarga al acuífero.

Los usos de terreno y su efecto en los patrones de recarga lo determinamos mediante la revisión de estudios previos realizados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos de Norte América (USGS, por sus siglas en inglés); estos ayudaron en la recopilación de datos y análisis comparativo y descriptivo de los usos del terreno en el área de estudio. Luego se identificamos los patrones de recarga al acuífero, mediante la

revisión de mapas digitales de los sistemas de información geográfica (SIG) y estudios previos con el fin de analizar el impacto que haya tenido los cambios de usos de terrenos sobre ellos mediante un análisis físico espacial.

Evaluación del componente de escorrentía de áreas impermeabilizadas como medida de recarga al acuífero

Para la evaluación de la escorrentía producida en área impermeabilizadas como medida de recarga al acuífero, llevamos a cabo la recopilación de datos de precipitación en el área de estudio durante el año 2005, a través de la estación de medición de agua de lluvia del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) en la Cuenca del Río Coamo. Además, recopilamos los datos de los niveles de agua subterránea en el pozo Alomar Oeste perteneciente programa de monitoreo del USGS durante el período antes mencionado. Dichos datos los utilizamos para determinar el umbral de precipitación que activa la recarga al acuífero, a través del cambio en nivel de agua versus la precipitación obtenida durante el período previamente mencionado utilizando un histograma. Para este estudio, utilizamos una precipitación mayor de 0.75 pulgadas de lluvia (0.063 pies) en un período de acumulación de eventos de precipitación consecutivos. Una vez obtuvimos los datos, éstos se graficaron en un histograma y se estableció una relación biunívoca para así determinar el umbral de precipitación. Una vez se determinaron los cambios producidos por los eventos de precipitación acumulada, se generó un histograma de precipitación versus cambio de nivel en agua subterránea y se estableció una regresión lineal para determinar el intercepto en la ordenada con valor de cero cambio que representa el umbral precipitación que activa la recarga al acuífero con precipitación en exceso de éste. Utilizamos el valor 0.01 pulgadas, para representar el

incremento del umbral de precipitación, ya que los pluviómetros miden la precipitación en décimas de pulgadas. De esta forma, determinamos el valor del umbral precipitación que activa la recarga al acuífero; incluyendo la evapotranspiración como un componente inherente de la precipitación para producir una recarga

Para determinar el cambio en el nivel freático (Delta H), multiplicamos la pendiente (m) por el umbral de precipitación calculado mas incremento de 0.01 pulgadas y se le sumó a la variable, el intercepto en Y. En resumen, para poder determinar el volumen de lluvia es necesario determinar el área donde la precipitación ocurre. Esta área en realidad consiste de dos áreas importantes: el área permeable o donde ocurre infiltración y el área impermeable.

El área impermeabilizada estimada para los sectores urbanos consiste de: a) 306, b) 188, y c) 113 unidades; identificadas como: A₁, A₂ y A₃, respectivamente. Para determinar el área de las urbanizaciones en base a unidades de vivienda, utilizamos fotos aéreas de la base de datos del SIG del Servicio de Conservación de Recursos Naturales, perteneciente al Departamento de de Agricultura de los Estados Unidos. Para calcular el área promedio de las urbanizaciones, utilizamos la herramienta disponible en el portal de la agencia antes mencionada. Dicha herramienta permite la delineación del área de interés en forma de un polígono, y calcula el área en acres. Después que calculamos el área de interés, ésta se convirtió a pies cuadrados. Luego de determinada el área del polígono, se procedió a determinar el área de la unidad de vivienda utilizando la misma herramienta y procedimiento antes descrito. Para determinar el área impermeabilizada de la urbanización, se multiplicó el área obtenida de la unidad de vivienda por el total de unidades de vivienda en la urbanización. Dicho total de unidades se contabilizó

directamente de la imagen de satélite del portal antes mencionado. Se tomó el área total de las unidades de vivienda y se dividió entre el área total de polígono, para obtener el área impermeabilizada.

Una vez determinamos el área impermeabilizada, se utilizó la siguiente fórmula:

$$V = P/12 * A,$$

V es el volumen en pies cúbicos,

P es la precipitación pluvial en pulgadas y

A es el área impermeabilizada en pies cuadrados.

Para determinar el volumen de cambio en el nivel freático en relación con las tres (3) áreas de los polígonos (A_1 , A_2 , A_3) procedimos de la manera descrita a continuación. Determinamos la base de tiempo que transcurrió para una acumulación total de 1.13 pulgadas de lluvia. Esta base de tiempo la calculamos utilizando el método de razón y proporción, basado en la precipitación del umbral. Luego utilizamos la siguiente fórmula:

$$V_c = (IP/t) * A_1,$$

V_c es el volumen de cambio en pies cúbicos,

IP es el incremento de precipitación en pulgadas,

t es la base de tiempo en horas y

A_1 es el área del polígono en pies cuadrados.

Para el cálculo del volumen total producido en las áreas de los polígonos antes mencionados utilizamos la siguiente fórmula:

$$V_t = (P_i * A_1)/t,$$

V_t es el volumen total en pies cúbicos y

Pi es el umbral de precipitación + incremento de precipitación en pulgadas.

El volumen de recarga al acuífero lo calculamos usando la formula a continuación:

$$V_r = \Delta H * A_1 * P_k,$$

V_r es el volumen de recarga al acuífero en pies cúbicos,

ΔH es el cambio en nivel de agua subterránea en pulgadas y

P_k es el coeficiente de porosidad (0.10) establecido en el estudio de Kuniansky et al. (2004).

Para determinar la escorrentía producida por el umbral de precipitación utilizamos la siguiente formula:

$$E_u = (U_p * A_1)/t,$$

E_u es la escorrentía producida por el umbral de precipitación en pies cúbicos por segundos y

U_p es el umbral de precipitación en pies.

y para obtener la escorrentía generada por el umbral de precipitación más el incremento de precipitación utilizamos la formula,

$$E_i = (P_i * A_1)/t,$$

E_i es la escorrentía producida por el umbral de precipitación más el incremento de precipitación.

Después de calculado E_u y E_i , procedimos a determinar la escorrentía producida durante una precipitación menor al umbral de precipitación establecido. Para ello, se llevo a cabo el cálculo considerando la precipitación del 10 %, 30%, 50%, 70%, 90% y el 100 % del umbral de precipitación. El por ciento de precipitación del umbral se dividió

entre la base de tiempo (35.43 horas) y se multiplicó por el umbral de precipitación (1.13 pulgadas), luego calculamos la escorrentía con la siguiente formula:

$$E = (P * A_i)/t,$$

E es la escorrentía en pies cúbicos por segundo,

P es la precipitación en pies y

A_i es el área impermeabilizada.

Para cada área se asumió que el 40%, 60%, 80% y 100% de la escorrentía discurre a lo largo del plano longitudinal. Dicha escorrentía en el plano longitudinal, discurre hasta un punto de recolección (punto de concentración de flujo) para un tiempo definido. El producto del flujo promedio observado en el punto de concentración de flujo y el tiempo de duración del evento es equivalente al volumen total de descarga. La magnitud de la escorrentía hacia una celda continua lo obtuvimos multiplicando la escorrentía producida en un evento de lluvia menor que el umbral de precipitación, por el porcentaje de la magnitud de flujo a la celda continua o adyacente.

Establecida la escorrentía en base al por ciento que indica la magnitud de flujo a la celda continua, determinamos la escorrentía necesaria para generar infiltración. Dicho cálculo lo obtuvimos mediante la siguiente fórmula:

$$E_f = E_i - [(E_u * \%P) + E_{cc}],$$

E_f es la escorrentía para obtener infiltración potencial,

%P es el por ciento del umbral de precipitación y

E_{cc} es la escorrentía que discurre hacia la celda continua.

El análisis de los datos obtenidos lo realizamos utilizando el método de balance de masa.

Evaluar el impacto de las aguas de escorrentía en la calidad de las aguas subterránea

Este objetivo lo llevamos a cabo mediante la revisión de documentos y estudios sobre la calidad de las aguas de escorrentía en áreas agrícolas y urbanizadas para el análisis descriptivo del impacto sobre la calidad de agua subterránea actual.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cambios de uso del terreno en el área del acuífero de Santa Isabel y sus efectos sobre los patrones de recarga al sistema subterráneo

En este estudio identificamos los cambios en el uso del terreno dentro del área que comprende el acuífero aluvial costanero de Santa Isabel. El uso principal en los predios que comprenden el área de estudio, es la agricultura con un 35% (11, 094 acres); la Figura 3 provista por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS, por sus siglas en inglés) del uso de terrenos en la provincia de la costa sur apoya este dato. Los cambios se reflejan en el tipo de cultivo y la práctica de riego para el mismo. En la década de 1970 el cultivo primario lo fue la caña de azúcar. Este tipo de cultivo comprendía 16,632 acres del área de estudio. La práctica de riego usada era riego por inundación. Este tipo de riego requería de la inundación del área de cultivo, para así llevar el agua mediante surcos a la caña. Para conseguir la inundación del área cultivada se requería de una fuente de abasto externa, entendiéndose un cuerpo de agua superficial o subterráneo. En el caso de Santa Isabel, su mayor fuente de abastecimiento era los canales de riego de Juana Díaz. Estos canales de riego eran abastecidos por el Lago El Guayabal, localizado en el Municipio de Juana Díaz; además de la extracción de agua subterránea en las áreas de cultivo. Esta práctica generaba una recarga neta al acuífero por medio de la infiltración directa producida por el área inundada. Este hecho está documentado por McClymonds & Díaz (1972), en donde de 30 a 50% del agua utilizada para el riego por surcos se infiltraba al acuífero. A su vez dicha práctica trajo como consecuencia una reducción en los niveles de agua subterránea en el acuífero costanero de Santa Isabel, debido a la

demanda de extracción para inundar los surcos. De acuerdo con el estudio de Kuniansky et al. (2004) desde el 1985 hasta el momento de estudio los niveles declinaron alrededor de 20 pies.

Una vez la industria de la caña comienza a decaer, se produce un cambio en cultivo, de monocultivo a poli cultivo. De esta forma se comenzó a cultivar frutas, vegetales y heno entre otros, durante mediados de la década de los ochenta y principios de los noventa. De 1,069 acres (Kuniansky et al., 2004) del área comprendida durante la década de los setenta, por el cultivo de frutas y vegetales, ésta aumento a 11,094 acres en el 2007, de acuerdo con el inventario de fincas del Departamento de Agricultura de PR. (DAPR) Con este cambio en cultivo se produjo un cambio en la práctica de riego. Se comenzó a utilizar el riego por goteo. Dicho método presentaba una forma más eficiente de riego, ya que requería de menos volumen de agua; pero a su vez eliminó la recarga mediante la infiltración directa producida por el riego por surcos. De tal manera, se redujo la extracción, pero no se consiguió un aumento neto a la recarga del acuífero. Hoy día el área de Santa Isabel comprende un total de 96 fincas dedicadas al cultivo de frutas, vegetales y heno, según el inventario de fincas del DAPR para el año 2006-07.

Desde finales de la década de 1990 hasta el presente se continuó con las practicas de poli cultivo, pero se ha incorporado otro cambio en el uso del terreno; el desarrollo de la zona urbana con un 32% (10, 255 acres). Este cambio trae como consecuencia el aumento en demanda de agua potable para abastecimiento público. Esto ha tenido como resultado el aumento en extracción de agua subterránea como fuente de abasto público. Para 1975 la extracción promedio era de 2.0 millones de galones diarios (mgal/d), y ésta aumentó a 7.0 mgal/d para el 2003 según el estudio de Kuniansky et al. (2004). Estudios

recientes del USGS presentan que al presente la demanda para abasto público está cerca de 9.4 mgal/d. Dicho aumento ha declinado los niveles de agua subterránea, lo cual ha tenido como resultado el deterioro de la calidad de agua subterránea como abasto para agua potable y riego. Este deterioro en calidad se debe a que el agua extraída, proviene de una zona del acuífero que contiene altas concentraciones de sólidos disueltos. Este resultado es consistente con el estudio realizado en Arabia Saudita por Sharaf, Hussein & Al-Bassam (2001), el cual concluye que la sobreexplotación de agua subterránea para propósitos agrícolas e industriales es la razón principal para la causa del fenómeno de intrusión salina o aumento de sólidos disueltos en el área costanera del Mar Rojo. El aumento de sólidos disueltos también puede ser el resultado de la acumulación de dichos compuestos en la zona no saturada del acuífero previo algún cambio en el uso del terreno. De acuerdo con Scanlon et al. (2005) concentraciones de sales y nitratos acumulados en la zona no saturada por la evapotranspiración o la aplicación de fertilizantes, pueden ser transportados hacia el acuífero por la infiltración del riego aplicada algún tipo de cultivo o mediante infiltración natural.

Por otra parte, dicho deterioro de la calidad del agua subterránea se adjudica a que el desarrollo de complejos de vivienda, genera impermeabilización de las áreas de infiltración. Al impermeabilizar un área de captación, se genera una escorrentía, la cual produce un volumen de agua que no llegará a infiltrarse; por lo cual produce un efecto negativo al patrón de recarga del acuífero. Harbor (1994) en Akron, Ohio, sostiene que la conversión de áreas permeables a impermeables tiene un efecto adverso en la recarga natural al acuífero; ya que demostró que para el cambio de una área rural a una de alta densidad urbana se reduce la recarga neta entre 94 – 100%.

La influencia del cono de depresión generado por la sobre extracción, también ha producido que el nivel de agua subterránea en la costa se encuentre por debajo del nivel del mar. De acuerdo con el estudio de Kuniansky et al. (2004), la declinación de los niveles freáticos crea un movimiento lateral de agua salada tierra adentro, lo cual también contribuye al deterioro en la calidad del agua subterránea. La Figura 4 presenta un mapa generado por el USGS en 2001, en donde se establecen las zonas de intrusión salina en la costa sur. Estas zonas comprenden los municipios desde Guánica hasta Guayama.

Componente de escorrentía de áreas impermeabilizadas como medida de recarga al acuífero

De las gráficas generadas de los niveles de agua subterránea diarios observados en el pozo Alomar Oeste, entre los meses de abril de 2005 a octubre del mismo año (Figuras 5-7), y la precipitación registrada en la estación de lluvia del Lago Coamo, para el mismo periodo, se seleccionaron cuatro (4) eventos de lluvias consecutivas. La Figura 8 presenta área del acuífero dentro del área de estudio delineada para la evaluación del componente de escorrentía; la Figura 9 presenta la localización del pozo Alomar Oeste; mientras la Tabla 1-3, presenta la precipitación versus el cambio en nivel freático durante el período antes mencionado. De éstos se determinó que para una precipitación acumulativa de 1.53 pulgadas se produce un cambio de 0.04 pies en el nivel freático; 1.91 pulgadas produce un cambio de 0.06 pies; y 2.38 pulgadas produce un cambio de 0.33 pies. Estos valores fueron seleccionados, en base a que la representación gráfica de éstas precipitaciones versus el cambio en el nivel freático, presentaban una relación lineal directa; y no se vieron afectados por la influencia propiciada por el bombeo de otros pozos de extracción en el área de estudio. El intercepto en la ordenada de la gráfica por

los puntos antes mencionados (Figura 10) representa el valor del umbral de precipitación, en dónde el cambio en nivel freático es igual a cero, o equivalente a 1.13 pulgadas de lluvia. Dicho valor es el resultado de la regresión lineal $y=0.1461x-0.165$, con un $R^2=0.9737$.

Una vez establecido el umbral de precipitación, se determinó 1.13 pulgadas más 0.01 pulgadas es el valor que representa un cambio en el nivel freático (Delta H), ya que es el incremento en el que se mide la precipitación. Por lo cual el valor de precipitación total es 1.14 pulgas de lluvia. El resultado obtenido de la fórmula $y=mx+b$, despejando para x, el cual representa el valor para el Delta H, fue $1.46 \text{ E-}03$ pies. La base de tiempo establecida del método de razón y proporción, tomada del tiempo de duración para el cambio en el nivel freático versus precipitación, fue 35.43 horas. Este es el tiempo transcurrido para el umbral de precipitación.

Las áreas obtenidas para los complejos de vivienda multifamiliares fueron: A_1 (306 unidades de vivienda) 2, 194,932 pies²; A_2 (188 unidades de vivienda) 1, 136,916 pies²; A_3 (113 unidades de vivienda) 744,876 pies². Las Figuras 11-13 presentan el área de los polígonos de los complejos de vivienda antes mencionados. La Tabla 4 presenta las áreas de los polígonos, más el área de las unidades de vivienda.

El valor del volumen de cambio basado en el incremento de 0.01 pulgadas de lluvia, fue 50.92 pies³ para el A_1 ; 26.74 pies³ para el A_2 ; y 17.52 pies³ para el A_3 . El volumen total basado en el umbral de precipitación más el incremento de 0.01 pulgadas de lluvia de las áreas de los polígonos (A_1 , A_2 , A_3) fueron: 5,802 pies³, 3,047 pies³, y 1,996 pies³ respectivamente. El volumen que se infiltrará al acuífero generado en las áreas de los polígonos antes mencionadas, basado en el por ciento de recarga natural de

0.10 establecido por Kuniansky et al. (2004); es 316.30 pies³, 166.10 pies³, y 108.83 pies³, respectivamente. La Tabla 5 presenta los valores para el volumen de cambio, volumen total y el volumen de infiltración al acuífero.

La escorrentía producida cuando la precipitación es equivalente al umbral de precipitación (1.13 pulgadas) sobre las áreas de los polígonos A₁, A₂, A₃ fueron: 1.60 pies³/seg., 0.84 pies³/seg., y 0.55 pies³/seg., respectivamente. La Tabla 6 presenta los valores para la escorrentía producida durante un evento de lluvia equivalente al umbral de precipitación. Los valores obtenidos para un evento de lluvia en donde se superó el umbral de precipitación por 0.01 pulgadas (1.14 pulgadas), sobre las áreas de los polígonos A₁, A₂, A₃ fueron: 1.61 pies³/seg., 0.85 pies³/seg., y 0.55 pies³/seg., respectivamente. Este evento representa una infiltración de 1.46E-03. La Tabla 7 presenta los valores para el evento de lluvia que superó el umbral de precipitación sobre las áreas de los polígonos antes mencionadas. Se puede ver que el aumento es casi directamente proporcional al incremento de 0.01, según lo exhiben los valores de las áreas A₁ y A₂; pero no así para A₃, que su cambio fue menor de 0.01 debido a la dimensión de ésta que es menor a A₁ y A₂. La Tabla 7 presenta también el cambio entre ambas escorrentías.

Después de haber calculado la escorrentía producida sobre las áreas de los polígonos A₁, A₂, A₃, durante un evento donde llueve el umbral de precipitación (1.13 pulgadas) y otro en donde se supera el mismo (1.14 pulgadas); se calculó la escorrentía producida durante un evento de lluvia en donde la precipitación es menor al umbral de precipitación. Los resultados para un evento de lluvia en donde se precipitó el 10 %, 30%, 50%, 70%, 90% y el 100 % del umbral de precipitación se presentan en la Tabla 8.

Esta tabla presenta los valores de la precipitación en pulgadas por hora, equivalente a los por cientos de lluvia del umbral de precipitación. Además presenta la escorrentía producida para el área total de los polígonos (A_1 , A_2 , A_3) y las áreas impermeabilizadas de éstos, correspondientes a cada por ciento del umbral de precipitación. La Tabla 9 presenta los valores del porcentaje de la escorrentía que representa la magnitud de flujo asumida hacia la celda adyacente (40%, 60%, 80% y 100%). La Figura 14 presenta un modelo conceptual del porcentaje de escorrentía hacia la celda continua. La Tabla 10 presenta los valores de la magnitud de flujo. Los valores negativos se indicaron con el color rojo. Éstos representan la infiltración potencial al acuífero correspondiente al por ciento de la magnitud de flujo hacia la celda adyacente o continua. Por lo cual en ellos se supera la escorrentía producida en un evento de lluvia con una precipitación mayor al umbral de precipitación, produciendo así un exceso en el volumen de escorrentía en dicha celda adyacente o continua que representa la infiltración potencial. El estudio realizado por Ku et al. (1992) en Long Island, New York presenta que para un área impermeabilizada entre un 20-30% se consigue un 12% de aumento en recarga de agua subterránea a través de márgenes de infiltración; lo cual sirve de base referencial para la validez de la generación de recarga mediante el uso de aguas de escorrentía.

En el estudio demostramos que la escorrentía no tiene una relación directamente proporcional con el área del polígono, sino con el por ciento de área impermeabilizada. Esto se puede apreciar en el resultado donde en A_2 que tiene un área menor que A_1 , se consigue infiltración potencial con el 90 % del umbral de precipitación; mientras que en A_1 no ocurrió.

Impacto de las aguas de escorrentía en la calidad de las aguas subterránea

De acuerdo con la revisión de las publicaciones existentes sobre la calidad de las aguas de escorrentía en zonas agrícolas y urbanas presentan unas series de contaminantes que afectan la calidad del agua subterránea, si no son tratadas. En suelos agrícolas la aplicación de fertilizantes y plaguicidas son los compuestos que más afectan a la calidad del agua subterránea. Los fertilizantes y plaguicidas son asperjados y depositados en las capas superiores del subsuelo. En eventos de lluvia estos son transportados mediante la infiltración al subsuelo en forma de lixiviados, hasta eventualmente impactar el agua subterránea. El compuesto de mayor preocupación derivado de los fertilizantes son los nitratos. En la Figura 15 provista por un estudio realizado por la JCA y la EPA (2000) sobre el historial de contaminación en la cuenca hidrográfica de la costa sur, podemos apreciar que en el área de Santa Isabel los nitratos son el principal contaminante. Los nitratos son perjudiciales a la salud humana, de los cuales se conoce que su ingestión directa causa cáncer. Otra forma en que éstos migran hacia el agua subterránea es mediante las charcas de retención; en las cuales éstos se asientan y absorbidos y mediante filtración transportados al cuerpo de agua subterráneo. Debido a las propiedades iónicas de los compuestos y los suelos, es así que éstos son retenidos en el medio de solución en la matriz. Si la capacidad de degradación dichos nutrientes por las plantas se excede, o la matriz no contiene los suficientes cationes o aniones para remover los iones del compuesto en solución, éstos permanecen en suspensión el medio acuoso, siendo así transportados al acuífero.

En el caso de la escorrentía en áreas urbanas los contaminantes principales son los sedimentos en suspensión. Los sedimentos en suspensión son el producto de fuentes,

como: erosión del suelo, vegetación en descomposición, alcantarillados sanitarios averiados, sistemas sépticos de pobre operación, disposición ilegal de aceite y pinturas a través de los sistemas de alcantarillados pluviales, derrames accidentales y la filtración de tanques soterrados. Entre los contaminantes más comunes que se encuentran en muestras de agua esorrentía en zonas urbanas son: plomo, zinc, cobre, cromo y arsénico.

La avería de los sistemas de alcantarillados pluviales y de aguas negras son los principales causantes de la migración de estos contaminantes al cuerpo de agua subterráneo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En referencia a los cambios del uso de terreno en el área del acuífero costanero del municipio de Santa Isabel, podemos concluir que se resumen en dos. Estos son: el uso agrícola con un 35% y el desarrollo de la zona urbana con un 32%. El principal uso ha sido el agrícola desde mediados del siglo XX. En la actualidad se ha incorporado el desarrollo de urbanizaciones en el área de estudio. El uso del agua subterránea es el componente principal para ambos usos; por lo cual la extracción de agua subterránea ha generado a través de los años un impacto en la disponibilidad y calidad de dicho recurso.

En cuanto al uso agrícola el cambio de monocultivo a poli cultivo, ha llevado a cambios en la práctica de riego. Dichos cambios afectaron la disponibilidad de agua subterránea basado en la extracción y la recarga al acuífero. El riego por inundación utilizada para el cultivo de la caña de azúcar, demandaba mucho volumen de agua para inundar el área de cultivo. Esta práctica genera la extracción excesiva de agua del acuífero, declinando así los niveles freáticos en el acuífero. A su vez, la inundación del área de cultivo presentaba una recarga neta al acuífero, pero la disponibilidad de agua para dicha práctica de riego provocó un problema de abasto.

Por otra parte, para el poli cultivo se utiliza el riego por goteo. Dicho método de riego presenta una práctica mucho más eficiente para el control de la extracción de agua subterránea del acuífero y evita el decline de los niveles freáticos en el mismo. Minimiza la extracción, pero no contribuye a la recarga del acuífero; debido a que la gota aplicada directamente al horizonte de suelo donde se encuentran las raíces de la planta no se

infiltra. Esto tiene un efecto negativo en el patrón de recarga al acuífero, teniendo como resultado una recarga neta igual a cero.

El otro uso del terreno significativo que ha tenido efecto negativo en los niveles freáticos en el acuífero es el abasto de agua potable para uso doméstico. La declinación de los niveles freáticos ha contribuido al deterioro de la calidad del agua subterránea. Esto se debe a que se está extrayendo agua de una zona a gran profundidad en el acuífero la cual contiene altas concentraciones de sólidos disueltos. El incremento en la población en las pasadas décadas confirma el aumento documentado por Kuniatsky et al. (2004) en la extracción de agua subterránea, de 2.0 Mgal/d en la década de 1970 a 7.0 Mgal/d en el 2003.

Otro factor que contribuye a la declinación de los niveles freáticos en el acuífero es la impermeabilización de las áreas de infiltración. La impermeabilización de un área de captación, genera una escorrentía, la cual produce un volumen de agua que no llegará a infiltrarse; por consiguiente, esto produce un efecto negativo al patrón de recarga del acuífero.

Además del aumento en sólidos disueltos en el agua subterránea como resultado de la sobre extracción a lo largo de la costa del municipio de Santa Isabel, ha generado un cono de depresión en acuerdo con el estudio de Kuniatsky et al. (2004). La influencia de dicho cono de depresión ha producido que el nivel de agua subterránea en la costa se encuentre por debajo del nivel del mar. Esto ha resultado en el movimiento lateral hacia tierra de agua salada, lo cual también contribuye al deterioro en la calidad del agua subterránea. Estudios similares como el realizado por Sharaf, Hussein & Al-Bassam, (2001) en Arabia Saudita apoyan esta conclusión.

La evaluación del componente de escorrentía generado en áreas impermeabilizadas como medida de recarga al acuífero; refleja que con un por ciento de lluvia menor que el umbral de precipitación de 1.13 pulgadas se consigue una infiltración potencial. El estudio demostró que con un 90% del umbral de precipitación y considerando el 40% de la magnitud de flujo hacia la celda continua o adyacente se produce una infiltración de 0.02 pcs en el A₂ (188 unidades de vivienda). Por otra parte si se considera 60% o más de la magnitud de flujo de la escorrentía se obtiene infiltración potencial para el 90% y el 100% del umbral de precipitación en las tres áreas impermeabilizadas. Por lo cual llegamos a la conclusión que la impermeabilización del suelo no tiene un efecto totalmente adverso para fines de recarga al acuífero, ya que con una lluvia menor al umbral de precipitación se consigue una infiltración potencial; si dicho volumen es concentrado en un punto de captación. Esto es congruente con el concepto presentado por Seiler & Gat (2007) de que el manejo adecuado de las aguas de escorrentía en áreas impermeabilizadas puede minimizar la pérdida de recarga de agua subterránea mediante el uso de técnicas apropiadas de infiltración.

De la información obtenida mediante la revisión de la literatura existente referente a la calidad de las aguas de escorrentía tanto en áreas agrícolas y urbanas, concluimos que éstas son una fuente de contaminación para el agua subterránea si no son tratadas y no se utilizan controles para evitar la migración hacia los cuerpos de agua subterráneos.

En medida de los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas de ellos en este estudio, recomendamos la evaluación de medidas alternas para mitigar la declinación de los niveles en el acuífero mediante el control de extracción de agua a través de permisos en donde rigurosamente se evalúe el fin de la extracción y su volumen

permitido; evaluación de la infraestructura existente para el suministro de agua mediante una fuente abasto externa; y evaluar la implementación de pozos de inyección para ayudar a la restauración de los niveles freáticos y como medida de control para mitigar el movimiento de agua salada a lo largo de costa; éste último secundando la medida propuesta por Kuniánsky et al. (2004). Además que el estudio realizado por Donovan et al. (2002) demostró ser una medida costo eficiente para la restauración de los niveles freáticos en el Valle de Nevadas, restaurando alrededor de 50 pies declinados.

En referencia a la evaluación del componente de escorrentía como medida de recarga al acuífero, se recomienda la preparación de una modelación de la magnitud de flujo hacia la celda adyacente en las áreas urbanizadas; para así evaluar controles de ingeniería que permitan la recolección de dicha escorrentía y redirigirla al acuífero. Además implementar las mejores prácticas de manejo tanto en zonas agrícolas y urbanas para mitigar la contaminación de las aguas de escorrentía y el cuerpo de agua subterránea. Por ejemplo el uso combinado de filtros de arena y orgánicos en conjunto con una trinchera de infiltración. Estudios realizados por la EPA para su programa de NPDES, han demostrado que este tipo de filtros son eficientes en la remoción de sólidos totales en suspensión (65 – 90%), metales (25 – 90%) y bacterias (55%) entre otros (EPA, 2006); mientras que las trinchera de infiltración son eficientes como medida de recarga a un acuífero (EPA, 2006).

Este estudio estuvo limitado a la información obtenida de la literatura existente y los trabajos de investigación previos en el área de estudio, además de la disponibilidad limitada de datos actualizados por las agencias gubernamentales y federales.

Con este estudio esperamos poder dar paso a la elaboración de trabajos de investigación que utilicen los datos recopilados y elaborados en este documento para delinear mejores prácticas de evaluación y manejo de las aguas de escorrentía y su efecto en la recarga en el acuífero costanero de Santa Isabel. Asociado a las aguas de escorrentías, es necesario establecer medidas de control de transporte de sedimentos y otros contaminantes potenciales. Estos controles son críticos para mitigar el riesgo de contaminación y utilizar de manera eficiente tan preciado recurso, ya que el agua es esencial para la vida y el desarrollo ambiental.

LITERATURA CITADA

- American Society of Civil Engineers (2001). *Standard guidelines for artificial recharge of ground water*, Environmental and Water Resources Institute. American Society of Civil Engineers Report 34-01, 106 p.
- Attanasi, E. D., Close, E.R., & Lopez, M.A. (1975). *Techniques for water demand analysis and forecasting: Puerto Rico*, A case study: U.S. Geological Survey Open-File Report 75-94, 76p.
- Bekele, E. B., Salama, R.B., & Commander, D. P. (2006). Impact of change in vegetation cover on ground water recharge to a phreatic aquifer in Western Australia: assessment of several recharge estimation techniques, *Australian Journal of Earth Sciences*, 53: 905-917.
- Bennett, G. D. & Giusti, E.V. (1971). *Coastal ground-water flow near Ponce, Puerto Rico, computed by a water budget method*: U.S. Geological Survey Professional Paper 750-D, p.206.
- Bogart, D. B., Arnow, T., & Crook, J. W. (1960). *Water problems of Puerto Rico and a program of water resources investigations*: U.S. Geological Survey Water Resources Bulletin 1, 40 p.
- Calvesbert, R.J. (1970). *Climate of Puerto Rico and U.S. Virgin Islands* U.S. Department of Commerce, *Environmental Data Service, Climatology of the U.S.*, no. 60-52, 29p.
- Cleary, R.W. (2009). *Fundamental and advanced concepts in remediation geohydrology*, Princeton Ground Water's Remediation Course, Chap.2, p. 1-10.
- Clemmens, A.J. (2000). *Definition for furrow irrigation*. Extraído abril 20, de 2009 de <http://www.uswcl.ars.agitation.htm>.
- Code of Federal Regulations. (2008). Title 40 – Protection of Environment, Chapter I – Environmental Protection Agency, Part 141 – National Primary Drinking Water Regulations. 40CFR141.
- Colón-Dieppa, E. & González, J.R. (1981). *Ground water levels and chloride concentrations in alluvium aquifers on the south coast of Puerto Rico, February 1979*: U.S. Geological Survey Open-File Report 81-641, 21 p.
- Comisión Estatal de Elecciones de Puerto Rico. (2000). *Censo 2000: Población de Puerto Rico por Distritos Legislativos, Precintos y Municipios, 1990 y 2000*. Extraído noviembre 30, 2004 de <http://www.ceepur.org/censo2000/2000vs90.html>.

- Conde-Costas, C.E., & Rodríguez Rodríguez, G.A. (1997). *Reconnaissance of ground water quality in the Manatí quadrangle, Puerto Rico, August-November 1992*: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-628, 16 p.
- Conde-Costas, C.E., & Gómez-Gómez, F. (1999). *Assessment of nitrate contamination of the upper aquifer in the Manatí -Vega Baja area Puerto Rico*: U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 99-4040, 43 p.
- Departamento de Agricultura de Puerto Rico. (2008). *Datos Diversos Seleccionados, Valor 2006/07*. (Censo agrícola, 2002, L:/ Sección de Información/Sección Producción-Análisis/bronsosn/DATO; pág. 135). Santurce, Puerto Rico: Oficina de Estadísticas Agrícolas.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico. (2000). *Reglamento para el aprovechamiento, uso, conservación y administración de la aguas de Puerto Rico del 9 de octubre de 2000*. Número 6213.
- Donovan, D.J., Katzer, T., Brothers, K., Cole, E. & Johnson, M. (2002). Cost-benefit analysis of artificial recharge in Las Vegas Valley, Nevada, *Journal of Water Resources Planning and Management* 9: 356-365.
- Dopazo, T., & Molina-Rivera, W.L. (1995). *Estimated water use in Puerto Rico, 1988-89*: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-380, 31 p.
- Fetters, C.W. (2001a). Aquifers, *Applied Hydrogeology 4th ed.*, (pp. 95-101), New Jersey, Prentice Hall, Inc.
- Fetters, C.W. (2001b). Coastal plain aquifers, *Applied Hydrogeology 4th ed.*, (pp. 327-331), New Jersey, Prentice Hall, Inc.
- Gellis, A.C., Webb, R.M.T., Wolfe, W.J., & McIntyre, C.I. (1999). *Effects of land use on upland erosion, sediment transport, and reservoir sedimentation, Lago Loiza basin, Puerto Rico*: U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 99-4010, 60 p., 1pl.
- Guiti, E.V. (1971). Water resources of the Coamo area, Puerto Rico: *U.S. Geological Survey Water Resources Bulletin* 9, 31 p.
- Gómez-Gómez, F. & Guzmán-Ríos, S. (1982). *Reconnaissance of ground water quality through Puerto Rico, September-October 1981*: U.S. Geological Survey Open-File Report 82-332, 1 sheet
- Gómez-Gómez, F., Dacosta, R. & Orana, M. (1983). *Estimated water use in Puerto Rico, 1980- U.S. Geological Survey Water-Use Information Program*: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-689, 1 sheet

- Gómez-Gómez, F. (1998) *Hydrochemistry of the south coastal plain aquifer system of Puerto Rico and its relation to surface water recharge*, in Gómez-Gómez, Fernando, Quiñones-Aponte, Vicente, and Johnson, A.I., eds., *Regional Aquifer Systems of the United States: Aquifers of the Caribbean Island*, American Water Association Monograph Series No. 15, International Symposium on Tropical Hydrology, July 1990, San Juan, Puerto Rico, p. 57-75.
- Heisel, J.E. & Gonzalez, J.R. (1976). *Ground water levels on the south coast of Puerto Rico, February 1976*: U.S. Geological Survey Open-File Report 76-705, 13p.
- Heisel, J.E. & Gonzalez, J.R. (1979). *Water budget and hydraulic aspects of artificial recharge, south coast of Puerto Rico*: U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 78-58, 102 p.
- Haire, W.J. (1971). *Floods in the Santa Isabel area, Puerto Rico*: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-448, 1 sheet.
- Jayasuriya, L.N.N., Kadurupokune, N., Othman, M. & Jesse, K. (2007). Contributing to the sustainable use of stormwater: the role of pervious pavements, *Water Science & Technology*, 56: 69-75.
- Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico. (2003). *Reglamento de estándares de calidad de agua de Puerto Rico*, versión enmendada marzo de 2003. R-03-05.
- Junta de Planificación de Puerto Rico. (2002). *Datos del Censo de Agricultura 2002-2003*. Extraído marzo 6, 2008 <http://www.gobierno.pr/Censo/CensoAgricultura/CensoAgricultura2002-2003/>.
- Junta de Planificación de Puerto Rico. (2003). *Puerto Rico interactivo, evaluación ambiental*. Extraído abril 9, 2009 <http://gis.jp.gobierno.pr/website/pri/Ambiental/viewer.htm>.
- Kelly, S., Kidwell, D. & Lehrer, G. (1999). *Urban Run-Off*. Extraído mayo 19, 2009 <http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/group18/urbanr.htm>.
- Kuniansky, E. L., Gómez-Gómez, F. & Torres-González, S. (2004). *Effects of aquifer development and changes in irrigation practices on ground water availability in the Santa Isabel area, Puerto Rico*: U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 03-4303, 56p.
- Molina-Rivera, W. L. (1996). *Ground water use from the principal aquifers in Puerto Rico during calendar year 1990*: U.S. Geological Survey Fact Sheet 188-96, 3p.
- Molina-Rivera, W.L. (1998). *Estimated water use in Puerto Rico, 1995*: U.S. Geological Survey Open-File Report 98-276, 28 p.

- Olcott, Perry G. (1999). *Ground-Water Atlas of the United States: Alaska, Hawaii, Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands*, HA 730-N.
- Quiñones Aponte, V. & Gómez Gómez, F. (1987). *Potentiometric surface of the alluvial aquifer and hydrologic conditions in the Salinas quadrangle, P.R., March 1986*: U.S.Geological Survey Water Resources Investigation Report 87-4161, 1pl.
- Quiñones Aponte, V., Gómez Gómez, F. & Renken, R.A. (1997). *Geohydrology and simulation of ground-water flow in the Salinas to Patillas area, Puerto Rico; Caribbean Islands Regional Aquifer Systems Analysis*; U.S.Geological Survey Water Resources Investigation Report 95-4063.
- Ramos-Ginés, O. (1994). *Effects of changing irrigation practices on the ground-water hydrology of the Santa Isabel-Juana Díaz area, south central Puerto Rico*: U.S.Geological Survey Water Resources Investigation Report 91-4183, 22 p.
- Ramos-Ginés, O. (1997). *Water balance and quantification of total phosphorus and total nitrogen loads entering and leaving the lago de Cidra central Puerto Rico*: U.S.Geological Survey Water Resources Investigation Report 96-4222, 41 p.
- Rodríguez-del-Río, F. & Gómez Gómez, F. (1990). *Potentiometric surface of the alluvial aquifer and hydrologic conditions in the Santa Isabel-Juana Díaz area, south central Puerto Rico, March to April 1987*: U.S.Geological Survey Water Resources Investigation Report 89-4116, 1 sheet.
- Reed, R. & Ensley, J. (1998). *Agriculture and its effects on ground water*. Extraído mayo 19, 2009 de <http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/agric/index.html>.
- Renken, R. A.; Ward, W.C.; Gill, I. P., Gómez Gómez, F. & Rodríguez Martínez, J. (2000). *Geology and hydrogeology of the Caribbean Islands Aquifer System of the Commonwealth of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Caribbean Islands Regional Aquifer Systems Analysis*; U.S. Geological Survey Professional Paper 1419.
- Scanlon, B. R., Reedy, R.C., Stonestrom, D. A., Prudic, D. E. & Dennehy, K .F. (2005). *Impact of land use and land cover change on ground water recharge and quality in the southwestern US*, *Global Change Biology*, 11: 1577-1593.
- Seiler, K. P. & Gat, J. R. (2007). *Process of recharge, Ground Water Recharge From Run-Off, Infiltration and Percolation*, (pp. 37-50), Dordrecht, Springer.
- Sharaf, M. A. & Al-Bassam (2001). *Upconing and Saline Water Intrusion and the Need for Water Conservation in the Lower Part of Wadi Fatimah, Western Saudi Arabia*, *Water Resources Development*, 17: 211-226.

- Spechler, R. M. (1994). *Saltwater Intrusion and Quality of Water in the Florida Aquifer System, Northeastern Florida*, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 92-4174.
- Torres González, S. (1991). *Compilation of ground water level measurements obtained by the United States Geological Survey in Puerto Rico, 1958-1985*: U.S. Geological Survey Open File Data Report 88-701, 163 p.
- Torres González, S. & Gómez Gómez, F. (1987). *Potentiometric surface of the alluvial aquifer and hydrologic conditions in the Central Aguirre quadrangle, P.R., March 1986*: U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 87-4160, 1 sheet.
- Torres-Sierra, H. (1997). *Flood of October 6-7, 1985, in the Ponce-Santa Isabel area, Puerto Rico*: U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 95-4166, 2 sheets.
- Troester, J. W. (1999). *Geochemistry and hydrologic framework of the saline-freshwater interface and calculation of net recharge in the Dorado area, north-central Puerto Rico*: U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 96-4188, 39p.
- Troester, J. W. & Richards, R. T. (1996). *Geochemical properties and saline-water intrusion in the Valle Yabucoa alluvial aquifer southeastern Puerto Rico*: U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 98-4030, 36p.
- U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation service, Web Soil Survey. (2008). *Area of interest aerial photo*. Extraída octubre 18, 2008. <http://websoilsurvey.nrcs.usda.gov/app/WebSoilSurvey.aspx>.
- U.S. Environmental Protection Agency (1972). Clean Water Act. 33 U.S.C. §1251 et seq.
- U.S. Environmental Protection Agency (1993). *Guidance Specifying Management Measures for Sources of Nonpoint Pollution in Coastal Waters*. Extraído abril 5, 2009. <http://www.epa.gov/owow/nps/MMGI/index.html>.
- U.S. Environmental Protection Agency (1996a). *Managing Nonpoint Source Pollution from Agriculture*. Extraído abril 5, 2009. <http://www.epa.gov/owow/nps/facts/point6.htm>.
- U.S. Environmental Protection Agency (1996b). *Managing Urban Runoff*. Extraído abril 5, 2009. <http://www.epa.gov/owow/nps/facts/point7.htm>.
- U.S. Environmental Protection Agency (1996c). *Nonpoint Source Pollution: The Nation's Largest Water Quality Problem*. Extraído abril 5, 2009. <http://www.epa.gov/owow/nps/facts/point1.htm>.

- U.S. Environmental Protection Agency (2003). *Protecting water quality from agricultural run-off*. Extraído abril 5, 2009 http://www.epa.gov/owow/nps/Ag_Runoff_Fact_Sheet.pdf.
- U.S. Environmental Protection Agency (2006). *Storm Water menu for BMPs*. Extraído octubre 30, 2009. http://www.epa.gov/owow/nps/Ag_Runoff_Fact_Sheet.pdf.
- U.S. Environmental Protection Agency (2007). *Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices*. Extraído noviembre 20, 2009. <http://www.epa.gov/owow/nps/lid/costs07/documents/reducingstormwatercosts.pdf>
- U.S. Geological Survey. (2005). *USGS Ground water daily data for Puerto Rico, Alomar Oeste Well, Santa Isabel, P.R.* Extraído septiembre 9, 2008. http://waterdata.usgs.gov/pr/nwis/dv?referred_module=gw&search_station_nm=alomar%20oeste&search_station_nm_match_type=beginning&site_tp_cd=GW&site_tp_cd=GW-CR&site_tp_cd=GW-EX&site_tp_cd=GW-HZ&site_tp_cd=GW-IW&site_tp_cd=GW-MW&site_tp_cd=GW-TH&format=station_list&sort_key=site_no&group_key=NONE&range_selection=days&period=365&date_format=YYYY-MM-DD&rdb_compression=file&list_of_search_criteria=search_station_nm%2Csite_tp_cd%2Crealtime_parameter_selection.
- U.S. Geological Survey. (2006). *USGS Ground water daily data for Puerto Rico, Alomar Oeste Well, Santa Isabel, P.R.* Extraído septiembre 9, 2008. http://waterdata.usgs.gov/pr/nwis/dv?referred_module=gw&search_station_nm=alomar%20oeste&search_station_nm_match_type=beginning&site_tp_cd=GW&site_tp_cd=GW-CR&site_tp_cd=GW-EX&site_tp_cd=GW-HZ&site_tp_cd=GW-IW&site_tp_cd=GW-MW&site_tp_cd=GW-TH&format=station_list&sort_key=site_no&group_key=NONE&range_selection=days&period=365&date_format=YYYY-MM-DD&rdb_compression=file&list_of_search_criteria=search_station_nm%2Csite_tp_cd%2Crealtime_parameter_selection..
- U.S. Geological Survey. (2008a). *Precipitation, total, inches, water year October 2004 to September 2005, daily sum values*. (DD # 2 from DCP). Station # 50106850 Lago Coamo NR, Los Llanos, PR: U.S. Geological Survey.
- U.S. Geological Survey. (2008b). *Precipitation, total, inches, water year October 2005 to September 2006, daily sum values*. (DD # 2 from DCP). Station # 50106850 Lago Coamo NR, Los Llanos, PR: U.S. Geological Survey.
- Veve, T.D., & Taggart, B.E. (1996). *Atlas of ground water resources in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands*: U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 98-4030, 36p

Yamauchi, H. (1984). *Impact on ground-water resources of conversion from furrow to drip irrigation*: Water Resources Bulletin, no. 4, v. 20, p. 557-563.

TABLAS

Tabla 1

Precipitación vs. cambio en nivel freático durante el mes de abril 2005

Mes/Año	Día	Precipitacion (pulgadas)	Precipitacion total (pulgadas)	Δ nivel freático (pies)	n
abril/05	6	0.18			
	7	1.35			
			1.53	0.04	2
	26	1.13			
	27	0.40			
	28	0.00			
	29	0.38			
			1.91	0.06	4

Tabla 2

Precipitación vs. cambio en nivel freático durante el mes de julio 2005

Mes/Año	Día	Precipitacion (pulgadas)	Precipitacion total (pulgadas)	Δ nivel freático (pies)	n
julio/05	5	0.69			
	6	1.23			
	7	0.00			
			1.92	0.05	3

Tabla 3

Precipitación vs. cambio en nivel freático durante el mes de octubre 2005

Mes/Año	Día	Precipitacion (pulgadas)	Precipitacion total (pulgadas)	Δ nivel freático (pies)	n	
octubre/05	8	0.01				
	9	2.45				
	10	2.46				
	11	2.41				
	12	1.53				
	13	0.35				
	14	0.01				
	15	0.67				
				9.89	1.27	8
	20	0.08				
	21	1.55				
	22	0.61				
	23	0.07				
	24	0.08				
				2.38	0.33	5

Tabla 4

Área de polígono y unidad de vivienda

Polígono	Área del polígono (pies²)	Unidad de vivienda	Área unidad de vivienda (pies²)	n
A1	2,164,932	306	1,512.88	306
A2	1,136,916	188	2,178.85	188
A3	744,876	113	1,766.76	113

Tabla 5

Valores para el volumen de cambio, volumen total y el volumen de infiltración al acuífero

Polígono	Volumen de cambio (pies³)	Volumen total (pies³)	Volumen de infiltración (pies³)	n
A1	50.92	5,802	316.3	306
A2	26.74	3,047	166.1	188
A3	17.52	1,996	108.8	113

Tabla 6

Valores de la escorrentía durante un evento de lluvia equivalente al umbral de precipitación (1.13pulgadas)

Polígono	Área impermeable (pies²)	Área permeable (pies²)	% de impermeabilidad	Escorrentía (pies³/s)	n
A1	462,941.28	1,701,990.72	21.4	1.60	306
A2	409,623.80	727,292.20	36.0	0.84	188
A3	199,643.88	545,232.12	26.8	0.55	113

Tabla 7

Valores de la escorrentía durante un evento de lluvia que supero el umbral de precipitación (1.13 pulgadas + 0.01 pulgadas)

Polígono	Área impermeable (pies²)	% de impermeabilidad	Escorrentía (pies³/s)	Δ en altura (pies)	n
A1	462,941.28	21.4	1.61	0.0141	306
A2	409,623.80	36.0	0.85	0.0074	188
A3	199,643.88	26.8	0.55	0.0049	113

Tabla 8

Valores de la escorrentía total y de áreas impermeabilizadas como resultado del porcentaje del umbral de precipitación en el polígono A1

Polígono	% del umbral de precipitación	Precipitación (pulgadas/hora)	Escorrentía total (pies³/s)	Escorrentía de áreas impermeabilizadas (pies³/s)	n
A1	10	0.0032	0.16	0.03	306
A1	30	0.010	0.48	0.10	306
A1	50	0.016	0.80	0.17	306
A1	70	0.022	1.12	0.24	306
A1	90	0.029	1.44	0.31	306
A1	100	0.032	1.16	0.34	306

Tabla 9

Valores de la escorrentía total y de áreas impermeabilizadas como resultado del porcentaje del umbral de precipitación el polígono A2

Polígono	% del umbral de precipitación	Precipitación (pulgadas/hora)	Escorrentía total (pies³/s)	Escorrentía de áreas impermeabilizadas (pies³/s)	n
A2	10	0.0032	0.08	0.03	188
A2	30	0.010	0.25	0.09	188
A2	50	0.016	0.42	0.15	188
A2	70	0.022	0.59	0.21	188
A2	90	0.029	0.76	0.27	188
A2	100	0.032	0.84	0.30	188

Tabla 10

Valores de la escorrentía total y de áreas impermeabilizadas como resultado del porcentaje del umbral de precipitación el polígono A3

Polígono	% del umbral de precipitación	Precipitación (pulgadas/hora)	Escorrentía total (pies³/s)	Escorrentía de áreas impermeabilizadas (pies³/s)	n
A3	10	0.0032	0.05	0.01	113
A3	30	0.010	0.16	0.04	113
A3	50	0.016	0.27	0.07	113
A3	70	0.022	0.38	0.10	113
A3	90	0.029	0.49	0.13	113
A3	100	0.032	0.55	0.15	113

Tabla 11

Por ciento de esorrentía (pies³/s) a celda adyacente en el polígono A1

Polígono	40%	60%	80%	100%	n
A1	0.01	0.02	0.03	0.03	306
A1	0.04	0.06	0.08	0.10	306
A1	0.07	0.10	0.14	0.17	306
A1	0.10	0.14	0.19	0.24	306
A1	0.12	0.18	0.25	0.31	306
A1	0.14	0.20	0.27	0.34	306

Tabla 12

Por ciento de esorrentía (pies³/s) a celda adyacente en el polígono A2

Polígono	40%	60%	80%	100%	n
A2	0.01	0.02	0.02	0.03	188
A2	0.04	0.05	0.07	0.09	188
A2	0.06	0.09	0.12	0.15	188
A2	0.08	0.13	0.17	0.21	188
A2	0.11	0.16	0.22	0.27	188
A2	0.12	0.18	0.24	0.30	188

Tabla 13

Por ciento de esorrentía (pies³/s) a celda adyacente en el polígono A3

Polígono	40%	60%	80%	100%	n
A3	0.01	0.01	0.01	0.01	113
A3	0.02	0.03	0.04	0.04	113
A3	0.03	0.04	0.06	0.07	113
A3	0.04	0.06	0.08	0.10	113
A3	0.05	0.08	0.11	0.13	113
A3	0.06	0.09	0.12	0.15	113

Tabla 14

Por ciento de escorrentía (pies³/s) a celda adyacente que produce infiltración en el polígono A1 (valores negativos indican infiltración potencial)

Polígono	40%	60%	80%	100%	n
A1	1.44	1.43	1.42	1.42	306
A1	1.09	1.07	1.05	1.03	306
A1	0.74	0.71	0.68	0.64	306
A1	0.40	0.35	0.30	0.25	306
A1	0.05	-0.01	-0.07	-0.13	306
A1	-0.12	-0.19	-0.26	-0.33	306

Tabla 15

Por ciento de escorrentía (pies³/s) a celda adyacente que produce infiltración en el polígono A2 (valores negativos indican infiltración potencial)

Polígono	40%	60%	80%	100%	n
A2	0.75	0.74	0.74	0.73	188
A2	0.56	0.54	0.52	0.50	188
A2	0.37	0.34	0.31	0.28	188
A2	0.17	0.13	0.09	0.05	188
A2	-0.02	-0.07	-0.13	-0.18	188
A2	-0.11	-0.17	-0.23	-0.29	188

Tabla 16

Por ciento de escorrentía (pies³/s) a celda adyacente que produce infiltración en el polígono A3 (valores negativos indican infiltración potencial)

Polígono	40%	60%	80%	100%	n
A3	0.49	0.49	0.49	0.48	113
A3	0.37	0.36	0.35	0.35	113
A3	0.25	0.24	0.22	0.21	113
A3	0.13	0.11	0.09	0.07	113
A3	0.01	-0.02	-0.05	-0.07	113
A3	-0.05	-0.08	-0.11	-0.14	113

FIGURAS

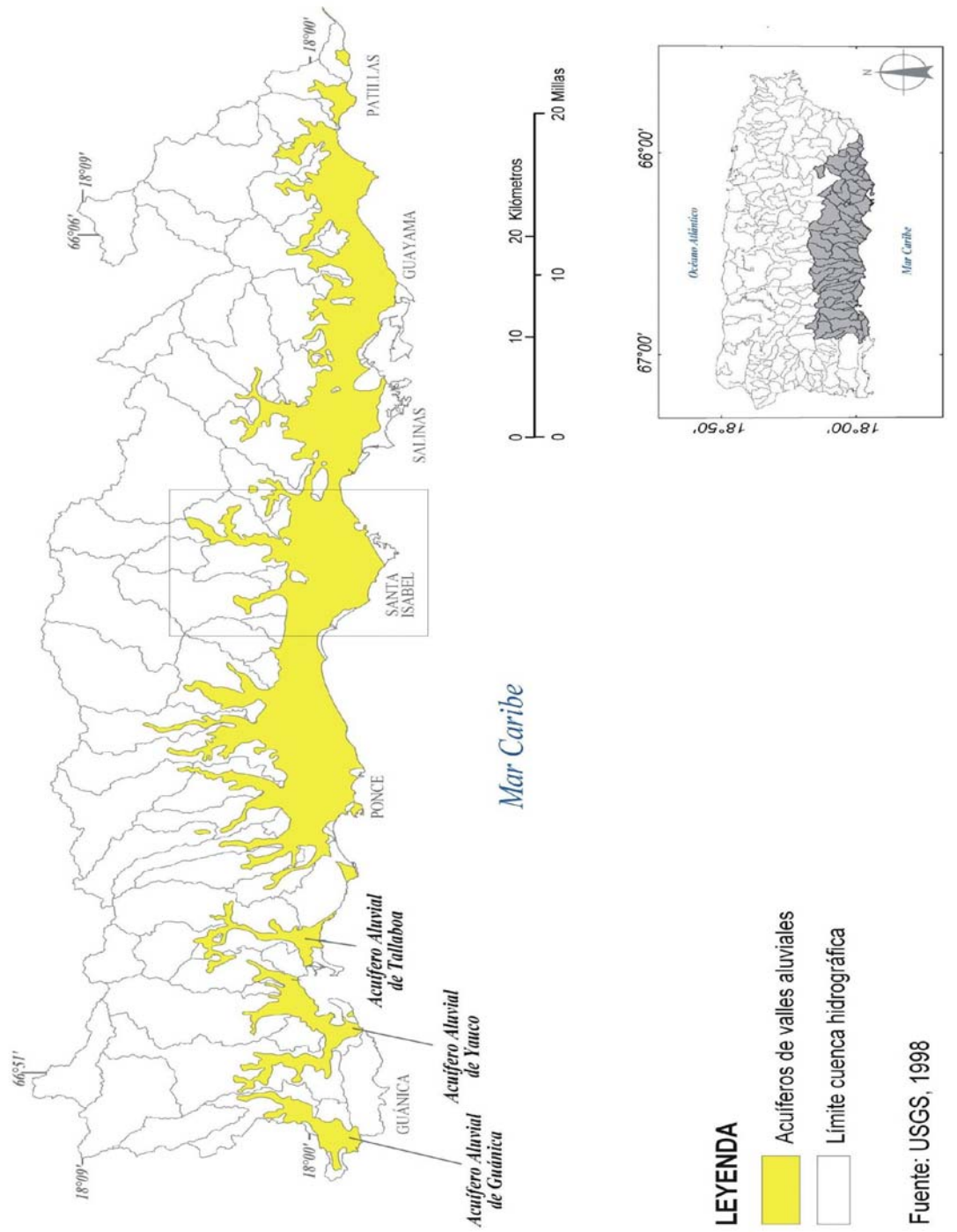


Figura 1. Localización del área de estudio en Santa Isabel, Puerto Rico.

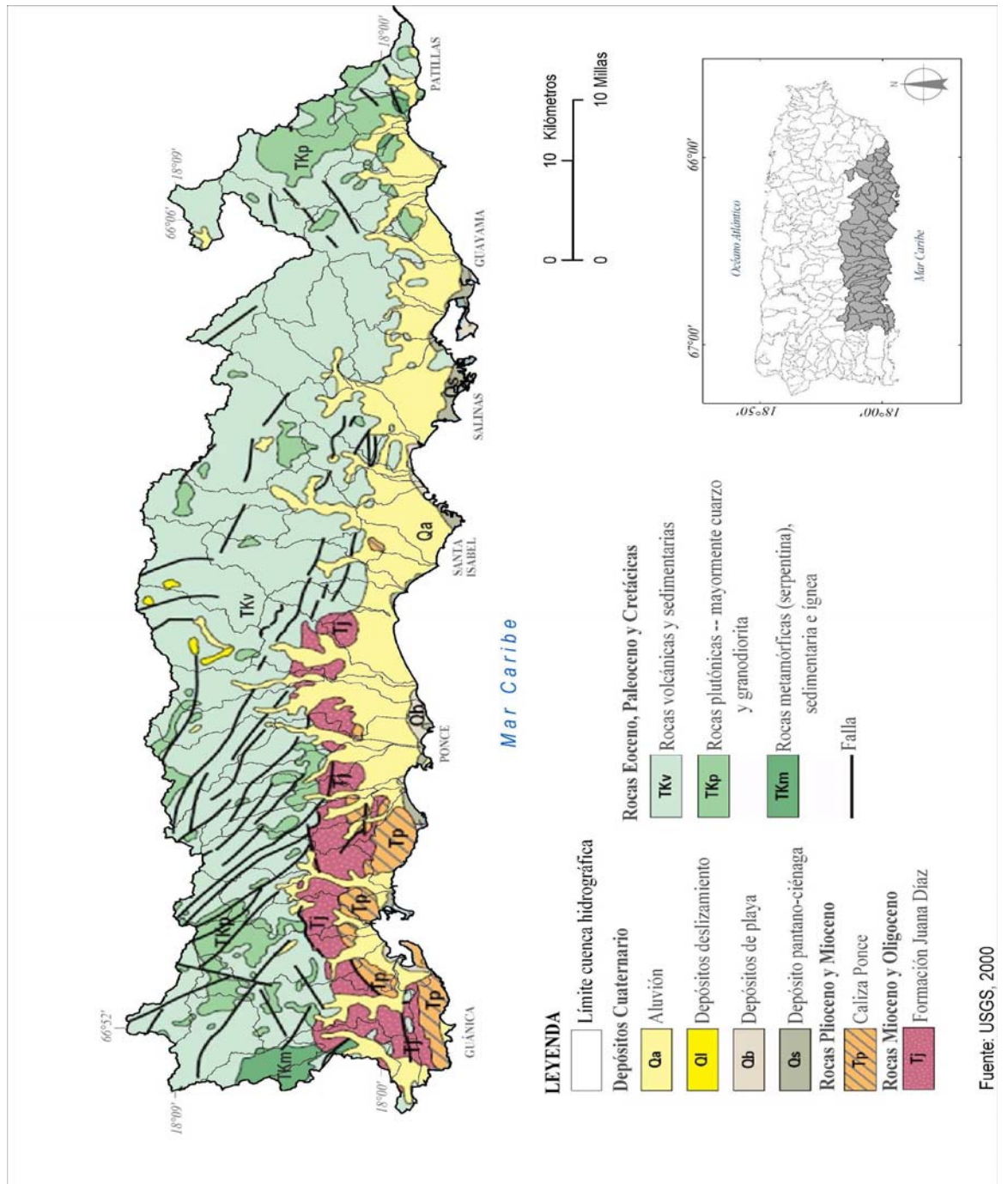


Figura 2. Geología generalizada de la costa sur de Puerto Rico.

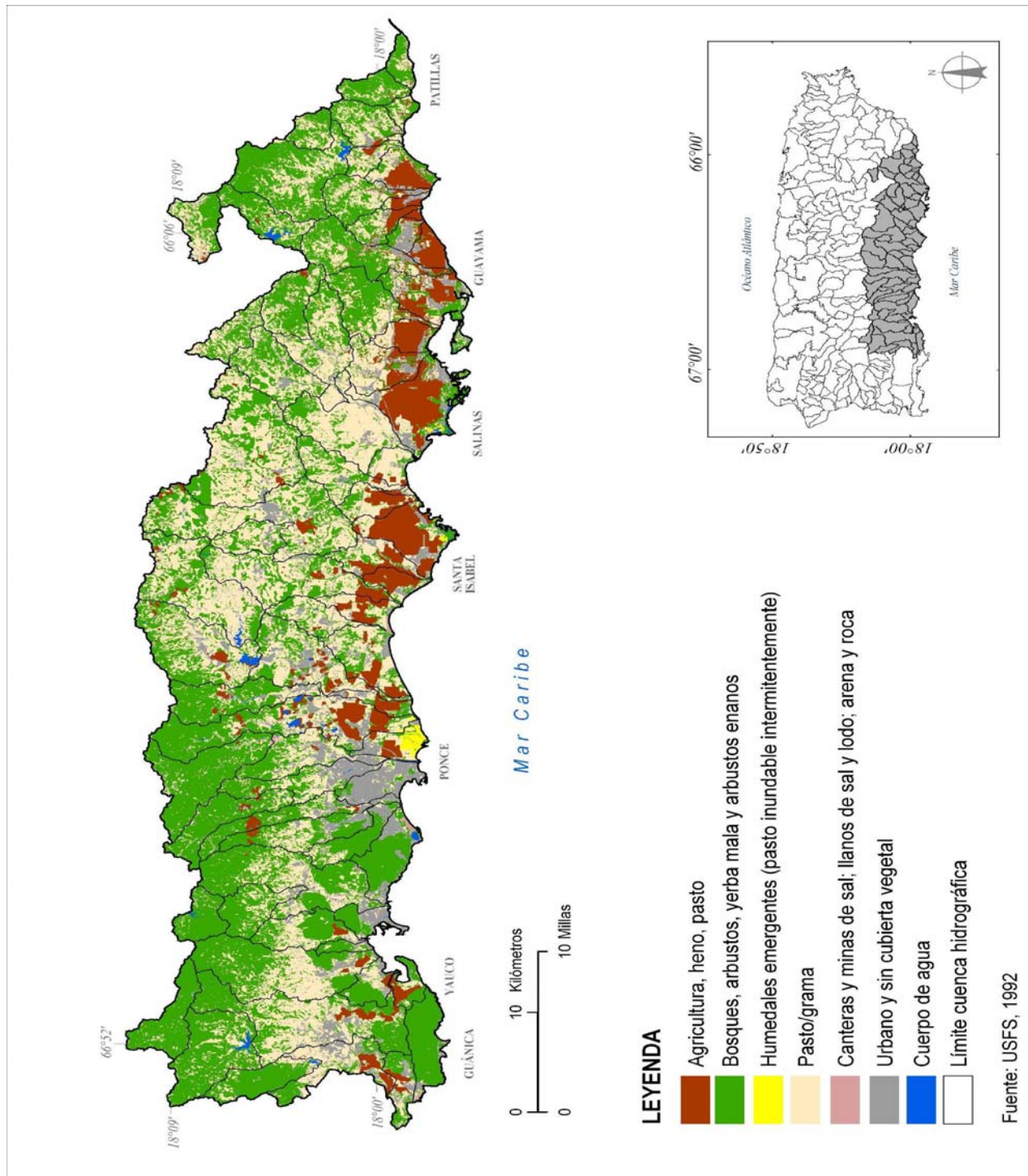


Figura 3. Usos de terrenos en la costa sur de Puerto Rico.

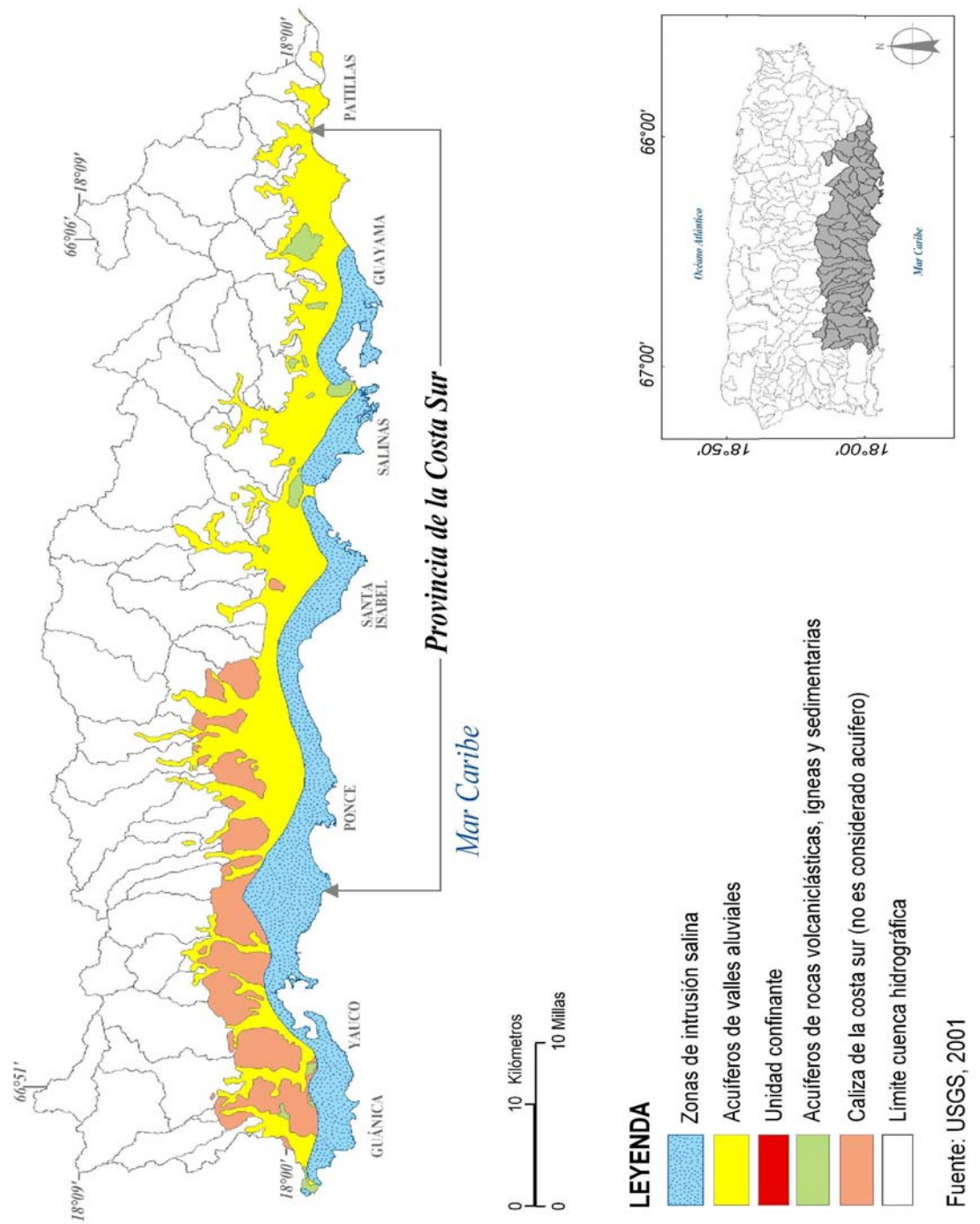


Figura 4. Zonas de intrusión salina en la costa sur de Puerto Rico.

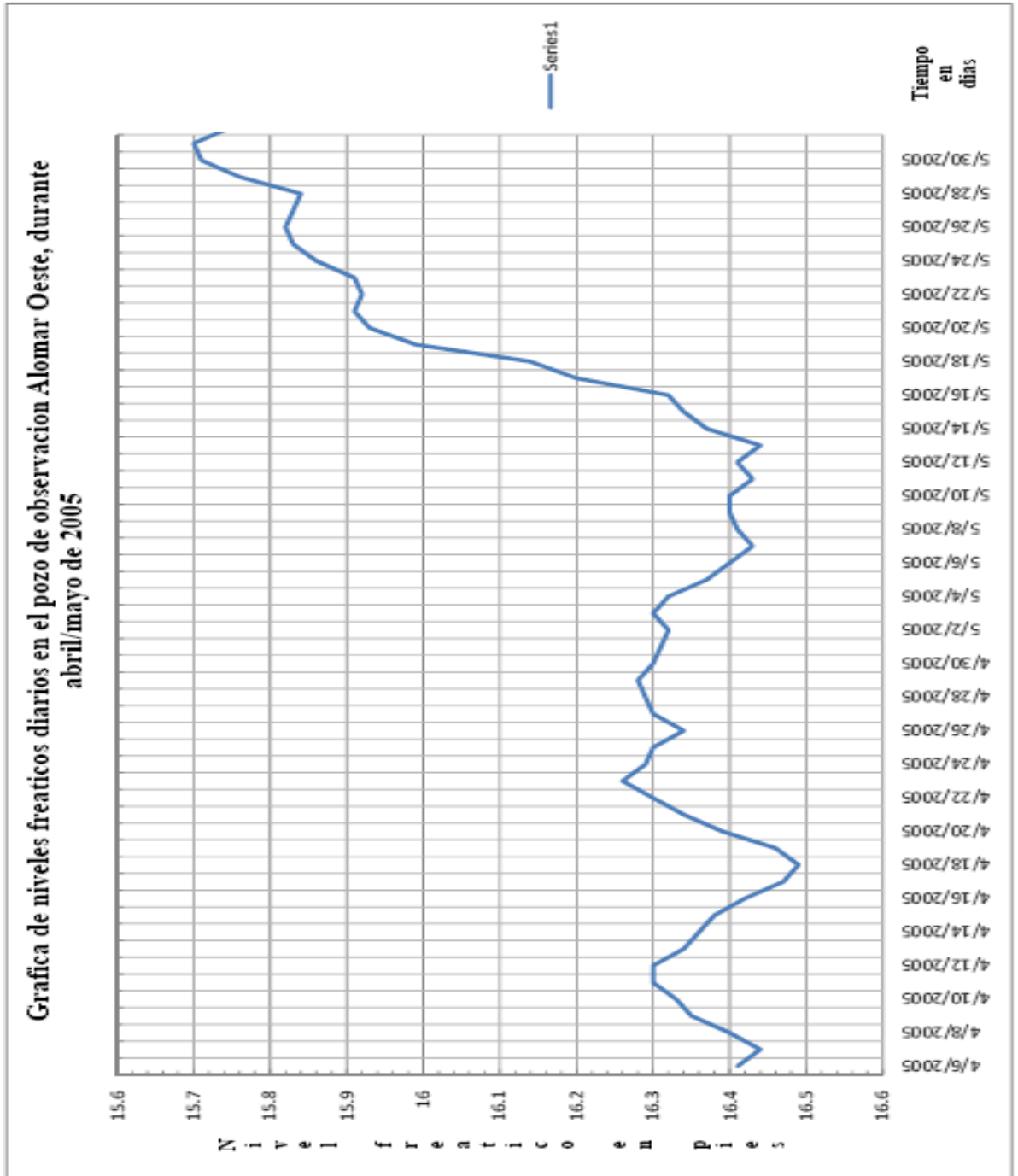


Figura 5. Niveles freáticos diarios en el pozo de observación Alomar Oeste durante el mes de abril de 2005.

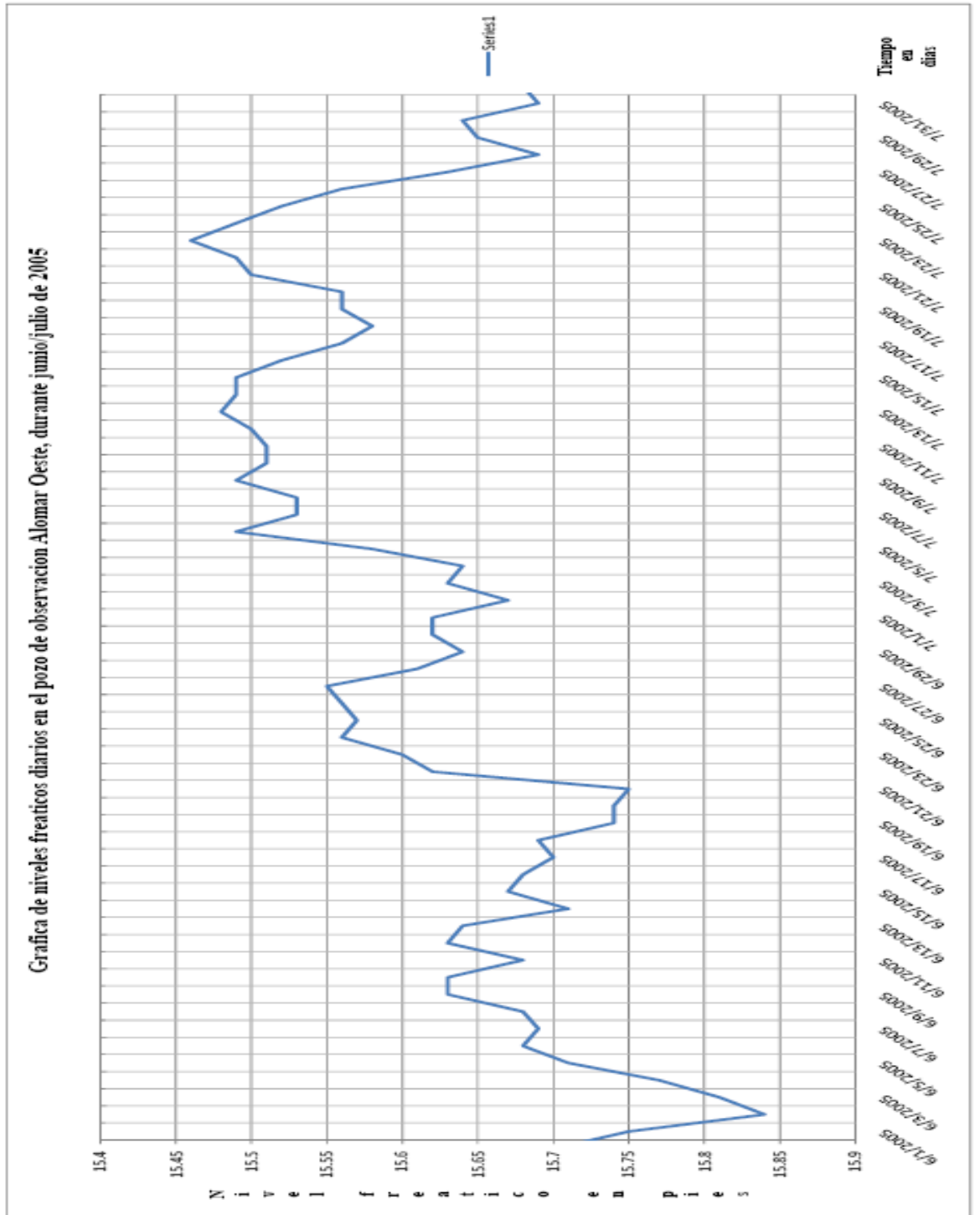


Figura 6. Niveles freáticos diarios en el pozo de observación Alomar Oeste durante el mes de junio/julio de 2005.

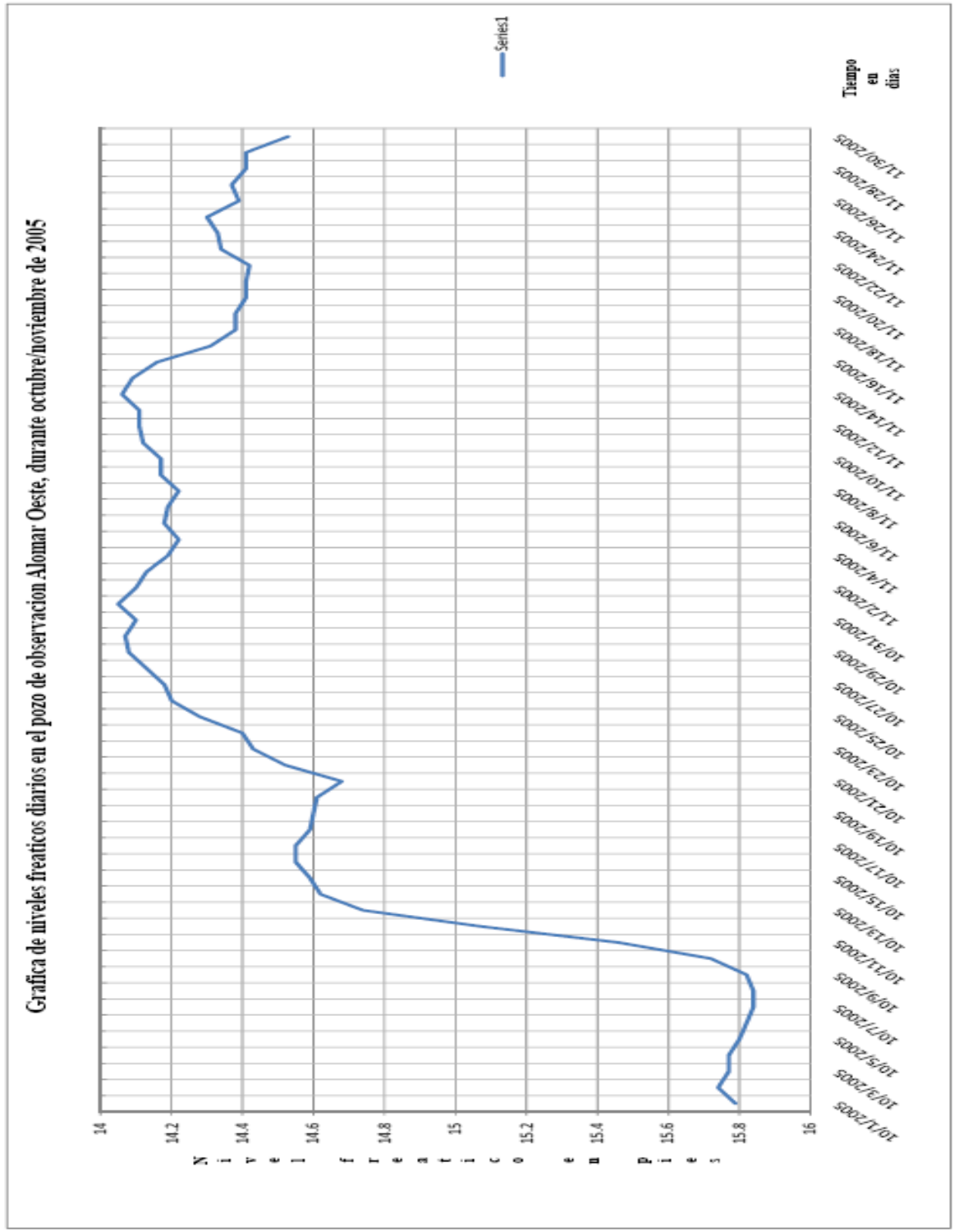


Figura 7. Niveles freáticos diarios en el pozo de observación Alomar Oeste durante el mes de octubre/noviembre de 2005.

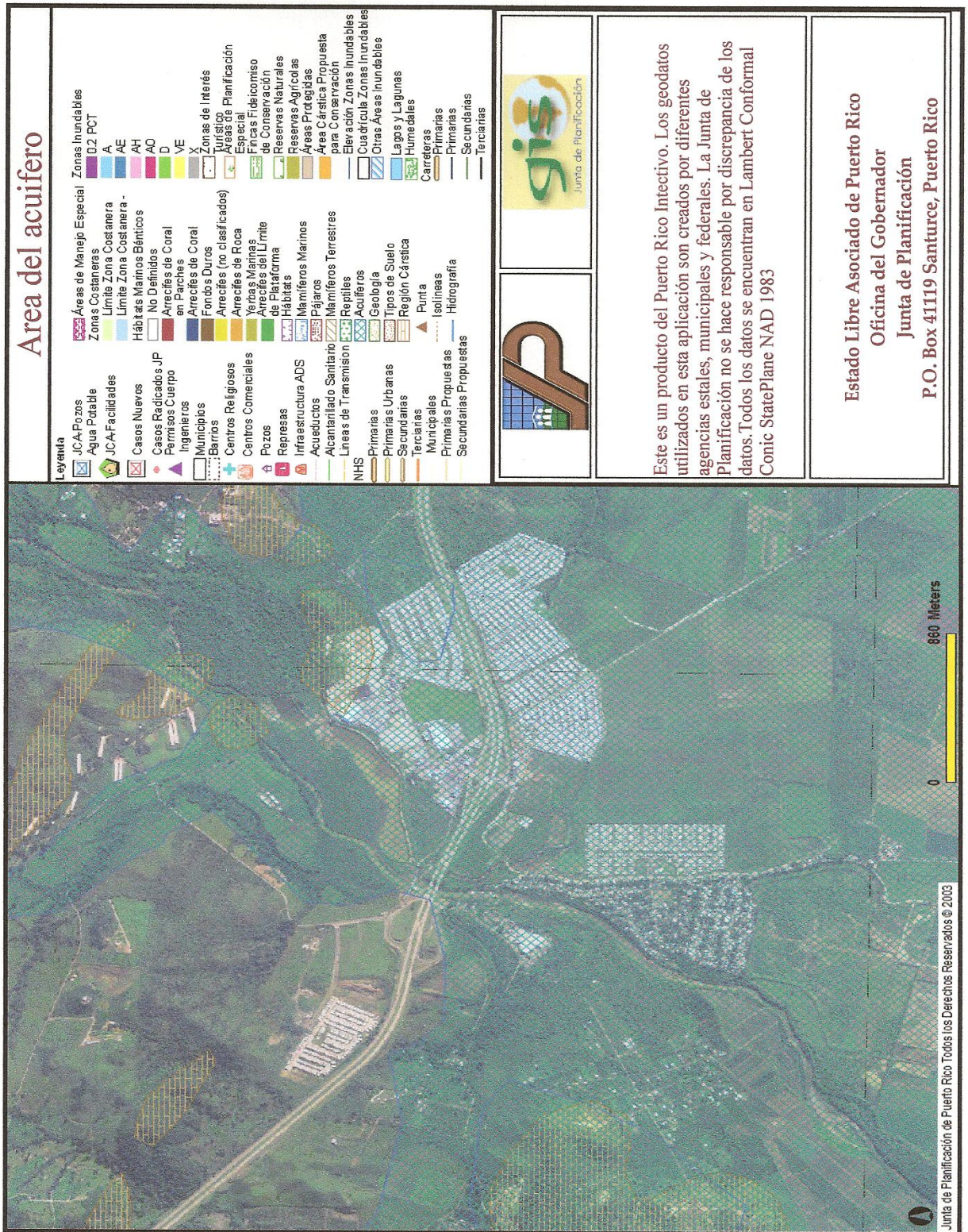


Figura 8. Área del acuífero estudiada en Santa Isabel, Puerto Rico.

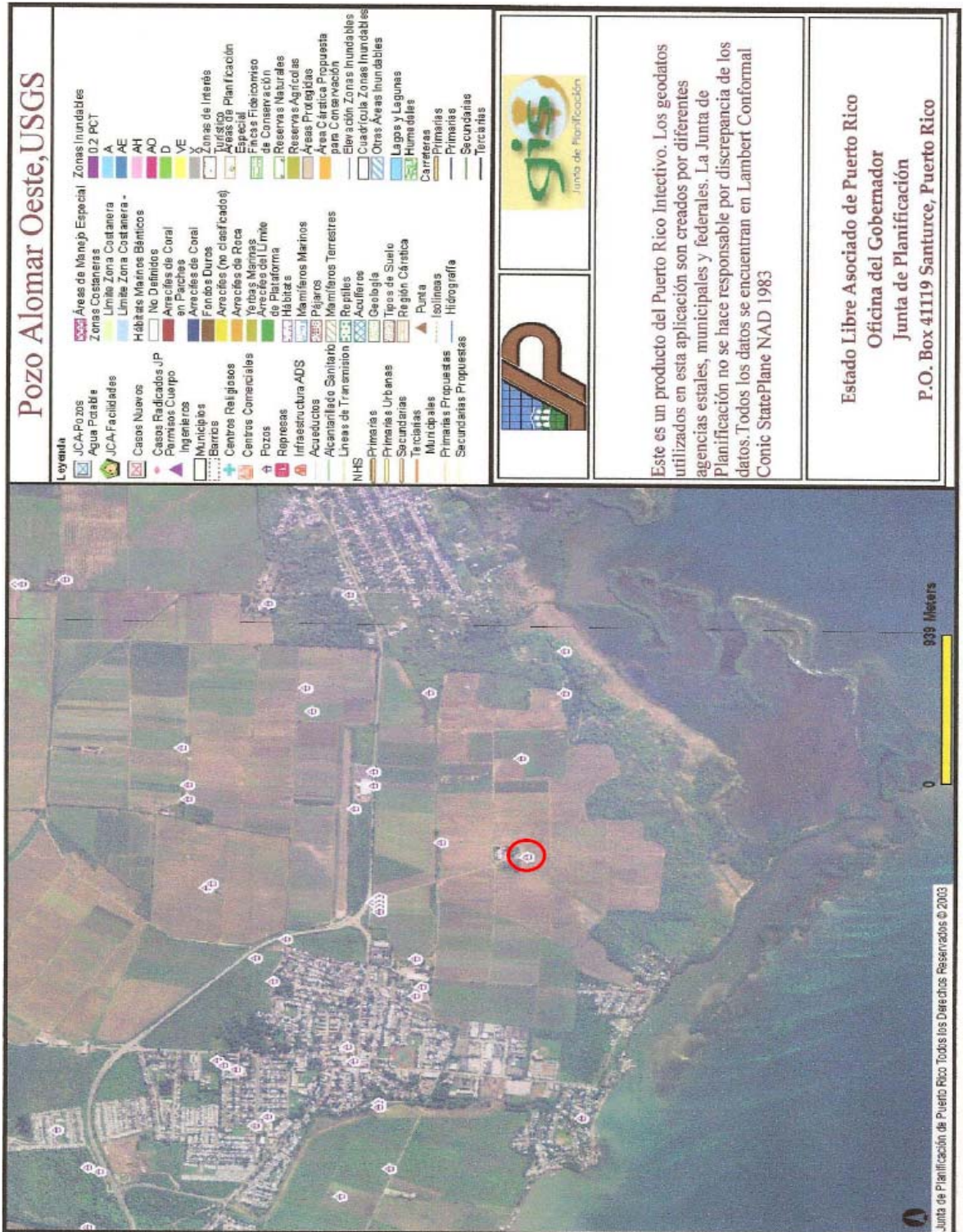


Figura 9. Localización del pozo de observación Alomar Oeste, USGS.

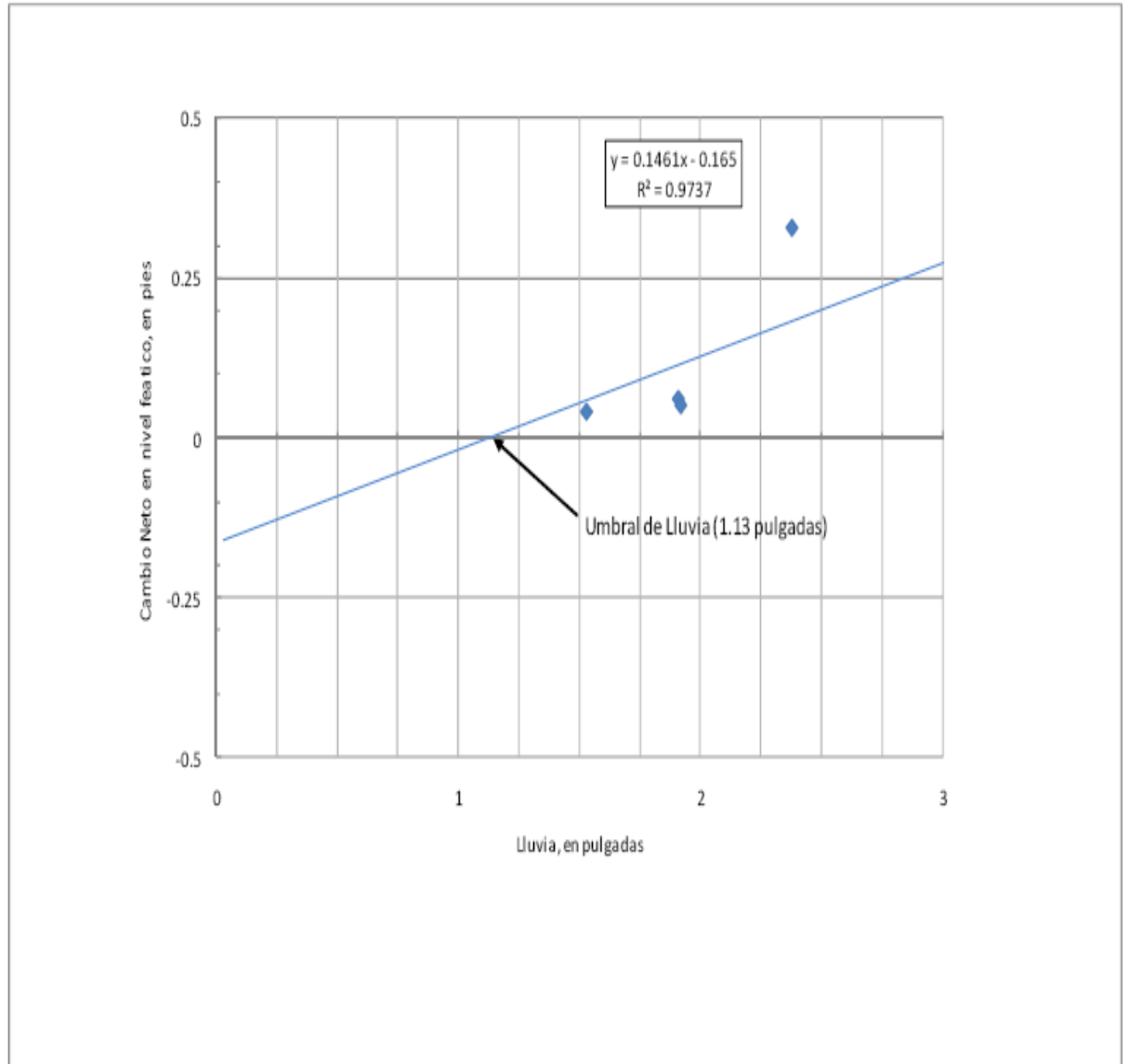


Figura 10. Cambio neto en nivel freático como repuesta a la lluvia en el acuífero aluvial de Santa Isabel, condiciones hidrológicas del 2005.



Figura 11. Foto aérea del polígono A1.



Figura 12. Foto aérea del polígono A2.



Figura 13. Foto aérea del polígono A3.

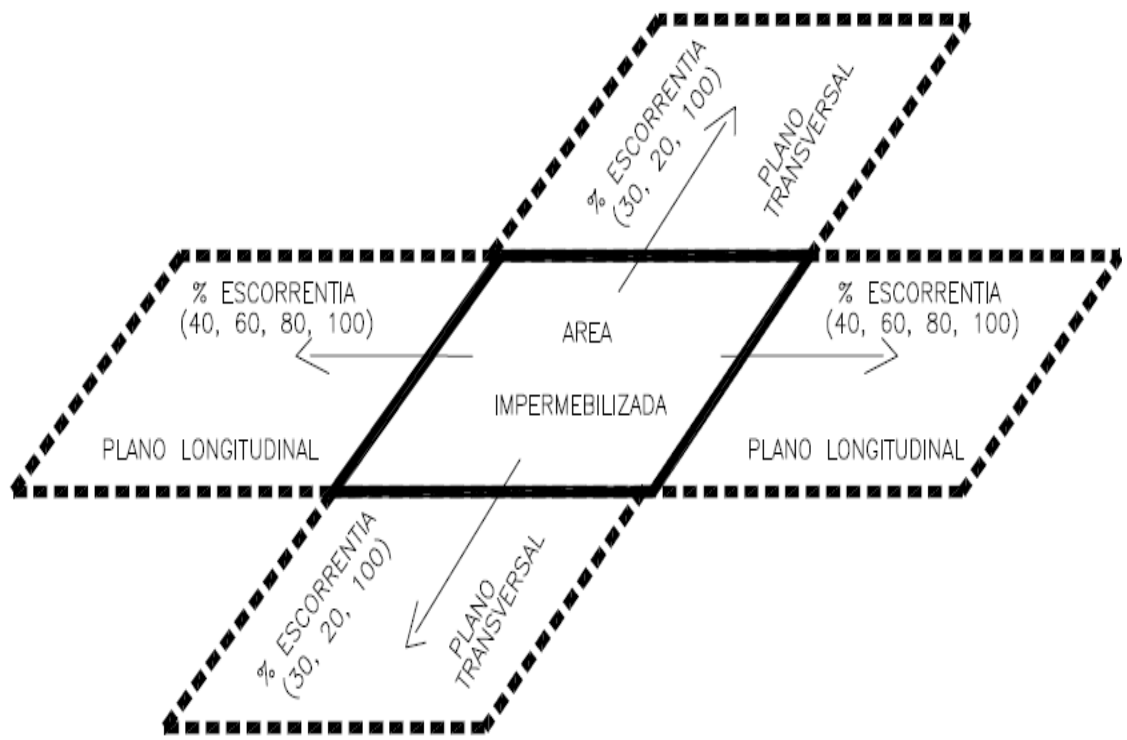


Figura 14. Por ciento de flujo de escorrentía a celda adyacente.

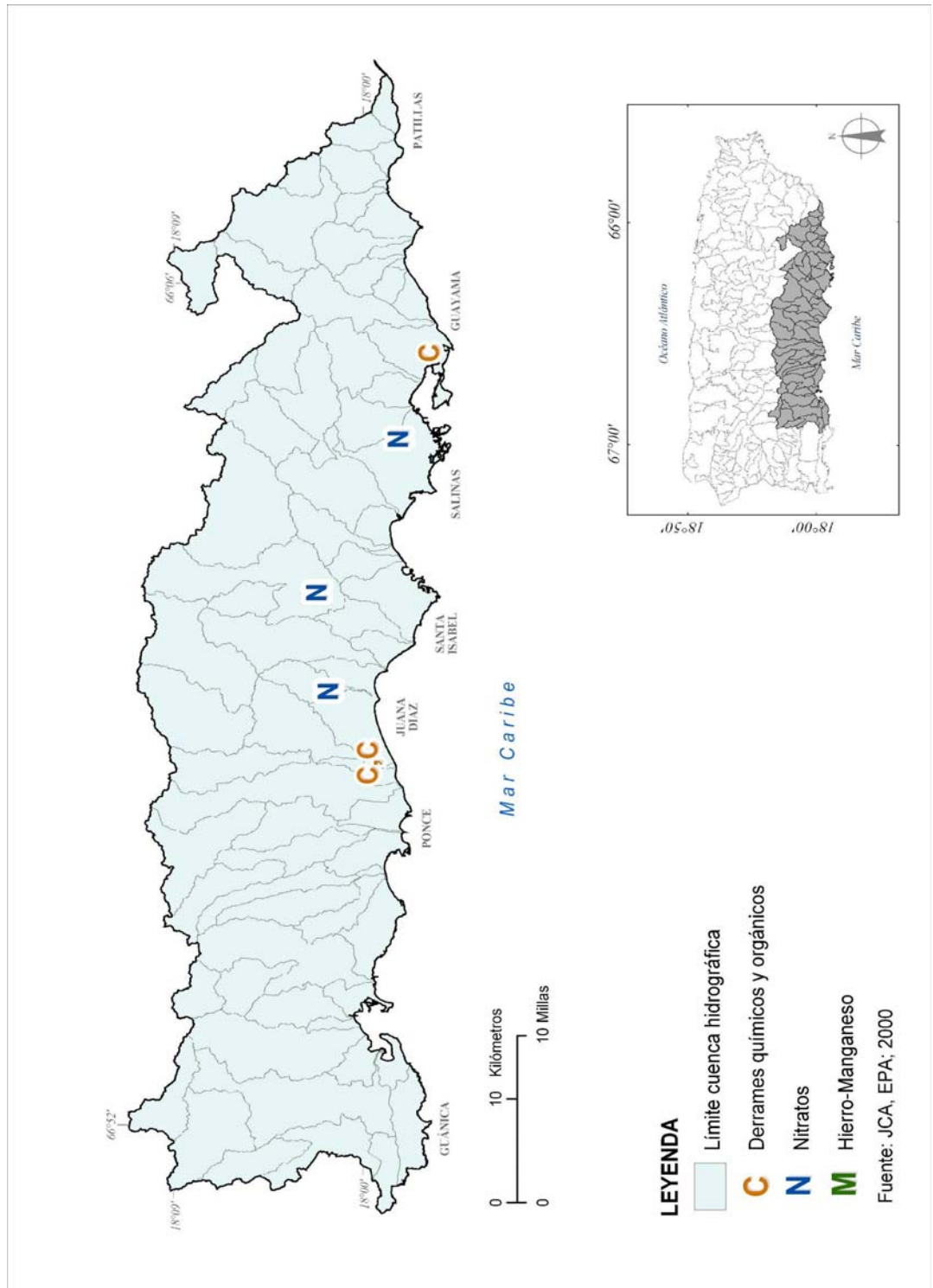


Figura 15. Historial de contaminación en la cuenca hidrográfica de la costa sur de Puerto Rico.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

**DATOS DE PRECIPITACIÓN EN PULGADAS DE LA ESTACIÓN NUMERO
50106850 EN EL LAGO COAMO, LOS LLANOS, PR DURANTE OCTUBRE
DE 2004 A SEPTIEMBRE DE 2006**

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR - U.S. GEOLOGICAL SURVEY - WATER RESOURCES

STATION NUMBER 50106850 LAGO COAMO NR LOS LLANOS, PR SOURCE AGENCY USGS STATE 72 COUNTY 043
 LATITUDE 180059 LONGITUDE 0662326 NAD27 DATUM 165.03 NGVD29

Date Processed: 2008-09-10 14:09 By jmagis

Lowest aging status in period is APPROVED

DD #2, FROM DCP

Precipitation, total, inches

WATER YEAR OCTOBER 2004 TO SEPTEMBER 2005

DAILY SUM VALUES

DAY	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
1	---	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
2	---	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00
3	---	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00
4	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	---	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00
6	---	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.18	0.00	0.42	1.23	0.26	0.00
7	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	0.11	0.00	0.00	0.27
8	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00
9	---	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
10	---	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.01	0.00	0.03
11	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.11	0.04	0.00	0.00
12	---	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
13	---	0.64	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01
14	---	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.04	0.15	1.37
15	---	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
16	---	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.85	1.46	0.00
17	---	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.01	0.00
18	---	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	---	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.87	0.00	0.00
20	---	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.42	0.09	0.06
21	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05
22	---	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00
23	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.15	0.00	0.32	0.00
25	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.26	0.00
26	---	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	1.42
27	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	---	0.00	0.00	0.00	---	0.00	0.38	0.00	0.13	0.00	0.00	0.06
30	---	0.01	0.00	0.03	---	0.00	0.01	0.00	0.01	0.53	0.00	0.00
31	---	---	0.00	0.08	---	0.00	---	0.00	---	0.01	0.00	---
TOTAL	---	---	2.36	0.43	0.05	0.00	4.40	0.10	1.79	4.93	2.96	3.27

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR - U.S. GEOLOGICAL SURVEY - WATER RESOURCES

STATION NUMBER 50106850 LAGO COANO NR LOS LLANOS, PR SOURCE AGENCY USGS STATE 72 COUNTY 043
 LATITUDE 180059 LONGITUDE 0662326 MAD27 DATUM 165.03 NGVD29

Date Processed: 2008-09-10 14:09 By jmagis

Lowest aging status in period is APPROVED

DD #2, FROM DCP

Precipitation, total, inches

WATER YEAR OCTOBER 2005 TO SEPTEMBER 2006

DAILY SUM VALUES

DAY	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
1	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01
3	0.33	0.03	0.04	0.00	0.05	0.00	0.06	0.06	0.18	0.00	0.23	0.00
4	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	0.22	0.08	0.00	0.08
5	0.01	0.17	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.21
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.22	0.00	0.04	0.02
7	0.00	0.01	0.08	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.04	0.00	0.17	0.01
8	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	2.45	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
10	2.46	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00
11	2.41	0.19	---	0.02	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
12	1.53	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.01	0.04	0.14	0.00	0.02
14	0.01	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.01	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.67	0.01	0.00	1.38	0.00	0.00	---	0.00	0.32	0.10	0.00	0.00
16	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.04	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.02	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.07
20	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21	0.00	0.00	0.01
21	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.07	0.00
22	1.55	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.88
23	0.61	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00
24	0.07	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.48	0.00	0.01	0.00	0.17	0.10
26	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	1.59	0.01
27	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
28	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.01	0.00	0.00	0.00	---	0.24	1.19	0.11	0.57	0.20	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	---	0.44	0.00	0.01	0.10	0.88	0.00	0.03
31	0.00	---	0.00	0.00	---	0.00	---	0.00	---	0.00	0.05	---
TOTAL	13.26	0.81	---	1.83	0.90	2.17	---	1.00	3.80	2.80	2.35	3.45

APÉNDICE 2

DATOS DE NIVELES FREÁTICOS DIARIOS EN EL POZO DE OBSERVACIÓN ALOMAR OESTE DEL USGS DURANTE EL 2005-06

Numero de identificación del pozo de observación Alomar Oeste	Fecha	Nivel freático en pies
175734066233300	1/1/2005	15.77
175734066233300	1/2/2005	15.69
175734066233300	1/3/2005	15.64
175734066233300	1/4/2005	15.73
175734066233300	1/5/2005	15.75
175734066233300	1/6/2005	15.76
175734066233300	1/7/2005	15.79
175734066233300	1/8/2005	15.74
175734066233300	1/9/2005	15.81
175734066233300	1/10/2005	15.87
175734066233300	1/11/2005	15.85
175734066233300	1/12/2005	15.85
175734066233300	1/13/2005	15.8
175734066233300	1/14/2005	15.82
175734066233300	1/15/2005	15.8
175734066233300	1/16/2005	15.79
175734066233300	1/17/2005	15.84
175734066233300	1/18/2005	15.87
175734066233300	1/19/2005	15.85
175734066233300	1/20/2005	15.84
175734066233300	1/21/2005	15.9
175734066233300	1/22/2005	15.96
175734066233300	1/23/2005	16.02
175734066233300	1/24/2005	16.05
175734066233300	1/25/2005	16.06
175734066233300	1/26/2005	16.06
175734066233300	1/27/2005	16.04
175734066233300	1/28/2005	16
175734066233300	1/29/2005	16.01
175734066233300	1/30/2005	15.99
175734066233300	1/31/2005	15.88
175734066233300	2/1/2005	15.96
175734066233300	2/2/2005	16
175734066233300	2/3/2005	16.04
175734066233300	2/4/2005	16.09
175734066233300	2/5/2005	16
175734066233300	2/6/2005	16.05
175734066233300	2/7/2005	16.08
175734066233300	2/8/2005	16.07
175734066233300	2/9/2005	16.04

175734066233300	2/10/2005	16.04
175734066233300	2/11/2005	16.04
175734066233300	2/12/2005	16.03
175734066233300	2/13/2005	16.04
175734066233300	2/14/2005	16.04
175734066233300	2/15/2005	16.09
175734066233300	2/16/2005	16.16
175734066233300	2/17/2005	16.19
175734066233300	2/18/2005	16.18
175734066233300	2/19/2005	16.18
175734066233300	2/20/2005	16.23
175734066233300	2/21/2005	16.24
175734066233300	2/22/2005	16.27
175734066233300	2/23/2005	16.27
175734066233300	2/24/2005	16.26
175734066233300	2/25/2005	16.25
175734066233300	2/26/2005	16.21
175734066233300	2/27/2005	16.21
175734066233300	2/28/2005	16.18
175734066233300	3/1/2005	16.2
175734066233300	3/2/2005	16.21
175734066233300	3/3/2005	16.21
175734066233300	3/4/2005	16.24
175734066233300	3/5/2005	16.24
175734066233300	3/6/2005	16.26
175734066233300	3/7/2005	16.33
175734066233300	3/8/2005	16.32
175734066233300	3/9/2005	16.3
175734066233300	3/10/2005	16.25
175734066233300	3/11/2005	16.25
175734066233300	3/12/2005	16.24
175734066233300	3/13/2005	16.25
175734066233300	3/14/2005	16.25
175734066233300	3/15/2005	16.34
175734066233300	3/16/2005	16.34
175734066233300	3/17/2005	16.32
175734066233300	3/18/2005	16.34
175734066233300	3/19/2005	16.37
175734066233300	3/20/2005	16.35
175734066233300	3/21/2005	16.37
175734066233300	3/22/2005	16.35
175734066233300	3/23/2005	16.4
175734066233300	3/24/2005	16.39

175734066233300	3/25/2005	16.38
175734066233300	3/26/2005	16.35
175734066233300	3/27/2005	16.33
175734066233300	3/28/2005	16.31
175734066233300	3/29/2005	16.31
175734066233300	3/30/2005	16.37
175734066233300	3/31/2005	16.37
175734066233300	4/1/2005	16.39
175734066233300	4/2/2005	16.39
175734066233300	4/3/2005	16.39
175734066233300	4/4/2005	16.45
175734066233300	4/5/2005	16.42
175734066233300	4/6/2005	16.41
175734066233300	4/7/2005	16.44
175734066233300	4/8/2005	16.4
175734066233300	4/9/2005	16.35
175734066233300	4/10/2005	16.33
175734066233300	4/11/2005	16.3
175734066233300	4/12/2005	16.3
175734066233300	4/13/2005	16.34
175734066233300	4/14/2005	16.36
175734066233300	4/15/2005	16.38
175734066233300	4/16/2005	16.42
175734066233300	4/17/2005	16.47
175734066233300	4/18/2005	16.49
175734066233300	4/19/2005	16.46
175734066233300	4/20/2005	16.39
175734066233300	4/21/2005	16.34
175734066233300	4/22/2005	16.3
175734066233300	4/23/2005	16.26
175734066233300	4/24/2005	16.29
175734066233300	4/25/2005	16.3
175734066233300	4/26/2005	16.34
175734066233300	4/27/2005	16.3
175734066233300	4/28/2005	16.29
175734066233300	4/29/2005	16.28
175734066233300	4/30/2005	16.3
175734066233300	5/1/2005	16.31
175734066233300	5/2/2005	16.32
175734066233300	5/3/2005	16.3
175734066233300	5/4/2005	16.32
175734066233300	5/5/2005	16.37
175734066233300	5/6/2005	16.4

175734066233300	5/7/2005	16.43
175734066233300	5/8/2005	16.41
175734066233300	5/9/2005	16.4
175734066233300	5/10/2005	16.4
175734066233300	5/11/2005	16.43
175734066233300	5/12/2005	16.41
175734066233300	5/13/2005	16.44
175734066233300	5/14/2005	16.37
175734066233300	5/15/2005	16.34
175734066233300	5/16/2005	16.32
175734066233300	5/17/2005	16.2
175734066233300	5/18/2005	16.14
175734066233300	5/19/2005	15.99
175734066233300	5/20/2005	15.93
175734066233300	5/21/2005	15.91
175734066233300	5/22/2005	15.92
175734066233300	5/23/2005	15.91
175734066233300	5/24/2005	15.86
175734066233300	5/25/2005	15.83
175734066233300	5/26/2005	15.82
175734066233300	5/27/2005	15.83
175734066233300	5/28/2005	15.84
175734066233300	5/29/2005	15.76
175734066233300	5/30/2005	15.71
175734066233300	5/31/2005	15.7
175734066233300	6/1/2005	15.75
175734066233300	6/2/2005	15.84
175734066233300	6/3/2005	15.81
175734066233300	6/4/2005	15.77
175734066233300	6/5/2005	15.71
175734066233300	6/6/2005	15.68
175734066233300	6/7/2005	15.69
175734066233300	6/8/2005	15.68
175734066233300	6/9/2005	15.63
175734066233300	6/10/2005	15.63
175734066233300	6/11/2005	15.68
175734066233300	6/12/2005	15.63
175734066233300	6/13/2005	15.64
175734066233300	6/14/2005	15.71
175734066233300	6/15/2005	15.67
175734066233300	6/16/2005	15.68
175734066233300	6/17/2005	15.7
175734066233300	6/18/2005	15.69

175734066233300	6/19/2005	15.74
175734066233300	6/20/2005	15.74
175734066233300	6/21/2005	15.75
175734066233300	6/22/2005	15.62
175734066233300	6/23/2005	15.6
175734066233300	6/24/2005	15.56
175734066233300	6/25/2005	15.57
175734066233300	6/26/2005	15.56
175734066233300	6/27/2005	15.55
175734066233300	6/28/2005	15.61
175734066233300	6/29/2005	15.64
175734066233300	6/30/2005	15.62
175734066233300	7/1/2005	15.62
175734066233300	7/2/2005	15.67
175734066233300	7/3/2005	15.63
175734066233300	7/4/2005	15.64
175734066233300	7/5/2005	15.58
175734066233300	7/6/2005	15.49
175734066233300	7/7/2005	15.53
175734066233300	7/8/2005	15.53
175734066233300	7/9/2005	15.49
175734066233300	7/10/2005	15.51
175734066233300	7/11/2005	15.51
175734066233300	7/12/2005	15.5
175734066233300	7/13/2005	15.48
175734066233300	7/14/2005	15.49
175734066233300	7/15/2005	15.49
175734066233300	7/16/2005	15.52
175734066233300	7/17/2005	15.56
175734066233300	7/18/2005	15.58
175734066233300	7/19/2005	15.56
175734066233300	7/20/2005	15.56
175734066233300	7/21/2005	15.5
175734066233300	7/22/2005	15.49
175734066233300	7/23/2005	15.46
175734066233300	7/24/2005	15.49
175734066233300	7/25/2005	15.52
175734066233300	7/26/2005	15.56
175734066233300	7/27/2005	15.63
175734066233300	7/28/2005	15.69
175734066233300	7/29/2005	15.65
175734066233300	7/30/2005	15.64
175734066233300	7/31/2005	15.69

175734066233300	8/1/2005	15.68
175734066233300	8/2/2005	15.66
175734066233300	8/3/2005	15.65
175734066233300	8/4/2005	15.67
175734066233300	8/5/2005	15.65
175734066233300	8/6/2005	15.61
175734066233300	8/7/2005	15.6
175734066233300	8/8/2005	15.57
175734066233300	8/9/2005	15.56
175734066233300	8/10/2005	15.64
175734066233300	8/11/2005	15.62
175734066233300	8/12/2005	15.68
175734066233300	8/13/2005	15.72
175734066233300	8/14/2005	15.73
175734066233300	8/15/2005	15.69
175734066233300	8/16/2005	15.63
175734066233300	8/17/2005	15.59
175734066233300	8/18/2005	15.59
175734066233300	8/19/2005	15.55
175734066233300	8/20/2005	15.53
175734066233300	8/21/2005	15.53
175734066233300	8/22/2005	15.54
175734066233300	8/23/2005	15.53
175734066233300	8/24/2005	15.57
175734066233300	8/25/2005	15.66
175734066233300	8/26/2005	15.68
175734066233300	8/27/2005	15.64
175734066233300	8/28/2005	15.67
175734066233300	8/29/2005	15.71
175734066233300	8/30/2005	15.72
175734066233300	8/31/2005	15.71
175734066233300	9/1/2005	15.7
175734066233300	9/2/2005	15.71
175734066233300	9/3/2005	15.68
175734066233300	9/4/2005	15.69
175734066233300	9/5/2005	15.71
175734066233300	9/6/2005	15.74
175734066233300	9/7/2005	15.73
175734066233300	9/8/2005	15.77
175734066233300	9/9/2005	15.78
175734066233300	9/10/2005	15.81
175734066233300	9/11/2005	15.82
175734066233300	9/12/2005	15.9

175734066233300	9/13/2005	15.9
175734066233300	9/14/2005	15.83
175734066233300	9/15/2005	15.75
175734066233300	9/16/2005	15.69
175734066233300	9/17/2005	15.69
175734066233300	9/18/2005	15.66
175734066233300	9/19/2005	15.67
175734066233300	9/20/2005	15.72
175734066233300	9/21/2005	15.81
175734066233300	9/22/2005	15.81
175734066233300	9/23/2005	15.83
175734066233300	9/24/2005	15.87
175734066233300	9/25/2005	15.91
175734066233300	9/26/2005	15.89
175734066233300	9/27/2005	15.87
175734066233300	9/28/2005	15.83
175734066233300	9/29/2005	15.81
175734066233300	9/30/2005	15.83
175734066233300	10/1/2005	15.79
175734066233300	10/2/2005	15.74
175734066233300	10/3/2005	15.77
175734066233300	10/4/2005	15.77
175734066233300	10/5/2005	15.8
175734066233300	10/6/2005	15.82
175734066233300	10/7/2005	15.84
175734066233300	10/8/2005	15.84
175734066233300	10/9/2005	15.82
175734066233300	10/10/2005	15.72
175734066233300	10/11/2005	15.46
175734066233300	10/12/2005	15.07
175734066233300	10/13/2005	14.74
175734066233300	10/14/2005	14.62
175734066233300	10/15/2005	14.59
175734066233300	10/16/2005	14.55
175734066233300	10/17/2005	14.55
175734066233300	10/18/2005	14.59
175734066233300	10/19/2005	14.6
175734066233300	10/20/2005	14.61
175734066233300	10/21/2005	14.68
175734066233300	10/22/2005	14.52
175734066233300	10/23/2005	14.43
175734066233300	10/24/2005	14.4
175734066233300	10/25/2005	14.28

175734066233300	10/26/2005	14.2
175734066233300	10/27/2005	14.18
175734066233300	10/28/2005	14.13
175734066233300	10/29/2005	14.08
175734066233300	10/30/2005	14.07
175734066233300	10/31/2005	14.1
175734066233300	11/1/2005	14.05
175734066233300	11/2/2005	14.1
175734066233300	11/3/2005	14.13
175734066233300	11/4/2005	14.19
175734066233300	11/5/2005	14.22
175734066233300	11/6/2005	14.18
175734066233300	11/7/2005	14.19
175734066233300	11/8/2005	14.22
175734066233300	11/9/2005	14.17
175734066233300	11/10/2005	14.17
175734066233300	11/11/2005	14.12
175734066233300	11/12/2005	14.11
175734066233300	11/13/2005	14.11
175734066233300	11/14/2005	14.06
175734066233300	11/15/2005	14.09
175734066233300	11/16/2005	14.16
175734066233300	11/17/2005	14.31
175734066233300	11/18/2005	14.38
175734066233300	11/19/2005	14.38
175734066233300	11/20/2005	14.41
175734066233300	11/21/2005	14.41
175734066233300	11/22/2005	14.42
175734066233300	11/23/2005	14.34
175734066233300	11/24/2005	14.33
175734066233300	11/25/2005	14.3
175734066233300	11/26/2005	14.39
175734066233300	11/27/2005	14.37
175734066233300	11/28/2005	14.41
175734066233300	11/29/2005	14.41
175734066233300	11/30/2005	14.53
175734066233300	12/1/2005	14.61
175734066233300	12/2/2005	14.68
175734066233300	12/3/2005	14.69
175734066233300	12/4/2005	14.68
175734066233300	12/5/2005	14.68
175734066233300	12/6/2005	14.67
175734066233300	12/7/2005	14.7

175734066233300	12/8/2005	14.62
175734066233300	12/9/2005	14.61
175734066233300	12/10/2005	14.67
175734066233300	12/11/2005	14.64
175734066233300	12/12/2005	14.65
175734066233300	12/13/2005	14.67
175734066233300	12/14/2005	14.75
175734066233300	12/15/2005	14.82
175734066233300	12/16/2005	14.84
175734066233300	12/17/2005	14.84
175734066233300	12/18/2005	14.94
175734066233300	12/19/2005	15.03
175734066233300	12/20/2005	15.04
175734066233300	12/21/2005	15
175734066233300	12/22/2005	14.96
175734066233300	12/23/2005	14.94
175734066233300	12/24/2005	14.94
175734066233300	12/25/2005	14.86
175734066233300	12/26/2005	14.84
175734066233300	12/27/2005	14.94
175734066233300	12/28/2005	15
175734066233300	12/29/2005	14.98
175734066233300	12/30/2005	14.99
175734066233300	12/31/2005	15.04
175734066233300	1/1/2006	15.04
175734066233300	1/2/2006	15.09
175734066233300	1/3/2006	15.12
175734066233300	1/4/2006	15.03
175734066233300	1/5/2006	15.04
175734066233300	1/6/2006	14.97
175734066233300	1/7/2006	14.92
175734066233300	1/8/2006	14.99
175734066233300	1/9/2006	15
175734066233300	1/10/2006	15.08
175734066233300	1/11/2006	15.11
175734066233300	1/12/2006	15.13
175734066233300	1/13/2006	15.15
175734066233300	1/14/2006	15.12
175734066233300	1/15/2006	15.07
175734066233300	1/16/2006	15.05
175734066233300	1/17/2006	15.04
175734066233300	1/18/2006	14.98
175734066233300	1/19/2006	15.04

175734066233300	1/20/2006	15.05
175734066233300	1/21/2006	15.01
175734066233300	1/22/2006	15.04
175734066233300	1/23/2006	15.1
175734066233300	1/24/2006	15.16
175734066233300	1/25/2006	15.14
175734066233300	1/26/2006	15.2
175734066233300	1/27/2006	15.23
175734066233300	1/28/2006	15.28
175734066233300	1/29/2006	15.22
175734066233300	1/30/2006	15.2
175734066233300	1/31/2006	15.28
175734066233300	2/1/2006	15.32
175734066233300	2/2/2006	15.31
175734066233300	2/3/2006	15.22
175734066233300	2/4/2006	15.25
175734066233300	2/5/2006	15.23
175734066233300	2/6/2006	15.29
175734066233300	2/7/2006	15.37
175734066233300	2/8/2006	15.34
175734066233300	2/9/2006	15.37
175734066233300	2/10/2006	15.44
175734066233300	2/11/2006	15.4
175734066233300	2/12/2006	15.37
175734066233300	2/13/2006	15.38
175734066233300	2/14/2006	15.44
175734066233300	2/15/2006	15.43
175734066233300	2/16/2006	15.42
175734066233300	2/17/2006	15.37
175734066233300	2/18/2006	15.33
175734066233300	2/19/2006	15.32
175734066233300	2/20/2006	15.34
175734066233300	2/21/2006	15.4
175734066233300	2/22/2006	15.43
175734066233300	2/23/2006	15.4
175734066233300	2/24/2006	15.45
175734066233300	2/25/2006	15.44
175734066233300	2/26/2006	15.4
175734066233300	2/27/2006	15.42
175734066233300	2/28/2006	15.51
175734066233300	3/1/2006	15.46
175734066233300	3/2/2006	15.39
175734066233300	3/3/2006	15.38

175734066233300	3/4/2006	15.36
175734066233300	3/5/2006	15.37
175734066233300	3/6/2006	15.38
175734066233300	3/7/2006	15.38
175734066233300	3/8/2006	15.42
175734066233300	3/9/2006	15.5
175734066233300	3/10/2006	15.46
175734066233300	3/11/2006	15.48
175734066233300	3/12/2006	15.47
175734066233300	3/13/2006	15.56
175734066233300	3/14/2006	15.52
175734066233300	3/15/2006	15.53
175734066233300	3/16/2006	15.52
175734066233300	3/17/2006	15.52
175734066233300	3/18/2006	15.48
175734066233300	3/19/2006	15.45
175734066233300	3/20/2006	15.51
175734066233300	3/21/2006	15.54
175734066233300	3/22/2006	15.54
175734066233300	3/23/2006	15.57
175734066233300	3/24/2006	15.6
175734066233300	3/25/2006	15.57
175734066233300	3/26/2006	15.52
175734066233300	3/27/2006	15.54
175734066233300	3/28/2006	15.53
175734066233300	3/29/2006	15.62
175734066233300	3/30/2006	15.56
175734066233300	3/31/2006	15.53
175734066233300	4/1/2006	15.54
175734066233300	4/2/2006	15.55
175734066233300	4/3/2006	15.54
175734066233300	4/4/2006	15.62
175734066233300	4/5/2006	15.65
175734066233300	4/6/2006	15.61
175734066233300	4/7/2006	15.7
175734066233300	4/8/2006	15.65
175734066233300	4/9/2006	15.61
175734066233300	4/10/2006	15.68
175734066233300	4/11/2006	15.67
175734066233300	4/12/2006	15.66
175734066233300	4/13/2006	15.7
175734066233300	4/14/2006	15.66
175734066233300	4/15/2006	15.66

175734066233300	4/16/2006	15.62
175734066233300	4/17/2006	15.61
175734066233300	4/18/2006	15.7
175734066233300	4/19/2006	15.7
175734066233300	4/20/2006	15.74
175734066233300	4/21/2006	15.74
175734066233300	4/22/2006	15.73
175734066233300	4/23/2006	15.7
175734066233300	4/24/2006	15.74
175734066233300	4/25/2006	15.74
175734066233300	4/26/2006	15.74
175734066233300	4/27/2006	15.73
175734066233300	4/28/2006	15.73
175734066233300	4/29/2006	15.76
175734066233300	4/30/2006	15.7
175734066233300	5/1/2006	15.7
175734066233300	5/2/2006	15.68
175734066233300	5/3/2006	15.77
175734066233300	5/4/2006	15.77
175734066233300	5/5/2006	15.78
175734066233300	5/6/2006	15.83
175734066233300	5/7/2006	15.77
175734066233300	5/8/2006	15.78
175734066233300	5/9/2006	15.76
175734066233300	5/10/2006	15.82
175734066233300	5/11/2006	15.82
175734066233300	5/12/2006	15.84
175734066233300	5/13/2006	15.83
175734066233300	5/14/2006	15.84
175734066233300	5/15/2006	15.84
175734066233300	5/16/2006	15.84
175734066233300	5/17/2006	15.84
175734066233300	5/18/2006	15.86
175734066233300	5/19/2006	15.9
175734066233300	5/20/2006	15.89
175734066233300	5/21/2006	15.82
175734066233300	5/22/2006	15.85
175734066233300	5/23/2006	15.85
175734066233300	5/24/2006	15.92
175734066233300	5/25/2006	15.94
175734066233300	5/26/2006	15.96
175734066233300	5/27/2006	15.97
175734066233300	5/28/2006	15.91

175734066233300	5/29/2006	15.93
175734066233300	5/30/2006	15.94
175734066233300	5/31/2006	15.96
175734066233300	6/1/2006	15.97
175734066233300	6/2/2006	15.95
175734066233300	6/3/2006	15.95
175734066233300	6/4/2006	15.92
175734066233300	6/5/2006	15.92
175734066233300	6/6/2006	15.93
175734066233300	6/7/2006	15.92
175734066233300	6/8/2006	15.94
175734066233300	6/9/2006	15.95
175734066233300	6/10/2006	15.96
175734066233300	6/11/2006	15.99
175734066233300	6/12/2006	16.01
175734066233300	6/13/2006	15.97
175734066233300	6/14/2006	15.93
175734066233300	6/15/2006	15.96
175734066233300	6/16/2006	15.9
175734066233300	6/17/2006	15.89
175734066233300	6/18/2006	15.86
175734066233300	6/19/2006	15.97
175734066233300	6/20/2006	15.9
175734066233300	6/21/2006	15.88
175734066233300	6/22/2006	15.87
175734066233300	6/23/2006	15.91
175734066233300	6/24/2006	15.84
175734066233300	6/25/2006	15.82
175734066233300	6/26/2006	15.79
175734066233300	6/27/2006	15.8
175734066233300	6/28/2006	15.77
175734066233300	6/29/2006	15.75
175734066233300	6/30/2006	15.7
175734066233300	7/1/2006	15.7
175734066233300	7/2/2006	15.74
175734066233300	7/3/2006	15.76
175734066233300	7/4/2006	15.77
175734066233300	7/5/2006	15.78
175734066233300	7/6/2006	15.84
175734066233300	7/7/2006	15.81
175734066233300	7/8/2006	15.81
175734066233300	7/9/2006	15.77
175734066233300	7/10/2006	15.72

175734066233300	7/11/2006	15.65
175734066233300	7/12/2006	15.68
175734066233300	7/13/2006	15.62
175734066233300	7/14/2006	15.58
175734066233300	7/15/2006	15.56
175734066233300	7/16/2006	15.57
175734066233300	7/17/2006	15.63
175734066233300	7/18/2006	15.68
175734066233300	7/19/2006	15.78
175734066233300	7/20/2006	15.84
175734066233300	7/21/2006	15.82
175734066233300	7/22/2006	15.76
175734066233300	7/23/2006	15.73
175734066233300	7/24/2006	15.74
175734066233300	7/25/2006	15.72
175734066233300	7/26/2006	15.65
175734066233300	7/27/2006	15.62
175734066233300	7/28/2006	15.61
175734066233300	7/29/2006	15.64
175734066233300	7/30/2006	15.63
175734066233300	7/31/2006	15.64
175734066233300	8/1/2006	15.7
175734066233300	8/2/2006	15.7
175734066233300	8/3/2006	15.8
175734066233300	8/4/2006	15.76
175734066233300	8/5/2006	15.71
175734066233300	8/6/2006	15.67
175734066233300	8/7/2006	15.66
175734066233300	8/8/2006	15.65
175734066233300	8/9/2006	15.64
175734066233300	8/10/2006	15.59
175734066233300	8/11/2006	15.63
175734066233300	8/12/2006	15.64
175734066233300	8/13/2006	15.67
175734066233300	8/14/2006	15.72
175734066233300	8/15/2006	15.74
175734066233300	8/16/2006	15.79
175734066233300	8/17/2006	15.86
175734066233300	8/18/2006	15.86
175734066233300	8/19/2006	15.88
175734066233300	8/20/2006	15.82
175734066233300	8/21/2006	15.8
175734066233300	8/22/2006	15.8

175734066233300	8/23/2006	15.78
175734066233300	8/24/2006	15.73
175734066233300	8/25/2006	15.74
175734066233300	8/26/2006	15.75
175734066233300	8/27/2006	15.8
175734066233300	8/28/2006	15.79
175734066233300	8/29/2006	15.74
175734066233300	8/30/2006	15.77
175734066233300	8/31/2006	15.8
175734066233300	9/1/2006	15.83
175734066233300	9/2/2006	15.82
175734066233300	9/3/2006	15.77
175734066233300	9/4/2006	15.73
175734066233300	9/5/2006	15.73
175734066233300	9/6/2006	15.69
175734066233300	9/7/2006	15.75
175734066233300	9/8/2006	15.72
175734066233300	9/9/2006	15.73
175734066233300	9/10/2006	15.75
175734066233300	9/11/2006	15.8
175734066233300	9/12/2006	15.89
175734066233300	9/13/2006	15.92
175734066233300	9/14/2006	15.92
175734066233300	9/15/2006	15.92
175734066233300	9/16/2006	15.92
175734066233300	9/17/2006	15.9
175734066233300	9/18/2006	15.88
175734066233300	9/19/2006	15.9
175734066233300	9/20/2006	15.84
175734066233300	9/21/2006	15.86
175734066233300	9/22/2006	15.85
175734066233300	9/23/2006	15.84
175734066233300	9/24/2006	15.89
175734066233300	9/25/2006	15.86
175734066233300	9/26/2006	15.86
175734066233300	9/27/2006	15.85
175734066233300	9/28/2006	15.88
175734066233300	9/29/2006	15.9
175734066233300	9/30/2006	15.88

APÉNDICE 3

**INVENTARIO DE FINCAS AGRÍCOLAS EN SANTA ISABEL, PR 2006-07
DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE PR**

**DATOS DIVERSOS SELECCIONADOS
VALOR 2006/07**

Renglón	Unidad	Santa Isabel
Población ¹ :	Personas	22,046
Urbana	"	8,574
Rural	"	13,472
Ingreso Mediano	Dólares	13,264
Ingreso Per-capita	Dólares	5,903
Fuerza Trabajadora	Número de Personas	6084
Empleo	"	4,628
Desempleo	"	1,456
Por Ciento de Desempleo	%	23.93

Agricultura ² :		
Número de Fincas	Número	96
Area en Fincas	Cuerdas	10,774
Producción Agrícola:		
Leche	Dólares	0
Carne de Res y Ternera	Dólares	21
Carne de Cerdo	Dólares	0
Carne de Pollos Parrilleros, Comercial	Dólares	3,377
Carne de Pollos Parrilleros, No Comercial	Dólares	0
Huevos	Dólares	0
Carne de Conejos	Dólares	14
Carne de Cabros y Ovejas	Dólares	1
Otras Aves	Dólares	1,533
Gallós de Peleas	Dólares	172,406
Café	Dólares	5,334
Plátanos	Dólares	338,155
Guineos	Dólares	1,187,866
Gandures	Dólares	2,464
Malangas	Dólares	9,539
Apíos	Dólares	0
Ñame	Dólares	3,602
Batatas	Dólares	189,437
Yautías	Dólares	14,646
Yucas	Dólares	1,039
Panapén	Dólares	0
Toronjas	Dólares	3,115
Chinas (incluye chironjas)	Dólares	5,816
Aguacates	Dólares	117,512
Papayas	Dólares	519,590
Parchas	Dólares	0
Piñas	Dólares	0
Limonos y Limas	Dólares	9,385

**DATOS DIVERSOS SELECCIONADOS
VALOR 2006/07**

Renglón	Unidad	Santa Isabel
Mangó	Dólares	1,679,578
Melón de Agua	Dólares	1,328,509
Honey Dew	Dólares	70,338
Cantaloups	Dólares	19,152
Cidras	Dólares	57
Cocos	Dólares	0
Otras Frutas	Dólares	23,268
Tomates	Dólares	4,323,293
Pimientos	Dólares	1,715,984
Calabazas	Dólares	1,631,371
Repollo	Dólares	122,569
Ají Dulce	Dólares	282,778
Berenjena	Dólares	288,416
Pepinillos	Dólares	115,208
Cebollas	Dólares	843,703
Habichuelas Secas	Dólares	354
Habichuelas Verdes, Vaina	Dólares	0
Habichuelas Tiernas, S/F	Dólares	23,444
Lechugas	Dólares	57,242
Maíz Tierno, Mazorca	Dólares	325
Ornamentales	Dólares	0
Pescados y Mariscos	Dólares	0
Miel de Abejas	Dólares	27
Obreros	\$'000	8,685,051
	Salario Total	
Inventario:		
Ganado Lechero	\$'000	0
Ganado de Carne	\$'000	254
Ganado Porcino	\$'000	200
Ganado Caprino	\$'000	186
Conejos	\$'000	908
Gallinas Ponedoras	\$'000	0
Pollos Parrilleros	\$'000	1,046,000
Valor de la Producción Vendida	\$'000	24,843,064
Fincas	Número	96
Valor Promedio de Ventas por Finca	\$'000	229,313

1/ Fuente: Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América, Negociado del Censo federal, Censo de Población de Puerto Rico: 1950-2000, y Junta de Planificación, Programa de Planificación Económica y Social, Oficina del Censo.

http://www.censo.gobierno.pr/Censo_Poblacion_Vivienda/Datos_Historicos_1950_2000.htm

2/ Según los datos del Censo Agrícola 2002. NASS-USDA
<http://www.nass.usda.gov/census/>